



Universidad de Buenos Aires
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Departamento de Industrias

Desarrollo de subproductos de diseño a partir de jugo de naranja preservado por luz ultravioleta de onda corta (UV-C)

Tesis presentada para optar por el título de Doctora de la
Universidad de Buenos Aires en el área de Química Industrial

Antonella Andreone

Directora de Tesis: Dra. Sandra N. Guerrero

Directora Adjunta de Tesis: Dra. Marcela Schenk

Consejera de estudios: Dra. Carmen Campos

Lugar de trabajo: ITAPROQ (CONICET-UBA), Departamento de Industrias,
FCEN-UBA

Buenos Aires, 2025

Desarrollo de subproductos de diseño a partir de jugo de naranja preservado por luz ultravioleta de onda corta (UV-C)

Los cambios en las tendencias de los consumidores actuales, quienes optan por alimentos y bebidas más saludables, junto a una mayor conciencia sobre la utilización de ingredientes más naturales y tecnologías que cuidan el medioambiente, obligan a implementar mejoras sustanciales en los métodos convencionales de preservación, que, si bien resultan muy efectivos, generan un detrimento en la calidad sensorial, nutricional y/o funcional de los productos. En las últimas décadas se vienen estudiando intensamente tecnologías emergentes de preservación, siempre con miras a garantizar tanto la inocuidad como la calidad del alimento, pero a su vez, más suaves y amigables con el medio ambiente. En particular, la aplicación de luz ultravioleta de onda corta (UV-C, 254 nm) despierta interés por ser una tecnología de bajo costo e implementación, ser efectiva contra microorganismos patógenos y deteriorativos, no dejar residuos y afectar en bajo grado la calidad del alimento. Sin embargo, la presencia de componentes que absorben la luz y partículas suspendidas dificultan la penetración de la luz UV-C, afectando de manera significativa la eficacia del proceso de descontaminación. Es por ello que su utilización en una estrategia que considera la asistencia de otros factores de estrés microbiano resulta promisorio. El objetivo de esta tesis fue desarrollar subproductos innovadores y saludables a partir de jugo de naranja procesado con luz ultravioleta de onda corta (UV-C, 254 nm) asistida por temperatura moderada (50 °C) a escala piloto (dosis actinométrica, Hd_{act} , 892 mJ/cm²). Se diseñaron subproductos para dos grupos de consumidores bien diferenciados: un "gel postre frutal" de consumo al paso y un "gel para la nutrición deportiva", ambos alineados con las tendencias actuales de un consumo saludable.

En la primera parte, se estudiaron los efectos del procesamiento por luz UV-C en el jugo de naranja, evaluando la influencia de la asistencia de temperatura moderada y las características físicas y ópticas de la matriz en la eficiencia del tratamiento. Se analizó la cinética de inactivación microbiana mediante modelos matemáticos predictivos conceptualmente distintos (Weibull y Coroller) y se determinó el impacto del proceso sobre diversos parámetros de calidad, incluyendo el contenido de polifenoles, flavonoides, capacidad antioxidante, vitamina C y la formación de 5-hidroximetilfurfural (HMF). Los resultados mostraron que, si bien se observó una reducción en los

compuestos bioactivos en comparación con el jugo sin tratar, la formación de HMF fue menor en el tratamiento propuesto respecto a un procesamiento térmico convencional.

En la segunda parte de la tesis, se elaboraron a partir del jugo preservado por luz UV-C 27 sistemas de *gel postre frutal* utilizando distintas combinaciones de endulzantes o agente de carga (sacarosa, eritritol, rebaudiósido A y polidextrosa), pectina de bajo metoxilo (1% p/p) y carbonato de calcio según un diseño experimental Box-Behnken. Se estudió el impacto de los ingredientes o sus combinaciones en parámetros fisicoquímicos (pH, turbidez, actividad de agua y capacidad de retención de agua), propiedades reológicas (perfil de textura y comportamiento viscoelástico) y estabilidad microbiológica de los geles postre. Se identificaron dos sistemas con características sensoriales y estructurales similares al sistema control a emular asequible en el mercado, el cual contenía solo sacarosa (10%p/p): uno con reemplazo parcial (3,0% p/p de sacarosa y 0,019% p/p de rebaudiósido A), y otro con reemplazo total (5,5% p/p de eritritol y 0,019% p/p de rebaudiósido A). Ambos sistemas mostraron un comportamiento típico de geles, con valores del módulo de almacenamiento (G') superiores al módulo de pérdida (G''), y fueron bien aceptados sensorialmente. Además, mediante un estudio conjunto se evidenció que el *gel postre frutal* fue percibido como una opción saludable y con alta disposición de prueba, como alternativa con menor contenido de azúcar.

En la última parte de esta tesis se desarrolló un gel deportivo utilizando jugo de naranja procesado por UV-C y extracto de yerba mate (EYM), como fuente natural de cafeína y otros compuestos bioactivos de impacto positivo en la salud. EYM se obtuvo en el jugo de naranja mediante extracción asistida por ultrasonido de hojas de yerba mate canchada y estacionada. Además, la formulación del gel deportivo incluyó maltodextrina (33 % p/p), sacarosa (25 % p/p), goma guar (0,6 % p/p) y goma garrofín (0,6 % p/p). El contenido de cafeína (23 mg/envase; 569 $\mu\text{g/mL}$) fue comparable al de geles comerciales que generalmente contienen entre 20 mg y 50 mg por envase. Los análisis evidenciaron una capacidad antioxidante significativa, así como la presencia de polifenoles totales, flavonoides, junto con la presencia de teobromina, ácido clorogénico y rutina. Durante 25 días de almacenamiento a 20 °C, el gel mantuvo estabilidad microbiológica y fisicoquímica en términos de pH, sólidos solubles, color y turbidez. Finalmente, mediante el estudio conjunto realizado con deportistas, se evidenció que el

producto presentó una alta disposición a ser probado y una percepción de saludable, lo que resalta su potencial atractivo en el mercado.

El abordaje de esta tesis permitió formular, desarrollar y validar con éxito dos productos de base frutal diseñados con ingredientes más naturales y/o preservados por tecnologías consideradas verdes. Los mismos están dirigidos a grupos de consumidores diferentes y se ajustan a las tendencias de consumo actual.

Palabras clave: Luz UV-C, tecnologías asistidas, preservación de jugo, gel postre frutal, gel deportivo, extracto de yerba mate, estudios sensoriales, calidad fisicoquímica.

Development of innovative products from Orange Juice Preserved by Short-Wave Ultraviolet (UV-C) Light

Current changes in consumer trends toward healthier foods and beverages, combined with increased awareness of using more natural ingredients and environmentally friendly technologies, necessitate substantial improvements in conventional preservation methods. Although these methods are highly effective, they often result in a decline in the sensory, nutritional, and/or functional quality of the products. Over recent decades, emerging preservation technologies have been extensively studied with the goal of ensuring both food safety and quality while offering gentler and more environmentally sustainable alternative. Among these, short-wave ultraviolet light (UV-C, 254 nm) has attracted considerable interest due to its low cost and ease of implementation, its effectiveness against pathogenic and spoilage microorganisms, its residue-free nature, and its minimal impact on food quality. However, the presence of soluble solids, light-absorbing compounds, and suspended particles can hinder UV-C light penetration, significantly reducing the efficiency of the decontamination process. Therefore, its application in a strategy incorporating additional microbial stress factors shows promising potential. The general objective of this thesis was to develop innovative, healthy, and sustainable products through the application of assisted intervention technologies. To achieve this, commercial orange juice was processed using short-wave ultraviolet light (UV-C), assisted by moderate temperature (50 °C) in a pilot-scale reactor ($H_{dact} = 892 \text{ mJ/cm}^2$). Two product formulations were designed for two clearly differentiated consumer groups: "confectionery gels" on the go, and "sports nutrition gels," both aligned with current trends in healthy consumption.

In the first phase, the effects of UV-C processing on orange juice were investigated, focusing on the influence of moderate thermal assistance and the physical and optical characteristics of the matrix on treatment efficiency. The microbial inactivation kinetics were deeply studied in each system by mathematical modelling (Weibull model, Coroller model), and the impact of the process on several quality parameters, including polyphenol and flavonoid content, antioxidant capacity, vitamin C, and 5-hydroxymethylfurfural formation (HMF), was evaluated. The results showed

that, although a reduction in bioactive compounds was observed compared to untreated juice, the formation of HMF was lower in the proposed treatment than in conventional thermal processing.

In the second part of the thesis, 27 confectionery gel systems were developed from UV-C treated juice using different blends of sweeteners or bulking agents (sucrose, erythritol, rebaudioside A, and polydextrose), low-methoxyl pectin (1% w/w), and calcium carbonate according to a Box-Behnken experimental design. The impact of the ingredients and their combinations was studied on physicochemical parameters (pH, turbidity, water activity, and water-holding capacity), rheological properties (texture profile and viscoelastic behavior), and microbiological stability of the confectionery gels. As a result, two systems were identified that exhibited sensory and rheological properties, similar to the full-sucrose options: one with partial replacement (3.0% w/w sucrose and 0.019% w/w rebaudioside A), and another with full replacement (5.5% w/w erythritol and 0.019% w/w rebaudioside A). Both exhibited typical gel behavior, with storage modulus (G') values higher than loss modulus (G'') and were well accepted sensorially. Furthermore, a conjoint study revealed that the confectionery gel was perceived as *very healthy* and with a high *willingness to try*.

In the final part of this thesis, a sports nutrition gel was developed using UV-C treated orange juice and yerba mate extract (YME) as a natural source of caffeine and other bioactive compounds with positive health effects. The YME was obtained in the orange juice through ultrasound-assisted extraction from dried and aged yerba mate leaves. Its formulation included maltodextrin (33 % w/w), sucrose (25% w/w), guar gum (0.6 % w/w), and locust bean gum (0.6 % w/w). The caffeine content (23 mg/pouch; 569 µg/mL) was comparable to that of commercial gels, which generally contain between 20 mg and 50 mg per pouch. The analyses revealed significant antioxidant capacity, as well as the presence of total polyphenols, flavonoids, along with the presence of theobromine, chlorogenic acid, and rutin. During 25 days of storage at 20 °C, the gel maintained microbiological and physicochemical stability in terms of pH, soluble solids, color, and turbidity. Finally, a conjoint study with athlete consumers showed that the product was perceived as healthy and with a high *willingness to try*, highlighting its potential in the market.

The approach adopted in this thesis enabled the successful formulation, development, and validation of two fruit-based products designed with more natural ingredients and/or preserved using environmentally friendly (“green”) technologies. These products target different consumer groups and align with current consumption trends.

Keywords: UV-C light, assisted technologies, juice preservation, fruit confectionery gel, sports gel, yerba mate extract, sensory studies, physicochemical quality

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Buenos Aires, a la Agencia Nacional de Promoción de la Investigación, el Desarrollo Tecnológico y la Innovación, al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, y al Instituto Nacional de la Yerba Mate por el aporte económico brindado para la realización de esta tesis.

A los integrantes del Departamento de Industrias de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires por proporcionarme el lugar de trabajo para llevar a cabo la investigación para esta tesis, y por su atenta colaboración con la asistencia de los equipos. En especial a los señores Daniel Araujo y Julio Sosa quienes siempre brindaron ayuda con el equipo de procesamiento UV-C a escala piloto.

A la Dra. Sandra Guerrero por guiarme, aconsejarme, escucharme y apoyarme constantemente, y por brindarme esta oportunidad. Por confiar en mí para realizar cada ensayo, por su constante dedicación y permanente atención durante la dirección de esta tesis, y por acompañarme en mi crecimiento profesional.

A la Dra. Marcela Schenk por su compañía, apoyo, ayuda y contención durante la codirección de esta tesis. Por las charlas y días de trabajo compartidos.

A la Dra. Mariana Ferrario por su generosidad, asistencia y paciencia para compartir conmigo su experiencia y conocimientos.

A las empresas Tradecos SRL y ECA Agroindustrias por gentilmente donarme los jugos usados en esta tesis.

A la Cooperativa Agrícola (Colonia Liebig Ltda, Corrientes, Argentina) por gentilmente donarme la yerba mate usada en esta tesis.

Al Ingeniero Doctor Miguel Schmalko (Universidad Nacional de Misiones) por colaborar en esta tesis con la provisión y acondicionamiento de las hojas de yerba mate canchada.

A la empresa Envaflex Argentina, por haber donado gentilmente los envases doypack utilizados en esta tesis.

Al ciclista de alta competición Martín Suarez, por su buena predisposición, sus sugerencias y el compromiso en la realización de las pruebas sensoriales “in situ” con otros ciclistas y por su colaboración fundamental para acceder al grupo participante.

A mis compañeras de trabajo, Daniela, Luz, Ángeles y Magdalena, por el trabajo en equipo y su ayuda. Por su amistad, por compartir conmigo el día a día, las charlas y risas, los almuerzos, las investigaciones.

A Marian muy especialmente por estar siempre presente brindándome su cariño y comprensión en todo momento.

A mi familia, mis padres, hermanas, sobrinos, primas, tíos y a mis amigos, porque sin ellos llegar hasta acá no hubiera sido posible. Por su enorme confianza, por su paciencia, por su aliento y por aguantarme e intentar comprenderme.

A mi familia ...

Artículos científicos y capítulos de libros, en calidad de primera autora y/o coautora, donde se presentan los distintos resultados obtenidos a lo largo del desarrollo de esta tesis:

- Development of sweet confectioneries produced from pilot-scale UV-C treated orange juice, low-methoxyl pectin and different sugar-substitute blends. Impact on physicochemical and rheological properties” (2022). Andreone, A., Schenk, M., Ferrario, M & Guerrero, S. *J Food Process Preserv.* 46(3):e16403. (Q2 Scimago). Ed: Wiley-Blackwell <https://doi.org/10.1111/jfpp.16403>.
- Development of an orange- tangerine juice treated by assisted pilot-scale UV-C light and loaded with yerba mate. Microbiological, physicochemical and dynamic sensory studies (2022). Fenoglio, D.; Ferrario, M., Andreone, A. & Guerrero, S. *Food and Bioprocess Technology*, 15(4):1-18. (Q1 Scimago). Ed: Springer <https://doi.org/10.1007/s11947-022- 02775-7>.
- A multidimensional evaluation of the effects of sweetener selection and UV-C treatment on orange juice and pectin-based confectionery gels (2023). Andreone, A.; Kozono, L., Schenk, M.; & Guerrero, S. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 104(5), 3013-3026. <https://doi.org/10.1002/jsfa.13193>. First published 5/12/2023.
- Ultrasound-assisted extraction of yerba mate leaves for the development of active additives in sports nutrition products (2024). Kozono, M. L., Andreone, A., Schenk, M., Rivero, R., E. Taravini, I. R., & Guerrero, S. N. *Journal of Food Process Engineering*, 47(7), e14670. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14670>
- Effect of texturization on microbial inactivation in UV-C treated orange juice: Predictive modeling and analysis of *Alicyclobacillus acidoterrestris* physiological and morphological changes (2025). Durán Cassiet, M., Kozono, M. L., Andreone, A., Schenk, M., & Guerrero, S. *International Journal of Food Microbiology*, 428, 110979. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2024.110979>
- A novel approach using UV-C light assisted by mild heat and natamycin as a hurdle strategy to preserve juice from non-commercial-grade apples (2025). Casco, M. D. L. A., Schelegueda, L., Andreone, A., Schenk, M., Campos, C. A., & Guerrero, S. N. *Food Control*, 171, 111147. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2025.111147>.
- A Comprehensive Study on the Development of an Isotonic Sports Drink Preserved by UV-C Light Assisted by Mild Heat and Loaded with Yerba Mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill.) Extract (2025). Kozono, M. L., Durán Cassiet, M., Andreone, A., Schenk, M. L., & Guerrero, S. N. *Foods*, 14(9), 1494. <https://doi.org/10.3390/foods14091494>
- Ultraviolet light (2022). Guerrero., S. Ferrario, M., Schenk, M., Fenoglio, D. & Andreone, A., (Chapter 6). En *Electromagnetic Technologies in Food Science*. pp 128-180. Eds Gómez López, V. & Bhat, R. John Wiley & Sons Ltd., UK. Fecha de

publicación: 25 Noviembre 2021 ISBN-13 978-1119759515, 437 páginas. Versión impresa 2022

- Ultraviolet light for food and beverage preservation. Exploring the latest advancements and potential challenges (2025). Guerrero., S., Schenk, M., Fenoglio, D. , Andreone, A & Kozono, L.(Chapter 2). En *Innovative Food Packaging and Processing Technologies*. Ed. D. Bermudez Aguirre. Editorial Elsevier ISBN: 978-0-323-91742-1, 690 páginas. Primera edición 2025 (<https://shop.elsevier.com/books/innovative-food-packaging-and-processing-technologies/bermudez-aguirre/978-0-323-91742-1>)

ÍNDICE

Contenido

1 Introducción	19
1.1 Tendencias actuales en el consumo de alimentos y bebidas.....	20
1.2 Jugos frutales	20
1.2.1 Ecología microbiana de los jugos cítricos	22
1.3 Métodos de preservación más utilizados en jugos frutales	23
1.3.1 Tratamiento térmico	23
1.3.2 Tecnologías emergentes no térmicas	25
1.3.3 Luz ultravioleta de onda corta	26
1.3.3.1 Efecto germicida de la luz UV-C.....	29
1.3.3.2 Susceptibilidad de los microorganismos a la luz UV-C	30
1.3.3.3 Definición de las dosis UV-C involucradas	31
1.3.3.4 Equipos de procesamiento basados en el uso de luz UV-C.....	35
1.3.3.5 Ventajas y limitaciones de la aplicación de luz UV-C.....	38
1.3.4 Tecnologías emergentes de preservación asistidas	40
1.4 Microbiología predictiva como herramienta para la seguridad de alimentos.....	41
1.4.1 Clasificación de los modelos matemáticos de predicción	43
1.4.2 Validación del modelado matemático	45
1.4.3 Limitaciones del modelado matemático	46
1.5 Evaluación de la calidad en jugos frutales procesados	46
1.5.1 Contenido de compuestos bioactivos.....	46
1.5.2 Formación de 5-hidroximetil furfural	47
1.6 Subproductos frutales	48
1.6.1 Geles dulces de consumo al paso	49
1.6.1.1 Ingredientes utilizados.....	52
1.6.1.1.1 Agentes gelificantes	52
1.6.1.1.2 Endulzantes.....	54
1.6.1.1.3 Agentes de carga.....	60
1.6.2 Geles para la nutrición deportiva	62
1.6.2.1 Tipo de geles para la nutrición deportiva	65

1.6.2.2 Ingredientes utilizados.....	66
1.6.2.3 Yerba mate (<i>Ilex paraguariensis</i> St. Hil.).....	67
1.6.2.3.1 Generalidades	68
1.6.2.3.2 Composición química.....	71
1.6.2.3.3 Métodos de extracción de compuestos bioactivos	73
1.7 Caracterización de los geles frutales	76
1.7.1 Reología de geles frutales.....	77
1.7.1.1 Ensayos de flujo	79
1.7.1.2 Ensayos oscilatorios	80
1.7.1.3 Ensayos de doble compresión: análisis de perfil de textura	82
1.7.2 Aspectos sensoriales relacionados	84
1.7.2.1 Jueces.....	84
1.7.2.2 Selección del sitio de la prueba	86
1.7.2.3 Clasificación de las pruebas de evaluación sensorial	87
1.7.2.3.1 Pruebas discriminativas	88
1.7.2.3.2 Pruebas descriptivas	88
1.7.2.3.3 Pruebas afectivas	89
1.7.2.3.4 Perfil de emociones	90
2 Objetivos	92
2.1 Hipótesis y objetivo general	93
2.2 Objetivos específicos	94
3 Materiales y métodos	97
PARTE 1: Aplicación de la tecnología UV-C para el procesamiento de jugos.....	98
3.1 Materia prima.....	98
3.2 Reactivos.....	98
3.3 Medios de cultivo	99
3.4 Caracterización fisicoquímica del jugo naranja	101
3.4.1 Densidad, sólidos solubles totales, pH, turbidez	101
3.4.2 Color.....	101
3.4.3 Coeficiente de absorción (α_{254nm}) y porcentaje de transmitancia.....	102
3.4.4 Viscosidad	103
3.4.5 Tamaño de partícula	103
3.5 Equipo de procesamiento por luz UV-C	104

3.5.1 Descripción.....	104
3.5.2 Determinación de los parámetros fluidodinámicos	106
3.5.3 Distribución de los tiempos de residencia.....	107
3.5.4 Determinación de la dosis actinométrica (Hd_{act}).....	107
3.6 Estudios de reto microbiano	109
3.6.1 Microorganismos y preparación de inóculos.....	109
3.6.2 Tratamiento por luz UV-C	111
3.6.3 Enumeración de la población sobreviviente	113
3.7 Modelado matemático de la cinética de inactivación	114
3.7.1 Modelo de Weibull	114
3.7.2 Modelo de Coroller	115
3.8 Estudios de calidad fisicoquímica luego del procesamiento UV-C.....	116
3.8.1 Polifenoles totales	116
3.8.2 Capacidad antioxidante	117
3.8.2.1 Método DPPH	117
3.8.2.2 Método ABTS	117
3.8.3 Flavonoides (F).....	118
3.8.4 5-hidroximetil furfural (HMF)	118
3.8.5 Vitamina C.....	119
PARTE 2-Subproducto 1: Gel postre frutal	121
3.9 Materia prima	121
3.10 Medios de cultivo	121
3.11 Elaboración de los geles postre frutales.....	122
3.11.1 Diseño experimental.....	122
3.11.2 Procedimiento de elaboración	122
3.12 Caracterización fisicoquímica de los geles postre frutales	125
3.12.1 Actividad de agua.....	125
3.12.2 Capacidad de retención de agua	125
3.13 Determinación de las propiedades reológicas	126
3.13.1 Análisis de perfil de textura	126
3.13.2 Viscosidad	127
3.14 Selección de los mejores sistemas de gel postre frutal	128

3.14.1 Optimización por análisis de regresión múltiple y metodología de superficie de respuesta (MSR).....	128
3.14.2 Aspectos sensoriales.....	130
3.14.2.1 Prueba virtual: Estudio conjunto	130
3.14.2.2 Pruebas en el laboratorio de análisis sensorial	135
3.14.2.2.1 Test de campo.....	138
3.14.2.2.2 Prueba CATA	140
3.14.2.2.3 Test de diferencia contra control	146
3.14.2.2.4 Test de dominancia temporal de sensaciones (TDS).....	147
3.15 Evaluación de la calidad durante el almacenamiento en los sistemas seleccionados	150
3.15.1 Calidad microbiológica.....	150
3.15.1.2 Jugo procesado	150
3.15.1.3 Geles postre frutales seleccionados	152
3.15.2 Parámetros fisicoquímicos.....	152
3.15.3 Aspectos reológicos	152
3.15.3.1 Perfil de textura	152
3.15.3.2 Viscosidad	153
3.15.3.3 Propiedades viscoelásticas	153
3.16 Caracterización por microscopía electrónica de barrido (MEB)	154
PARTE 3 -Subproducto 2: Gel para la nutrición deportiva	156
3.17 Materia prima.....	156
3.18 Reactivos.....	156
3.19 Medios de cultivo	156
3.20 Obtención y caracterización del extracto yerba mate	156
3.21 Elaboración del gel deportivo.....	157
3.21.1 Procedimiento de elaboración	158
3.22 Caracterización fisicoquímica	159
3.22.1 Determinación por HPLC de compuestos bioactivos	160
3.23 Propiedades reológicas.....	160
3.23.1 Determinación de curva de flujo	161
3.23.2 Determinación de las propiedades viscoelásticas	161
3.24 Estudios de almacenamiento	162
3.24.1 Calidad microbiológica.....	162

3.24.2 Calidad fisicoquímica	163
3.24.3 Índice de estabilidad	163
3.25 Análisis sensorial.....	164
3.25.1 Selección de evaluadores y organización de las etapas de prueba.....	164
3.25.2 Prueba virtual: Estudio conjunto	164
3.25.3 Perfil de emociones	170
4 Resultados y discusión	181
PARTE 1: Aplicación de la tecnología UV-C para el procesamiento de jugos.....	182
4.1 Caracterización fisicoquímica del jugo naranja	182
4.2 Determinación de parámetros fluidodinámicos del procesamiento UVC	185
4.3. Determinación de dosis UV-C.....	186
4.3.1 Determinación de la dosis actinométrica ($H_{d_{act}}$).....	187
4.4 Estudios de reto microbiano	188
4.4.1 Efectividad del tratamiento por luz UV-C.....	188
4.5 Modelado matemático de la cinética de inactivación	191
4.6 Estudio de calidad fisicoquímica	199
4.7 Conclusiones parciales: PARTE 1	204
PARTE 2-Subproducto 1: Gel postre frutal	206
4.8 Caracterización fisicoquímica	206
4.9 Aspectos reológicos.....	210
4.9.1 Análisis de perfil de textura (PT).....	210
4.9.2 Viscosidad	213
4.10 Selección de los mejores sistemas de gel postre frutal	213
4.10.1 Análisis de regresión múltiple y metodología de superficie de respuesta (MSR)	213
4.10.2 Aspectos sensoriales.....	225
4.10.2.1 Estudio conjunto.....	225
4.10.2.2. Test de Campo	227
4.10.2.3 Prueba CATA	235
4.10.2.4 Test de diferencia contra control	237
4.10.2.5 Test de Dominancia Temporal de Sensaciones (TDS).....	238
4.11 Evaluación de la calidad en los sistemas seleccionados durante el almacenamiento	242
4.11.1 Calidad microbiológica.....	243

4.11.2 Propiedades fisicoquímicas	247
4.11.3 Aspectos reológicos	250
4.12 Microscopía electrónica de barrido (MEB).....	256
4.13 Conclusiones parciales: Parte 2-Subproducto 1: Gel postre frutal	258
PARTE 3-Subproducto 2: Gel para la nutrición deportiva	260
4.14 Obtención y caracterización de extracto líquido de yerba mate	260
4.15 Caracterización del gel deportivo	261
4.15.1 Parámetros fisicoquímicos.....	261
4.15.2 Determinación por HPLC de compuestos bioactivos	267
4.15.3 Propiedades reológicas.....	268
4.16 Estudios de almacenamiento	274
4.16.1 Calidad microbiológica.....	274
4.16.2 Calidad fisicoquímica	276
4.17 Aspectos sensoriales.....	280
4.17.1 Prueba virtual: Estudio conjunto	280
4.17.2 Perfil de emociones	284
4.18 Conclusiones parciales: Parte 3-Subproducto 2: Gel para la nutrición deportiva	291
5 Conclusiones finales	293
Conclusiones.....	294
Investigaciones futuras.....	295
6 Bibliografía	296
Bibliografía.....	297

1 Introducción



1.1 Tendencias actuales en el consumo de alimentos y bebidas

La demanda de alimentos está evolucionando hacia hábitos de compra más saludables y sostenibles, una tendencia que se ha acelerado desde la pandemia de COVID-19. Los consumidores priorizan cada vez más productos naturales y mínimamente procesados, elaborados mediante tecnologías respetuosas con el medio ambiente. Sin embargo, el ritmo de vida acelerado y las múltiples responsabilidades siguen impulsando la compra de productos industrializados, que suelen contener compuestos y aditivos de bajo valor nutricional. A pesar de esto, la tendencia hacia la reducción del consumo de estos alimentos procesados se está haciendo más visible. De acuerdo con una encuesta de Innova Market Insights (2024), los consumidores actuales están más enfocados en la salud y el bienestar, adoptando prácticas de consumo que no solo benefician su salud, sino también al planeta, como la reducción del desperdicio de alimentos y el reciclaje. En respuesta a estas nuevas demandas, la industria alimentaria ha comenzado a incorporar tecnologías verdes y de bajo costo, entre las cuales se encuentra la luz ultravioleta de onda corta, las cuales ofrecen soluciones innovadoras para conservar alimentos sin alterar significativamente su composición, manteniendo al mismo tiempo los estándares de salud y sostenibilidad en un entorno económico desafiante (Bhadekar y Bhola, 2019).

Paralelamente, el interés por productos con menos aditivos y azúcares refinados ha crecido, impulsando la preferencia por edulcorantes naturales o ingredientes con bajo índice glucémico. Los consumidores, además de buscar sabores novedosos, ahora dan prioridad a productos con menor cantidad de azúcares añadidos, lo que ha convertido la reducción de estos en un criterio decisivo para la compra de alimentos (Innova Market Insights, 2024). En este escenario, el rubro de bebidas también se ve influenciada por dichas tendencias, evidenciando una demanda creciente de opciones con un perfil más natural, vinculado a métodos de elaboración menos procesados y/o más saludables, especialmente en formulaciones a base de frutas y verduras.

1.2 Jugos frutales

Según el Código Alimentario Argentino (CAA), en su Artículo 786, el jugo de fruta se define como el líquido no fermentado obtenido mediante procedimientos mecánicos

a partir de frutas maduras, conservando así sus componentes esenciales. Estos jugos deben estar exentos de azúcares añadidos, colorantes y conservantes, aunque se permite la inclusión de ácido ascórbico como antioxidante en cantidades reguladas. Además, deben cumplir con estrictos parámetros microbiológicos para asegurar la ausencia de microorganismos patógenos y otros contaminantes, siendo posible la aplicación de tecnologías tales como la pasteurización y la filtración, de modo de garantizar su estabilidad microbiológica.

Los jugos cítricos, elaborados a partir de frutas como naranjas, limones, pomelos y mandarinas, consisten en una fase líquida, rica en azúcares, ácidos orgánicos, vitaminas y compuestos aromáticos, además de una fase dispersa compuesta por pulpa. El contenido de sólidos solubles, medido en grados Brix, varía entre 7 y 12 °Brix, dependiendo de factores como la variedad del cítrico, el estado de maduración y las condiciones nutricionales de la planta (Karki y col., 2024). Además, los jugos cítricos son reconocidos por su elevado contenido de vitamina C (ácido ascórbico) y como una buena fuente de flavonoides, compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes (Chen y col., 2020). Las pectinas presentes, polímeros heterogéneos ricos en ácido D-galacturónico, permiten mantener los fragmentos de pulpa en suspensión, proporcionando turbidez y mayor viscosidad al jugo. Sin embargo, la actividad de enzimas pectinolíticas, como la pectin metilesterasa (PME), provoca la degradación de las pectinas, lo que resulta en la desestabilización de la suspensión y la pérdida de turbidez o “cloud”, otorgando al jugo un aspecto más traslúcido y menos atractivo (Zhang y col., 2023). Otras enzimas que influyen en la calidad del jugo son la polifenoloxidasas (PPO) y la peroxidasa (POD), involucradas en procesos de oxidación que afectan el color, sabor y estabilidad del producto. Estas características resaltan la importancia de un manejo adecuado en el procesamiento y conservación de los jugos cítricos para preservar sus propiedades sensoriales y nutricionales, garantizando así la calidad del producto final, lo cual es fundamental en el contexto de la elaboración de productos que utilizan jugo cítrico.

En particular, el jugo de naranja, regulado en el Artículo 788 del CAA, debe presentar un contenido mínimo de 10 °Brix y una acidez que oscile entre 0,4% y 1,5% de ácido cítrico, debiendo estar libre de aditivos y, en el caso de los jugos reconstituidos, debe especificarse que son elaborados a partir de jugo concentrado.

Complementariamente, la norma CODEX STAN 247-2005, establecida por la Comisión del Codex Alimentarius, estipula que el jugo de cítricos debe obtenerse exclusivamente de frutas maduras del género *Citrus* mediante métodos mecánicos que preserven sus propiedades organolépticas y nutricionales. Prohíbe la adición de azúcares, colorantes y conservantes, salvo excepciones específicas, como el ácido ascórbico. Asimismo, se requiere que el producto final cumpla con parámetros fisicoquímicos específicos, como los establecidos en el Código, y esté libre de microorganismos patógenos, además de incluir pautas de etiquetado que permitan al consumidor identificar si el jugo es natural, concentrado o reconstituido. Por último, los jugos de fruta pueden obtenerse mediante extracción mecánica directa o reconstitución de jugo concentrado con agua potable, debiendo los grados Brix y el contenido de sólidos solubles cumplir con los estándares específicos de cada tipo de fruta, estableciéndose para los jugos reconstituidos de naranja y mandarina un contenido mínimo de 11,2-11,8 y 11,8 °Brix, respectivamente, asegurando así la calidad del producto.

1.2.1 Ecología microbiana de los jugos cítricos

La microbiota de los jugos cítricos incluye levaduras, mohos y bacterias acidófilas que, aunque no representan un peligro directo para la salud, son responsables del deterioro del producto. Las levaduras, como *Saccharomyces*, *Pichia*, *Zygosaccharomyces* y *Candida*, son particularmente resistentes a las condiciones ácidas y anaerobias típicas de los jugos cítricos. Esta capacidad de resistencia permite su desarrollo, generando fermentaciones indeseadas que resultan en la producción de compuestos como glicerol, acetaldehído y ácidos orgánicos (Salomão, 2018; Shankar y col., 2021; Nascimento y col. 2022).

En cuanto a las bacterias ácido-lácticas (BAL), géneros tales como *Lactobacillus spp.* y *Leuconostoc spp.*, también pueden modificar el sabor del jugo, generando notas similares al suero de leche debido a la producción de diacetilo y otros compuestos (Salomão, 2018).

Otro microorganismo deteriorativo de especial relevancia para la industria de los jugos cítricos es *Alicyclobacillus acidoterrestris*, una bacteria acidófila, formadora de esporas y altamente termorresistente. Las esporas *A. acidoterrestris* pueden sobrevivir

a los tratamientos térmicos de pasteurización y si bien no provocan daño en la salud pueden generar compuestos que provocan sabores muy desagradables en el alimento o bebida, como el guayacol, asociado a los "off-flavours" en jugos y bebidas livianas (Zhai y col., 2020; Wahia y col., 2021). Las esporas de *A. acidoterrestris* son especialmente difíciles de controlar, ya que tienen una resistencia mayor a la enzima pectin metil esterase (PME), cuya inactivación es un indicador de un adecuado proceso de pasteurización. Las esporas de *A. acidoterrestris* pueden sobrevivir a tratamientos térmicos convencionales, lo que las convierte en un desafío para la industria de jugos de frutas y bebidas livianas. Asimismo, la inactivación de estas esporas requiere tratamientos más intensos, los cuales pueden afectar negativamente la calidad sensorial y nutricional del producto final (Sourri y col., 2022).

Además de microorganismos deteriorativos, aquellos patógenos que pueden estar presentes en los jugos frutales incluyen *Escherichia coli*, *Salmonella Typhimurium*, *Listeria monocytogenes* y *Staphylococcus aureus* (Lee y col., 2022; Petrus y col., 2020). Estos patógenos han estado asociados a brotes de enfermedades transmitidas por alimentos (ETAs) ocurridos a nivel mundial, generando preocupación en la industria. En Estados Unidos, entre 2009 y 2015, se reportaron más de 5.700 brotes de ETA, resultando en decenas de miles de casos y cientos de muertes. Entre los principales patógenos involucrados se encontraban *Listeria*, *Salmonella* y cepas de *E. coli* productoras de toxinas Shiga, responsables del 82% de las hospitalizaciones y fallecimientos (Dewey-Mattia y col., 2018).

1.3 Métodos de preservación más utilizados en jugos frutales

1.3.1 Tratamiento térmico

Los tratamientos térmicos son técnicas ampliamente utilizadas en la industria de alimentos que se aplican con el propósito de eliminar microorganismos patógenos y a la vez, reducir a un nivel permitido la presencia de microorganismos deteriorativos, con el fin de garantizar la seguridad del producto y prolongar así, su vida útil. Estos métodos implican la aplicación de temperaturas que oscilan entre 56 °C y 138 °C durante períodos breves, que pueden variar de segundos a minutos, adaptándose a las características específicas de cada alimento. En el caso de los jugos, el tratamiento térmico es uno de

los métodos más empleados debido a su eficacia en la inactivación de microorganismos y enzimas responsables del deterioro (Buniowska y col., 2017). La pasteurización, en particular, es una etapa fundamental en el procesamiento de jugos de frutas para garantizar la seguridad microbiana e inactivar enzimas como la polifenoloxidasa (PPO) y la peroxidasa (POD), que podrían causar alteraciones sensoriales y nutritivas indeseadas (Petruzzi y col., 2017). Sin embargo, los jugos de frutas son termosensibles y pueden experimentar cambios físicos y químicos que afectan su calidad organoléptica y disminuyen el contenido o la biodisponibilidad de ciertos compuestos de interés. Entre los métodos de pasteurización térmica se encuentran: alta temperatura-largo tiempo (HTLT), alta temperatura-corto tiempo (HTST), temperatura moderada-largo tiempo (MTLT) y temperatura moderada-corto tiempo (MTST). Además, el tratamiento de ultra alta temperatura (UHT), destacado por Chiozzi y col. (2022), se realiza a temperaturas extremadamente altas durante tiempos muy breves, y es común en plantas industriales de gran escala. Un resumen de las condiciones de cada tipo de pasteurización térmica se presenta en la **Tabla 1.1**.

Tabla 1.1: Tratamientos térmicos más usados para la preservación de jugos frutihortícolas (adaptado de Petruzzi y col., 2017).

Tipo de tratamiento	Temperatura-tiempo
Pasteurización a alta temperatura-largo tiempo (HTLT)	80-100 °C por lapsos de tiempo superiores a 30 s
Pasteurización a alta temperatura-corto tiempo (HTST)	≥ 80 °C por lapsos de tiempo ≤ 30 s
Ultra alta temperatura (UHT)	138 °C durante 2 s
Pasteurización a temperatura moderada-largo tiempo (MTLT)	< 80 °C por lapsos de tiempo mayores a 30 s
Pasteurización a temperatura moderada-corto tiempo (MTST)	< 80 °C por lapsos de tiempo ≤ 30 s

En particular, la pasteurización se ha convertido en un paso esencial del procesamiento para inactivar los patógenos en jugos y otras bebidas. La Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA) establece que los procesadores de jugos deben aplicar tratamientos que logren al menos una reducción

de 5-log de los patógenos más resistentes que puedan estar presentes en el jugo, como *E. coli* O157:H7 o *Salmonella*, para garantizar la seguridad del producto (US FDA, 2021).

Sin embargo, uno de los desafíos asociados con la pasteurización de jugos es la pérdida de nutrientes termolábiles, como la vitamina C, los polifenoles y otros compuestos que se degradan significativamente a temperaturas elevadas (Tchuenchieu y col., 2018; Mandha y col., 2023). Esta pérdida de compuestos bioactivos ha impulsado la investigación de tratamientos alternativos, como los métodos no térmicos, para mejorar la preservación nutricional y sensorial de los jugos (Jiménez-Sánchez y col., 2017).

1.3.2 Tecnologías emergentes no térmicas

En la actualidad, el interés por los alimentos y bebidas procesados mediante tecnologías suaves y respetuosas con el medio ambiente está creciendo notablemente, ya que los consumidores, cada vez más informados sobre sus opciones alimentarias y de salud en la sociedad globalizada, demandan productos que mantengan sus características naturales (Sarmiento-Santos y col., 2022). Este cambio ha impulsado a la industria a desarrollar productos con calidad organoléptica, nutricional y funcional superior, más cercanos a los naturales. En este sentido, las tecnologías verdes, de bajo costo y de procesamiento mínimo están ganando terreno en el sector industrial, con diversas innovaciones en las últimas dos décadas para producir alimentos de alta calidad y respetuosos con el medio ambiente. El concepto de procesamiento no térmico ofrece una amplia gama de opciones para la mejora de la calidad de los productos, permitiendo una mayor retención de sabor, textura, color y valor nutricional en comparación con los tratamientos térmicos tradicionales (Zhang y col., 2018).

Estas tecnologías novedosas han sido objeto de intensas investigaciones en las últimas tres décadas con el fin de evaluar su potencial como procesos de reemplazo o bien complementarios a otras tecnologías de preservación. Entre las tecnologías de interés para el procesamiento de jugos frutales se destacan: ultrasonido (US)-US (Zafrás-Rojas y col., 2013 ; Cruz-Cansino y col., 2016), campos eléctricos pulsados (PEF) (Elez-Martínez y Martín-Belloso, 2007; Carbonell-Capella y col., 2017), pulsos de luz (Muñoz y col., 2013; Ferrario y col., 2013; Ferrario y col., 2015; Ferrario y Guerrero, 2018), ozono

(Oz) (Torlak, 2014; García-Loredo y col., 2015), y luz ultravioleta de onda corta (UV-C) (Tremarin y col., 2017a), altas presiones hidrostáticas (HHP) (Roobab y col., 2021; Wu y col., 2021), entre otras. Aunque varias de estas tecnologías emergentes están aún en fase de investigación, algunas ya han emergido y alcanzado consecuentemente, la etapa de comercialización, cumpliendo los requisitos de viabilidad técnica y económica. Un ejemplo de ello es el uso creciente de las altas presiones hidrostáticas (HHP) en la industria de alimentos y bebidas (Putnik y col., 2020). En este sentido, pueden mencionarse marcas estadounidenses que comercializan jugos frutales y vegetales tratados mediante HHP, como *Evolution Fresh®* y *Suja Organic Uber Greens®*. De igual manera, la empresa española *Caña Nature®* ofrece una variedad de productos procesados por esta tecnología, entre ellos guacamole, salsas y cremas.

Por otro lado, tecnologías basadas en el uso de radiación lumínica, como las descritas por Guerrero y col. (2022), continúan considerándose emergentes. No obstante, la aplicación de luz ultravioleta de onda corta (UV-C) para la desinfección de agua y jugos claros ya ha sido adoptada a nivel comercial, existiendo diversos equipos disponibles en el mercado, como *CiderSure* y *Salcor* (Koutchma, 2019).

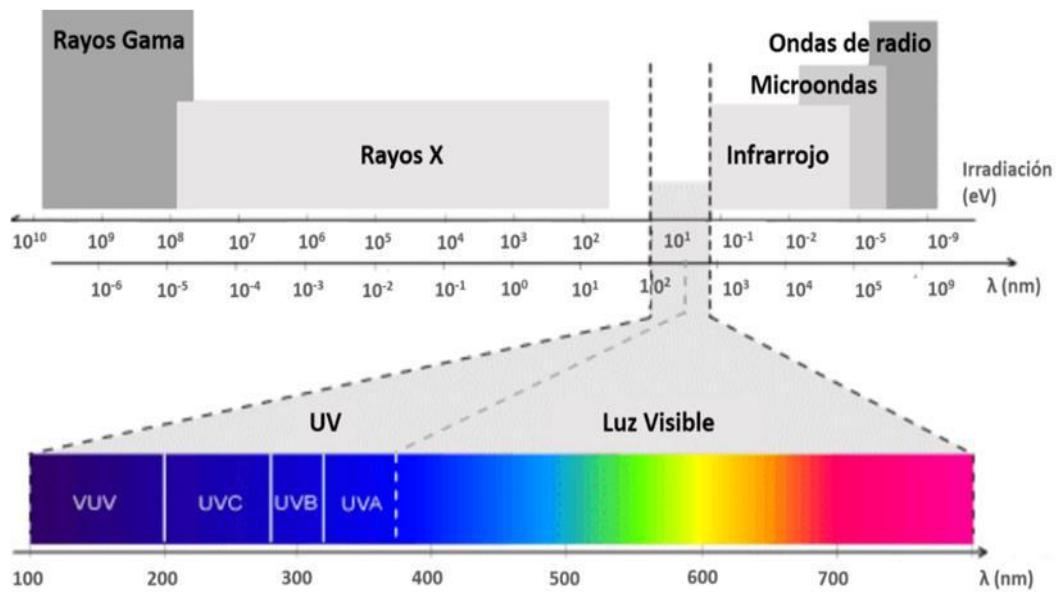
En contraste, ciertas tecnologías se encuentran en etapas de desarrollo más incipientes, como la radiofrecuencia (Xu y col., 2022), el plasma frío (Pan y col., 2019) y el ultrasonido de alta intensidad (Guerrero y col., 2017).

1.3.3 Luz ultravioleta de onda corta

La luz ultravioleta (UV) es una forma de radiación electromagnética que abarca el rango de longitudes de onda entre 100 y 400 nm en el espectro electromagnético (**Figura 1.1**), y se subdivide en tres regiones (Taze y col. 2021): longitud de onda larga (UV-A, 315–400 nm), que produce alteraciones en la piel como envejecimiento, formación de arrugas y pérdida de elasticidad; longitud de onda media (UV-B, 280–315 nm), que resulta perjudicial para los seres humanos, ya que puede provocar quemaduras cutáneas y daño directo al ADN celular; y longitud de onda corta (UV-C, 200–280 nm), que es absorbida por el ADN y ARN de los microorganismos, provocando su inactivación.

Esta última región es de particular interés en el procesamiento de alimentos debido a su efecto germicida.

Figura 1.1: Espectro de radiación electromagnética

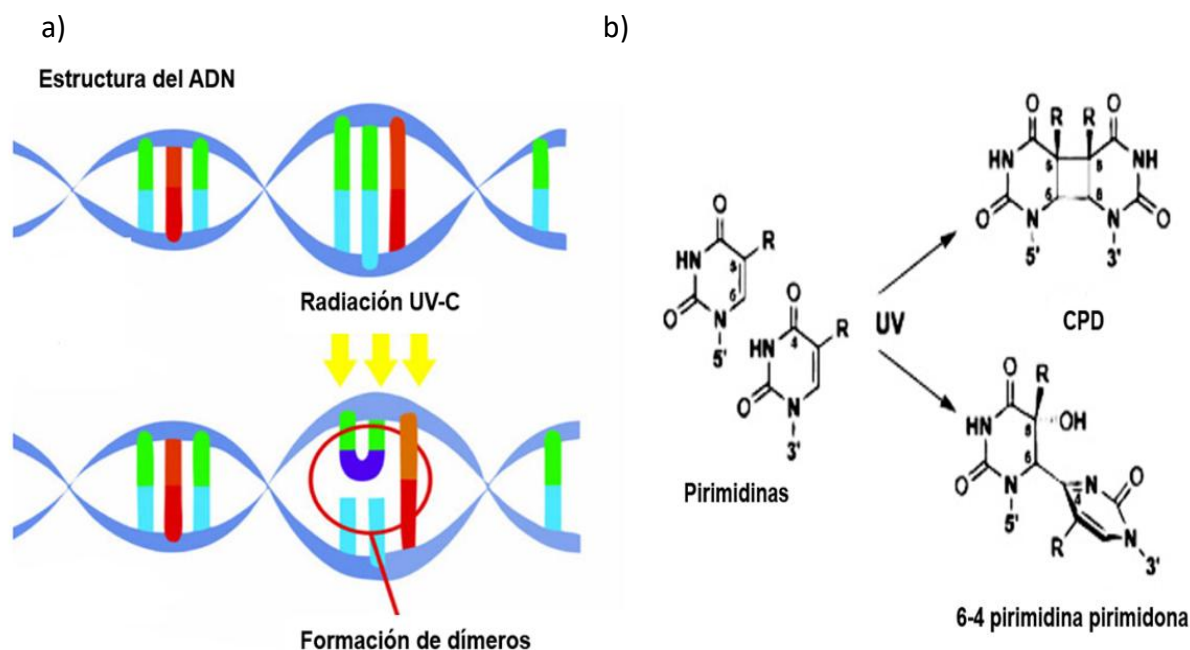


En comparación con otras tecnologías basadas en luz, como la luz pulsada (PL, 170 a 1000 nm) o los diodos emisores de luz (LED, 255 a 405 nm), la luz UV-C implica el uso de niveles bajos de energía, en el rango espectral de 200 a 280 nm con un pico en 253,7 nm, que es la longitud de onda principal de emisión de una lámpara UV de baja presión (Bolton, 2020). En particular, la luz ultravioleta de onda corta (UV-C, 254 nm) es uno de los procesos no térmicos que ha ganado relevancia en la descontaminación superficial de alimentos y más recientemente en la preservación de los mismos (Kamilla y col., 2024; Guerrero y col., 2025). Este método ofrece ventajas debido a su bajo costo de implementación y mantenimiento, su seguridad, la ausencia de residuos y su compatibilidad ambiental (Kaya y Unluturk, 2016). Desde 2001, cuenta con la aprobación de la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA) para la esterilización de agua y como alternativa a la pasteurización térmica en jugos claros de frutas, ya que reduce patógenos y otros microorganismos. La FDA establece que este tratamiento debe llevarse a cabo en condiciones de flujo turbulento, utilizando un conducto transparente con un número de Reynolds mínimo de 2200 y lámparas de mercurio de baja presión que emitan al menos un 90% de luz UV en 253,7 nm (FDA, 2019). Diversos estudios han reportado resultados significativos referidos a la efectividad de la luz UV-C en distintas matrices, como leche y derivados lácteos (Gunter-Ward y col., 2018; Vásquez-Mazo y col., 2019), agua de coco (Ochoa-Velasco col., 2018; Yannam y col., 2020), jugos de frutas (Tremarin y col., 2017b; Fundo y col., 2019; Barut Gök, 2021a) y jugos vegetales (Demir y col., 2019; Riganakos y col., 2017). Por otro lado, el Comité Asesor Nacional sobre Criterios Microbiológicos para Alimentos (NACMCF, por sus siglas en inglés) en 2006 (NACMCF, 2006), aprobó la luz UV-C y sus combinaciones con factores tradicionales o emergentes como métodos alternativos a la pasteurización tradicional. Sin embargo, la Unión Europea (UE) considera que la tecnología UV-C es un proceso de irradiación, por lo cual no posee una legislación armonizada y debe ser aprobada para cada producto (Guerrero y col., 2022).

1.3.3.1 Efecto germicida de la luz UV-C

La acción germicida de la luz UV-C se basa en su capacidad para alterar el ADN/ARN en las células microbianas, alterando el metabolismo y la reproducción celular y, en última instancia, provocando la muerte celular. La causa principal del daño es la formación de dímeros entre las moléculas de nucleótidos de pirimidina en la cadena de ácidos nucleicos (CPDs) (Baysal, 2018), y también se forman los foto-productos de 6-4 pirimidin-pirimidona (6-4 PP) (**Figura 1.2**). La fotooxidación por UV puede afectar a otros componentes biológicos además del ADN, como lípidos, esteroides y proteínas. Debido a la cantidad y presencia de cromóforos endógenos dentro de sus estructuras, las proteínas son objetivos celulares importantes para la fotooxidación. La mayoría del daño a las proteínas inducido por los rayos UV se produce indirectamente a través de la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) en presencia de oxígeno (Marasini y col., 2021). A pesar del daño al ácido nucleico causado por la luz UV, las células microbianas pueden activar mecanismos enzimáticos de reparación, como la fotorreactivación y la reparación en oscuridad, que les permiten restaurarse y potencialmente recuperar su capacidad infecciosa (Koutchma, 2019). Estos mecanismos limitan la eficacia de la tecnología UV-C para la preservación de alimentos, lo cual puede comprometer la seguridad de los productos.

Figura 1.2 a) Daño al ADN microbiano provocado por la luz UV-C mediante la generación de dímeros de timina (adaptado de Baysal, 2018). **b)** formación de los dímeros ciclobutano pirimidina (CPDs) y de 6-4 pirimidina-pirimidona (6-4 PP) por acción de la luz UV (adaptado de Mitchell y Nairn, 1989).



1.3.3.2 Susceptibilidad de los microorganismos a la luz UV-C

La susceptibilidad de los microorganismos al tratamiento con UV-C varía considerablemente según sus características estructurales, como la composición de la pared celular, la presencia de pigmentos protectores, el estado fisiológico del microorganismo y su capacidad de reparar el ADN (Yemmireddy y col., 2022). En general, los hongos y levaduras presentan mayor resistencia que las bacterias (Gabriel, 2012). El menor tamaño de las células bacterianas respecto de las levaduras podría favorecer la penetración del haz de luz, alcanzando un mayor número de células y, por ende, absorbiendo más fotones. Además, las bacterias poseen una mayor proporción de pirimidinas en su ADN que las levaduras, lo que facilita la generación de dímeros y la mutagénesis (Pala y Toklucu, 2013). En resumen, se puede establecer que, las bacterias Gram-negativas son más sensibles a la radiación UV-C que las Gram-positivas, las levaduras, las bacterias formadoras de esporas y los virus, siendo estos últimos los más resistentes (Koutchma, 2014).

La reparación del material genético en los microorganismos puede llevarse a cabo mediante mecanismos dependientes de la luz o en ausencia total de esta. El mecanismo que involucra la exposición a luz visible se conoce como foto-reparación o fotorreactivación, y requiere radiación en el rango de 330-430 nm del espectro electromagnético (Hu y col., 2012). Este proceso se produce a través de la acción de la enzima fotoliasa, que se activa en la región del ultravioleta cercano o del azul-violeta, y es capaz de romper los dímeros de bases nucleotídicas adyacentes, como los dímeros de pirimidina o purina, formados tras la exposición a la radiación ultravioleta. La existencia de este mecanismo debe considerarse seriamente en el procesamiento de alimentos, dado que muchos productos se envasan en materiales transparentes y quedan expuestos a la luz visible. En particular, en alimentos tratados con radiación UV-C, la activación de la foto-reparación podría comprometer la efectividad del tratamiento. Por ello, se recomienda almacenar los productos protegidos de la luz y bajo condiciones de refrigeración (Guerrero-Beltrán y Barbosa-Cánovas, 2004).

Además, los microorganismos presentan mecanismos de restauración del ADN que operan en completa oscuridad y no dependen de la actividad de la fotoliasa. Estos procesos no son exclusivos para el daño causado por radiación ultravioleta y contribuyen a prevenir la aparición de eventos mutagénicos en las células (Guerrero-Beltrán y Barbosa-Cánovas, 2004).

1.3.3.3 Definición de las dosis UV-C involucradas

La correcta identificación de las dosis de UV-C es fundamental para establecer la eficacia del procesamiento UV-C en la inactivación microbiana. Sin embargo, en la literatura actual se observa una considerable confusión en cuanto a los tipos y denominaciones de las dosis, lo que a menudo dificulta la comparación de los datos experimentales. Es importante, además, distinguir claramente entre los conceptos de energía, dosis y fluencia. En este contexto, la Asociación Internacional de Ultravioleta (IUVA, por sus siglas en inglés) define la dosis de UV como la cantidad de irradiación UV absorbida por una población expuesta, expresada en mJ/cm^2 . Asimismo, la fluencia UV, que representa la energía radiante total incidente en una esfera infinitesimal (como una célula o un compuesto), ha sido definida por la IUVA como un término más preciso que

el comúnmente utilizado "dosis UV". Para lograr una caracterización completa del tratamiento con UV-C, como se ilustra en la **Tabla 1.2**, es necesario definir cuatro tipos distintos de dosis.

Primero, es posible calcular la fluencia *UV-C incidente* (**H_i** , J/m²), que representa la energía que llega a la superficie del producto y depende de la irradiancia incidente (I_0 , W/cm²), medida con un radiómetro situado a una distancia específica de la fuente de luz. Esta medición debe verificarse de manera periódica para asegurar la consistencia durante la vida útil de la lámpara. La **H_i** es comúnmente la dosis reportada para operaciones discontinuas, ya que es una medida que no depende de las características de la matriz alimentaria en tratamiento.

Por otro lado, la fluencia absorbida (**H_r** , mJ/cm²) se define como aquella influenciada tanto por las características de la matriz en estudio como por el diseño del reactor, y puede calcularse en función del tiempo de exposición. Este valor representa la cantidad total de energía UV absorbida y dispersada por los componentes del fluido en tratamiento. La **H_r** se reporta tanto en operaciones batch como continuas, ya que depende de las propiedades de la matriz, tales como el porcentaje de transmitancia (% UVT) y coeficiente de absortividad (α), y puede determinarse de acuerdo al tiempo de exposición (t).

Finalmente, la fluencia UV entregada o germicida (**H_d**) representa la energía restante que no se absorbe y se entrega a la matriz que se está tratando. La luz UV que ha sido absorbida por una solución dada no está disponible para la inactivación microbiana. Esta dosis se puede estimar mediante la técnica de actinometría, utilizando pares químicos adecuados (p.e. yoduro/yodato) que al ser expuestos a luz UV reaccionan, formando un compuesto coloreado permitiendo cuantificar la energía de la luz UV irradiada a través de la generación de la reacción fotoquímica. El método actinométrico resulta ventajoso por su bajo costo y por no necesitar de calibraciones periódicas con respecto a un estándar.

A su vez, para estimar la fluencia entregada o germicida (**H_d**), se sugiere el uso de biodosimetría. El enfoque biodosimétrico involucra determinar la resistencia microbiana a un dado procesamiento UV-C. Normalmente, se determina la tasa de inactivación UV-C necesaria para lograr una reducción de 1 logaritmo, D_{10} UV (dosis UV de reducción decimal), en cada tipo de fluido. De este modo, para un microorganismo

dado en una determinada matriz alimentaria, se podrá calcular la dosis de reducción equivalente (RED, del inglés Reduction equivalent UV dose) que será el valor de D_{10} multiplicado por los ciclos logarítmicos reducidos exigidos por la FDA. De acuerdo con la bibliografía reportada, para patógenos se exigirán 5 reducciones logarítmicas en alimentos y bebidas, y 7 ciclos logarítmicos en huevo líquido (Koutchma y col. 2016).

Tabla 1.2: Dosis involucradas en el procesamiento UV-C (adaptada de Guerrero y col., 2025)

Denominación	Definición	Formula ¹	Observaciones
Energía UV total aplicada/dosis/fluencia (E_{UVC})	Energía total	$E_{UVC} = \frac{P_{UV}}{A} \cdot t$	Depende principalmente de la potencia y la eficiencia de la lámpara. La más comúnmente reportada
Dosis UV incidente/fluencia incidente (H_i)	Energía incidente en la superficie del producto	$H_i = I_0 \cdot t$	Medido en la superficie del producto. Operaciones UV batch. Independiente de las características de la matriz.
Dosis de UV absorbida/fluencia (H_r)	Energía total absorbida por los componentes del fluido	$H_r = I_r \cdot t$ $I_r = I \frac{r}{r_0} \exp^{\alpha \cdot (r-r_0)}$	La penetración de la luz disminuye con α y r . Los fluidos con alto α y, por lo tanto, bajo porcentaje de UVT tendrán valores altos de H_r Operaciones de flujo continuo y batch
Fluencia UV entregada o germicida (H_d)	Energía restante (no absorbida por los componentes del fluido)	Determinada experimentalmente	Energía restante (no absorbida), que está disponible para la inactivación microbiana. Generalmente determinada por actinometría y biodosimetría

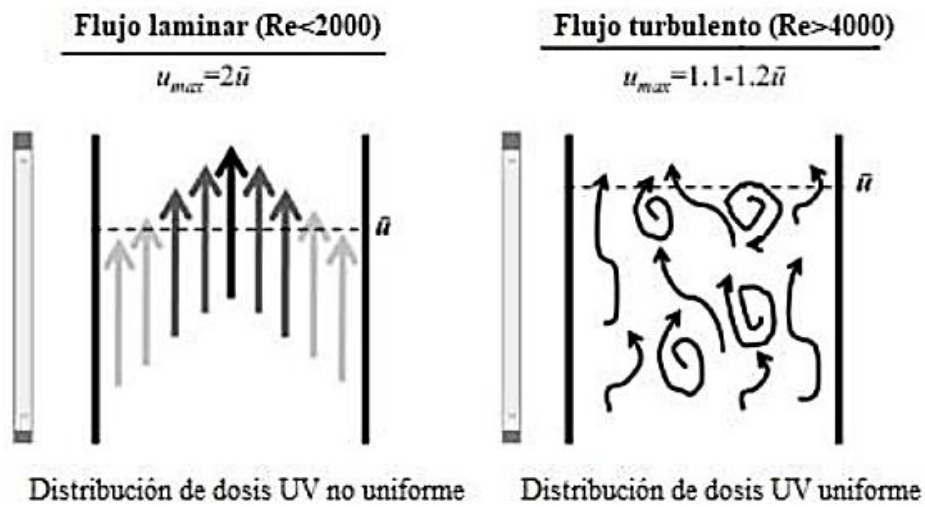
¹ P_{UV} , potencia total de salida de la fuente de luz UV (W) ; A , área de contacto (cm²); t , tiempo de exposición (s); I_0 , irradiancia incidente a una distancia determinada de la lámpara UV (W/cm²) ; I_r , irradiancia absorbida o tasa de fluencia (W/cm²); α , coeficiente de absorción del fluido (cm⁻¹); r , distancia radial (cm) desde un punto dado hasta el centro de la lámpara; r_0 , radio de la lámpara (cm)

1.3.3.4 Equipos de procesamiento basados en el uso de luz UV-C

Existen diversos equipos para el tratamiento de alimentos con luz UV-C, cuyo diseño varía según el tipo de alimento, ya sea sólido o líquido, y según la escala de trabajo, además del modo de operación, que puede ser discontinuo o continuo. Los primeros dispositivos implementados empleaban flujo laminar, un tipo de flujo en el que el fluido se desplaza de manera uniforme y continua a través del sistema, con un perfil de velocidades parabólicas. En un reactor UV laminar, los microorganismos no son todos introducidos al mismo tiempo, ni lo abandonan al mismo tiempo debido a la diferencia en velocidades dentro del reactor, por lo que no todos reciben la misma dosis UV (procesamiento no uniforme). Para mitigar este inconveniente, se proponen soluciones como la recirculación del fluido, que mejoran la exposición al UV (Kaya y Unluturk, 2016; Ferrario y col., 2018), o la incorporación de elementos que promuevan una mezcla adecuada. Un ejemplo reciente es la introducción de guías en un reactor de flujo anular para luz UV-C, diseñadas para dirigir el flujo laminar (Hirt y col., 2022a).

Por otro lado, el mecanismo de flujo turbulento se ha propuesto en una amplia variedad de diseños de reactores UV-C, ya que permite una distribución más uniforme de la dosis UV-C, logrando un contacto más cercano entre la luz UV-C y los componentes del producto durante el tratamiento. Los reactores de flujo turbulento emplean mayores velocidades de flujo para inducir turbulencia dentro del reactor UV, lo que incrementa la inactivación microbiana (Hirt y col., 2022b). Dado que los perfiles de los regímenes laminar y turbulento son diferentes (**Fig.1.3**), un flujo tipo pistón puro, en el que cada elemento del líquido permanece en el reactor el mismo tiempo y cada célula microbiana recibe una dosis UV equivalente, sería un diseño ideal para unidades de tratamiento con luz UV (Koutchma, 2019). Existen también diseños innovadores, como los reactores **Taylor-Couette**, que permiten una mezcla eficiente tanto axial como radial gracias a la rotación de un cilindro interno (Schrimpf y col., 2021), o los sistemas de tubos enrollados, que generan vórtices secundarios que mejoran la mezcla turbulenta y la distribución del tiempo de residencia (Barut Gök, 2021b; Guerrero y col., 2022).

Figura 1.3. Patrones de flujo en reactores de luz UV-C (adaptado de Koutchma, 2009).



En cuanto a los dispositivos comerciales, la industria ha experimentado un notable avance gracias a la aprobación del uso de esta tecnología para la descontaminación de agua y líquidos claros. Como se puede visualizar en la **Figura 1.4** existen dispositivos validados para el tratamiento de alimentos líquidos, como el reactor **CiderSure** (flujo laminar de película delgada; FPE Inc., Macedon, NY, EE. UU.), el módulo **Salcor** (tubo enrollado con vórtices Dean y flujo turbulento; CA, EE. UU.), la unidad UV enrollada **Asepto Ray** (Israel) y el sistema UV **SurePure** (película delgada, flujo turbulento; SurePure Inc., Zug, Suiza) (Koutchma, 2019). Estos dispositivos cumplen con las regulaciones de la FDA (FDA, 2000), siendo empleados principalmente en el tratamiento de alimentos y bebidas líquidas.

Figura 1.4: Dispositivos comerciales UV para el tratamiento de alimentos líquidos y bebidas: CiderSure, Salcor y SurePure (Koutchma, 2019); Asepto Ray (Biancaniello y col., 2018). Imágenes adaptadas de 1) <https://headwaterfpe.com/products>; 2) <https://et.nz/salcor-uv-disinfection-unit>; 3) https://surepure.net/sure_pure_technology.html; 4) <https://www.aseptoray.com/our-products/>.



CiderSure¹ (FPE Inc.; Macedon, NY, EE.UU)

Salcor² (Salcor Inc., Fallbrook, CA, EE. UU)



SurePure³ (SurePure Inc.; Zug, Switzerland)

Asepto Ray⁴ (MGT Industries Ltd. Ma'alot-Tarshiha, Israel)



También existe una amplia variedad para el procesamiento de alimentos sólidos. Un ejemplo son los túneles equipados con 16 lámparas UV-C distribuidas a lo largo de la cinta transportadora (**Figura 1.5**), lo que posibilita la esterilización de productos como huevos, mariscos, lácteos, frutas y verduras (Henan Belyoo Machinery Co., Ltd, Zhengzhou, Henan, China).

Figura 1.5: Túnel de esterilización UV-C para superficies de alimentos sólidos



1.3.3.5 Ventajas y limitaciones de la aplicación de luz UV-C

El tratamiento con luz ultravioleta de onda corta (UV-C) presenta múltiples ventajas, entre las que se destaca su eficacia para la inactivación de microorganismos patógenos y deteriorativos, su imagen positiva ante los consumidores, su menor costo de instalación, mantenimiento y su bajo consumo energético en comparación con otras tecnologías emergentes como las altas presiones hidrostáticas (HPP) o los campos eléctricos pulsados (PEF) (Delorme y col., 2020). Además, se trata de una tecnología limpia, que no genera residuos químicos ni radioactividad residual, y presenta la posibilidad de operar tanto en modo discontinuo como continuo (la HPP solo admite operaciones por lotes), y de realizar el llenado después del tratamiento, lo cual facilita la integración en línea del proceso (el llenado de los envases se realiza antes del tratamiento por HPP) (Koutchma, 2019, Guerrero y col., 2025).

Otra ventaja clave de la tecnología UV-C es su carácter no térmico, lo cual permite preservar mejor las propiedades sensoriales y nutricionales de alimentos sensibles al calor, como los jugos frutihortícolas. A diferencia de los tratamientos térmicos convencionales, el uso de la luz UV-C evita pérdidas significativas de

compuestos volátiles, vitaminas y pigmentos, manteniendo así la calidad del producto fresco (Gopisetty y col., 2018).

Sin embargo, su aplicación en matrices alimentarias líquidas que son complejas desde el punto de vista óptico presenta ciertas limitaciones. La efectividad de la inactivación microbiana depende de múltiples factores, entre ellos: la dosis aplicada, la configuración del reactor, la disposición y potencia de las lámparas UV, la longitud del trayecto óptico y, fundamentalmente, las características de la matriz líquida que limitan o impiden el paso del haz de luz (Shah y col., 2016).

Es importante señalar que, a medida que la luz UV-C se propaga a través de una matriz, interactúa con los sólidos y partículas que la componen mediante diferentes fenómenos como la absorción, reflexión, refracción y dispersión. Cada uno de estos eventos influye en la intensidad y longitud de onda de la luz UV-C que llega a los microorganismos o compuestos químicos del líquido objetivo (Koutchma, 2019). Por lo tanto, la presencia de sólidos suspendidos, partículas, elevada turbidez, color intenso o alta carga microbiana inicial en los jugos puede reducir significativamente la transmitancia de la luz UV-C y, en consecuencia, limitar su eficiencia (Franz y col., 2009; Antonio-Gutiérrez y col., 2019). Además, se debe considerar la posible reparación de los efectos germicidas del UV-C en los microorganismos mediante los mecanismos ya mencionados.

Para alcanzar resultados exitosos en el procesamiento de alimentos líquidos mediante luz UV-C, resulta fundamental comprender cómo la radiación absorbida se ve afectada por factores como el coeficiente de absorción de la matriz líquida y la interferencia generada por las partículas, los sólidos solubles y en suspensión. Como se mencionó anteriormente, la composición del alimento líquido, incluyendo el contenido de sólidos, el color y las propiedades químicas, influye directamente sobre este coeficiente, condicionando así la eficacia del proceso de inactivación microbiana (Woll y col., 2024). En el caso particular de los jugos frutihortícolas, cuya turbidez, nivel de sólidos solubles, pH y viscosidad pueden variar ampliamente, se requieren estrategias específicas para optimizar la aplicación del tratamiento UV-C. Además, los sólidos suspendidos no solo dispersan la radiación UV-C, reduciendo su intensidad efectiva, sino que también pueden favorecer la adhesión de microorganismos a las partículas presentes en el medio (Belbahi y col., 2023).

En función de los aspectos mencionados, la aplicación de luz UV-C ha mostrado mejores resultados en bebidas claras, mientras que su eficacia en matrices más complejas puede verse comprometida (Guerrero y col., 2022 y 2025). En estos casos, con el fin de lograr una inactivación microbiana adecuada y conservar las propiedades nutricionales y sensoriales, se ha propuesto la asistencia al UV-C con otras tecnologías de conservación (La Cava y Sgroppo, 2019; Kaya y Unluturk, 2019; Vásquez-Mazo y col., 2019).

1.3.4 Tecnologías emergentes de preservación asistidas

En los últimos 30 años, tanto la academia como la industria han trabajado en el desarrollo e implementación de tecnologías de procesamiento no térmico, con el principal objetivo de sustituir el tratamiento térmico convencional utilizado en alimentos y bebidas. Este enfoque busca reducir el deterioro de la calidad de los productos causado por las altas temperaturas del proceso térmico, al mismo tiempo que promueve tecnologías con menor impacto ambiental.

Uno de los principales desafíos de las tecnologías no térmicas es lograr una inactivación microbiana comparable a la del tratamiento térmico. En muchos casos, estas tecnologías requieren la cooperación o inclusión de otras técnicas, ya sean tradicionales, como el ajuste de pH o el uso de temperaturas moderadas, o emergentes, como la adición de aditivos naturales. Además, se contempla el diseño de procesos asistidos, los cuales pueden aplicarse de forma secuencial o simultánea, mostrando una efectividad variable dependiendo de las condiciones (Guerrero y col., 2022).

El éxito en la implementación de las tecnologías asistidas radica en comprender cómo los diferentes factores de estrés afectan a las células microbianas, lo cual permite la creación de combinaciones eficientes de los mismos (Wen y col., 2019). Este enfoque busca seleccionar y combinar factores o barreras de conservación, o bien complementar una tecnología primaria con otro factor, asegurando la estabilidad y seguridad microbiológica del producto, sin comprometer sus características organolépticas, nutricionales y sensoriales, o incluso mejorándolas (La Cava y Sgroppo, 2019). Algunos de los casos de asistencias efectivas de tecnologías emergentes de preservación de derivados frutales, podemos mencionar la aplicación en simultaneo de temperaturas

moderadas (50-60°C) con luz UV-C en jugo de zanahoria (Gouma y col., 2020), la aplicación de ultrasonido con luz pulsada para el tratamiento de jugo de manzana (Ferrario y col., 2015), la aplicación de luz ultravioleta y nisina para la inactivación microbiana en jugo de naranja (Varela Ferreira y col., 2020), el uso de luz ultravioleta con calentamiento óhmico para inactivar patógenos en jugo de tomate (Kim y col., 2019), entre otras.

En los alimentos conservados mediante factores asistidos, la homeostasis de los microorganismos vegetativos y las esporas se ve alterada al aplicar factores no letales, lo que reduce la severidad de los tratamientos. Para las células vegetativas, se puede disminuir la disponibilidad de energía reduciendo el oxígeno, limitando los nutrientes o bajando la temperatura, mientras que la demanda energética se incrementa al reducir el pH, la actividad del agua o al incorporar moléculas activas que atraviesan las membranas microbianas. Para las esporas, el objetivo es dañar estructuras clave mediante el uso de sustancias químicas, enzimas, estresores físicos o induciendo la germinación. La selección de los factores de estrés adecuados es un aspecto complejo, ya que las interacciones entre ellos pueden tener efectos "aditivos", "sinérgicos" o "antagónicos", lo que representa la suma, más que la suma, significativamente más que la suma o menos que la suma de los efectos individuales (Guerrero y col., 2022). Además, la incorporación de un factor de estrés específico puede resultar ineficaz y no contribuir a la inactivación (Abdullahi y Abba Dandago, 2020).

El concepto de barrera se ha expandido para abarcar no solo la interferencia en la homeostasis dentro del mismo microorganismo, sino también la aplicación selectiva de factores de conservación que son efectivos contra organismos o grupos microbianos específicos. Investigaciones recientes han destacado el uso de este concepto en la optimización de tecnologías tradicionales, el desarrollo de nuevos productos y como medida de seguridad adicional para garantizar la calidad microbiológica de los alimentos mínimamente procesados (García Carrillo y col., 2017; Wang y Wu, 2023).

1.4 Microbiología predictiva como herramienta para la seguridad de alimentos

La seguridad alimentaria se ha convertido en un tema prioritario en las últimas décadas, tanto por su impacto en la salud pública y la economía, como por la creciente

preocupación manifestada por consumidores, minoristas y todos los actores de la cadena de producción y procesamiento de alimentos. En paralelo, la demanda de productos más saludables, mínimamente procesados y libres de conservantes o aditivos artificiales plantea nuevos desafíos para el diseño y control de nuevos procesos tecnológicos. Por ello, para elaborar alimentos mínimamente procesados que sean seguros, resulta recomendable adoptar una perspectiva de **ingeniería de seguridad alimentaria**, la cual implica un abordaje multidisciplinario. Es decir, el uso de ciertas herramientas aplicadas para comprender mejor la respuesta microbiana a los diferentes estreses y, en consecuencia, optimizar el diseño del producto/proceso. Como ejemplo, estas herramientas pueden incluir el estudio del comportamiento de la inactivación microbiana mediante microbiología predictiva, dinámicas de crecimiento durante el almacenamiento del producto y un conocimiento general de los mecanismos de daño microbiano a través de diferentes herramientas como citometría de flujo, microscopía electrónica de transmisión (TEM), etc. (López-Gómez y col., 2009).

La **microbiología predictiva**, se ha consolidado como una herramienta clave para la gestión de riesgos microbiológicos en alimentos, ya que permite modelar fenómenos como el crecimiento, la inactivación o la producción de toxinas, en función de variables como la temperatura, el pH o la actividad de agua (Bazin y col., 2018). Surgido como una respuesta al enfoque tradicional de control de calidad basado exclusivamente en el producto final, lento, costoso y limitado, este método ha demostrado ser más eficiente y proactivo (Mahdinia y col., 2020).

A diferencia de los métodos clásicos, que se centran en observar lo que ocurre una vez finalizado el proceso, la microbiología predictiva permite anticipar el comportamiento microbiano y tomar decisiones más acertadas durante la formulación, el procesamiento y el almacenamiento. No obstante, la calidad y representatividad de los datos empleados en los modelos son determinantes para lograr predicciones confiables (Allende y col., 2022). Uno de los principales desafíos en este campo radica en la integración y compatibilización de datos provenientes de múltiples fuentes, como diferentes lotes de producción o tecnologías de conservación, lo cual resulta clave para definir políticas efectivas en materia de inocuidad alimentaria (Koutsoumanis y col., 2016). La capacidad de predecir con precisión el comportamiento microbiano tiene aplicaciones concretas en sistemas de evaluación de riesgos, como el Análisis de Peligros

y Puntos Críticos de Control (HACCP), al permitir estimar la vida útil de los productos, optimizar los estándares higiénicos en el procesamiento y la distribución, e identificar posibles riesgos asociados a desviaciones en las condiciones operativas (Chen y col., 2022).

Los modelos más avanzados no solo se limitan a describir curvas de inactivación microbiana, sino que también permiten analizar las distribuciones poblacionales asociadas a este proceso. A diferencia de los enfoques más antiguos, que asumían que todas las células de una población presentan un grado uniforme de resistencia térmica y que la inactivación depende exclusivamente de la alteración de un único sitio crítico, los modelos actuales reconocen la existencia de variaciones fenotípicas entre las células. Según los primeros modelos, se asumía homogeneidad en la respuesta al estrés, lo que se reflejaba en curvas lineales de disminución logarítmica de la población celular en función del tiempo de tratamiento, siempre que la intensidad del mismo se mantuviera constante. En contraste, los enfoques modernos consideran que la heterogeneidad fenotípica dentro de las poblaciones celulares es responsable de las curvas de supervivencia no lineales observadas en diversos escenarios. Para representar adecuadamente esta dinámica, se emplean modelos que integran distribuciones como la logística, gamma o de Weibull, entre otras (Stavropoulou y Bezirtzoglou, 2019).

1.4.1 Clasificación de los modelos matemáticos de predicción

Existen diversos enfoques para clasificar los modelos predictivos, entre los cuales se destaca una categorización en modelos de crecimiento y modelos de inactivación o supervivencia. Cada una de estas categorías se subdivide, a su vez, en modelos primarios, secundarios y terciarios (Taiwo y col., 2024).

Los modelos primarios se utilizan para describir los cambios en la respuesta microbiana a lo largo del tiempo en condiciones ambientales específicas. Estos modelos permiten cuantificar variables como unidades formadoras de colonias por mililitro o gramo, niveles de toxinas, sustratos o productos metabólicos (medidas directas del crecimiento), así como absorbancia e impedancia (medidas indirectas de la respuesta). Una vez obtenida la curva de crecimiento o inactivación, se ajusta mediante ecuaciones matemáticas que describen cómo varía la respuesta en función del tiempo. Entre los

ejemplos de modelos primarios se encuentra el modelo log-lineal, que asume que todas las células de una población tienen la misma sensibilidad, resultando en curvas de supervivencia lineales. Sin embargo, otros modelos consideran la existencia de subpoblaciones con diferentes niveles de resistencia dentro de una misma población, lo que permite ajustar curvas de inactivación no lineales. Por ejemplo, el modelo de Cerf ajusta curvas bifásicas con comportamiento log-lineal, mientras que el modelo de Coroller, más versátil, contempla diversas formas de curvas de supervivencia (Coroller y col., 2006; Rowan y col., 2015). Adicionalmente, algunos modelos integran distribuciones de frecuencias, como el modelo de Weibull, que emplea la función acumulativa de probabilidad para describir las resistencias microbianas individuales a un tratamiento (Geeraerd y col., 2005).

Los modelos secundarios analizan cómo los parámetros de los modelos primarios responden a variaciones en factores ambientales como temperatura, pH o actividad de agua (a_w). Entre los modelos más comunes se encuentran el modelo de Arrhenius y el modelo de raíz cuadrada (Bělehrádek), que explican la dependencia de la temperatura, y los modelos polinómicos.

Por su parte, los modelos terciarios corresponden a rutinas computacionales que integran modelos primarios y secundarios en herramientas interactivas. Estas herramientas permiten simular respuestas microbianas bajo condiciones no previamente evaluadas, comparar distintos escenarios ambientales y microorganismos, y definir el microorganismo objetivo en procesos específicos de formulación y procesamiento de alimentos. Ejemplos destacados de modelos terciarios son el "USDA Pathogen Modeling Program," desarrollado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y disponible de forma gratuita en línea (<http://www.arserrc.gov>), y el "Food Micromodel," respaldado por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación del Reino Unido.

En microbiología predictiva, las tendencias actuales han seguido principalmente dos enfoques. Por un lado, los modelos cinéticos, que se centran en modelar y predecir parámetros clave relacionados con el crecimiento o la inactivación microbiana, como la duración de la fase lag, la velocidad de crecimiento o inactivación, y el límite máximo alcanzado. Por otro lado, los modelos probabilísticos están diseñados para estimar la probabilidad de que ocurra un evento específico, aunque no brindan información sobre

la velocidad a la que se desarrolla. Estos modelos permiten predecir situaciones como la germinación de esporas bacterianas o la producción de toxinas tras un período fijo de incubación.

1.4.2 Validación del modelado matemático

Los modelos generales para el crecimiento o la inactivación microbiana suelen derivarse de ensayos realizados en medios de laboratorio bajo condiciones controladas. Una vez recopilados suficientes datos experimentales y aplicados los modelos primarios y secundarios, resulta esencial verificar la exactitud de estas aproximaciones utilizando nuevos datos y combinaciones de factores. Para ello, existen pruebas complementarias y métodos gráficos que permiten validar internamente el modelo seleccionado. Estas herramientas ofrecen una estimación de la calidad del ajuste e identifican la necesidad y ubicación de datos adicionales (Tarlak, 2023).

La validación también requiere un segundo paso: comparar las predicciones del modelo con el comportamiento real de los microorganismos en los alimentos. Este proceso permite identificar las limitaciones del modelo y, en caso de que un alimento específico no sea descrito con precisión, señala los factores adicionales que deben incluirse para mejorar su aplicabilidad.

Cabe destacar que la mayoría de los modelos desarrollados hasta el momento se basan en datos obtenidos en medios de laboratorio. Por lo tanto, no consideran dos aspectos clave:

- a) El papel de la matriz alimentaria, que puede aportar factores inhibitorios adicionales o interactuar con los factores de estrés aplicados, reduciendo su efectividad como antimicrobianos.
- b) La influencia de la microbiota competitiva.

En consecuencia, los modelos no pueden utilizarse con total confianza para realizar predicciones en alimentos hasta que se complete su proceso de validación.

1.4.3 Limitaciones del modelado matemático

- **Limitaciones estadísticas:** En condiciones marginales de crecimiento, la variabilidad entre los replicados tiende a incrementarse. Para homogeneizar estas variaciones, se emplean transformaciones matemáticas, como la transformación logarítmica de los parámetros en función del tiempo. Este enfoque genera valores que se ajustan con mayor precisión a una distribución normal, en comparación con datos sin transformar (Whiting, 1995).
- **Limitaciones biológicas:** Es fundamental delimitar claramente el alcance del modelo, especificando los microorganismos para los que es aplicable, los factores considerados, los rangos de cada factor y las combinaciones que producen respuestas válidas. La presencia de factores inhibitorios adicionales en el alimento, que no se incluyeron durante la construcción del modelo, puede invalidar sus predicciones, lo que exige una interpretación cuidadosa de los resultados.

Además, muchos modelos predictivos no contemplan ciertos aspectos relevantes, como el efecto del anión presente en el acidulante o el antimicrobiano, el impacto de humectantes distintos al cloruro de sodio en la disminución del a_w , o la influencia de la microbiota competitiva. Estas omisiones pueden limitar la aplicabilidad del modelo al transferirlo desde medios de laboratorio a matrices alimentarias reales.

1.5 Evaluación de la calidad en jugos frutales procesados

1.5.1 Contenido de compuestos bioactivos

Los cítricos destacan como una fuente rica en fitoquímicos, compuestos bioactivos que desempeñan un rol fundamental en la promoción de la salud humana. La evidencia epidemiológica respalda que el consumo regular de alimentos con alto contenido de compuestos fenólicos contribuye a la prevención de enfermedades cardiovasculares, ciertos tipos de cáncer, infecciones micóticas y procesos inflamatorios. En las plantas, estos metabolitos secundarios actúan como mecanismos de defensa frente a factores ambientales adversos, mientras que, en productos derivados como los jugos cítricos, su presencia es considerada un indicador esencial de calidad.

El contenido de estos compuestos varía según la variedad y el estado de madurez de la fruta, así como las condiciones agroclimáticas durante su cultivo. Los fitoquímicos se distinguen por su capacidad para neutralizar radicales libres, lo que les confiere propiedades antioxidantes, además de su capacidad para modular actividades enzimáticas específicas (Rejeb y col., 2020). Entre las principales clases de fitoquímicos presentes en los cítricos se encuentran los fenoles, carotenoides, fitoestrógenos y sulfuros, siendo los flavonoides los más predominantes. Estos compuestos, mayoritariamente presentes como glucósidos, son responsables en gran medida de la actividad antioxidante atribuida a los cítricos.

1.5.2 Formación de 5-hidroximetil furfural

El 5-hidroximetilfurfural (HMF) es un compuesto formado durante diferentes tipos de procesamiento, incluido el tratamiento térmico, así como en el almacenamiento de alimentos ricos en azúcares, como jugos frutales, miel y productos derivados de cereales. Su formación se debe a la descomposición térmica de los azúcares, que puede ocurrir a través de diferentes rutas dependiendo de la presencia de aminoácidos y el pH del medio. En condiciones ácidas, comunes en los jugos cítricos, el compuesto HMF se genera principalmente por la deshidratación de azúcares como la fructosa, lo que produce intermediarios reactivos, incluidos los derivados furfúricos.

La presencia de HMF afecta la calidad sensorial de los productos, contribuyendo al pardeamiento no enzimático y la pérdida de compuestos bioactivos, como el ácido ascórbico, lo cual impacta negativamente en las propiedades organolépticas (Paravisini y Peterson, 2016). En jugos de frutas como el de naranja, se ha encontrado una relación directa entre el aumento de HMF y la intensidad del pardeamiento, lo que afecta tanto la calidad como la estabilidad del producto. Además, la formación de HMF se asocia con tratamientos térmicos excesivos y almacenamiento prolongado, lo que puede comprometer aún más la calidad de los alimentos. Desde una perspectiva toxicológica, el HMF ha sido objeto de varios estudios que han documentado efectos adversos en la salud. Su consumo excesivo puede provocar irritación en membranas mucosas, piel y sistema respiratorio, y se considera potencialmente mutagénico y carcinogénico (Zhang

y col., 2019; Adu y col., 2019). Estos hallazgos destacan la importancia de controlar la formación de HMF en alimentos procesados, especialmente aquellos sometidos a tratamientos térmicos prolongados.

Recientemente, algunos estudios han sugerido que el HMF puede ser utilizado como un marcador para evaluar la efectividad de los tratamientos de pasteurización en la industria de jugos, ya que niveles elevados de este compuesto pueden indicar sobrecalentamiento durante el procesamiento (Martins y col., 2022).

1.6 Subproductos frutales

Los subproductos frutales, comúnmente conocidos como ***snacks frutales***, comprenden una amplia gama de productos elaborados a partir de frutas frescas o de sus residuos. Estos se caracterizan por ofrecer conveniencia, buena aceptabilidad sensorial y un perfil nutricional atractivo. Entre ellos se incluyen barras de frutas, láminas o chips deshidratados, gomitas y gelatinas listas para consumir. En los últimos años, este tipo de productos ha cobrado creciente protagonismo debido a su versatilidad y a su alineación con las tendencias actuales de consumo, que priorizan alimentos saludables, prácticos y con un procesamiento mínimo.

De acuerdo con datos provistos por la empresa global de investigación de mercado *Euromonitor International* los snacks frutales se encuentran entre las categorías de mayor crecimiento dentro del segmento de alimentos envasados (Quash, 2024). Esta expansión está impulsada por la creciente demanda de opciones convenientes, especialmente entre consumidores jóvenes y padres que buscan alternativas saludables para sus hijos. A nivel global, se proyecta para estos productos una tasa de crecimiento anual compuesta del 7,9 % en los próximos años. Este comportamiento puede atribuirse a diversos factores, como el aumento del *consumo al paso* (“on the go”, en el habla inglesa) alineado con el actual estilo vertiginoso de vida, la preocupación por una alimentación equilibrada y la preferencia por productos libres de gluten, sin aditivos artificiales y con bajo contenido de azúcares. En este contexto, han surgido distintas estrategias de innovación orientadas a la valorización de frutas y subproductos frutales. Un ejemplo de ello es el caso de la empresa Tasu®, que lanzó en

el mercado mexicano una línea de chips elaborados exclusivamente con pulpa de fruta deshidratada, sin adición de azúcares ni conservantes (The Food Tech, 2022). En la misma línea, compañías como Van Drunen Farms® y Crispy Green Inc® comercializan frutas liofilizadas como alternativas naturales. En Argentina, el Grupo Arcor desarrolló la línea Natural Break, que incluye chips de manzana como opción saludable. Asimismo, emprendimientos locales como Fruch o Snat han surgido como propuestas innovadoras que aprovechan recursos regionales y técnicas de deshidratado para ofrecer productos sin aditivos ni azúcares añadidos.

Otro segmento de interés lo constituyen los productos gelificados, como gelatinas y gomitas, que tienen una elevada aceptación, especialmente entre el público infantil. Marcas como Welch's®, Mott's® han desarrollado gomitas elaboradas a base de puré de frutas, en combinaciones de sabores como arándano-açaí o pera-frutilla-manzana. Estas propuestas refuerzan la tendencia hacia alimentos más naturales y funcionales, utilizando frutas como ingrediente principal y posicionándose como snacks saludables dentro del mercado de productos dulces.

1.6.1 Geles dulces de consumo al paso

Como se indicó previamente, los geles dulces constituyen una categoría de snacks con amplia aceptación tanto a nivel nacional como internacional. Se estima que más del 60 % del consumo corresponde a niños y adolescentes de hasta 17 años, quienes priorizan atributos como el sabor dulce, el color llamativo y la facilidad de consumo. En adultos, en cambio, la preferencia por este tipo de productos está asociada a formulaciones funcionales, especialmente aquellas enriquecidas con vitaminas, minerales o ingredientes de origen natural. El atractivo de estos sistemas radica en su perfil sensorial y en su practicidad para el consumo fuera del hogar, en línea con el concepto ya mencionado de **“consumo al paso”**. Estos productos presentan diversidad en formato, textura, nivel de dulzor y diseño, lo que permite su adaptación a distintos segmentos de consumidores. A pesar de su popularidad global, los geles dulces tienen una presencia aún limitada en el mercado argentino. Una revisión de góndolas en supermercados y cadenas comerciales del país muestra que es más común encontrar

postres lácteos listos para consumir, mientras que la gelatina en polvo continúa siendo la presentación más instalada y reconocida por los consumidores locales. En contraste, en mercados extranjeros se observa una mayor oferta de productos listos para el consumo, con diversidad de marcas, formatos y perfiles nutricionales. Algunos ejemplos representativos pueden visualizarse en la **Figura 1.6**, donde se ilustran distintas presentaciones de geles frutales, como las desarrolladas por Sancor en Argentina (versiones regulares SHiMY y dietéticas Cormillot), por Vitalínea® (Grupo Danone) y Art® (Grupo LALA) en México, que ofrecen productos con o sin azúcar destinados a diferentes grupos etarios, y por marcas internacionales como Dole Wiggles® y Snack Pack® Juicy Gels, que han desarrollado propuestas a base de jugo de frutas, sin azúcares añadidos y utilizando combinaciones de hidrocoloides.

Figura 1.6: Ejemplos de marcas comerciales de gelatinas frutales e ingredientes característico



La formación de geles alimenticios está relacionada con el desarrollo de estructuras tridimensionales que presentan tanto características elásticas como viscosas. Un gel actúa como un intermedio entre sólidos y líquidos, mostrando comportamiento flexible similar a un sólido, pero también propiedades viscosas que permiten su deformación bajo aplicación de fuerza. Este balance entre propiedades mecánicas y reológicas es fundamental en alimentos como mermeladas, jaleas, confiterías y postres. Los biopolímeros comúnmente utilizados para la formación de geles son polisacáridos y proteínas, los cuales generalmente se obtienen de diversas plantas, animales o microorganismos (Einhorn-Stoll y Drusch, 2015). Los polisacáridos más utilizados son las gomas naturales, agar, carragenina, alginato, glucomanano, almidones y pectina. Entre las proteínas, la gelatina, la caseína, la proteína de suero, la proteína de soja, la proteína de huevo y la zeína son las más comúnmente utilizadas.

En el caso de los productos de confitería a base de frutas, estos suelen contener altos niveles de azúcar y como gelificante gelatina comestible, una proteína purificada de origen porcino, vacuno o pesquero. Sin embargo, la creciente demanda de consumidores con estilos de vida veganos o vegetarianos ha impulsado la búsqueda de alternativas a la gelatina, utilizando hidrocoloides de origen vegetal (Nepovinnykh y col., 2019). Además, la incorporación de productos bajos en azúcar o sin azúcar ha cobrado relevancia debido al impacto negativo del consumo excesivo de azúcar en la obesidad, la diabetes y otros problemas de salud (Esfahani y Goli, 2022). Esto plantea uno de los mayores desafíos para la industria: formular productos dulces que emulen el sabor y la textura deseados, reemplazando o reduciendo el contenido de azúcar (Saraiva y col., 2020).

La tendencia hacia ingredientes más naturales también ha estimulado la exploración de edulcorantes de alta intensidad y bajas calorías, preferentemente de origen vegetal (Goldfein y Slavin, 2015). No obstante, todavía no existe una alternativa que pueda sustituir completamente a la sacarosa, ya que esta no solo proporciona dulzura, sino que también mejora la textura, actúa como conservante y funciona como agente de volumen (Hutchings y col., 2019). Las propiedades funcionales de los edulcorantes varían según el producto y su composición, lo que presenta un desafío adicional para la industria alimentaria en el desarrollo de confituras gelificadas.

La comprensión detallada de las estructuras y propiedades texturales de los geles no solo permite replicar las características deseadas en productos tradicionales, sino también desarrollar alternativas innovadoras que respondan a las demandas actuales de los consumidores en pos de productos más saludables, pero aún indulgentes.

1.6.1.1 Ingredientes utilizados

1.6.1.1.1 Agentes gelificantes

Los agentes gelificantes cumplen un rol fundamental en la formulación de productos alimentarios debido a su capacidad para modificar la textura y la estructura de los sistemas alimenticios. Su función principal es la formación de geles, lo que proporciona cohesión y estabilidad a diversas matrices (Munir y col. 2022). En este contexto, los hidrocoloides se destacan por sus características estructurales, funcionales y texturales, actuando como espesantes, gelificantes y estabilizantes en emulsiones, suspensiones y espumas. Estos compuestos pueden obtenerse de diferentes fuentes. Algunos derivan de algas marinas, como los alginatos, el agar-agar y las carrageninas, cuya capacidad gelificante depende de la presencia de cationes específicos o de cambios en la temperatura. Otros provienen de semillas de plantas terrestres, como la goma guar, que se emplea principalmente como espesante. También existen hidrocoloides obtenidos de exudados de árboles, como la goma arábica y la goma tragacanto, utilizadas como estabilizantes y agentes de encapsulación. Además, algunos polisacáridos son sintetizados por microorganismos, entre ellos la goma xántica y la goma gellan, ampliamente empleadas por sus propiedades reológicas y de gelificación. Por otro lado, ciertos hidrocoloides resultan de modificaciones químicas de productos vegetales, como la pectina, cuyo comportamiento gelificante varía según el grado de metoxilación y el pH del medio (Bedui-Dergal, 2006; BeMiller, 2019).

El uso de estos agentes en la industria alimentaria es amplio, donde se emplean en productos que van desde postres gelificados hasta salsas, productos cárnicos y lácteos, mejorando sus propiedades sensoriales y tecno-funcionales. En confitería, la combinación de pectinas con azúcares y ácidos orgánicos permite obtener geles con texturas ajustables, mientras que en productos bajos en grasa, la goma xántica y la goma

guar se incorporan para mejorar la sensación en boca y la estabilidad del producto final (Williams y Phillips, 2009).

Pectina

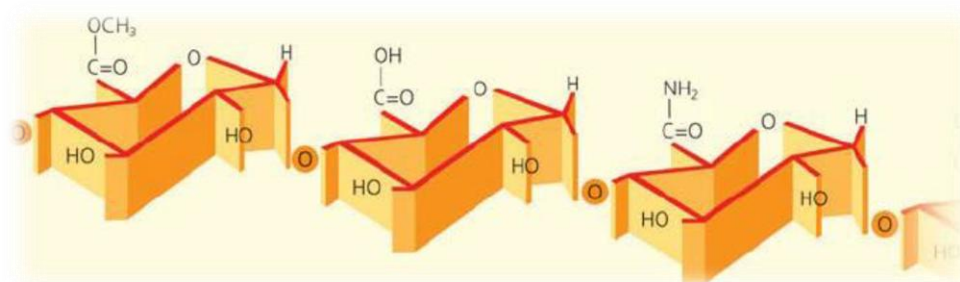
La pectina es un heteropolisacárido complejo, predominantemente compuesto por unidades de ácido galacturónico, que se encuentra en las paredes celulares primarias y la lámina media de diversas plantas. Estas macromoléculas desempeñan un papel crucial en la estructura de la pared celular y están frecuentemente asociadas con otros componentes como celulosa, hemicelulosa y lignina (Noreen y col., 2017). Las unidades de ácido galacturónico pueden o no estar esterificadas con un grupo metilo (**Figura 1.7**). Este es el principal parámetro que afecta la gelificación, influenciando la tensión superficial y la formación de emulsiones (Müller-Maatsch y col., 2014). Dependiendo del grado de esterificación (DE) del metilo, la pectina se divide en dos grupos que comprenden pectina con alto contenido de éster metilo o de alto metoxilo (*High Methoxyl*, HM) y pectina baja en éster metílico o de bajo metoxilo (*Low Methoxyl*, LM) y dependiendo del grupo de pectina del que se trate son las condiciones en las cuales gelifican, a saber (Xie, y col., 2021).

La pectina de alto metoxilo, donde el DE es mayor al 50%, resulta particularmente valiosa para la elaboración de geles en productos a base de frutas, como mermeladas y conservas, pero también tienen aplicaciones en postres lácteos, preparaciones para yogur, glaseados de tartas, y bebidas, entre otros productos. Estas pectinas requieren concentraciones elevadas de sacarosa (por encima del 65%) y un pH bajo ($\leq 3,5$) para desarrollar su capacidad gelificante (Giacomazza y col., 2018).

Por otro lado, la pectina de bajo metoxilo, con un DE menor al 50%, es ideal para la elaboración de productos con menor contenido de azúcar. Entre sus aplicaciones más destacadas se incluyen mermeladas y jaleas de bajo contenido en azúcar, postres lácteos sin necesidad de sales de calcio. Estas propiedades se deben a su capacidad para formar geles con un menor nivel de sólidos disueltos, contribuyendo así a una reducción calórica. Es menos sensible a la acidez y necesita iones de calcio (Ca^{2+}) para formar geles. El proceso de gelificación se basa en la formación de enlaces de calcio entre dos

grupos carboxilo de cadenas adyacentes (Morales-Contreras y col., 2018; Basak y Annapure, 2022).

Figura 1.7 Estructura de la cadena de pectina



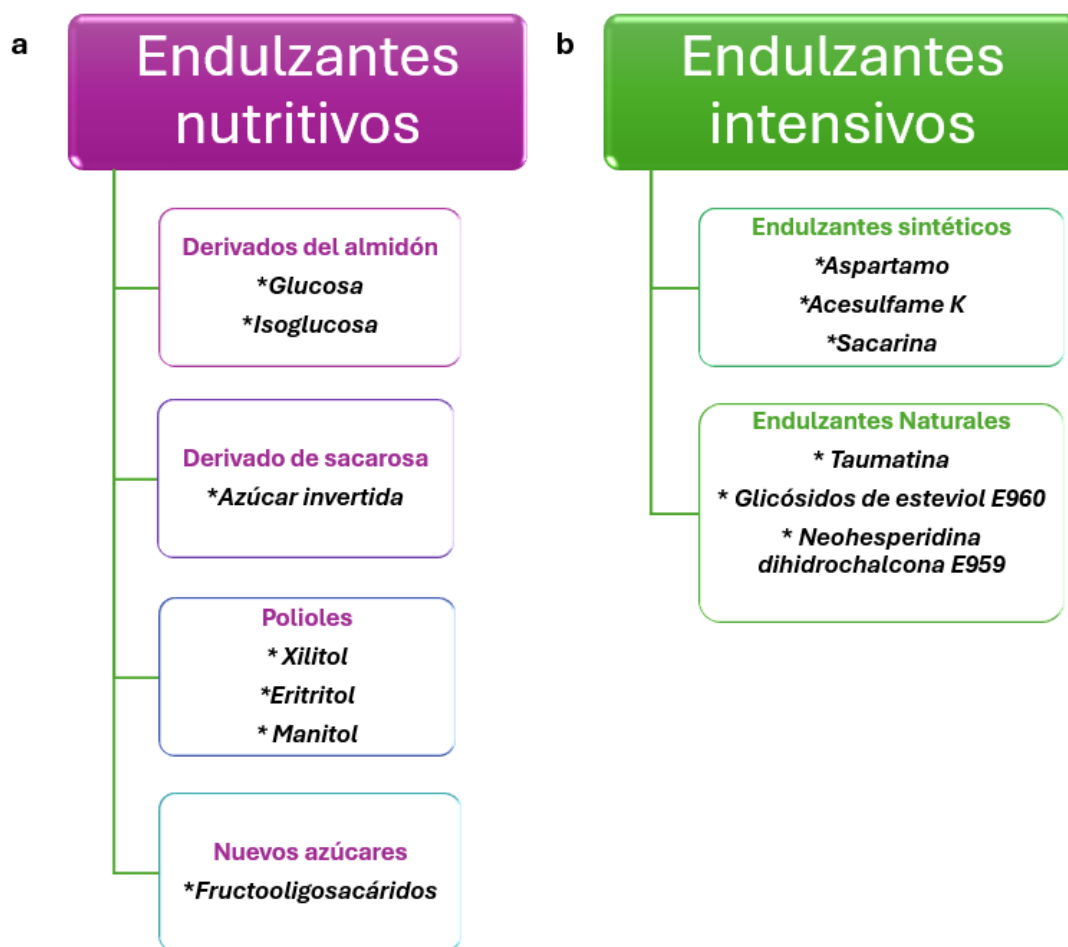
1.6.1.1.2 Endulzantes

Los endulzantes son ingredientes esenciales en productos de repostería, ya que, además de aportar dulzura, influyen en la fermentabilidad, apariencia, sabor, desarrollo, color y textura de los productos terminados. La selección del edulcorante adecuado depende del nivel de dulzura requerido, su función dentro de la masa o batido, así como la apariencia y textura deseada en el producto final (Lai y Lin, 2006). Según la FDA, el término "azúcar" se refiere exclusivamente a la sacarosa, la cual es el endulzante más utilizado a nivel doméstico e industrial debido a su dulzura limpia y ausencia de sabores residuales (Nip, 2006). Sin embargo, el consumo excesivo se ha relacionado con diversas enfermedades cardiovasculares, obesidad, diabetes entre otras (Faruque y col., 2019; Khan y Sievenpiper, 2016). Como consecuencia de estos efectos adversos, dentro del sector alimentario se ha incentivado la incorporación de sustitutos de la sacarosa, promoviendo el uso de edulcorantes, compuestos que aportan dulzura con un bajo o nulo contenido calórico. Esto ha permitido el desarrollo de productos dulces sin un aporte energético significativo, ofreciendo alternativas seguras para personas con necesidades dietéticas específicas (Carocho y col., 2017).

El nivel de dulzor de los edulcorantes se mide en relación con la sacarosa, establecida como referencia con un poder edulcorante de 1. Factores como la estructura

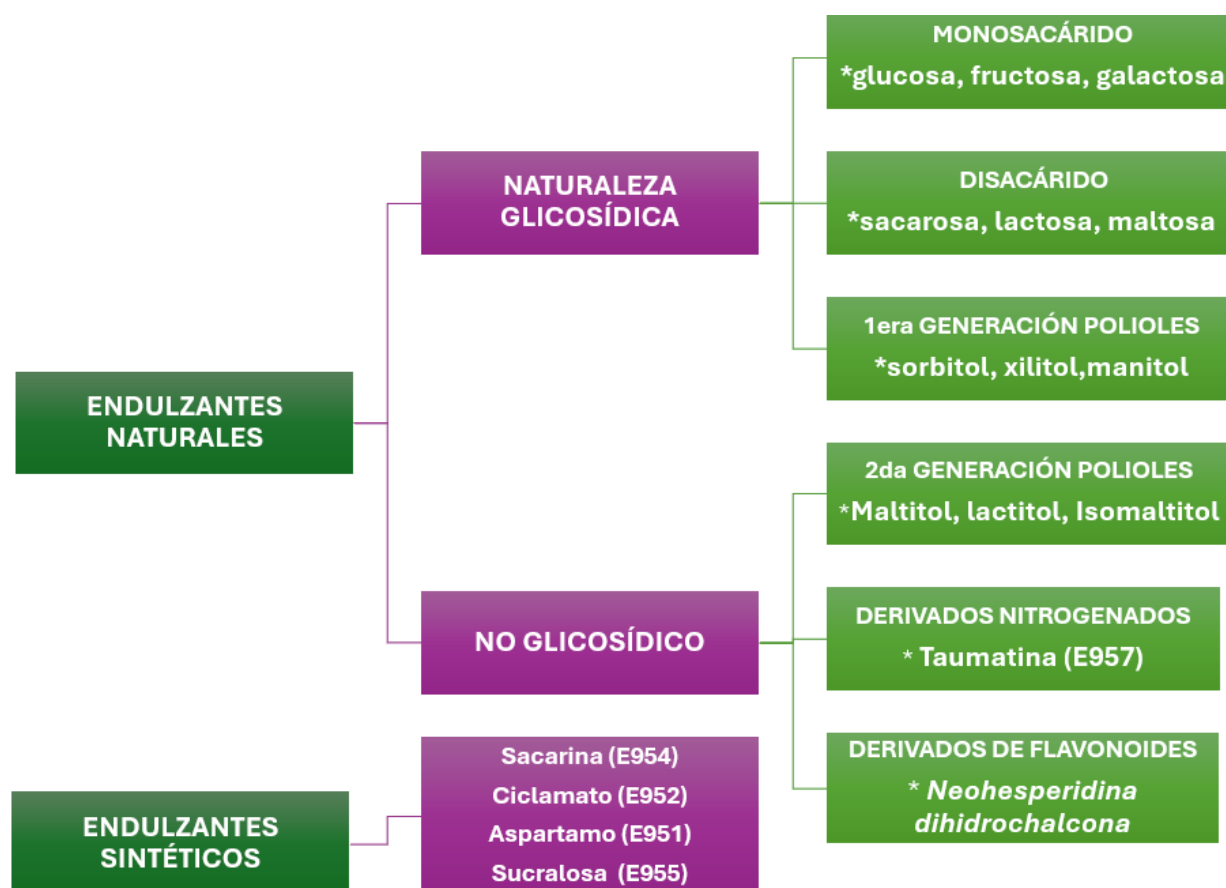
química del azúcar, la temperatura, el pH y la presencia de otras moléculas influyen en la percepción del dulzor. Por ejemplo, la galactosa tiene un poder edulcorante de 0,3, mientras que la fructosa alcanza un valor de 1,7. Asimismo, algunos edulcorantes intensivos presentan valores significativamente superiores, como la sucralosa, que es 800 veces más dulce que la sacarosa, o la taumatina, cuyo poder edulcorante puede alcanzar valores de hasta 2500 veces superiores. Los edulcorantes pueden clasificarse en función de su valor nutritivo, poder edulcorante y origen. En este sentido, se dividen en edulcorantes nutritivos e intensivos (**Figura 1.8**), además de distinguirse entre aquellos de origen natural y sintético. Entre los edulcorantes nutritivos se incluyen azúcares simples y otros compuestos como el jarabe de maíz alto en fructosa, la isomaltulosa y la trehalosa, los cuales, de acuerdo con el Reglamento (UE) n.º 1333/2008, se consideran ingredientes y no aditivos alimentarios. Asimismo, dentro de este grupo se encuentran los polioles, considerados aditivos alimentarios, tales como el eritritol, isomaltitol, lactitol, maltitol, sorbitol, manitol y xilitol. Por otro lado, los edulcorantes intensivos, que poseen un bajo aporte calórico y un alto poder edulcorante, se utilizan en pequeñas cantidades y suelen ser no cariogénicos, por lo que son recomendados en dietas hipocalóricas y para pacientes diabéticos (Baines y Seal, 2012; Borczak y col. 2022).

Figura 1.8 a- Ejemplos de endulzantes nutritivos y b- ejemplos de endulzantes intensivos



Otra clasificación relevante distingue a los edulcorantes por su naturaleza u origen, que puede ser sintético o natural (**Figura 1.9**). Algunos de los edulcorantes más utilizados a nivel mundial incluyen el aspartamo (E951), los ciclamatos (E952), el acesulfamo K (E950), la tagatosa, la sucralosa (E955) y los glucósidos de esteviol (E960), los cuales han sido evaluados y aprobados por organismos regulatorios como la FDA y la EFSA (2013). Adicionalmente, los polioles, al igual que la fructosa, presentan una metabolización independiente de la insulina, lo que los hace adecuados para pacientes diabéticos.

Figura 1.9. Ejemplos de endulzantes naturales y sintéticos



A continuación, se describen los endulzantes empleados en esta tesis:

Stevia rebaudiana bertonii

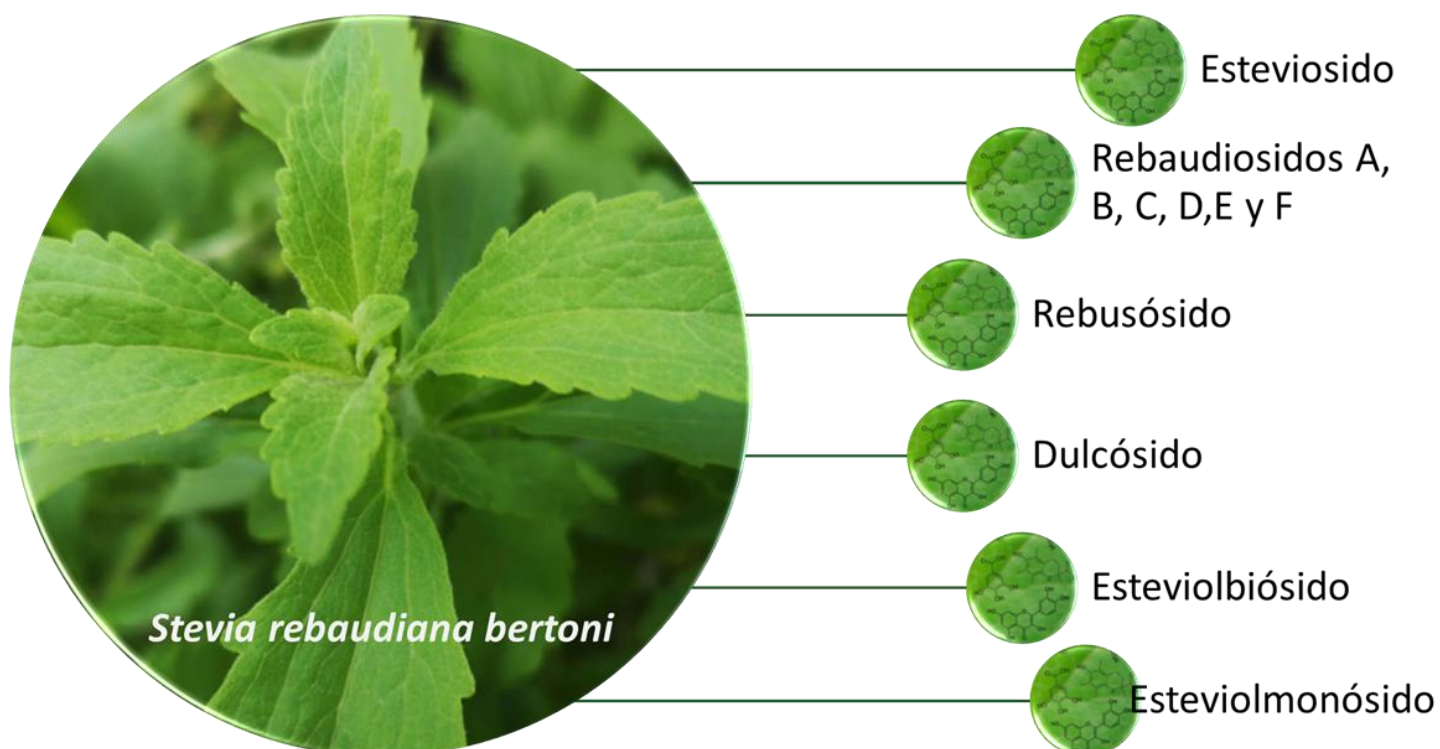
La *Stevia rebaudiana bertonii* es una planta originaria de América del Sur, específicamente de Paraguay, que ha sido utilizada durante siglos por las poblaciones locales como endulzante natural. Su creciente popularidad a nivel mundial se debe a su capacidad de proporcionar dulzura sin aportar calorías, lo que la convierte en una alternativa atractiva al azúcar y a los edulcorantes artificiales (Perrier y col., 2018). Actualmente, la estevia se cultiva en diversas regiones del mundo y es ampliamente utilizada en la industria alimentaria para la formulación de productos reducidos en azúcar y calorías (Milovanoff y col., 2022; Innova Market Insights, 2021).

Los compuestos responsables del dulzor de la stevia son los glicósidos de esteviol, un grupo de moléculas que incluyen 11 principales glicósidos, entre ellos el

esteviósido, el rebaudiósido A, el dulcósido A, el rubusósido y el esteviolviósido (**Figura 1.10**). Estos compuestos pueden ser hasta 400 veces más dulces que la sacarosa y no contribuyen con calorías a los alimentos y bebidas donde se incorporan. Dentro de los glicósidos de esteviol, el rebaudiósido A (RA) es uno de los más relevantes por su perfil sensorial mejorado en comparación con otros glicósidos como el esteviósido. Este compuesto es aproximadamente 250 a 450 veces más dulce que la sacarosa cuando se encuentra en una concentración del 0,4 % (p/v) (Majzoobi y col., 2020). A diferencia de otros glicósidos de esteviol, el rebaudiósido A posee una mayor solubilidad debido a su estructura química, lo que le confiere un sabor más limpio y menos notas amargas o metálicas (Prakash y col., 2014). La FDA otorgó en 2008 el estatus de GRAS, al RA, como edulcorante de uso general en alimentos y bebidas (Perrier y col. 2018). En Argentina, el CAA lo reconoce bajo la denominación INS 960, permitiendo su uso en diversas categorías de alimentos y bebidas (CAA, Artículo 1.398). Además, el Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA) estableció una ingesta diaria admisible (IDA) de 4 mg/kg de peso corporal, expresada en equivalentes de esteviol (JECFA, 2016).

Desde el punto de vista del mercado, el crecimiento en la demanda de edulcorantes naturales ha impulsado la adopción del rebaudiósido A en diversas formulaciones. Según la empresa global de investigación de mercado **Innova Market Insights**, más del 60 % de los lanzamientos de productos con stevia en 2022 estaban dirigidos al sector de bebidas funcionales y productos reducidos en calorías, destacando la relevancia del RA en la reformulación de alimentos para consumidores preocupados por la salud y el bienestar (Innova Market Insights, 2022).

Figura 1.10 Glucósidos principales de la planta de Stevia



Eritritol

El eritritol es un poliol que se encuentra de forma natural en muchas frutas, hongos y alimentos fermentados. Es el único edulcorante a granel no calórico, con un valor calórico de solo 0,2 kcal/g y un índice glucémico cero, en comparación con la sacarosa que muestra valores de 3,9 kcal/g y 100, respectivamente (Tao y col., 2021). Posee alta estabilidad ácida y térmica, propiedades no reductoras, amigables con los dientes y es adecuado para diabéticos. Cuando se ingiere, el eritritol se absorbe bien en el intestino delgado debido a su pequeño tamaño molecular, sin ser metabolizado en el cuerpo. Su uso ha sido aprobado tanto en la UE como en los EE. UU. (Carocho y col., 2017) y Argentina. Como edulcorante, el eritritol aporta textura y volumen. Sin embargo, utilizado solo no resulta un sustituto de sacarosa de alta potencia, en mezclas es un buen aliado dado que mejora la sensación en boca al enmascarar ciertos regustos indeseables relacionados con ciertos endulzantes potentes (Carocho y col., 2017).

1.6.1.1.3 Agentes de carga

En los alimentos, los carbohidratos desempeñan un papel clave en la provisión de volumen y cuerpo. Para ello, se emplean agentes de volumen, que aportan sólidos para mejorar la textura y palatabilidad, y agentes estructurantes, que influyen en la sensación en boca, la cual depende de la reología percibida durante la masticación y deglución. Entre los ingredientes más utilizados con estos fines, se encuentran los almidones modificados y la sacarosa (BeMiller, 2019). En la formulación de confituras, el azúcar no solo es responsable del dulzor, sino que también es un componente clave en la estructura, textura, volumen y sabor de estos productos (Biguzzi y col., 2014). Por lo tanto, su eliminación o sustitución no resulta una tarea sencilla (Vojvodić Cebin y col., 2024).

Cuando se busca reemplazar el azúcar o los jarabes con edulcorantes de alta intensidad, es fundamental incorporar otro ingrediente que compense las funciones tecnológicas que estos cumplen. Sin embargo, este sustituto debe proporcionar menos calorías o ser acalórico en la cantidad necesaria para lograr el mismo efecto. A estos ingredientes se los conoce como agentes de volumen con reducción calórica. Los agentes de volumen con reducción calórica suelen tener un peso molecular bajo y pueden cumplir diversas funciones tecnológicas, entre ellas:

- Aumentar el volumen del producto (proporcionar cuerpo).
- Actuar como humectante (evitar o reducir la migración indeseada de agua, previniendo cambios en el contenido de humedad y posibles problemas como la formación de grumos).
- Disminuir la actividad de agua y frenar el crecimiento microbiano, favoreciendo la estabilidad del producto.
- Mejorar la vida útil.
- Aportar viscosidad y propiedades de gelificación adecuadas para la textura deseada.
- Retrasar la gelatinización del almidón.
- Contribuir a la coloración del producto.
- Modular la percepción del sabor y los aromas.
- Controlar la cristalización cuando sea necesario.

- Ajustar el punto de congelación del producto.

Hasta el momento, no se dispone de un agente de volumen que logre replicar por completo las funcionalidades de la sacarosa o los jarabes sin aportar una cantidad similar de calorías. Incluso, no se han desarrollado combinaciones de ingredientes capaces de proporcionar dichas funcionalidades sin un impacto calórico significativo. En la búsqueda de alternativas, se han investigado diversos compuestos con potencial para actuar como agentes de volumen con reducción calórica o para reemplazar las propiedades funcionales de la sacarosa y los jarabes. Entre ellos se incluyen la polidextrosa, los polioles (como el sorbitol, maltitol, eritritol, xilitol entre lo más usados), distintos hidrocoloides de bajo peso molecular y baja viscosidad, diversas fuentes de fibra dietaria (como concentrados de frutas), proteínas, harinas con alto contenido proteico y distintos oligosacáridos. De estos, la polidextrosa y los fructooligosacáridos (FOS) han sido ampliamente estudiados por su potencial en este campo. No obstante, su aplicación en formulaciones depende de factores como su solubilidad, estabilidad en el proceso y compatibilidad con otros ingredientes.

Polidextrosa

La polidextrosa es un polisacárido de glucosa de bajo peso molecular, utilizado principalmente como agente de volumen y con un bajo contenido calórico (1 Kcal/g). Su aplicación en la industria alimentaria permite sustituir tanto la grasa como el azúcar sin comprometer la textura ni la sensación en boca (Hamdy y col., 2021). A diferencia de los edulcorantes, la polidextrosa no aporta dulzura, sino que actúa como vehículo para otros sustitutos del azúcar. Con aproximadamente un 90 % de fibra dietaria en su composición, solo el 10 % de su contenido es digerible, lo que le confiere un índice glucémico muy bajo y la convierte en una opción con un impacto mínimo sobre los niveles de glucosa en sangre (Vaz y col. 2021). Su principal funcionalidad radica en reemplazar la sacarosa como agente de carga no dulce, lo que mejora la estructura de los productos. Además, actúa como humectante en panificados y barras nutricionales, contribuyendo a la retención de humedad y prolongando la frescura. En productos

congelados, reduce el punto de congelación, mejorando la textura. En repostería, su aplicación en rellenos previene la migración de humedad, mientras que, en la formulación de caramelos, glaseados y coberturas, permite reducir el contenido de almidones y azúcares, disminuyendo así la carga glucémica. Asimismo, su capacidad para reemplazar grasas la hace útil en la elaboración de helados sin grasa y galletas con bajo contenido graso.

Con su elevada solubilidad en agua, resulta en un ingrediente versátil en diversas formulaciones alimentarias. Su desarrollo no fue fruto de un hallazgo fortuito, sino de un programa de investigación enfocado en crear un agente de volumen eficaz para productos reducidos en calorías, que aporte solo el 25 % de las calorías de los azúcares y el 11 % de las grasas. Cuenta con la aprobación inicial de la FDA desde 1981, y fue autorizada para aplicaciones generales en 2007 (FAP 46 FR 30080; FAP 72 FR 46562). Desde entonces, su uso en la industria alimentaria ha crecido considerablemente. Actualmente, está aprobada en más de 75 países y se emplea ampliamente en la formulación de productos alimenticios reducidos en calorías y enriquecidos con fibra (Auerbach y col., 2011).

1.6.2 Geles para la nutrición deportiva

Los geles para la nutrición deportiva son suplementos semisólidos formulados principalmente con carbohidratos, diseñados para proporcionar una fuente rápida y eficiente de energía durante la actividad física. Su consumo es habitual entre atletas de resistencia (ciclistas, corredores, etc.) y de deportes de equipo, ya que contribuyen al mantenimiento del rendimiento en competencias y entrenamientos prolongados, especialmente cuando se complementan con agua. En el mercado, algunas formulaciones están orientadas a la recuperación post-ejercicio, incorporando nutrientes y compuestos bioactivos específicos (Cui y col., 2022). Estos productos suelen combinar distintos tipos de carbohidratos con el objetivo de optimizar su absorción y asegurar un suministro de energía adecuado. Dependiendo de su índice glucémico, pueden liberar energía de forma inmediata o sostenida. Se ha demostrado que la combinación de diferentes fuentes de hidratos de carbono, como glucosa y sacarosa, mejora la absorción intestinal y la reposición de glucógeno muscular, favoreciendo el

rendimiento deportivo (Oliveira y col., 2014; Sousa y col., 2007). Sin embargo, su alta concentración de carbohidratos en una sola ingesta puede generar molestias gastrointestinales en algunos consumidores (Olivos y col., 2012).

Además del aporte energético, algunos geles incluyen aminoácidos de cadena ramificada (BCAAs), esenciales para la recuperación muscular, y glutamina, que favorece la regeneración del tejido muscular. También pueden contener electrolitos, que ayudan a reponer las pérdidas de agua por sudoración, y vitaminas del grupo B, involucradas en el metabolismo energético y la reducción de la fatiga (Cui y col., 2022).

El consumo de geles deportivos ha aumentado significativamente en los últimos años, brindando variedad de nuevas formulaciones con distintos sabores, como se puede visualizar en la **Figura 1.11**. A diferencia de otros suplementos, como batidos proteicos o barras energéticas, los geles se destacan por su formato práctico y su rápida disponibilidad energética, lo que los hace especialmente útiles en deportes de resistencia de larga duración, como ciclismo y triatlón (Jeukendrup, 2011).

Es importante mencionar que, a pesar de su popularidad, la regulación de estos productos es limitada en la mayoría de los países. En Argentina, los geles deportivos son considerados suplementos dietarios, pero no cuentan con una normativa específica que regule en detalle su composición, etiquetado o efectos. Esta falta de regulación estricta ha permitido una amplia diversidad de formulaciones y marcas en el mercado, cada una con combinaciones específicas de carbohidratos, electrolitos y otros compuestos funcionales destinados a mejorar el rendimiento y la recuperación. A diferencia de las bebidas deportivas, cuya composición está regulada dentro del CAA (Cap. XVII, Art. 1388), los geles presentan una mayor flexibilidad en su formulación. Si bien esta diversidad puede favorecer la innovación en el desarrollo de productos adaptados a distintas necesidades deportivas, también resalta la importancia de contar con evaluaciones científicas rigurosas que respalden su eficacia y seguridad para el consumidor.

Figura 1.11: Ejemplos de geles deportivos comerciales

						
Marca: Maurten (Suecia) *Porción: 40g. *Calorías: 100 kcal. *CHO: 25g *Sodio: 22mg *Cafeína: 100mg *Ingredientes: agua, glucosa, carbonato cálcico, cafeína, ácido gluconico, alaginato sódico.	Marca : ENA (EE.UU) *Porción: 32g *Calorías: 124 kcal. *CHO : 25g *Sodio: 111mg *Potasio: 42 mg *Magnesio: 52 mg *Cloruro: 81mg *Vit C: 24mg y E: 3mg *Ingredientes: Jarabe de maíz de alta frutosa, jarabe de glucosa, citrato de magnesio, cloruro de sodio, bezoato de sodio, sorbato de potasio, carregenina, ácido cítrico, sabor limon	Marca: SIS (Reino Unido) *Porción: 60 ml *Calorías: 87 kcal *CHO: 22 g *Ingredientes : agua, maltodextrina, goma gellan, goma xantana, aroma natural, ácido cítrico, citrato de sodio, benzoato a sodio, acesulfame K, cloruro de sodio (0,01 mg), ácido ascorbico	Marca: ENERGY (Argentina) * Porción: 40 g *Calorías: 116 kcal *CHO: 14 g *Sodio: 111 mg *Potasio: 24 mg *Magnesio: 21 mg *Taurina 40 mg *Cafeína: 36 mg *Ingredientes: Maltodextrina, agua, fructosa, dextrosa, Ginseng (200mg), citrato de magnesio, taurina, cafeína, citrato de potasio, cloruro de sodio .	Marca: DN (Argentina) * Porción: 20 g * Calorías: 67 kcal *CHO : 16 g *Sodio: 39mg *Magenesio: 50mg *Potasio: 35 mg Vit. C: 9 mg	Marca: ei (Argentina.) * Porción: 46 g * Calorías: 120 kcal *CHO: 30 g *Ingredientes: Maltodextrina (20g), agua, sacarosa (10 g), ácido cítrico, aromatizante frutilla	Marca: Nutremax (Argentina) * Porción: 33 g * Calorías: 95 kcal *CHO: 23,8 g *Sodio: 110 mg *Cafeína: 50 mg *Ingredientes: maltodextrina, agua, furtosa, isomaltulosa, cloruro de sodio, foafato cálcico, cafeína, ectra cto de guaraná, alginato de sodio, pectina, saborizante, sorbato de potasio, ácido cítrico

1.6.2.1 Tipo de geles para la nutrición deportiva

Una posible clasificación de los geles deportivos es según los aditivos que estos lleven, los diferentes usos que tengan y el momento idóneo en el que se deben tomar.

Geles básicos: geles energéticos sin ingredientes adicionales como electrolitos o aminoácidos, se caracterizan por proporcionar una mayor cantidad de carbohidratos que otros geles. Están diseñados para ofrecer una fuente rápida de energía, y son recomendados para:

- Fases intermedias de competiciones y entrenamientos de resistencia.
- Situaciones en las que se necesita un impulso rápido de energía, pero no necesariamente el añadido de electrolitos o aminoácidos.
- Mantener los niveles de glucosa en sangre durante actividades de larga duración sin sobrecargar al sistema digestivo.

Geles con electrolitos añadidos: están formulados con sales minerales como sodio, potasio, calcio y magnesio, los cuales son esenciales para mantener el equilibrio de líquidos en el cuerpo y asegurar una correcta función muscular durante el ejercicio. Estos geles son particularmente recomendados para actividades de alta intensidad o de larga duración (como maratones o triatlones), donde la sudoración provoca una mayor pérdida de electrolitos.

Geles con aminoácidos: contienen BCAA y otros aminoácidos como la L-glutamina. Son ideales para:

- Frenar el desgaste muscular durante la parte final de una competición o actividad física intensa.
- Optimizar la recuperación muscular, ayudando a los deportistas a terminar la competición con menos sensación de fatiga.
- Son beneficiosos en deportes de alta intensidad o resistencia prolongada.

1.6.2.2 Ingredientes utilizados

Entre los ingredientes principales de los geles deportivos se encuentran:

Carbohidratos: Son la fuente primaria de energía, generalmente presentes como, glucosa y fructosa. Una combinación de estos carbohidratos facilita y acelera su absorción, proporcionando energía tanto inmediata como sostenida. Es recomendable la incorporación de distintas fuentes de carbohidratos (sacarosa, glucosa, fructosa, maltodextrina), con el fin de promover un vaciado gástrico más rápido que aquel que se alcanza si solo se agregara una única fuente de energía, dado que los diferentes azúcares presentan diferentes mecanismos para su absorción a nivel intestinal (Olivera y col., 2014). Otra consideración a tener en cuenta es la proporción de carbohidratos en relación con la glucosa y la fructosa. En general la ideal es 2:1 pero también puede ser 1:0,8. Al consumir mezcla de carbohidratos con estas proporciones aumenta la entrega de carbohidratos y la disponibilidad de energía para los músculos en movimiento (Jeukendrup, 2014).

Electrolitos: Los electrolitos son minerales fundamentales para el equilibrio de líquidos en el cuerpo y la función muscular. Entre los electrolitos más comunes se encuentran:

- **Sodio:** Es crucial para facilitar la absorción de agua y para la transmisión nerviosa. Junto con el potasio, es uno de los electrolitos más perdidos a través del sudor (Raizel y col., 2019).
- **Potasio:** Ayuda a regular el equilibrio de líquidos y a mantener la función muscular.
- **Magnesio:** Interviene en la función muscular y en la producción de energía.
- **Calcio:** Es esencial para la contracción muscular y para la función nerviosa.

Estos electrolitos se pierden a través de la sudoración durante el ejercicio y deben ser repuestos para evitar deshidratación y calambres musculares

Agua: componente esencial, ya que no solo facilita la hidratación, sino que también permite la disolución y absorción eficiente de los ingredientes activos del gel, como los carbohidratos y los electrolitos. Además, el agua contribuye a dar la textura adecuada al gel y facilita su consumo durante el ejercicio.

Hidrocoloides (Espesantes): permiten obtener una textura que, sin llegar a ser rígida, asegure la fluidez del gel, facilitando su consumo durante la actividad física. Entre los hidrocoloides comúnmente utilizados en la elaboración de geles deportivos se destacan, la goma guar, goma garrofín, pectinas entre otras.

Otros ingredientes: saborizantes, vitaminas, aminoácidos, extractos herbales, cafeína entre otros.

1.6.2.3 *Yerba mate (Ilex paraguariensis St. Hil.)*

En la actualidad, resulta clave para la industria de alimentos y bebidas responder a las expectativas de un consumidor cada vez más aventurero, que busca experiencias sensoriales novedosas, sabores intensos y combinaciones inusuales. Este perfil de consumidor se complementa con una marcada inclinación hacia productos que no solo ofrezcan placer sensorial, sino que además contribuyan al bienestar general y promuevan un estilo de vida saludable (Innova Market Insights, 2023). Como respuesta, se ha incrementado el desarrollo de productos que incorporan ingredientes de origen natural, especialmente extractos vegetales y herbales, que además de aportar notas distintivas al sabor, exhiben efectos beneficiosos para la salud. Extractos provenientes de plantas como orégano, romero, hibiscus, propóleo o jengibre, entre otros, han sido incorporados con el doble propósito de enriquecer el perfil sensorial y mejorar el valor nutricional de los alimentos, debido a su contenido en compuestos bioactivos con acción antioxidante, antiinflamatoria o estimulante (Embuscado, 2015; Rivero y col., 2020; Ganea y col., 2025). En este contexto, la incorporación de extractos derivados de yerba mate (*Ilex paraguariensis*) representa una alternativa promisorio. Aunque menos estudiada que otras infusiones vegetales como el té verde o el café, la yerba mate ha demostrado contener una variada gama de compuestos bioactivos, entre ellos polifenoles, xantinas, saponinas y minerales, asociados a efectos antioxidantes, estimulantes y antidiabéticos (Lunceford y Gugliucci, 2005; Pagliosa y col., 2010; Alkhatib y Atcheson, 2017). Por lo tanto, su inclusión en el desarrollo de productos como geles

energéticos no solo permite diversificar la propuesta sensorial, sino también revalorizar ingredientes autóctonos con potencial promotor de la salud.

1.6.2.3.1 Generalidades

La yerba mate, científicamente conocida como *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil., es una especie arbórea perenne de la familia *Aquifoliaceae*, nativa de América del Sur y distribuida principalmente en Argentina, Paraguay, Brasil y Uruguay. Se desarrolla de manera óptima en suelos bien drenados y ricos en materia orgánica, alcanzando alturas de entre 8 y 15 metros (**Figura 1.12**).

Según el Código Alimentario Argentino (CAA), en su Artículo 1193, la "Yerba Mate" o "Yerba" se define como el producto obtenido a partir de las hojas desecadas, ligeramente tostadas y desmenuzadas de *Ilex paraguariensis* Saint Hilaire, con la posible inclusión de fragmentos de ramas secas jóvenes, pecíolos y pedúnculos florales. Su cultivo y producción industrial representan una de las 32 cadenas agroalimentarias más importantes de Argentina (Mincyt, 2015), habiendo aumentado su popularidad en otros países, donde además de consumirse como infusión, se utiliza como ingrediente en bebidas azucaradas y alimentos funcionales (Innova Market Insight, 2021).

Luego de la cosecha, la yerba mate (YM) atraviesa un proceso de transformación que comprende cinco etapas sucesivas: zapecado, secado, molienda gruesa o canchado, estacionamiento y molienda fina. El zapecado consiste en una exposición rápida de las hojas a una fuente de calor para inactivar enzimas y detener la oxidación. Posteriormente, se lleva a cabo el secado, donde se reduce progresivamente la humedad hasta niveles adecuados para su almacenamiento. En la siguiente etapa, denominada molienda gruesa o canchado, las hojas secas se trituran en fragmentos más pequeños. Luego, el material se somete a un período de estacionamiento, que puede extenderse entre 6 y 24 meses bajo condiciones controladas, con el objetivo de desarrollar sus características organolépticas. Finalmente, la molienda fina permite obtener el producto terminado en diferentes granulometrías según el tipo de YM comercializada (Holowaty y col., 2018; Schenk y col., 2021).

Figura 1.12. Imagen de árbol y hojas con flores, de la planta de *Ilex paraguariensis*

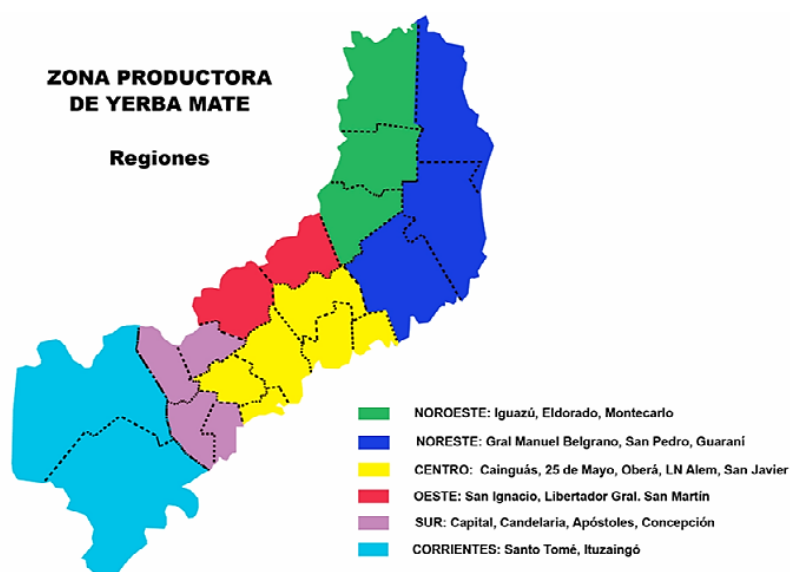


La yerba mate se consume en un 99 % en forma de infusión, siendo esta la principal vía de incorporación del producto en la dieta de los consumidores. El término infusión comprende cinco modalidades: el mate caliente (o simplemente *mate*), el mate frío (*tereré*), el mate cocido en taza, el mate en saquitos y el mate soluble (Schmalko, 2005). Estas bebidas se caracterizan por su sabor amargo y su efecto estimulante, atribuible a la presencia de cafeína, teobromina y compuestos fenólicos (Dellacassa y Bandoni, 2001; Heck y de Mejía, 2007). La forma más extendida es el *mate cebado*, que se prepara vertiendo agua caliente (70–80 °C) sobre hojas secas colocadas en un recipiente también denominado *mate*, tradicionalmente elaborado con calabaza (*Lagenaria siceraria*) vaciada y curada. La infusión se consume mediante una *bombilla* metálica, que actúa como filtro del material vegetal. En la actualidad, el uso de recipientes de distintos materiales como madera, cerámica, vidrio, silicona o plástico ha ganado popularidad, en concordancia con preferencias personales y tendencias contemporáneas. Por su parte, el *mate frío* o *tereré* mantiene un método de preparación

similar, aunque se emplea agua fría, jugos o bebidas carbonatadas (5–10 °C), lo cual lo vuelve una opción refrescante en climas cálidos.

Como se mencionó anteriormente, la yerba mate representa un cultivo de alto valor estratégico para los países del sur de América, no solo por su fuerte arraigo cultural, sino también por su impacto en los sectores productivo e industrial. Entre los principales países productores se destacan Argentina, Brasil y Paraguay, siendo Argentina el mayor productor y consumidor a nivel mundial (Bolsa de Comercio de Rosario, 2024). Dentro del territorio argentino, la producción se concentra casi exclusivamente en la región noreste, principalmente en la provincia de **Misiones**, que aporta alrededor del 90 % del total **nacional**, seguida por el nordeste de **Corrientes**, que completa el volumen restante (**Figura 1.13**).

Figura 1.13 Regiones productoras de yerba mate en Argentina. *Fuente: Instituto Nacional de la Yerba Mate (INYM, 2025).*



De acuerdo con datos del Instituto Nacional de la Yerba Mate (INYM), en 2024 se destinaron al mercado interno argentino 258.000 toneladas de yerba mate molida y envasada, mientras que las exportaciones totalizaron 44.000 toneladas. Los principales destinos de exportación fueron Siria, Chile, Estados Unidos y España (INYM, 2024). En términos de consumo per cápita, Argentina y Uruguay registran valores cercanos a los 6,5–7 kg/año de yerba mate lista para consumir, mientras que en Brasil el promedio

nacional ronda los 1,2 kg/año, con valores considerablemente más altos en las regiones del sur, donde su consumo forma parte de prácticas culturales consolidadas (FAO, 2022; INYM, 2024). Estas cifras reflejan la relevancia de la yerba mate como un cultivo estratégico, que genera impacto en los sectores productivo, industrial y comercial del país.

1.6.2.3.2 Composición química

La yerba mate es conocida por su rica composición fitoquímica, la cual incluye una variedad de compuestos bioactivos que son responsables de sus múltiples beneficios para la salud (Gómez-Juarasti y col., 2018). Entre los compuestos más destacados se encuentran los polifenoles, especialmente los ácidos clorogénicos y sus derivados cafeoil, que poseen propiedades antioxidantes de gran relevancia para la prevención del estrés oxidativo y enfermedades relacionadas con la inflamación crónica (Heck y De Mejía, 2007; Bastos y col., 2007; Cahuê y col., 2019). Además, se han identificado flavonoides como la quercetina y la rutina, los cuales contribuyen a su actividad antiinflamatoria, antioxidante y neuroprotectora (Jaiswal y col., 2010; Riachi y De María, 2017). Otra clase importante de compuestos presentes en las hojas de YM son las metilxantinas, que incluyen cafeína, teobromina y teofilina. Estas sustancias tienen efectos estimulantes sobre el sistema nervioso central, lo que les otorga propiedades neuroactivas y energizantes (Burris y col., 2012). También se han identificado saponinas triterpénicas, como las metasaponinas derivadas del ácido ursólico, que poseen actividades antiinflamatorias y hepatoprotectoras (Pagliosa y col., 2010; Fagundes y col., 2015). En conjunto, estos compuestos bioactivos contribuyen a la capacidad de la yerba mate para influir en diversas funciones biológicas, como la regulación del metabolismo lipídico, la mejora de la tolerancia a la glucosa y la protección cardiovascular (Rocha y col., 2018; Da Veiga y col., 2018; Barroso y col., 2019).

A pesar del creciente interés en YM, los estudios sobre su composición nutricional siguen siendo limitados (Schmalko y col., 1995). Al igual que otros tejidos vegetales, las hojas y tallos de *Ilex paraguariensis* presentan una matriz compleja compuesta por carbohidratos, proteínas y lípidos, junto con vitaminas y minerales

esenciales. La **Tabla 1.3** muestra la composición nutricional de YM elaborada, según lo reportado en diversos estudios (Schmalko y col., 1995; Heck y De Mejía, 2007; Berte y col., 2014).

Tabla 1.3 Contenido promedio de nutrientes en YM elaborada y sus infusiones

Nutriente	Yerba mate elaborada	Mate cocido	Mate caliente	Mate frío
Proteínas (g/100g)	10	3,7	2,1	1,2
Azúcares (g/100g)				
<i>Glucosa</i>	0,5	0,5	0,6	0,2
<i>Sacarosa</i>	3,9	2,9	2,8	1,2
Minerales (mg/100g)				
<i>Fósforo</i>	280	61	46	21
<i>Potasio</i>	1.180	99	100	42
<i>Sodio</i>	18	28	14	11
<i>Hierro</i>	28	2,5	2,2	1,1
<i>Calcio</i>	900	107	81	44
<i>Magnesio</i>	640	87	59	33
Vitaminas (mg/100g)				
<i>Ácido ascórbico (C)</i>	11	4,9	5,1	2,4
<i>Piridoxina (B6)</i>	4,4	0,5	0,9	n.d.
<i>Riboflavina (B2)</i>	2,4	-	-	-

Resulta importante destacar que la composición química del extracto final de las bebidas a base de *yerba mate* puede verse modificada por diversos factores, lo que conlleva a variaciones en sus actividades biológicas. Se ha informado que las etapas del procesamiento industrial, las diferencias en el material seco y los métodos de preparación influyen significativamente en su perfil químico (López y col., 2006; Isolabella y col., 2010; Schenk y col., 2021). Asimismo, el proceso de tostado desempeña un papel clave en el desarrollo del aroma característico y la coloración marrón del mate, ya que estos atributos se intensifican con el aumento de la temperatura (Leprevost, 1987). Otro aspecto relevante es la temperatura del agua utilizada en la infusión, dado que el contacto con agua caliente permite una extracción más eficiente de los

compuestos solubles, mientras que en preparaciones frías la extracción es notablemente menor (Najman y col., 2024).

1.6.2.3.3 Métodos de extracción de compuestos bioactivos

Existen diversas técnicas de extracción de compuestos bioactivos que pueden agruparse en dos grandes categorías: los métodos tradicionales y aquellos emergentes. Los primeros han sido utilizados durante décadas, especialmente en las industrias alimentaria y farmacéutica. Entre las técnicas convencionales más difundidas se encuentran la extracción Soxhlet, la maceración y la destilación (Azmir y col., 2013). En particular, la extracción Soxhlet constituye un método sólido-líquido que emplea disolventes orgánicos en un sistema de reflujo continuo. Este procedimiento opera a temperaturas próximas al punto de ebullición del disolvente utilizado, como etanol (78 °C) o hexano (69 °C), y puede prolongarse entre 6 y 24 horas, según las características de la matriz y los compuestos objetivo (Torres-Rodriguez y col. 2024). La maceración, por otro lado, consiste en la inmersión de la matriz vegetal en un disolvente durante períodos extensos, generalmente entre 25 y 60 °C, lo que favorece la transferencia de compuestos bioactivos por difusión. Este proceso puede extenderse de 24 a 72 horas y su eficiencia depende en gran medida de la relación sólido-líquido, del tipo de solvente y de la intensidad de agitación (Dai y Mumper, 2010). Por último, la especialmente la destilación por arrastre de vapor, se emplea para aislar compuestos volátiles como los aceites esenciales. Aunque es una técnica ampliamente difundida debido a su simplicidad operativa y bajo costo, las temperaturas elevadas que requiere (en el rango de 90–100 °C) pueden comprometer la integridad de compuestos termosensibles, afectando negativamente su calidad (Machado y col., 2022).

Pese a su eficacia, estos métodos presentan limitaciones importantes, como baja selectividad, alto consumo de disolventes orgánicos, riesgo de degradación térmica y requerimientos significativos de tiempo y energía (Vorobiev y Lebovka, 2008; Bitwell y col., 2023). Además, el uso de condiciones térmicas severas puede alterar la estabilidad y funcionalidad de los compuestos extraídos (Fenoglio y col., 2021).

Como respuesta a estas limitaciones, ha surgido un interés creciente en el desarrollo de técnicas de extracción no convencionales que permitan superar estos inconvenientes. Estas alternativas tecnológicas buscan mejorar la eficiencia global del proceso, minimizando tiempos operativos, uso de disolventes y el impacto ambiental asociado. Entre las estrategias emergentes más estudiadas se destacan la extracción asistida por ultrasonido (Thakker y col., 2018; Quintero Quiroz y col., 2019; Kozono y col., 2024), el empleo de fluidos supercríticos (Belo y col., 2019; Pellicanò y col., 2020) y la aplicación de campos eléctricos pulsados (Carpentieri y col., 2023), entre otras. Estas tecnologías innovadoras ofrecen una alternativa más sustentable y eficiente para la obtención de compuestos bioactivos, alineándose con las demandas actuales del sector productivo en cuanto a procesos más rápidos, ecológicos y económicamente viables (Martins y col., 2023).

Ultrasonido

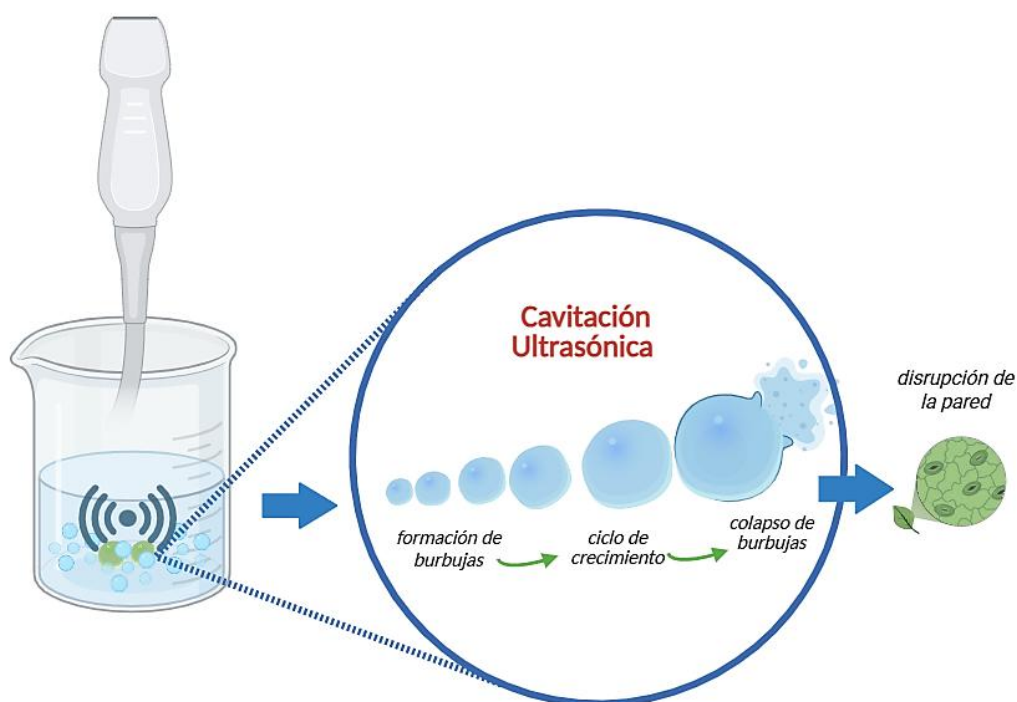
El ultrasonido (US) se define como ondas sonoras con frecuencias iguales o superiores a 20 kHz y, según su intensidad, se clasifica en baja y alta potencia. El US de baja intensidad, con frecuencias superiores a 100 kHz e intensidades menores a 1 W/cm², se emplea en aplicaciones no invasivas, como el control de procesos y la caracterización fisicoquímica de materiales (Awad y col., 2012). En contraste, el US de alta intensidad, con intensidades superiores a 1 W/cm² y frecuencias entre 20 y 100 kHz, genera oscilaciones moleculares en medios líquidos, promoviendo ciclos de compresión y expansión que inducen el fenómeno de cavitación. Este proceso implica la formación y colapso de microburbujas, generando elevadas temperaturas (hasta 5000 K) y presiones (1000 atm) (Mason y col., 2005, Kumar y col., 2021). Como resultado, se produce la ruptura de estructuras celulares, lo que facilita la inactivación microbiana y enzimática, así como la liberación de compuestos bioactivos (Roselló-Soto y col., 2015; Adetunji y col., 2017; Rios-Romero y col., 2021). Adicionalmente, la aplicación de US provoca efectos térmicos, estrés mecánico y la formación de radicales libres, los cuales contribuyen a la desestabilización de membranas celulares y potencian la inactivación microbiana (Zafra-Rojas y col., 2013; Ferrario y col., 2015). Estas propiedades hacen del

US una tecnología prometedora en el procesamiento y conservación de alimentos (Knorr y col., 2004; Piyasena y col., 2003; Khan y col., 2020). Asimismo, estudios recientes han demostrado su eficacia en la extracción de compuestos bioactivos de diversos tejidos vegetales, como hojas de té negro (Both y col 2014), té verde (Das y Eun, 2018) e incluso en yerba mate (Jaques y col., 2007; Schenk y col. 2021; López y col., 2023)

La extracción asistida por US (EA-US) ofrece varias ventajas sobre los métodos tradicionales. Entre ellas se destacan la reducción de tiempos de extracción, el menor consumo de solventes y la disminución de la necesidad de aplicar altas temperaturas, lo que contribuye a preservar los compuestos sensibles al calor (Soquetta y col., 2018). Además, la sonicación permite una mayor selectividad, extrayendo compuestos de interés sin afectar tanto la calidad del producto final (Fenoglio y col., 2021). Esta técnica, por su capacidad para mejorar la eficiencia y reducir el impacto ambiental, se ha posicionado como una opción más sostenible y rentable, acorde con las necesidades de la industria moderna.

En términos prácticos, el proceso de EA-US implica la inmersión de la muestra vegetal en un solvente adecuado, seguido de la aplicación de ondas mecánicas que tienen una frecuencia ($> 20\text{kHz}$), superiores al rango audible del oído humano (20 Hz a 20 kHz). El equipo utilizado para esta técnica varía en función de la escala y el tipo de extracción, pero generalmente consta de un generador de ultrasonido, un transductor que convierte la energía eléctrica en ondas ultrasónicas, y un baño de ultrasonido o un sonotrodo que transmite las ondas al medio, como se ilustra en **Figura 1.14**. La optimización de los parámetros operativos de EA-US, como la potencia, el tiempo de exposición, la temperatura y la frecuencia, es fundamental para maximizar el rendimiento y los beneficios del proceso. Un control inadecuado de estas variables puede provocar la degradación de los compuestos extraídos, por lo que se requiere un monitoreo preciso para garantizar una extracción eficiente sin comprometer la calidad del extracto final (Ke, 2015).

Figura 1.14 Mecanismo de EA-US de compuestos bioactivos de materiales vegetales



1.7 Caracterización de los geles frutales

La caracterización de geles frutales requiere un enfoque multidimensional que contemple aspectos fisicoquímicos, bioactivos, reológicos y sensoriales, dada la complejidad de las interacciones que se producen en la matriz. Las propiedades del sistema están determinadas por la composición y la interacción entre hidrocoloides, azúcares y otros solutos, lo que incide tanto en su estabilidad durante el almacenamiento como en su aceptabilidad. Este abordaje integral permite desarrollar productos que satisfagan criterios tecnológicos y, al mismo tiempo, evaluar su potencial como vehículos de compuestos bioactivos.

Desde el punto de vista fisicoquímico, parámetros como el pH, los sólidos solubles totales (SST), la actividad de agua (a_w) y la capacidad de retención de agua (CRA) se determinan con frecuencia para evaluar la estabilidad microbiológica y fisicoquímica del producto. En particular, la CRA cobra relevancia en matrices gelificadas, ya que se relaciona directamente con la capacidad del sistema para inmovilizar el agua, evitando

la liberación de fase líquida, lo que repercute en la textura, la apariencia y la percepción sensorial (Saha y Bhattacharya, 2010).

En los últimos años, el desarrollo de estos productos ha incorporado ingredientes naturalmente ricos en compuestos bioactivos, como polifenoles, flavonoides y vitamina C, en respuesta a la creciente demanda de alimentos con beneficios para la salud (Shinwari y Rao, 2018). En este contexto, la evaluación del perfil bioactivo suele contemplar la cuantificación de polifenoles totales mediante el reactivo de Folin-Ciocalteu, así como de flavonoides totales, junto con la estimación de la capacidad antioxidante a través de métodos radicalarios como ABTS y DPPH (Apak y col., 2016). Estas determinaciones permiten estimar el contenido inicial y la evolución de los compuestos antioxidantes, cuya estabilidad está sujeta a múltiples factores, lo que hace necesario su monitoreo a lo largo del tiempo.

Por otra parte, el estudio de las propiedades reológicas contribuye a comprender el comportamiento mecánico del gel, tanto durante su manipulación como en el consumo. A través de ensayos de flujo y oscilación, se obtienen parámetros como la viscosidad aparente y los módulos viscoelásticos, que describen la consistencia del sistema y su respuesta frente a deformaciones (Tabilo-Munizaga y Barbosa-Cánovas, 2005). Finalmente, la evaluación sensorial, mediante pruebas de aceptabilidad o análisis descriptivo, permite vincular los resultados instrumentales con la percepción del consumidor, considerando atributos como la textura, el color, el sabor y el aspecto general (Lawless y Heymann, 2010a).

1.7.1 Reología de geles frutales

Las propiedades de flujo y deformación de la materia tienen una importante incidencia, en la aceptación de los alimentos por el consumidor, como así también para el diseño de procesos, y la manipulación de alimentos. Ciertas operaciones de procesamiento dependen en gran medida de las propiedades reológicas del producto en una etapa intermedia de su fabricación, ya que esto tiene un impacto profundo en la calidad del producto final (Bourne, 2002). Los alimentos son materiales complejos cuyas características y propiedades deseadas, especialmente las mecánicas, dependen

frecuentemente de su estructura, así como de la composición química (Whaley y col 2019)

La reología puede definirse como la ciencia que estudia el flujo y las deformaciones de los materiales, bajo la influencia de fuerzas externas. Se ocupa de la mecánica de fluidos newtonianos para los líquidos y la elasticidad de Hooke para los sólidos, sin embargo, la mayoría de los alimentos tienen un comportamiento intermedio entre un sólido elástico y un líquido viscoso, presentando entonces propiedades viscoelásticas (Tabilo-Munizaga y Barbosa-Cánovas, 2005).

El esfuerzo al que se somete externamente un material puede ser aplicado: como una compresión (en dirección perpendicular a la superficie: σ), o como un esfuerzo cortante o de cizalla (en dirección paralela a una cara: τ). El esfuerzo es la fuerza aplicada por unidad de área y tiene unidades de presión. Tanto la deformación (γ), como la velocidad de deformación ($\dot{\gamma}$) son la expresión matemática de la respuesta de un material al esfuerzo aplicado sobre él. Siempre que ocurra en la distancia entre dos puntos de un material, se produce una deformación.

En la mecánica clásica se identifican dos respuestas extremas: la de los sólidos, que siguen la Ley de Hooke, y la de los líquidos, que obedecen la Ley de Newton. Sin embargo, se reconoce que muchos materiales no pueden ser descritos adecuadamente por estos modelos. A pesar de ello, la teoría de la elasticidad (Ley de Hooke) puede ajustarse para describir deformaciones más complejas, mientras que la Ley de Newton también puede extenderse para explicar el comportamiento de líquidos viscosos e inelásticos, donde uno de los fenómenos característicos es la variación de la viscosidad con la velocidad de corte. Estos líquidos se conocen como fluidos no-Newtonianos generalizados. De este modo, estas teorías pueden considerarse como puntos extremos dentro del amplio espectro de materiales con comportamientos reológicos complejos (Ramírez Navas, 2006).

Finamente existen numerosas formas de evaluar las propiedades reológicas de los materiales, pudiéndose realizar en condiciones que involucran grandes deformaciones o ensayos de bajas deformaciones. Pueden involucrar fuerzas normales o tangenciales según el objetivo.

1.7.1.1 Ensayos de flujo

Los ensayos de flujo se realizan, en general, utilizando un viscosímetro rotatorio, aunque también puede emplearse un reómetro dinámico en modo rotatorio. Consisten en el estudio de la variación del esfuerzo con la velocidad de deformación con la finalidad de establecer el comportamiento de flujo del material.

Según su comportamiento reológico, los sistemas líquidos y/o semilíquidos pueden clasificarse en:

Fluidos newtonianos

Los cuales se caracterizan por mostrar una relación lineal entre el esfuerzo y la velocidad de deformación. La pendiente de esta recta representa la viscosidad dinámica (η), un valor constante que no varía con el tiempo ni con la velocidad de deformación, siempre que la temperatura y la presión se mantengan constantes. La viscosidad dinámica refleja la resistencia del fluido al flujo. Ejemplos de sustancias que exhiben este comportamiento incluyen el agua, los jugos frutales despectinizados y la leche descremada.

Fluidos no newtonianos independientes del tiempo

Estos fluidos presentan una relación no lineal entre el esfuerzo y la velocidad de deformación. La viscosidad resulta así función de la velocidad de deformación. Se los puede clasificar en:

- **Pseudoplásticos:** En esta clase de fluidos, la viscosidad disminuye a medida que la velocidad de deformación aumenta. Debido a un cambio estructural, con la consiguiente disminución de la resistencia al flujo.
- **Dilatantes:** En estos sistemas se produce un fenómeno de aumento de la viscosidad conforme aumenta la velocidad de deformación.
- **Plásticos de Bingham:** Estos no fluyen hasta no superar un cierto valor de presión tangencial (esfuerzo mínimo de corte o umbral de fluencia, τ_0) Por encima de dicho valor, se comportan siguiendo la ley de Newton.

La ecuación de la Ley de la Potencia o Ley de Ostwald suele utilizarse para describir los flujos pseudoplásticos y dilatantes:

$$\tau = k \cdot \dot{\gamma}^n$$

dónde k es el índice de consistencia y n es el índice de flujo y toma valores menores a 1 para los fluidos pseudoplásticos. Para un fluido Newtoniano, n es 1 y k será igual a su viscosidad.

El modelo de Herschel-Bulkley describe el comportamiento de un fluido que se comporta como un sólido hasta que sobrepasa un esfuerzo cortante mínimo (esfuerzo umbral τ_0), y a partir de dicho valor, se comporta como un líquido:

$$\tau = \tau_0 + k \cdot \dot{\gamma}^n$$

Dónde τ es el esfuerzo aplicado, τ_0 es el esfuerzo mínimo de corte, k es el índice de consistencia, es la velocidad de deformación y n es el índice de flujo. Esta ecuación modela adecuadamente el comportamiento de los pseudoplásticos que presentan τ_0 .

Fluidos no Newtonianos dependientes del tiempo

En los cuales, la viscosidad además de ser función de la velocidad de deformación es función del tiempo de cizallamiento. Los alimentos que fluyen con características no-newtonianas dependientes del tiempo se clasifican en dos grupos:

- **Tixotrópicos:** La estructura se rompe durante el cizallamiento, para cada velocidad de deformación, con la consiguiente disminución de la viscosidad del sistema. Durante el reposo la estructura se puede recuperar parcialmente.
- **Reopécticos:** La estructura se desarrolla durante el cizallamiento para cada velocidad de deformación. Durante el reposo la estructura se puede recuperar parcialmente.

1.7.1.2 Ensayos oscilatorios

En los ensayos dinámicos u oscilatorios, la deformación (strain) o el esfuerzo (stress) son aplicados en forma de un estímulo sinusoidal de módulo menor que el aplicado por las máquinas universales de testeo. Los reómetros dinámicos se caracterizan porque imprimen estímulos tangenciales a los sistemas viscoelásticos. Los analizadores mecánicos dinámicos se caracterizan pues pueden aplicar estímulos

normales a los sistemas viscoelásticos. Con cualquiera de estos dos equipos, se pueden realizar ensayos oscilatorios, trabajando con muy pequeñas deformaciones y evaluar el comportamiento elástico y el comportamiento fluido de los sistemas viscoelásticos.

Los parámetros fundamentales de importancia en estos ensayos son el módulo de almacenamiento o elástico (G' -ensayo tangencial ó E' -ensayo normal) (G'' -ensayo tangencial ó E'' -ensayo normal) y la tangente del ángulo δ ($\tan \delta$) de desfase entre el estímulo sinusoidal aplicado y la respuesta sinusoidal obtenida del material. Si estos parámetros se determinan en condiciones de viscoelasticidad lineal para el material en cuestión, sus valores serán propios del material y no dependerán de la historia de deformación del mismo.

Los materiales viscoelásticos poseen propiedades que son intermedias entre un sólido elástico y un líquido viscoso, por lo que el ángulo de desfase toma valores entre 0° y 90° . Por lo tanto, se consideran las siguientes ecuaciones

$$\gamma = \gamma_0 \sin(\omega.t)$$

$$\tau = \tau_0 \cos(\omega.t)$$

$$\omega \text{ (1/s o rad/s)} = 2\pi f$$

Donde f = frecuencia (ciclos/s)

Además, se define el módulo complejo, G^* , como la relación entre la amplitud del esfuerzo (τ) y la amplitud de la deformación. El G^* representa resistencia total del material a la deformación aplicada. Tanto el módulo complejo (G^*) como el ángulo de desfase (δ) son función de la frecuencia. Entonces se obtiene que (Tabilo-Munizaga y Barbosa-Cánovas, 2005):

$$G^* = \sqrt{G''^2 + G'^2}$$

El módulo de almacenamiento (componente en fase) este asociado con el almacenamiento y liberación de energía durante la aplicación periódica de la deformación; por el contrario, el módulo de pérdida (componente desfasado) está asociado a la disipación de energía como calor. En la mayoría de los casos, para alimentos sólidos y semisólidos, G'' es mucho menor que G' .

La relación entre la parte viscosa y la parte elástica del material, G'' / G' , es el valor de la tangente del ángulo de desfase ($G'' / G' = \tan \delta$). A mayor valor de $\tan \delta$, el

material es relativamente más viscoso y menos elástico, y por lo tanto la mayor parte de la energía utilizada para deformar el material se disipa viscosamente, y el resto se almacena. Por el contrario, a menor valor de $\tan \delta$, el material tiene un comportamiento más parecido a un sólido, y por lo tanto las deformaciones serían esencialmente elásticas o recuperables (Rao, 2007). Si una sustancia es puramente viscosa el ángulo de desfase (δ) es 90° , $G' = 0$ y $G'' = G^*$, en cambio si la sustancia es puramente elástica δ es 0° , $G' = G^*$ y $G'' = 0$.

Es importante mencionar que, para utilizar las ecuaciones descriptas y realizar un ensayo no destructivo, es fundamental trabajar dentro del rango viscoelástico lineal (RVL). Por ello, antes de cualquier ensayo dinámico, se determina el RVL del material. Si el ensayo se realizara fuera de ese rango, la muestra se alteraría y el comportamiento del material analizado sería bajo grandes deformaciones, en vez de pequeñas deformaciones. El límite entre el comportamiento lineal y no lineal se determina analizando el módulo complejo (G^*) o el módulo elástico (G') en función de la amplitud de deformación o esfuerzo. Cuando estos valores dejan de ser constantes, se ha alcanzado la zona no lineal.

La representación gráfica de G' y G'' frente a la frecuencia de oscilación (barrido de frecuencia) proporciona el espectro mecánico dinámico del material, considerado una “huella digital” de su microestructura.

1.7.1.3 Ensayos de doble compresión: análisis de perfil de textura

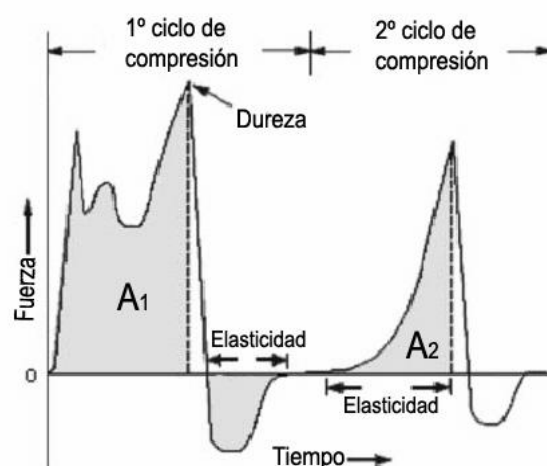
La textura es un parámetro fundamental en la calidad de los alimentos, ya que está vinculada a sensaciones percibidas a través de estímulos mecánicos, táctiles, visuales y auditivos (Clark y col., 2009). Debido a la complejidad de su evaluación sensorial, es común recurrir a mediciones instrumentales mediante dispositivos como el texturómetro o una Máquina Universal de Ensayos Instron (Rosenthal, 2010).

Uno de los métodos más utilizados para caracterizar la textura en alimentos sólidos y semisólidos es el Análisis de Perfil de Textura (TPA, por sus siglas en inglés). Esta prueba de compresión doble simula la acción de la mandíbula y genera una curva

fuerza-tiempo como respuesta (Bourne, 2002). El procedimiento consiste en colocar una muestra del tamaño de un bocado sobre una base y comprimirla dos veces con un cabezal fijo al sistema de ensayo. Del registro de la respuesta fuerza – tiempo se obtiene una curva similar a la de **Figura 1.15**. En esta, el primer pico abrupto observado durante la primera compresión se asocia con la fracturabilidad del material. La fuerza máxima alcanzada en esta etapa corresponde a la dureza, mientras que la fuerza máxima durante la segunda compresión refleja la dureza en la segunda compresión.

La relación entre las áreas A_2 y A_1 representa la cohesividad de la muestra, mientras que el área negativa (A_3), correspondiente a la primera descompresión, está vinculada a la adhesividad. Finalmente, la elasticidad se determina a partir de la relación entre la altura recuperada por la muestra en el intervalo entre la primera y la segunda compresión. Además de los seis parámetros explicados, extraídos directamente de las curvas obtenidas, la combinación de algunos de ellos da valores que explican otros atributos sensoriales, como la gomosidad, con el producto de la dureza por la cohesividad o la masticabilidad, con el producto de la gomosidad por la elasticidad (Bourne, 2002).

Figura 1.15: Curva típica del Análisis del Perfil de Textura



1.7.2 Aspectos sensoriales relacionados

El análisis sensorial es una disciplina que permite evaluar las propiedades organolépticas de los alimentos a través de los órganos de los sentidos. A pesar del avance en el desarrollo de instrumentos de medición, estos no pueden reemplazar completamente la percepción sensorial humana, ya que ciertos efectos sinérgicos entre ingredientes y procesos no pueden ser captados por dispositivos analíticos. La percepción de un alimento involucra una interacción compleja entre la intensidad y calidad del estímulo, las características de los receptores sensoriales y la experiencia del individuo. Dado que el ser humano actúa como un instrumento de medición, es fundamental controlar los factores fisiológicos, psicológicos y culturales que puedan influir en la respuesta, así como las condiciones ambientales que podrían alterar la evaluación. Para que el análisis sensorial sea considerado una técnica analítica válida, es necesario garantizar la reproducibilidad de los resultados entre diferentes laboratorios y determinar sus límites de sensibilidad y validez (Lawless y Heymann, 2010a, Delarue y Lawlor, 2022). Su aplicación abarca diversas áreas, como el desarrollo y mejora de productos, el control de calidad y la optimización de procesos industriales, proporcionando información clave para la industria alimentaria y la investigación científica (Lindqvist y col., 2023).

1.7.2.1 Jueces

Los jueces o panelistas son los individuos que participan en la rutina de evaluación sensorial actuando como el instrumento de medición al probar los alimentos y/o bebidas. Su selección y entrenamiento dependen del tipo de pruebas a realizar y del producto a analizar. El Comité de Evaluación Sensorial de la Sociedad Americana para el Análisis de Materiales, los ha clasificado en 1968 en tres subgrupos y aún hoy se mantiene esa clasificación (ASTM, 1968) con algunas variantes surgidas del perfil del consumidor actual.

Panel entrenado: Este grupo está conformado por personas seleccionadas cuidadosamente y capacitadas para identificar las propiedades sensoriales específicas (tantas virtudes como defectos) de los alimentos. Poseen la habilidad de determinar la intensidad de un atributo sensorial, así como evaluar de forma integral la calidad de un alimento. La capacitación recibida garantiza un enfoque sistemático en la percepción sensorial, empleada como herramienta analítica para evaluar la calidad de los productos alimenticios (IRAM 20005-2, 1996). Estos evaluadores utilizan un lenguaje técnico y, en muchos casos, tienen conocimientos científicos sobre las propiedades que analizan. Debido a su experiencia y formación, el tamaño de este panel es reducido, generalmente no superior a 10 participantes.

Panel semi-entrenado: compuesto por individuos que están familiarizados con las características del producto que deben evaluar. Este grupo puede identificar diferencias entre productos, medir la intensidad de ciertos atributos utilizando escalas, y realizar una valoración global del producto. A diferencia del panel entrenado, su lenguaje es menos técnico, lo que los hace más accesibles en términos comunicativos. Para equilibrar la variabilidad individual de los integrantes, es común trabajar con un mayor número de panelistas, entre 25 y 40 personas.

Panel de consumidores: formado por participantes sin entrenamiento previo, seleccionados al azar, pero con el criterio de que sean consumidores habituales del producto que evaluarán. Este panel es ideal para medir la aceptabilidad del producto y puede, además, valorar la intensidad de atributos utilizando escalas simples y siguiendo instrucciones claras durante la aplicación del formulario.

Dentro de los estudios con consumidores, actualmente es posible diferenciar el contexto de evaluación según el lugar donde se realiza la prueba sensorial. Cuando las pruebas se llevan a cabo en un entorno controlado, como un laboratorio, se habla de **consumidores de laboratorio**. Estos individuos, si bien no reciben entrenamiento sensorial formal, evalúan los productos bajo condiciones normalizadas en cabinas apropiadamente iluminadas y sin interferencias que minimizan el ruido experimental y permiten obtener datos comparables entre muestras (Lawless y Heymann, 2010b).

Por otro lado, cuando la evaluación ocurre en el contexto habitual de consumo, como por ejemplo en el hogar, lugar de trabajo o durante actividades específicas, como sería el caso de consumidores deportistas que prueban productos energéticos en situación de práctica o entrenamiento, se denomina **prueba en condiciones reales de uso** o *home-use test* (HUT). Este tipo de estudio busca replicar el entorno real de consumo, proporcionando información valiosa sobre la aceptabilidad del producto en condiciones naturales y permitiendo detectar interacciones con factores externos que pueden influir en la percepción sensorial (Boutrolle y col., 2007; Stone y col., 2012).

A su vez, el número de participantes y su grado de representatividad también permiten clasificar los paneles. Un **panel masivo** implica la participación de una cantidad considerable de consumidores, generalmente entre 75 a 100, lo cual otorga robustez estadística y mejora la discriminación entre formulaciones (Stone y col., 2012). Por otro lado, se denomina **consumidor representativo** a aquel que forma parte del mercado objetivo del producto, es decir, que comparte características demográficas, culturales y de hábitos de consumo con la población a la que está dirigido el alimento o bebida. La inclusión de este perfil resulta clave para interpretar adecuadamente los resultados y proyectar el comportamiento del mercado ante un producto nuevo o reformulado (Meilgaard y col., 2007).

1.7.2.2 Selección del sitio de la prueba

La elección del sitio para realizar análisis sensoriales debe garantizar que las evaluaciones se desarrollen de manera eficiente y confiable, aunque no necesariamente requiera instalaciones complejas. Es esencial cumplir con ciertos requisitos básicos (Lawless y Heymann, 2010b):

1. Un espacio dedicado para la preparación de las muestras.
2. Un área independiente para que el responsable explique las instrucciones a los panelistas.
3. Cabinas individuales donde los participantes puedan realizar las evaluaciones.

4. Una estación de trabajo para el encargado de las pruebas.
5. Equipamiento adecuado para preparar y servir las muestras.

El área destinada a las cabinas debe estar diseñada para minimizar distracciones e interferencias entre panelistas, de modo que cada individuo pueda evaluar las muestras sin influencias externas. Según ISO 8589:2007, esta área debe mantenerse separada de la zona de discusión y ser un ambiente tranquilo, bien iluminado y con temperatura controlada.

Cada cabina debe estar equipada con elementos básicos como una repisa, una silla o banco, una abertura para recibir muestras desde el área de preparación y luces individuales. Opcionalmente, puede incluir un grifo con pileta y una computadora para registrar datos.

1.7.2.3 Clasificación de las pruebas de evaluación sensorial

Existe una amplia gama de pruebas sensoriales que se emplean en el desarrollo de productos y procesos, y su elección depende del objetivo del proyecto y los recursos disponibles. Estas pruebas se dividen en tres grandes categorías (Delarue y Lawlor, 2022):

Pruebas discriminativas: Estas pruebas son analíticas y tienen como objetivo determinar si los productos evaluados presentan diferencias perceptibles de algún tipo.

Pruebas descriptivas: Se utilizan para identificar y describir cómo los productos difieren en características sensoriales específicas, proporcionando un perfil detallado de atributos sensoriales.

Pruebas afectivas: Responden a preguntas relacionadas con la aceptación y preferencia de los consumidores, evaluando qué tanto gusta un producto o cuál es preferido entre varios.

Por otro lado, los métodos de análisis sensorial pueden clasificarse en **estáticos** y **dinámicos**. Los métodos estáticos requieren que el evaluador integre la evolución de las sensaciones percibidas durante la ingestión de un alimento en un único valor. En

contraste, los métodos dinámicos, que han ganado popularidad en los últimos años, consideran que la percepción sensorial es un proceso que se desarrolla a lo largo del tiempo (Esmerino y col. 2017; Delarue y Lawlor, 2022).

1.7.2.3.1 Pruebas discriminativas

En este tipo de pruebas se desea determinar si dos muestras son perceptiblemente diferentes. Dos muestras pueden tener formulación químicamente diferente y el ser humano puede no ser capaz de percibir esa diferencia, por ejemplo, cuando se sustituye un ingrediente. Dentro de este grupo se encuentran las siguientes pruebas: Test del triángulo; Duo ó trío; Test de comparación pareada; diferencia contra control; test “A”-“no A”; etc.

1.7.2.3.2 Pruebas descriptivas

Las pruebas descriptivas tienen como objetivo proporcionar una descripción detallada y objetiva de un producto, en términos de sus atributos sensoriales y/o posibles defectos. Estas pruebas permiten obtener una visión completa del producto, identificar ingredientes y variables de proceso, y determinar qué atributos sensoriales son relevantes para su aceptación. La intensidad de cada atributo se cuantifica mediante valores asignados en una escala de medida.

Para realizar un test descriptivo, se pueden emplear métodos normalizados, como el análisis descriptivo cuantitativo (QDA), perfil de sabor, perfil de textura, perfil libre, el método SPECTRUM®, entre otros, o bien diseñar uno específico según la información que se desea obtener. Las pruebas descriptivas son particularmente útiles para estudios de vida útil, control de calidad y desarrollo de productos. Generalmente, se utilizan panelistas entrenados o semi-entrenados para su ejecución.

1.7.2.3.3 Pruebas afectivas

El objetivo primario en este tipo de pruebas es evaluar la aceptabilidad global o preferencia de un producto. Las pruebas afectivas más comunes utilizan escalas hedónicas. El término “hedónico” hace referencia al agrado o desagrado que una muestra provoca al probarla o bien observarla. La opinión del participante se vuelca en una escala de categorías (usualmente de nueve puntos), las cuales determinan los distintos grados de placer en orden progresivo desde, por ejemplo *-me gusta muchísimo-* a *-me desagrada absolutamente-*. Las pruebas afectivas siguen, en general a estudios discriminativos y /o descriptivos y son previas a un estudio de mercado. Emplean consumidores del producto que se ha de evaluar.

Los métodos estáticos presentan las desventajas de consumir mucho tiempo y no consideran la dinámica involucrada durante el consumo, lo que puede afectar en gran medida la percepción sensorial. Por lo tanto, el uso de evaluaciones sensoriales temporales es altamente recomendado y se ha vuelto muy popular en el campo sensorial, especialmente utilizando consumidores (Castura y col., 2016). Proporcionan información más realista sobre las respuestas fisiológicas y los cambios sensoriales durante el tiempo, acercándose a la percepción real de los consumidores sobre los alimentos (Alcaire y col., 2017). Esta naturaleza dinámica se debe a los procesos de masticación, salivación, deglución y respiración presentes durante la ingesta de un alimento (Lawless y Heymann, 2010a).

Entre las técnicas dinámicas más utilizadas se encuentran:

Dominancia Temporal de Sensaciones (TDS): es un método que, aunque inicialmente fue diseñado para ser aplicado por evaluadores entrenados, se ha convertido en una herramienta popular entre los consumidores debido a su rapidez para caracterizar sensorialmente productos (Schlich, 2017). Esta técnica se basa en una lista de términos previamente seleccionados, donde los participantes identifican la sensación predominante en un momento dado. Este concepto de dominancia se refiere a la percepción que más resalta para el evaluador, sin estar necesariamente vinculada a la máxima intensidad del atributo

Perfil Progresivo (PP): es una técnica que se utiliza para evaluar la intensidad de atributos sensoriales específicos en momentos predefinidos, permitiendo así rastrear los cambios en la percepción durante la evaluación de un producto. Aunque monitorear de manera continua la intensidad de múltiples atributos a lo largo del tiempo puede resultar complejo, el PP se caracteriza por ser una herramienta intuitiva y de aplicación discontinua. A diferencia de otras técnicas cuantitativas, como el Análisis de Intensidad-Tiempo, el PP no requiere un entrenamiento exhaustivo, lo que lo convierte en una opción menos tediosa para los evaluadores (Devezeaux de Lavergne y col., 2015; Galmarini y col., 2016; Pineau y col., 2022).

1.7.2.3.4 Perfil de emociones

El estudio de las respuestas emocionales asociadas al consumo de alimentos ha cobrado relevancia en el campo de la ciencia sensorial en los últimos años. Investigaciones previas han demostrado que las evaluaciones hedónicas tradicionales resultan limitadas para capturar la complejidad de las experiencias afectivas de los consumidores durante la degustación de productos (King y Meiselman, 2010; Köster y Mojet, 2015; Spinelli, y col. 2015). Dado que las emociones son evocadas por el consumo de alimentos y bebidas, su medición permite comprender de manera más integral el comportamiento del consumidor y las decisiones de compra (Kenney y Adhikari, 2016; Spinelli, y col. 2019).

En los últimos años, se han desarrollado diversos métodos para evaluar las emociones asociadas con productos alimentarios. La mayoría de los estudios emplean cuestionarios con listas de emociones que pueden seleccionarse (como el método CATA, *check-all-that-apply*) o calificarse (como el método RATA, *rate-all-that-apply*). El cuestionario EsSense Profile®, desarrollado principalmente para productos de snack (por ejemplo, chocolate, galletas, helados, pizza), incluye 39 emociones predominantemente positivas (King y Meiselman, 2010). Otras metodologías utilizadas para medir las emociones evocadas por los productos alimenticios incluyen el uso de personajes animados, como en el caso de PrEmo (Desmet, 2003), y la formulación de

oraciones completas a partir de términos seleccionados mediante un enfoque semiótico, como en el método EmoSemio (Spinelli y col., 2014).

2 Objetivos



2.1 Hipótesis y objetivo general

La creciente demanda de alimentos mínimamente procesados, que sean seguros, conserve sus propiedades funcionales y respeten las exigencias medioambientales, impulsa el desarrollo de nuevas tecnologías para su conservación y transformación. En este contexto, la aplicación de luz UV-C se presenta como una alternativa prometedora al tratamiento térmico convencional de matrices líquidas. Sin embargo, la presencia de sólidos solubles, componentes que absorben la luz ultravioleta y partículas suspendidas, afectan de manera significativa la eficacia de este proceso. Es por ello que su utilización en una estrategia combinada con otros factores, como temperaturas moderadas (50 °C), resulta de gran interés. Avances recientes en la investigación del procesamiento por luz UV-C asistida por temperaturas moderadas en matrices líquidas complejas muestran resultados alentadores (Fenoglio y col 2020; Kozono y col. 2023). Por otro lado, en Argentina el consumo diario por persona de frutas y verduras es insuficiente (Ministerio de Salud de la Nación, 2016). Es por ello, que se promueve la búsqueda de nuevos productos de derivados frutales, que puedan consumirse al paso permitiendo así satisfacer el consumo del requerimiento mínimo de porciones de frutas y verduras diarias. Asimismo, existe un impulso en el mercado hacia productos de diseño orientados a consumidores que buscan beneficios específicos, como mejoras en la salud o el rendimiento deportivo.

El objetivo general de esta tesis considera la aplicación de un tratamiento a escala piloto con luz UV-C asistida, dentro del marco de una estrategia multiobjetivo de preservación de un jugo frutal y posterior desarrollo de dos tipos de subproductos gelificados saludables que incluyan el agregado de endulzantes alternativos o bien de un extracto de yerba mate (EYM) como fuente natural de cafeína y otros bioactivos. El propósito radica en obtener derivados frutales novedosos destinados al consumo al paso o a la nutrición deportiva, que sean seguros desde el punto de vista microbiológico y con buen impacto en la calidad organoléptica y funcional. El mismo, representa una apuesta innovadora para obtener productos dirigidos a sectores específicos de la población que buscan y prefieren alternativas más saludables y con ingredientes más

naturales o bien preservados con tecnologías verdes. Consecuentemente, esta tesis se organizó en tres partes:

1. Procesamiento de jugo de naranja por una tecnología considerada verde para su posterior utilización en dos subproductos de diseño empleando tecnologías amigables e ingredientes más saludables.
2. Diseño, desarrollo y caracterización del primer subproducto: un gel postre frutal de consumo al paso.
3. Diseño, desarrollo y caracterización del segundo subproducto: un gel para la nutrición deportiva aditivado con extracto de yerba mate.

2.2 Objetivos específicos

Primera parte

- Seleccionar la matriz líquida compleja y caracterizarla en función de parámetros fisicoquímicos que influyen en su procesamiento mediante luz UV-C a escala piloto.
- Determinar las condiciones fluidodinámicas de operación del reactor a e UV-C (número de Reynolds, número de Dean; temperatura de asistencia, número de pasadas, etc.) en un equipo de procesamiento por luz UV-C en flujo continuo y sistema Dean de construcción propia y de características únicas en el país.
- Evaluar la efectividad del tratamiento usando luz UV-C, en la inactivación de una variedad de microorganismos típicos contaminantes de jugos frutales utilizando inóculos simples o compuestos a gran escala.
- Modelar la cinética de inactivación de los sistemas evaluados, utilizando modelos matemáticos diferentes. Comparar la efectividad de estos mediante distintas herramientas estadísticas.

- Analizar algunos parámetros de calidad del jugo de naranja industrial procesado con el tratamiento UV-C asistido.

Segunda parte

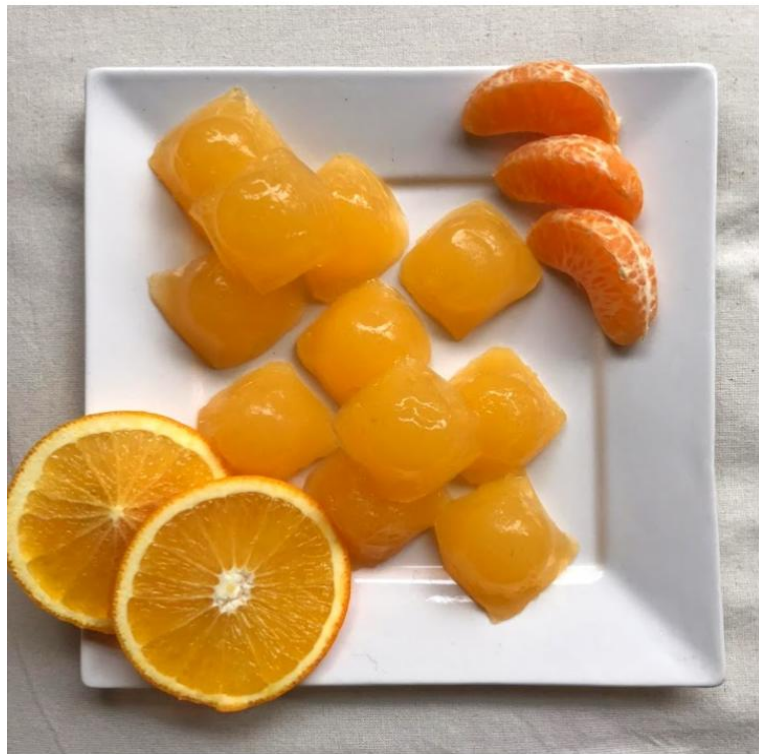
- Desarrollar geles frutales empleando jugo de naranja preservado mediante luz UV-C asistida, pectina de bajo metoxilo y con reemplazo parcial o total de sacarosa por mezclas de polidextrosa, eritritol y rebaudiósido A.
- Evaluar el impacto de las diferentes mezclas de los sustitutos de sacarosa empleados, en las propiedades fisicoquímicas y reológicas de los geles postre frutales.
- Determinar, a través del análisis de regresión múltiple y la metodología de superficie de respuesta, las mezclas de sustitutos de sacarosa que optimizaran los parámetros de dureza y la capacidad de retención de agua de los sistemas geles postres frutales, y seleccionar aquellos que se asemejen al sistema de sacarosa completa.
- Realizar una variada gama de estudios sensoriales estáticos y dinámicos con consumidores, en los sistemas geles postres frutales seleccionados con el fin de evaluar el perfil sensorial y los cambios del mismo durante la ingesta.
- Analizar la estabilidad de las propiedades fisicoquímicas, reológicas y microbiológicas de los geles postre frutales durante el almacenamiento.

Tercera parte

- Elaborar un gel deportivo a partir de jugo de naranja tratado con luz UV-C asistida, enriquecido con extracto de yerba mate (como fuente natural de cafeína) e incorporando mezclas de gomas y endulzantes.
- Obtener y caracterizar un extracto de yerba mate utilizando como matriz líquida jugo de naranja preservado por luz UV-C asistida.

- Realizar una caracterización fisicoquímica y reológica (curvas de flujo y comportamiento viscoelástico) en el gel deportivo (GD) aditivado con extracto de yerba mate.
- Investigar la intención de compra y la percepción de saludable del GD mediante un estudio conjunto. Asimismo, evaluar la aceptabilidad global, perfil sensorial y emocional del GD mediante pruebas sensoriales realizadas con consumidores deportistas.
- Estudiar durante el almacenamiento las propiedades fisicoquímicas, y microbiológicas del GD envasado.

3 Materiales y métodos



PARTE 1: Aplicación de la tecnología UV-C para el procesamiento de jugos

En esta sección se detallan los materiales y métodos utilizados para la caracterización del jugo frutal, así como el equipo utilizado para la aplicación del tratamiento de preservación.

3.1 Materia prima

Se utilizó jugo de naranja concentrado (*Citrus sinensis*, var. Valencia; 65–70 °Brix, pH 3,4), sin ningún conservante, donado gentilmente por Tradecos S.A. (Buenos Aires, Argentina) y ECA Agroindustria (Entre Ríos, Argentina). Cabe destacar que, si bien se contó con dos empresas donantes, la materia prima correspondió a única industria cítrica elaboradora (ECA Agroindustria). El jugo se mantuvo a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta su utilización en los experimentos. Antes de cada ensayo, el mismo fue diluido adecuadamente con agua del grifo esterilizada (proporción de 6:1, agua: jugo) a modo de simular la preparación del jugo industrial, alcanzando los sólidos solubles deseados.

3.2 Reactivos

- ❖ Ácido bórico (H_3BO_3) (Biopack, Argentina)
- ❖ Ácido cítrico ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) (Anedra, Argentina)
- ❖ Ácido gálico ($\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_5$) (Biopack, Buenos Aires, Argentina)
- ❖ Ácido tricloroacético ($\text{C}_2\text{HCl}_3\text{O}_2$) (Biopack, Argentina)
- ❖ Ácido tiobarbitúrico ($\text{C}_4\text{H}_4\text{N}_2\text{O}_2\text{S}$) (Biopack, Argentina)
- ❖ Alcohol etílico absoluto ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$) (Biopack, Buenos Aires Argentina)
- ❖ Ácido 2,2'azinobis-(3-etilbenzotiazolina)-6-sulfónico (ABTS) ($\text{C}_{18}\text{H}_{18}\text{N}_4\text{O}_6\text{S}_4$) (Merck, Billerica, EEUU)
- ❖ Bifosfato de sodio (NaH_2PO_4) (Sigma, EEUU)
- ❖ Catequina ($\text{C}_{15}\text{H}_{14}\text{O}_6$) (Biopack, Buenos Aires Argentina)
- ❖ Carbonato de sodio (Na_2CO_3) (Biopack, Buenos Aires, Argentina)
- ❖ Cloruro de calcio ($\text{CaCl}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) (Parafarm, Argentina)
- ❖ Cloruro de cobalto ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) (Anedra, Argentina)

- ❖ Cloruro de cobre ($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (Biopack, Argentina)
- ❖ Cloruro de manganeso ($\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) (Anedra, Argentina)
- ❖ Cloruro de níquel ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) (Biopack, Argentina)
- ❖ Cloruro de potasio (KCl) (Anedra, Argentina)
- ❖ Cloruro de sodio (NaCl) (Anedra, Argentina)
- ❖ 2,2-difenil-1-picrilhidracilo ($\text{C}_{18}\text{H}_{12}\text{N}_5\text{O}_6$) (DPPH) (Merck, Billerica, EEUU)
- ❖ Extracto de levadura (Laboratorios Britania, Argentina)
- ❖ Fosfato disódico (Na_2HPO_4) (Sigma, EEUU)
- ❖ Fosfato monopotásico (KH_2PO_4) (Biopack, Argentina)
- ❖ Glucosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) (Britania, Argentina)
- ❖ Hidróxido de sodio 0,1 N (NaOH) (Merck, Darmstadt, Alemania)
- ❖ 5-hidroximetil-furfural (HMF) ($\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_3$) (Sigma Aldrich)
- ❖ Iodato de potasio (KIO_3) (Laboratorios Cicarelli, Argentina)
- ❖ Ioduro de potasio (KI) (Química Oeste, Argentina)
- ❖ 2,6-diclorofenol indofenol ($\text{C}_{12}\text{H}_7\text{Cl}_2\text{NO}_2$) (Sigma, EEUU)
- ❖ Metanol (CH_3OH) (Biopack, Buenos Aires, Argentina)
- ❖ Molibdato de sodio ($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (Biopack, Buenos Aires, Argentina)
- ❖ Nitrato de sodio (NaNO_2) (Anedra, Argentina)
- ❖ Tricloruro de aluminio (AlCl_3) (Anedra, Argentina)
- ❖ Reactivo de Folin-Ciocalteu (Biopack, Buenos Aires, Argentina)
- ❖ Sulfato de magnesio ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) (Biopack, Argentina)
- ❖ Sulfato de amonio ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) (Biopack, Argentina)

3.3 Medios de cultivo

- ❖ Agua Peptona, libre de indol (Biokar Diagnostics, Beauvais, Francia), composición (g/L): triptona 10,0; cloruro de sodio 5,0; pH (25 °C): $7,3 \pm 0,2$.
- ❖ Agar Nutritivo 2% (AN) (Biokar Diagnostics, Beauvais, Francia), composición (g/L): triptona 5,0; extracto de carne 3,0; agar bacteriológico, 12,0; pH (25 °C): $7,0 \pm 0,2$.

- ❖ Caldo Nutritivo (CN) (Biokar Diagnostics, Beauvais, Francia), composición (g/L): triptona 10,0; extracto de carne 5,0; cloruro de sodio 5,0; pH (25 °C): $7,2 \pm 0,2$.
- ❖ Agar Tripteína Soja (ATS-E) (Laboratorios Britania, Buenos Aires, Argentina), composición (g/L): tripteína 15,0; peptona de soja, 5,0; cloruro de sodio 5,0; agar-agar, 15,0; extracto de levadura 6,0; pH (25 °C): $7,3 \pm 0,2$.
- ❖ Caldo Tripteína Soja (CTS-E) (NEOGEN Culture media, Michigan, Estados Unidos), composición (g/L): peptona de caseína 17,0; peptona de soja, 3,0; cloruro de sodio, 5,0; fosfato de hidrógeno dipotásico, 2,5; glucosa, 2,5; extracto de levadura, 6,0; pH (25 °C): $7,3 \pm 0,2$.
- ❖ Agar Sabouraud glucosado (Sab) (Laboratorios Britania, Buenos Aires, Argentina), composición (g/L): peptona, 5,00; tripteína, 5,00; glucosa, 40,00; cloranfenicol, 0,05; agar, 15,00; pH (25 °C): $5,6 \pm 0,2$.
- ❖ Caldo Sabouraud glucosado (Sab Caldo) (Laboratorios Britania, Buenos Aires, Argentina), composición (g/L): tripteína, 5,0; peptona de carne 5,0; glucosa, 20,0; pH (25 °C): $5,6 \pm 0,2$.
- ❖ Caldo *Bacillus acidocaldarius* (Caldo BAM), preparado según Silva y Gibbs (2001) con la siguiente composición (g/L): $\text{CaCl}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0,25; MgSO_4 , 0,50; $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 0,20; extracto de levadura 2,00; glucosa, 5,00; KH_2PO_4 , 3,00; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0,1; $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 0,03; H_3BO_3 , 0,30; $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 0,20; $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 0,01; $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 0,02; Na_2HPO_4 , 0,30; pH (25 °C): $4,0 \pm 0,2$ ajustado con ácido cítrico.
- ❖ Agar *Bacillus acidocaldarius* (BAM, para recuento), preparado según Silva y Gibbs (2001) con la siguiente composición (g/L): $\text{CaCl}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0,25; MgSO_4 , 0,50; $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 0,20; extracto de levadura, 2,00; glucosa, 5,00; KH_2PO_4 , 3,00; 1 ml de solución traza (g/L, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0,10; $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 0,03; H_3BO_3 , 0,3; $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 0,2; $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 0,01; $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 0,02; $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 0,03); agar bacteriológico (Laboratorios OXOID, Hampshire, Inglaterra) 15,0; pH (25 °C): $4,0 \pm 0,2$ ajustado con ácido cítrico.
- ❖ Agar *Alicyclobacillus acidocaldarius* (AAM, para obtención de esporas), preparado con la siguiente composición (g/L): extracto de levadura 1,0; glucosa, 1,0; $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 0,2; MgSO_4 , 0,5; CaCl_2 , 0,25; KH_2PO_4 , 0,6; MnSO_4 , 0,5; agar

bacteriológico (Laboratorios Oxoid, Hampshire, Inglaterra) 20; pH (25 °C): 4,0 ± 0,2 ajustado con ácido cítrico.

3.4 Caracterización fisicoquímica del jugo naranja

La caracterización fisicoquímica se realizó en el jugo de naranja convenientemente diluido (proporción 6:1) (JN), previo al tratamiento por luz UV-C. Ya que como se comentó en la introducción conocer la matriz resulta fundamental al momento del diseño del tratamiento de preservación y la evaluación de su efectividad.

3.4.1 Densidad, sólidos solubles totales, pH, turbidez

Para la determinación de la densidad, se utilizó un picnómetro de 10 mL que fue primero pesado vacío en una balanza analítica (OHAUS), registrando el peso. Posteriormente, se procedió a pesar el picnómetro lleno con la muestra y se registró este nuevo peso. La densidad se calculó utilizando la Ec. 3.1:

$$\text{Densidad (g/mL)} = (\text{peso picnómetro lleno} - \text{peso picnómetro vacío}) / 10 \text{ mL} \quad (3.1)$$

La concentración de sólidos solubles totales (SST) se midió en °Brix mediante un refractómetro PR-101 Palette (ATAGO Co. LTD, Japón). El pH se determinó utilizando un pHmetro PerpHect pH/ISE modelo 310 (Orion Research Inc., Beverly, EEUU). Por otro lado, la turbidez se determinó mediante un turbidímetro (LaMotte, Maryland, EEUU), utilizando un patrón de formazina correspondiente (2000 NTU).

3.4.2 Color

Para medir el color, se utilizó un colorímetro portátil (Minolta Co. Modelo CM-508-d, Osaka, Japón) con una apertura de medición de 1,4 cm de diámetro. Se tomaron 3 mL de muestra y se colocaron en porta-muestras con base de vidrio y paredes de PVC

opaco de 2,5 cm de diámetro interno y 1 cm de altura. Este volumen de muestra aseguró, por mediciones previas con fondo blanco y fondo negro, que el jugo de naranja se comportara como sistema opaco por coincidencia de mediciones con ambos fondos (Buera y Resnik, 1990), permitiendo independizarse del color de fondo utilizado. Se utilizó un sistema de iluminación D65 y un ángulo de observación estándar de 2°, sobre acrílicos de color blanco o negro. Antes de cada medición, el instrumento fue calibrado con los patrones proporcionados por el fabricante. Se registraron las coordenadas de color en el espacio CIE (X,Y,Z) y las componentes del espacio CIELAB: L* (luminosidad), a* (rojo a verde) y b* (azul a amarillo).

3.4.3 Coeficiente de absorción (α_{254nm}) y porcentaje de transmitancia

El coeficiente de absorción en el UV-C (α_{254nm}) de JN se determinó realizando una serie de diluciones en agua destilada, midiendo la absorbancia a 254 nm con un espectrofotómetro UV-VIS (SP-UV1000, Dragon Lab, California, EE. UU.) y cubetas de cuarzo de 1 cm de trayectoria óptica. La absorbancia se graficó en función de la concentración de jugo (% v/v) para cada dilución, y el coeficiente de absorción (α_{254nm}) se obtuvo a partir de la pendiente de la recta. Es importante señalar que este coeficiente no corresponde al coeficiente de absorción molar, ya que la concentración no está expresada en mol/L (Oteiza y col., 2010).

En cuanto al porcentaje de transmitancia (%TUV) se calculó según la ecuación 3.2 (Koutchma, 2009)

$$\% \text{ TUV} = 100 * 10^{-\alpha_{254nm}} \quad (3.2)$$

Siendo α_{254nm} (-) el coeficiente de absorción de la matriz a 254 nm.

3.4.4 Viscosidad

La viscosidad de JN se midió utilizando un reómetro dinámico tangencial (Paar Physica, modelo MCR 302; AntonPaar GmbH, Graz, Austria). Las mediciones se realizaron a esfuerzo constante, en modo rotacional, empleando una geometría de cilindros concéntricos (CC27/T200), y un volumen de muestra de 20 mL. Las determinaciones se efectuaron por triplicado a una temperatura de $50 \pm 0,1$ °C, correspondiente a los ensayos de reto microbiano. La temperatura se controló mediante el sistema Peltier del equipo, acoplado a un baño termostático. Se registraron las curvas de viscosidad aparente en función de la velocidad de deformación ($\dot{\gamma}$) en el rango de 0,1 a 300 s^{-1} .

3.4.5 Tamaño de partícula

La medición del tamaño de partícula, abarcando un intervalo desde 0,1 hasta 1000 micrómetros, se llevó a cabo mediante el método de dispersión estática de luz (DEL) utilizando un dispositivo **Mastersizer 3000**, (Malvern, Worcestershire, Reino Unido), equipado con una unidad de dispersión Hydro 3000MU. La velocidad de la bomba se ajustó a 1800 revoluciones por minuto (rpm). Las mediciones se realizaron a temperatura ambiente por duplicado.

A partir de los datos obtenidos, el tamaño de partícula se informó como diámetros promedio [D3,2] y [D4,3]. El valor [D3,2] representa el diámetro promedio volumen-superficie, también conocido como diámetro de Sauter:

$$[D3,2] = \frac{\sum n_i d_i^3}{\sum n_i d_i^2} \quad (3.3)$$

Por otro lado, [D4,3] corresponde al diámetro promedio de volumen equivalente o diámetro de Broucker

$$[D4,3] = \frac{\sum n_i d_i^4}{\sum n_i d_i^3} \quad (3.4)$$

Donde n_i es el número de partículas con diámetro igual a d_i (Huang, y col., 2001; Leroux y col., 2003).

3.5 Equipo de procesamiento por luz UV-C

3.5.1 Descripción

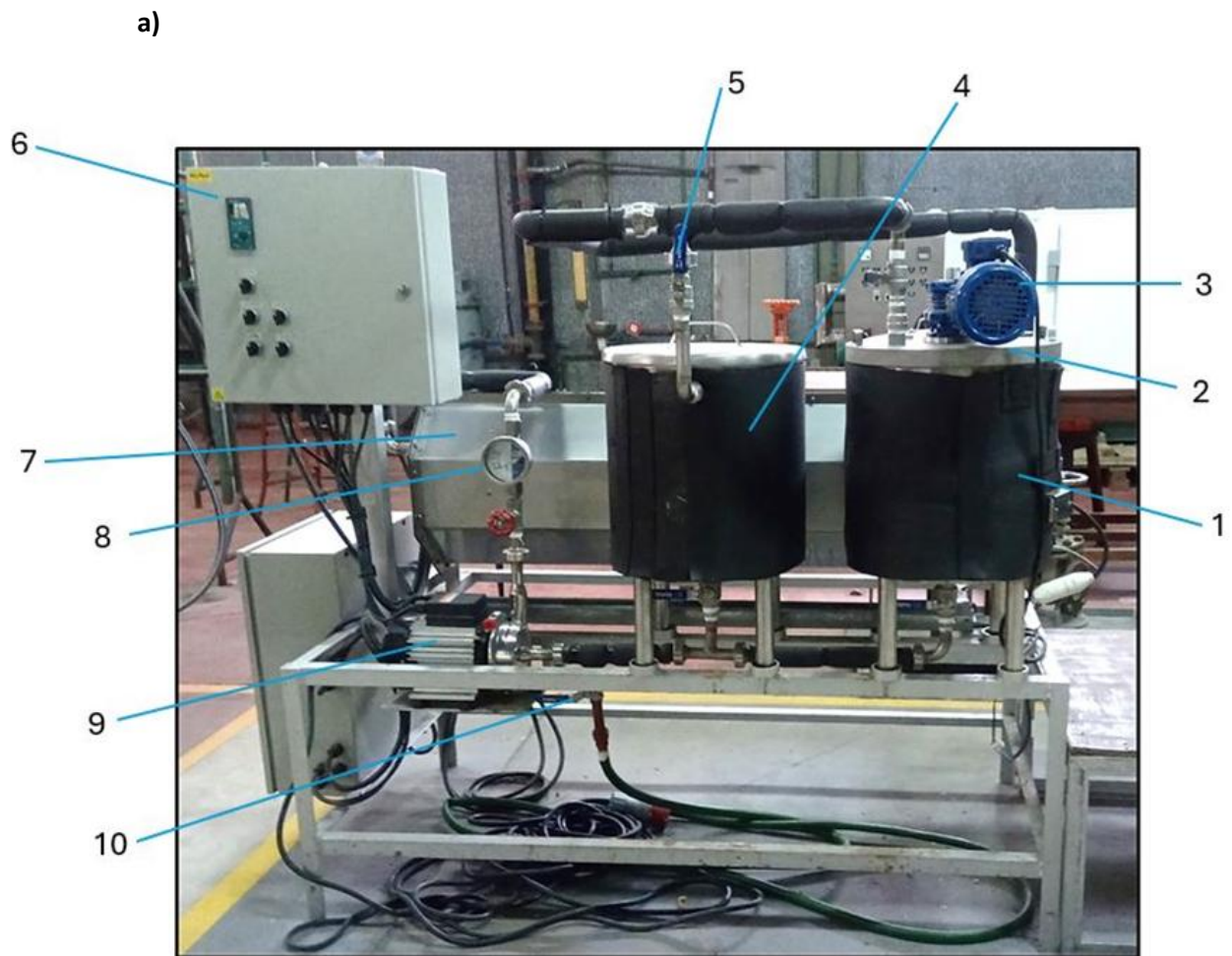
Para el tratamiento del jugo de naranja, se empleó un equipo de procesamiento por luz UV-C a escala piloto de flujo continuo tipo Dean (**Figura 3.1.a**). Este sistema fue diseñado por el grupo de investigación, utilizando como guía equipos de características similares utilizados a nivel mundial. Las partes del equipo fueron construidas por empresas especializadas y luego ensambladas en la facultad con la asistencia técnica del Departamento de Industrias de la FCEN, UBA, y con el servicio de especialistas en instalaciones sanitarias convocados para tal fin.

El reactor UV-C se compone de una plataforma equipada con un panel de control de energía y temperatura, una bomba centrífuga (EBT, modelo AISI 304, Buenos Aires, Argentina), un tanque de alimentación de acero inoxidable con camisa calefactora (50 L, Cerrinox SRL, Buenos Aires, Argentina), un sensor de temperatura PT100 y un sistema de calefacción externa que utiliza una resistencia eléctrica con un termostato de relé. Además, incluye un tanque de recepción de acero inoxidable (50 L, Cerrinox SRL, Buenos Aires, Argentina), un caudalímetro (New-Flow, MF200E, Kaohsiung 806, Taiwán), y una cámara de UV-C de acero inoxidable (Cerrinox, SRL, Buenos Aires, Argentina) que contiene 12 lámparas UV-C y un tubo de etileno-propileno fluorado (FEP) (procedente de China; transparencia al UV-C: 0,98-0,99; longitud: 13,9 m; diámetro interno: 19 mm).

Las doce (12) lámparas (Phillips T8/36 W; eficiencia de lámpara UV-C: 41,7%) están distribuidas tanto en el interior (4 lámparas) como en el exterior (8 lámparas) del tubo de FEP, el cual está dispuesto en forma de hélice donde circula la muestra líquida (**Figura 3.1.b**). Las hélices se fijaron mediante calor suave en una estufa, resultando en una hélice de 40 cm de diámetro y 85 cm de longitud.

Para evitar la pérdida de calor, los tanques y las cañerías se recubrieron con aislante térmico de goma de media pulgada (1/2").

Figura 3.1 a) Equipo de tratamiento UV-C, escala piloto (vista externa). **b)** interior del equipo con las 12 lámparas encendidas



1. Camisa Calefactora

2. Tanque de alimentación

3. Agitador

4. Tanque receptor

5. Válvula de paso

6. Tablero de control

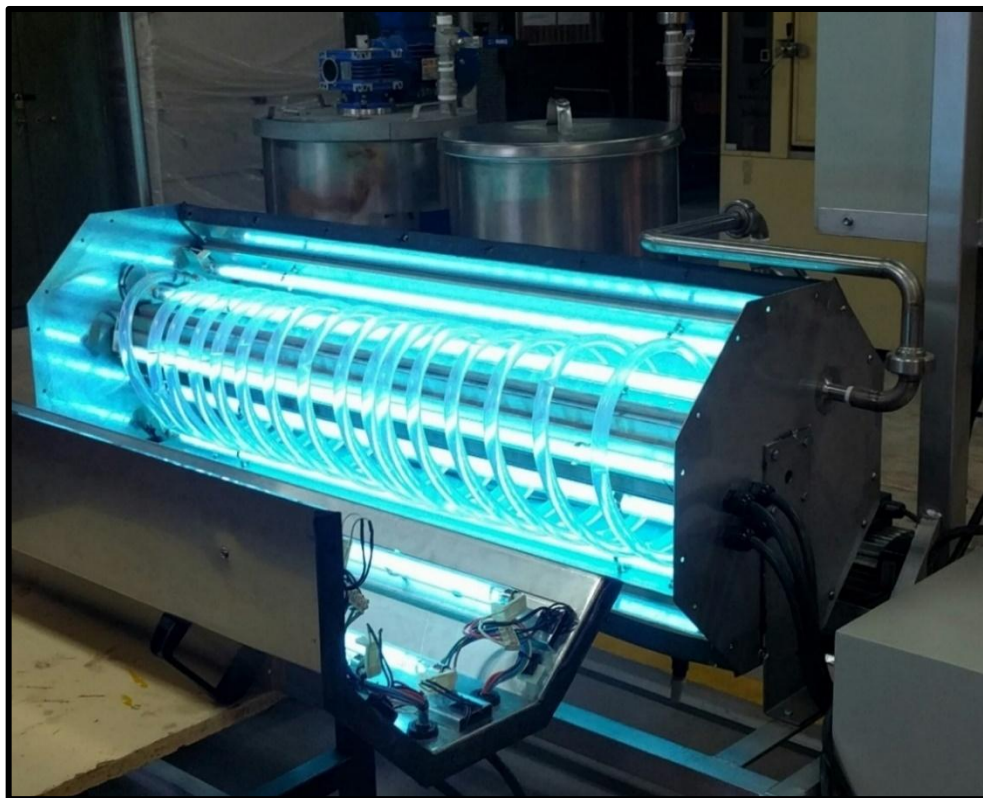
7. Reactor

8. Caudalímetro

9. Bomba centrífuga

10. Válvula de descarte

b)



3.5.2 Determinación de los parámetros fluidodinámicos

Para determinar el flujo dentro del reactor, se calculó el número de Reynolds considerando un caudal de entrada del líquido de 380 L/h y el valor de viscosidad del jugo de naranja a 50 ± 1 °C, según lo indicado en el apartado 3.2.5. La ecuación utilizada para obtener el número de Reynolds es la siguiente:

$$Re = D * \rho * v / \mu \quad (3.6)$$

donde D es el diámetro del tubo de FEP, ρ corresponde a la densidad del jugo, v representa la velocidad superficial del fluido y μ es la viscosidad determinada en el apartado 3.4.4. Además, se calculó el número de Dean (De) con la finalidad de identificar la existencia de flujo secundario en el interior del tubo, que da lugar a la formación de vórtices debido a la curvatura de la tubería (ver **Figura 1.3**), conocido como "efecto Dean", el cual contribuye a mejorar la mezcla del fluido (Koutchma, 2009), aún en régimen laminar:

$$De = Re * \sqrt{\frac{D}{D_c}} \quad (3.7)$$

En esta fórmula, D se refiere al diámetro interno del tubo y D_c es el diámetro de la hélice que forma el coil. Por último, se determinó la D/D_c , dado que un valor que se encuentre entre 0,03 y 0,10 favorece la mezcla, facilitando así la generación de vórtices secundarios (Koutchma, 2009).

3.5.3 Distribución de los tiempos de residencia

Para determinar la distribución de tiempos de residencia, se empleó la técnica de estímulo-respuesta, basada en la inyección de una solución saturada de cloruro de sodio (Koutchma, 2014). A fin de facilitar el procedimiento, se ensambló una maqueta que simula el interior del equipo UV-C. Esta maqueta consta de un tubo coil con el mismo diámetro (19 mm) y longitud (13,9 m) que el reactor, dispuesto en una configuración idéntica y conectado al sistema de tuberías del reactor, tras la bomba y el caudalímetro. Para simular la entrada al reactor, se colocó una jeringa sobre el coil de la maqueta por donde se inyectó un pulso de 5 mL de una solución de cloruro de sodio al 10% (m/v) en un flujo constante de 380 L/h. Se tomaron muestras a la salida del reactor cada 5 s por 90 s y se les midió la conductividad, utilizando un medidor Hanna Combo pH EC HI-98129 (Hanna Instruments, Woonsocket, Rhode Island, Estados Unidos). Finalmente, la concentración de sodio de las muestras tomadas a la salida del reactor se calculó mediante la comparación con una curva de calibración elaborada con soluciones de concentraciones conocidas de cloruro de sodio y sus respectivas conductividades. La distribución de la concentración de la curva de cloruro de sodio $c(t)$ (Ecuación 3.8) se normalizó para obtener $E(t)$ (Ecuación 3.9). A partir de la curva $E(t)$, se estimó el tiempo de residencia medio $\bar{t}$.

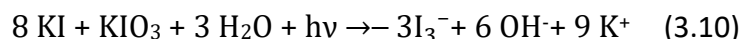
$$E(t) = \frac{c(t)}{\int_0^t c(t) dt} \quad (3.8)$$

$$\bar{t} = \int_0^t t \cdot E(t) dt \quad (3.9)$$

3.5.4 Determinación de la dosis actinométrica ($H_{d_{act}}$)

Se determinó por actinometría la dosis de luz UV-C recibida en la muestra. La actinometría es la cuantificación de la energía de la luz UV a través de la generación de

reacciones fotoquímicas a partir de diversos reactivos químicos. Se utilizó el par actinométrico yoduro de potasio - iodato de potasio (Rhan, 1997), que al ser irradiado por luz UV forma triioduro (I_3), según la siguiente reacción estequiométrica (Ecuación 3.10), compuesto coloreado que puede ser cuantificado espectrofotométricamente.



Se procedió a preparar un volumen de 50 L de una solución 0,6 M de yoduro de potasio y 0,1 M de iodato de potasio en 0,01 M de buffer borato (pH=9,25), que se cargó en el tanque de alimentación y se la hizo circular a través del reactor con las lámparas UV-C encendidas a un caudal de 380 L/h durante 31 pasadas, tomando muestras a intervalos de tiempo pre-establecidos. Seguido, se midió la absorbancia de las muestras en un espectrofotómetro (Hewlett Packard 8453, Hanover, Alemania) a 352 nm y se realizaron los cálculos pertinentes para cuantificarla recurriendo a las siguientes expresiones:

Ley de Lambert-Beer

$$Abs_{352} = \varepsilon * b * C \quad (3.11)$$

$$Moles I_3^- = \frac{Abs_{352} * V(L)}{\varepsilon * b} \quad (3.12)$$

Con ε : 26.400 M⁻¹. cm⁻¹

$$N^\circ Einstein (fotones absorbidos) = \frac{Mol I_3}{QY} \quad (3.13)$$

Siendo,

$$QY = Rendimiento cuántico = 0,75 * [1 + 0,02 * (T - 20,7) * (1 + 0,23 * (C - 0,577))] \quad (3.14)$$

Con,

T = temperatura (°C) y C = concentración de yoduro

Entonces,

$$E (J) = 4,27 * 10^5 (J/Einstein) * N^\circ Einstein \quad (3.15)$$

Con la medida de absorbancia a 352 nm de las muestras luego de cada tiempo de exposición, se calculó el número de moles de triioduro (I_3^-) formados mediante la Ecuación 3.12. Con este dato y el rendimiento cuántico calculado con la Ecuación 3.14, se procedió a calcular el número de Einstein (Ecuación 3.13). Finalmente, mediante la Ecuación 3.15 se halló la energía (E, Joule) recibida por la muestra luego de cada intervalo de tiempo de exposición a la luz UV-C. Se realizó un gráfico de energía en función del tiempo de exposición y se determinó hasta qué tiempo de exposición la respuesta de la reacción colorimétrica es lineal ya que esto dependerá de la potencia de las lámparas y del área del reactor (Rhan, 1997). A partir de ello, se extrapolaron los valores para conocer la energía recibida por la muestra luego del tiempo de tratamiento implementado (31 pasadas) en las experiencias con las muestras. Finalmente, dicha energía se dividió por el área característica del equipo ($0,811 \text{ m}^2$), llegando así al valor de fluencia entregada (H_{dact}) en unidades de energía por unidad de área (mJ/cm^2).

3.6 Estudios de reto microbiano

3.6.1 Microorganismos y preparación de inóculos

Los estudios de reto microbiano se llevaron a cabo utilizando esporas de *Alicyclobacillus acidoterrestris* ATCC 49025 (AA). Por otro lado, con el fin de simular el efecto del microbiota presente de forma natural en los jugos, se trabajó con cócteles de *Escherichia coli* (CEC) y de levaduras (CL). El cóctel de *E. coli* estuvo compuesto por las cepas *E. coli* ATCC 8738, ATCC 11229 y ATCC 25922. En el caso del cóctel de CL, se incluyeron *Saccharomyces cerevisiae* KE 162, *Zygosaccharomyces bailii* NRRL 7256, *Pichia anomala* NRRL 3668 y *Candida parapsilosis* ATCC 22019.

La selección de estos microorganismos buscó representar los grupos de contaminación más relevantes en los jugos cítricos. En particular, se eligió la cepa *Escherichia coli* ATCC 25922 como representante de su especie, ya demostró ser un excelente subrogante de la cepa patógena *Escherichia coli* O157:H7, según lo reportado por Sauer y Moraru (2009) y, Kim y Harrison (2009). Cabe destacar que, las cepas

subrogantes, no patógenas, presentan comportamientos similares frente a factores de estrés comparables a los de la cepa patógena objetivo y, además, suelen mostrar igual o mayor resistencia a los tratamientos estudiados. Esto las convierte en indicadores fiables para evaluar la eficacia de los procesos de tratamiento (Ozturk y col., 2020; Schultze y col., 2020).

Asimismo, se estudió la respuesta de microorganismos deteriorativos a los tratamientos aplicados. Tal como se mencionó en la **sección 1.2.1**, los jugos de frutas se deterioran predominantemente por acción de levaduras, responsables de la fermentación alcohólica. *Saccharomyces* spp. es el género más frecuente debido a su tolerancia al etanol (Martínez y col., 2000). En este estudio, se seleccionó la cepa *Saccharomyces cerevisiae* KE 162 como representante, dado su uso previo en investigaciones similares (Ferrario y col., 2015) y su relevancia en la matriz evaluada. Por otro lado, se seleccionó la cepa *Alicyclobacillus acidoterrestris* ATCC 49025, una bacteria esporuladora de particular importancia en la industria de bebidas, debido a las características previamente detalladas en la **sección 1.2.1**.

Todas las cepas fueron provistas por Medica-Tec SRL, Argentina. Las mismas se sembraron en estrías de ATS-E para *E. coli*, y SAB para levaduras. Los tubos se incubaron a 37 °C y 27 °C, respectivamente por 24 hs, almacenándolos luego a 4 °C para su posterior utilización. En el caso de *A. acidoterrestris*, el estriado se realizó en BAM y se incubó a 43 °C por 48 horas previo a la esporulación. La preparación de inóculos se realizó en cabina de seguridad biológica tipo II (Nuair Inc., EEUU).

Para los inóculos compuestos, se transfirió una ansada de cultivo fresco de cada cepa a erlenmeyers con 20 mL de CTS-E, caldo Sab, dependiendo del tipo de microorganismo: *E. coli* o levaduras, respectivamente. Estos se incubaron a 37 ± 1 °C, o 27 ± 1 °C, respectivamente, durante 18 horas. A continuación, se añadieron los 20 mL de cada inóculo individual a matraces con 980 mL del caldo correspondiente y se incubaron a la misma temperatura por 18 horas adicionales. Finalmente, se tomaron 333 mL de cada inóculo y se transfirieron a un erlenmeyer estéril vacío para obtener las combinaciones de cepas deseadas. Los inóculos compuestos fueron centrifugados (DCA-300 RVT R, Presvac, Argentina), a 1304 g durante 15 minutos; tras descartar el

sobrenadante, los pellets obtenidos se resuspendieron en 100 mL de agua peptonada estéril, para su posterior inoculación en las muestras a tratar.

Para preparar el inóculo de esporas de *A. acidoterrestris*, se transfirió una ansada del cultivo fresco a un erlenmeyer con 20 mL de caldo BAM, seguido de una incubación a 43 ± 1 °C por 24 horas. Para inducir la esporulación, se sembró el inóculo con ansa cubriendo la superficie del agar AAM dispuesto dentro de frascos tipo Schott, y se incubó durante una semana a 43 ± 1 °C. Las esporas se recolectaron añadiendo 15 mL de agua destilada estéril en cada frasco y utilizando un rastrillo de vidrio para desprender el material celular de la superficie del agar. El material recolectado fue transferido a tubos Falcon estériles y sometido a centrifugación a 700 g por 15 minutos a 4 ± 1 °C. Tras eliminar el sobrenadante, el pellet se resuspendió en una solución de agua-etanol al 50 % v/v y se incubó por 30 a 60 minutos para remover células vegetativas remanentes. Este proceso de centrifugado y resuspensión en agua destilada se repitió tres veces, dejando finalmente las esporas en agua destilada estéril. Posteriormente, se distribuyeron en alícuotas de 3 mL en tubos Falcon con 25 mL de agua destilada estéril, y se almacenaron a -18 ± 1 °C hasta su uso (Silva y Gibbs, 2001; Ferrario y col., 2015).

3.6.2 Tratamiento por luz UV-C

Antes de cada ensayo, se desinfectó el equipo de procesamiento por luz UV-C mediante el encendido de las lámparas por 15 minutos y haciendo recircular por las tuberías y tanques una solución sanitizante al 0,5% apta para su uso en equipos de tratamiento de alimentos (BioBac, Seiq, Argentina) y tres enjuagues posteriores con agua estéril. Luego, se cargó el jugo de naranja en el tanque de alimentación (50 L). Para las experiencias con esporas de *A. acidoterrestris* en las que se aplicó UV-C simple, se agregaron los 100 mL del inóculo y se recirculó por el equipo con las lámparas apagadas. En el caso de los ensayos con inóculos compuestos (CEC y CL), en los que se aplicó luz UV-C asistida por calor moderado (UV-C/T, 50 °C), una vez agregado el jugo en el tanque de alimentación, se encendió la camisa calefactora, junto con el agitador para favorecer un mezclado uniforme, y se esperó hasta alcanzar la temperatura de 50 °C (aproximadamente 20 minutos). Una vez alcanzada la temperatura deseada, se

adicionaron de forma aséptica 100 mL del inóculo correspondiente y se recirculó el jugo con las lámparas apagadas durante 2 minutos para garantizar su correcta homogeneización. Seguidamente, se procedió a trabajar por pasadas de 2 min de duración, haciendo circular la totalidad del jugo, del tanque de alimentación al tanque receptor a través del reactor encendido, y se tomaron 5 mL de muestra cada 2 pasadas para su posterior siembra y análisis. El total de pasadas realizadas por corrida fueron 31, determinado en estudios preliminares, lo cual equivalió a 21,7 min de procesamiento. Todas las experiencias fueron realizadas por triplicado. Una vez finalizadas las corridas experimentales con jugo inoculado, se procedió a realizar el correspondiente proceso de sanitización del equipo. En primer lugar, se descartó el jugo residual en bidones que contenían solución de hipoclorito de sodio (lavandina) para asegurar la inactivación de la microflora remanente. A continuación, se llevó a cabo la limpieza del equipo mediante el uso de solución sanitizante comercial (BioBac, Seiq, Argentina). El procedimiento consistió en llenar el tanque de alimentación con agua y la solución sanitizante, encender las lámparas UV-C y permitir la recirculación del sistema durante 15 minutos. Finalizada esta etapa, se realizaron tres enjuagues consecutivos con agua para eliminar posibles residuos del sanitizante. Este procedimiento se llevó a cabo siguiendo las medidas de seguridad y las buenas prácticas requeridas para el manejo de muestras microbiológicamente activas.

3.6.3 Enumeración de la población sobreviviente

Para la enumeración de los microorganismos sobrevivientes luego del tratamiento con luz UV-C, se tomaron alícuotas del jugo de naranja y se realizaron diluciones 1/10, en tubos de agua peptonada (0,1 % p/v). Se sembraron en superficie en placas de petri por duplicado con un plaqueador orbital (Autoplate 4000, SpiralBiotech, EEUU), en medio Agar Sab para el coctel de levaduras y en Agar ATS-E para el cóctel de *E. coli*. Las placas se incubaron a 27 °C ó 37 °C para los cócteles de levaduras y bacterias, respectivamente, durante 24 ó 48 h.

En el caso de las esporas *A. acidoterrestris*, previo a la siembra, las muestras fueron sometidas a calentamiento a 80 ± 1 °C durante 10 min en un baño termostático, con el objetivo de inactivar las células vegetativas que pudieran haber quedado presentes y activar las esporas (Ferrario y Guerrero, 2018; Ferrario y col., 2015; Vercammen y col., 2012). Posteriormente, se realizaron las diluciones adecuadas de acuerdo con los recuentos esperados, las cuales fueron sembradas en agar BAM e incubadas a 43 °C durante 72 h (Silva y Gibbs, 2001).

Como algunos recuentos esperados podían ser bajos (menor a 10^2 UFC/mL) se utilizó también la técnica de siembra en profundidad. La misma consistió en volcar 1 ó 2 mL de muestra en una placa de Petri estéril vacía y cubrirla con agar fundido a menos de 30°C, se homogeneizó mediante movimientos en forma de 8 sobre la mesada y luego se dejó solidificar el agar antes de la incubación.

El recuento de colonias se realizó sobre una grilla provista junto al equipo plaqueador en el caso de la siembra en superficie, y con un contador automático (COMECTA S.A., Barcelona, España) para la siembra en profundidad.

Las curvas de supervivencia se generaron a partir de los datos experimentales, graficando la fracción sobreviviente como $\log N/N_0$ (donde N es el número de UFC/mL a un tiempo dado y N_0 el número inicial de UFC/mL) versus el tiempo de tratamiento (t).

3.7 Modelado matemático de la cinética de inactivación

Se emplearon dos modelos matemáticos conceptualmente distintos: modelo de distribución de frecuencias de muerte de Weibull y el modelo de Coroller, para caracterizar y comprender la inactivación microbiana inducida por el tratamiento UV-C/T en el jugo de naranja.

3.7.1 Modelo de Weibull

El modelo de Weibull (Peleg y col., 1998) se utilizó para analizar la cinética de inactivación de los microorganismos tratados. Este modelo plantea que cada organismo dentro de una población posee una sensibilidad específica frente a un tratamiento, lo que determina el momento exacto en que es inactivado. Como resultado, la población microbiana presenta un espectro de resistencias al tratamiento aplicado. La forma de la curva de supervivencia depende de la distribución de frecuencias de estas resistencias, la cual puede describirse mediante un conjunto de parámetros estadísticos. Para obtener los parámetros del modelo a partir de los datos de inactivación obtenidos, se empleó una regresión no lineal basada en la forma acumulativa de la distribución tipo Weibull:

$$S(t) = \log\left(\frac{N}{N_0}\right) = -b \cdot t^n \quad (3.16)$$

En esta ecuación, $S(t)$ representa la fracción logarítmica de sobrevivientes en un momento dado, la cual depende de b y n , los parámetros de escala y forma, respectivamente. Los valores de b y n se emplearon para obtener las distribuciones de frecuencias de resistencias utilizando la siguiente ecuación:

$$\frac{d\phi}{dt_c} = b \cdot n \cdot t_c^{n-1} \exp(-b \cdot t_c^n) \quad (3.17)$$

Donde t_c es una medida de la resistencia o sensibilidad del microorganismo al tratamiento aplicado y $\frac{d\phi}{dt_c}$ es la distribución de tipo Weibull correspondiente a t_c .

Asimismo, se calcularon otros parámetros estadísticos de la distribución (moda, media, varianza, y coeficiente de sesgo) (Peleg y col., 1998) a partir de las siguientes ecuaciones:

$$t_{cm} = [(n - 1)/nb]^{1/n} \quad (3.18)$$

$$t_c = \{I[(n + 1)/n]/b^{1/n}\} \quad (3.19)$$

$$\sigma_{tc}^2 = \{I[(n + 2)/n] - (I[(n + 1)/n])^2\}/b^{2/n} \quad (3.20)$$

$$\nu_1 = \frac{[\Gamma(n+3/n)/b^{3/n}]}{[\Gamma(n+2/n)/b^{2/n}]^{3/2}} \quad (3.21)$$

Donde Γ es la función gamma. La distribución moda, t_{cm} , representa el tiempo de tratamiento al cual la mayor parte de la población muere o es inactivada, es decir la máxima frecuencia. La media, t_c , corresponde al tiempo medio de los distintos tiempos de inactivación con su varianza, σ_{tc}^2 . El coeficiente de sesgo, ν_1 , representa el sesgo de la distribución y está relacionado con los miembros más resistentes de la población microbiana.

3.7.2 Modelo de Coroller

El modelo introducido por Coroller y col (2006), también conocido como doble Weibull, se basa en considerar dos distribuciones Weibullianas mixtas de resistencias microbianas, cada una describiendo las subpoblaciones más sensibles y resistentes, respectivamente:

$$\log_{10} \left(\frac{N}{N_0} \right) = \frac{1}{1+10^\alpha} \left[10^{-\left(\frac{t}{\delta_1}\right)^p} + 10^{-\left(\frac{t}{\delta_2}\right)^p} \right] \quad (3.22)$$

En este caso, α es la proporción logarítmica entre la fracción sensible (f) y la resistente ($1-f$), p es un parámetro de forma, y δ_1 y δ_2 son los valores de tiempo para la primera reducción decimal correspondientes a las subpoblaciones 1 (f , fracción sensible) y 2 ($1-f$, fracción resistente), respectivamente.

El desempeño comparado de los modelos se evaluó mediante diferentes estadísticos a saber, la raíz cuadrada del cuadrado medio del error (RMSE) (Ferrario y col., 2013), que representa la desviación promedio entre los valores observados y los estimados; el coeficiente de determinación ajustado (R^2_{aj}), que considera los grados de libertad del modelo; el criterio de información de Akaike (AIC) (Akaike, 1973) y el criterio Bayesiano de Schwarz (BIC) (Quinn y Keough, 2002). Según las teorías de Akaike y

Bayesianas, el modelo más preciso y parsimonioso es aquel que exhibe los valores más bajos de AIC y BIC. Ambos criterios están estrechamente relacionados y permiten evaluar la capacidad predictiva del modelo, aunque el BIC es más restrictivo, ya que impone una penalización mayor en comparación con el AIC.

3.8 Estudios de calidad fisicoquímica luego del procesamiento UV-C

Con el objetivo de evaluar si el tratamiento combinado UV-C/T a escala piloto alteraba las propiedades fisicoquímicas del jugo de naranja (JN, 6:1 agua:jugo), se analizaron los parámetros de color, pH, turbidez y sólidos solubles totales, siguiendo la metodología descrita en la sección 3.6. Además, se determinaron el contenido de polifenoles totales, capacidad antioxidante, flavonoides, 5-hidroximetilfurfural (HMF) y vitamina C, conforme a las metodologías que se detallan a continuación.

3.8.1 Polifenoles totales

El contenido de polifenoles totales (CPT) en JN se determinó mediante el método de Folin Ciocalteu (Singleton y col., 1999). Para ello se preparó una curva de calibración utilizando diluciones seriadas de una solución de ácido gálico en metanol (0,0025 a 0,125 mg ácido gálico/mL). A 1 mL de cada dilución se le agregaron 5 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu (10%), luego de 5 minutos se adicionaron 4 mL de Na_2CO_3 (7%) para alcanzar un volumen total de 10 mL. La mezcla se agitó y se incubó durante 2 horas a temperatura ambiente y al resguardo de la luz. Transcurrido este tiempo, se midió la absorbancia de cada dilución a 760 nm utilizando un espectrofotómetro UV-Vis (SP-UV1000, Dlab, Beijing, China) y con los datos obtenidos se graficó la absorbancia en función de la concentración de ácido gálico para obtener la curva de calibración correspondiente ($y=9,5327x+0,0173$, $R^2=0,99$).

Se repitió el mismo procedimiento para cada muestra y a partir de la absorbancia a 760 nm obtenida para cada una, se calculó CPT mediante la curva de calibración. Los resultados se expresaron como mg de Ácido gálico equivalentes por mL de muestra (mg GAE /mL).

3.8.2 Capacidad antioxidante

3.8.2.1 Método DPPH

Este es un método colorimétrico basado en la capacidad de la muestra de captar radicales libres, la cual se evalúa usando el radical estable 2,2-difenil-1-picrylhydrazyl (DPPH) de acuerdo con la metodología propuesta por Gutiérrez y col. (2015). Se diluyeron 100 μ L de muestra en agua destilada y se mezclaron con 2775 μ L de DPPH (0,02 g/L etanol). Se dejó reposar la mezcla en oscuridad durante 30 min a temperatura ambiente y luego se midió la absorbancia de la misma a 515 nm con un espectrofotómetro UV-vis (SP-UV1000, Dlab, Beijing, China). Para la cuantificación, se construyó una curva de calibración empleando 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico (Trolox) como estándar, en un rango de concentraciones de 0,0625 a 0,5 mg Eq. Trolox/mL. Los resultados se expresaron como miligramos equivalentes de Trolox por mililitro de muestra (mg Eq Trolox/mL).

3.8.2.2 Método ABTS

La capacidad antioxidante (CA) también se midió mediante la capacidad de la muestra de atrapar el catión radical 2-2'-azino-bis-3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico (ABTS+•), de acuerdo al procedimiento descrito por Shalaby y Shanab (2013). Para la obtención del radical ABTS+•, se disolvió ABTS (7mM) en agua destilada con el consiguiente agregado de persulfato de potasio, hasta una concentración final de 2,45 mM. La mezcla se incubó en oscuridad por 18 h hasta completar la reacción y estabilizar la absorbancia de la misma. La solución resultante de ABTS+•, se diluyó con buffer fosfato pH 7,4 (4,00 g de NaCl, 0,10 g KCl, 0,72 g de Na₂HPO₄, y 0,12 g de KH₂PO₄ en 500 mL de agua destilada) hasta alcanzar una absorbancia alrededor de 1, a 734 nm. La determinación se realizó mezclando 4 mL de la solución diluida de ABTS+• con 200 μ L de muestra, previamente diluida para obtener absorbancias entre 0,1 y 0,9. Luego de homogeneizar, se incubó por 90 minutos y se determinó la disminución de la absorbancia a 734 nm, con respecto al blanco. Los valores de capacidad antioxidante se determinaron mediante una curva de calibración de Trolox ($y=5,6229x-0,068$,

R²=0,9901), y los resultados se expresaron como mg equivalentes de Trolox por mL de muestra (mg Eq Trolox/mL).

3.8.3 Flavonoides (F)

Para determinar la concentración de flavonoides, se combinaron 500 µL de la muestra con 1,25 mL de agua y 0,075 mL de NaNO₂. Después de dejar reposar la mezcla protegida de la luz durante 5 minutos, se añadieron 0,5 mL de NaOH y 0,275 mL de agua destilada. Tras un periodo adicional de 6 minutos en la oscuridad, se incorporaron 0,125 mL de AlCl₃, seguido inmediatamente de la medición de la absorbancia de la muestra a 510 nm utilizando el espectrofotómetro mencionado anteriormente. La cuantificación se realizó mediante una curva de calibración construida con soluciones estándar de catequina, en un rango de concentraciones entre 0,0313 y 0,200 mg equivalentes de catequina por mL de muestra (mg Eq catequina /mL). Los resultados se informaron como mg equivalentes de catequina por mL de muestra (mg Eq catequina /mL).

3.8.4 5-hidroximetil furfural (HMF)

La cuantificación de HMF se realizó combinando 5 mL de JN con 5 mL de etanol (95% v/v), seguido de una centrifugación a 1000 g durante 15 minutos. A partir del sobrenadante obtenido, se tomó una alícuota de 2 mL, la cual se mezcló con 2 mL de ácido tricloroacético (12% p/p) y 2 mL de ácido tiobarbitúrico (0,025 M). La mezcla se incubó a 40°C durante 50 minutos y, luego de un enfriamiento inmediato, se midió la absorbancia a 443 nm. La concentración de HMF en las muestras se determinó utilizando una curva de calibración construida a partir de un estándar de HMF (99% p/p, Sigma Aldrich, USA), según un procedimiento establecido.

$$HMF \left(\frac{mg}{L} \right) = 0,01204x - 0,0358 \quad (3.23)$$

3.8.5 Vitamina C

La determinación del contenido de vitamina C en alimentos, como jugos de frutas, se puede realizar mediante una técnica de titulación manual utilizando 2,6-diclorofenolindofenol (DCPIP) como indicador redox. Este método aprovecha la capacidad reductora del ácido ascórbico, principal componente de la vitamina C, que reacciona con el DCPIP transformándolo de su forma oxidada de color azul, o rosado en medio ácido, a una forma reducida incolora. Este cambio visual permite cuantificar la concentración de vitamina C en la muestra de manera sencilla. El mismo se llevó a cabo siguiendo el procedimiento descrito por Shamsudin y col., (2014). En primer lugar, se colocó 1 mL de la solución valorante en un erlenmeyer y se tituló gota a gota con una solución estándar de ácido ascórbico al 0,1%. Se registró el volumen de la solución estándar necesario para decolorar completamente el DCPIP, dato que se utiliza como referencia para calcular el contenido de vitamina C en las muestras.

Para evaluar el jugo, se colocó 1 mL de solución de DCPIP al 0,1% en un Erlenmeyer, y se tituló gota a gota con el jugo de muestra, mezclando suavemente hasta que la solución perdió su color. Se registró el volumen exacto de jugo requerido para lograr la decoloración completa. Finalmente, el contenido de vitamina C se calculó mediante la Ecuación 3.24:

$$\frac{\text{mg AA}}{100 \text{ g muestra}} = \frac{\text{volumen de solución estándar AA 0,1\%}}{\text{volumen de muestra}} \times 100 \quad (3.24)$$

Esquema de experiencias-Parte 1

JUGO DE NARANJA (JN)

agua:jugo cc.
de naranja 6:1

CARATERIZACIÓN
FISICOQUÍMICA

TRATAMIENTO UV-C/T

(892 mJ/cm² , 50 ° C)

Cóctel de Levaduras (CL)

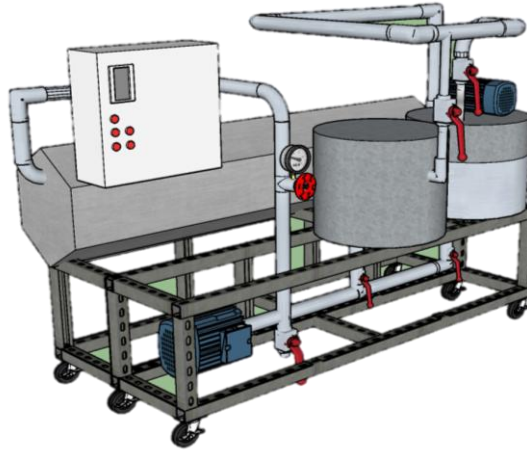
Cóctel de *E. coli* (CEC)

TRATAMIENTO UV-C SIMPLE (892 mJ/cm² , 20 ° C)

A.acidoterrestris

ATCC 49025

ESTUDIOS DE RETO MICROBIANO



CINÉTICA DE
INACTIVACIÓN

MODELADO MATEMÁTICO

- ✓ WEIBULL
- ✓ COROLLER

EQUIPO UV-C A ESCALA PILOTO

TRATAMIENTO PROPUESTO
LUZ UV-C ASISTIDA (892 mJ/cm², 50 °C)

JNUV-C/T

CARATERIZACIÓN
FISICOQUÍMICA

PARTE 2-Subproducto 1: Gel postre frutal

En esta sección se describen las materias primas y la metodología utilizada para la elaboración y caracterización de un gel postre frutal de consumo al paso, con bajo o nulo contenido de sacarosa, conservado mediante estrategias más naturales y menos severas.

3.9 Materia prima

Para el desarrollo y optimización de los geles frutales, se emplearon los siguientes ingredientes:

- Jugo de naranja con procesamiento UV-C/T (JNUV-C/T, 892 mJ/cm²; 50 ± 1 °C).
- Pectina de bajo metoxilo de cáscara de naranja (Gelfix, Bs As, Argentina)
- Sacarosa de grado alimenticio: adquirido en supermercados locales
- Eritritol (99,8%, Biotec, Bs As, Argentina),
- Rebaudiósido A (Saporiti, Bs As, Argentina),
- Polidextrosa (Gelfix, Bs As, Argentina)
- Carbonato de calcio (Carlo Erba reagents, España).

3.10 Medios de cultivo

- **Agar Mac Conkey** (NEOGEN Culture media, Michigan, Estados Unidos), composición (g/L): peptona de caseína, 1,5; peptona de gelatina 17,0; peptona de tejido animal, 1,5; lactosa 10,0; mezcla de sales biliares, 1,5; cloruro de sodio 5,0; rojo neutro 0,03; cristal violeta 0,001; agar-agar, 13,50; pH (25 °C): 7,1 ± 0,2.
- **Agar de Recuento en Placa (APC)** (OXOID, Hampshire, Inglaterra), composición (g/L): triptona, 5,0; extracto de levadura 2,5; glucosa, 1,0; agar-agar, 9,0; pH (25 °C): 7,0 ± 0,2.
- **Agar Extracto de Levadura-Glucosa-Cloranfenicol (YGC)** (Laboratorios Britania, Buenos Aires, Argentina), composición (g/L): extracto de levadura, 5,0; glucosa, 20,0; cloranfenicol, 0,1; agar-agar, 15,0; pH (25 °C): 6,6 ± 0,2.

3.11 Elaboración de los geles postre frutales

Según lo indicado en la **sección 1.6.1.1**, para la elaboración de los geles postre frutales se emplearon endulzantes alternativos a la sacarosa, específicamente estevia (rebaudiósido A) y eritritol. Además, se incorporó povidexina como agente de cuerpo y pectina de bajo metoxilo como gelificante. La selección de estos ingredientes buscó contemplar el uso de aditivos de origen vegetal, más natural, en línea con las tendencias actuales de consumo.

3.11.1 Diseño experimental

Se adoptó un diseño factorial incompleto de cuatro factores y tres niveles, Box-Behnken (Box y Behnken, 1960). Se definieron cuatro variables independientes (factores): sacarosa, eritritol, rebaudiósido A y povidexina (**Tabla 1**). Los rangos de concentración (niveles) de cada sustituto de sacarosa se seleccionaron considerando valores reportados con alta aceptabilidad sensorial (Jang y col., 2021).

Siguiendo el diseño Box-Behnken, se elaboraron **27 sistemas** combinando de manera particular las cuatro variables independientes involucradas (**Tabla 2**). Tres de dichos sistemas correspondieron al centro de coordenadas del diseño experimental, es decir para el nivel codificado igual a 0. Esta inclusión de puntos centrales permitió lograr un perfil de varianza uniforme sobre la región experimental del diseño y además permitió determinar la significación del error experimental.

3.11.2 Procedimiento de elaboración

Para la elaboración de los geles frutales, se incorporaron pectina de bajo metoxilo (1 % p/p) y concentraciones específicas de sacarosa (S, 0 %-6 % p/p), eritritol (E, 0 %-11% p/p), rebaudiósido A (RA, 0%-0,038% p/p) y povidexina (P, 0%-20% p/p) al jugo de naranja con procesamiento UV-C/T, bajo agitación a 50-60 °C, hasta lograr una disolución completa (~20 min). En los sistemas que incluyeron povidexina, la mezcla se enfrió a 30 °C antes de su incorporación. Finalmente, se añadió carbonato de calcio (3,5 mL) bajo agitación durante 15 min a 50–60 °C.

Con fines de comparación, se elaboró un sistema adicional como control, utilizando solo sacarosa (10% p/p), concentración que se seleccionó en base a los valores promedio reportados en el etiquetado de confituras comerciales similares (Jang y col., 2021). La sal de calcio utilizada se seleccionó en base a ensayos preliminares en el laboratorio, que incluyeron una evaluación cualitativa de la capacidad de gelificación y de la aceptabilidad general de los geles postres al emplear carbonato de calcio, lactato de calcio y cloruro de calcio (datos no mostrados).

Tabla 1: Codificación de las variables independientes

Variable Independiente	Niveles	
	No codificado (% p/p)	Codificado
Sacarosa	0	-1
	3	0
	6	1
Eritritol	0	-1
	5,5	0
	11	1
Rebaudiósido A	0	-1
	0,019	0
	0,038	1
Polidextrosa	0	-1
	10	0
	20	1

Tabla 2. Niveles codificados (en mayúscula y negrita) y concentraciones correspondientes (mayúscula) de sacarosa (S), eritritol (E), rebaudiósido A (RA) y polidextrosa (P) en los sistemas de gel frutal, de acuerdo con el diseño de Box-Behnken.

Sistema	S	E	RA	P	S (%p/p)	E (%p/p)	RA(%p/p)	P (%p/p)
1	0	-1	1	0	3	0,0	0,038	10
2	-1	0	0	1	0	5,5	0,019	20
3	1	0	1	0	6	5,5	0,038	10
4	0	0	-1	-1	3	5,5	0,000	0
5	0	-1	0	-1	3	0,0	0,019	0
6	-1	1	0	0	0	11,0	0,019	10
7	-1	0	0	-1	0	5,5	0,019	0
8	0	0	0	0	3	5,5	0,019	10
9	0	0	-1	1	3	5,5	0,000	20
10	1	0	-1	0	6	5,5	0,000	10
11	1	0	0	1	6	5,5	0,019	20
12	-1	-1	0	0	0	0,0	0,019	10
13	0	-1	0	1	3	0,0	0,019	20
14	0	1	0	1	3	11,0	0,019	20
15	1	1	0	0	6	11,0	0,019	10
16	-1	0	1	0	0	5,5	0,038	10
17	0	-1	-1	0	3	0,0	0,000	10
18	0	1	1	0	3	11,0	0,038	10
19	-1	0	-1	0	0	5,5	0,000	10
20	0	0	0	0	3	5,5	0,019	10
21	0	0	0	0	3	5,5	0,019	10
22	1	-1	0	0	6	0,0	0,019	10
23	1	0	0	-1	6	5,5	0,019	0
24	0	0	1	1	3	5,5	0,038	20
25	0	0	1	-1	3	5,5	0,038	0
26	0	1	-1	0	3	11,0	0,000	10
27	0	1	0	-1	3	11,0	0,019	0

3.12 Caracterización fisicoquímica de los geles postre frutales

Inmediatamente después de la gelificación, se evaluaron los parámetros de SST, pH y turbidez, siguiendo la metodología descrita en la **sección 3.4**. Además, en el caso de los geles postre, se incluyeron las determinaciones de actividad de agua (a_w), capacidad de retención de agua (CRA), perfil de textura (PT), viscosidad y propiedades viscoelásticas.

3.12.1 Actividad de agua

La actividad de agua (a_w) se analizó mediante el método oficial 925.09 (AOAC; 2005). Las mediciones se realizaron por triplicado para cada sistema con un higrómetro Aqualab CX-2 (Decagon Devices Inc.) con sensibilidad de $\pm 0,003$, previa calibración con soluciones salinas saturadas en el intervalo de 0,577 a 0,970.

3.12.2 Capacidad de retención de agua

Para la evaluación de la capacidad de retención de agua (CRA), se fraccionaron en alícuotas de 25 g y se colocaron en tubos Falcon de 50 mL, para su gelificación. Posteriormente, fueron pesadas (M1) y sometidas a centrifugación a 2061 g durante 20 minutos, según la metodología descrita por Huang y col. (2020). Tras la centrifugación, se eliminó el agua exudada y el gel se volvió a pesar (M2). CRA se calculó de acuerdo al método de Razi y col. (2018):

$$CRA (\%) = M2 (g) / M1 (g) \times 100 (1) \quad (3.26)$$

Todas las mediciones se realizaron por triplicado en cada sistema.

3.13 Determinación de las propiedades reológicas

3.13.1 *Análisis de perfil de textura*

Se llevó a cabo un Análisis de perfil de textura (PT) para evaluar el comportamiento reológico de los 27 sistemas de gel postre y un control, utilizando una máquina universal de ensayos Instron modelo 3345 (Massachusetts, Estados Unidos), equipada con una celda de carga de compresión de 50 N, un cabezal cilíndrico de 0,035 m de diámetro y un software de adquisición de datos (Bluehill 2, v. 2.17).

Las curvas fuerza-tiempo se obtuvieron aplicando dos ciclos de compresión, con una deformación del 60% a una velocidad constante de 0,001 m/s. A partir de estas curvas, y siguiendo las definiciones de Bourne (2002), se calcularon los siguientes parámetros mecánicos: dureza 1 (D1) en el primer ciclo de compresión, dureza 2 (D2) en el segundo ciclo, área bajo la curva en la primera compresión (A1), área bajo la curva en la segunda compresión (A2), cohesividad, adhesividad (simulando la adhesión al paladar), elasticidad y gomosidad que se detallan en la **Tabla 3**.

Se realizaron mediciones en cinco réplicas para cada uno de los 27 sistemas de gel postre frutal y el control, reportándose el valor promedio. Este número de réplicas se determinó en un experimento preliminar, donde se observó que un mayor número de mediciones no mejoraba la reproducibilidad (99%) debido a la elevada homogeneidad de las muestras.

Tabla 3. Definiciones instrumentales de los parámetros del TPA

Parámetro	Definición instrumental (unidades)
Dureza 1 (D1)	Fuerza máxima registrada durante el primer ciclo de compresión (N).
Dureza 2 (D2)	Fuerza máxima registrada durante el segundo ciclo de compresión (N)
Área 1 (A1)	Área bajo la curva del primer ciclo de compresión pico máximo (J)
Área (A2)	Área bajo la curva del segundo ciclo de compresión pico máximo (J)
Cohesividad	Relación entre el área de la fuerza aplicada durante la segunda compresión y la primera compresión.
Elasticidad	Altura que recupera la muestra durante el tiempo que transcurre entre el final de la primera compresión y el comienzo de la segunda compresión. Estandarizada con la distancia inicial de la probeta.
Adhesividad	Área negativa bajo la curva del primer ciclo de compresión, generada por el trabajo que realiza la celda para desprenderse de la muestra (J).
Gomosidad	Producto entre la dureza y la cohesividad (N).

3.13.2 Viscosidad

La viscosidad aparente (η) se determinó incrementando gradualmente la velocidad de cizalla desde 0,100 hasta 100,0 s^{-1} , utilizando el reómetro Physica MCR 302 (Anton Paar GmbH) en modo rotacional, equipado con un plato paralelo arenoso (PP40, 40 mm de diámetro). El espesor de la muestra fue ajustado a 3 mm y la temperatura se mantuvo constante a 5 °C mediante un sistema Peltier con un circulador de fluido.

La viscosidad en estado estacionario o inicial se definió como el promedio de los tres valores registrados en el intervalo de velocidad de cizalla de 0,100 a 0,108 s^{-1} . Por otro lado, la viscosidad dinámica o final correspondió al promedio de los valores

observados entre 9,48 y 10,3 s⁻¹. El rango de velocidad de cizalla seleccionado para determinar la viscosidad final se fundamentó en la correlación positiva reportada por Lee y Lucey (2006), quienes observaron una relación entre la viscosidad aparente a 10 s⁻¹, la viscosidad oral y las propiedades sensoriales de cobertura en boca en yogures batidos.

Para el análisis de los datos obtenidos, se emplearon el Análisis Multivariado de Varianza (MANOVA) y el Análisis de Componentes Principales (ACP) con el objetivo de evaluar las relaciones entre los parámetros fisicoquímicos y las propiedades reológicas de los sistemas de gel postre, y la muestra control. Para evitar problemas de multicolinealidad en las variables del Análisis de Perfil de Textura (PT), se aplicó inicialmente un ACP, lo que permitió obtener las dos primeras componentes principales (CP 1' y CP 2'), que resumieron la información de estas variables. Posteriormente, dichas componentes, junto con los parámetros fisicoquímicos y reológicos, se utilizaron para identificar asociaciones relevantes entre los sistemas.

El MANOVA se realizó con un nivel de significancia establecido en $p < 0,001$. En los casos donde se encontraron diferencias significativas, se aplicaron comparaciones múltiples post-hoc entre las medias multivariadas mediante el test de Hotelling, ajustado con la corrección de Bonferroni. Por su parte, la calidad del ajuste del ACP fue evaluada mediante el coeficiente de correlación cofenética (CCC), considerando un valor cercano a 1 como indicativo de un ajuste adecuado.

3.14 Selección de los mejores sistemas de gel postre frutal

3.14.1 Optimización por análisis de regresión múltiple y metodología de superficie de respuesta (MSR)

El análisis de regresión múltiple y metodología de superficie de respuesta (MSR) se utilizó para optimizar la concentración de los componentes S, E, RA y P que maximizara las respuestas de los parámetros dureza (D1) y capacidad de retención de agua (CRA) medidos en los 27 sistemas y el control. Se propuso una función matemática que correlacionara la variable respuesta Y para cada respuesta (D1 o CRA) con cuatro

variables independientes: sacarosa (X_1), eritritol (X_2), rebaudiósido A (X_3) y polidextrosa (X_4) a través de la función ϕ :

$$Y = \phi(X_1, X_2, X_3, X_4) \quad (3.27)$$

ϕ se aproximó a una función polinomial de segundo grado

$$Y = \beta_0 + \sum_{\mu=1}^2 \beta_{\mu} x_{\mu} + \sum_{\mu=1}^2 \beta_{\mu\mu} x_{\mu}^2 + \beta_{\mu j} x_{\mu} x_j \quad (3.28)$$

Donde Y es la variable respuesta, $x_{\mu j}$ son las variables independientes codificadas, relacionadas linealmente con $X_{\mu j}$ y $\beta_0, \beta_{\mu}, \beta_{\mu\mu}$ y $\beta_{\mu j}$ son los coeficientes de regresión. Los niveles de las variables fueron codificados como -1 (nivel más bajo), 0 (nivel medio) y +1 (nivel más alto) de cada uno de los aditivos. Sus valores reales (X_i) y los valores codificados correspondientes (x_i) se presentan en la **Tabla 4**. Para seleccionar la mejor ecuación, un análisis de la varianza, un F-test parcial para los parámetros individuales y un análisis de los residuos, fueron llevados a cabo siguiendo un procedimiento de selección hacia atrás (Ferrario y Guerrero, 2018).

Una vez determinados los coeficientes de cada ecuación y tras la aplicación de la regresión no lineal al conjunto de datos experimentales, se obtuvo un gráfico de superficie de respuesta. Con el análisis MSR se buscó establecer las condiciones óptimas de concentraciones de los distintos ingredientes que maximicen los parámetros de D1 y CRA. Para ello, se seleccionaron las variables más relevantes en el modelo, determinadas a partir de la suma total de cuadrados explicada por cada variable independiente (x_i), considerando todos los términos de la ecuación en los que dicha variable participa.

Tabla 4: Codificación de las variables independientes para el estudio MSR

Variable Independiente	Símbolo		Niveles	
	No codificado	Codificado	No codificado	Codificado
Sacarosa	X ₁	x ₁	0	-1
			3	0
			6	1
Eritritol	X ₂	x ₂	0	-1
			5,5	0
			11	1
Rebaudiosido A	X ₃	x ₃	0	-1
			0,019	0
			0,038	1
Polidextrosa	X ₄	x ₄	0	-1
			10	0
			20	1

3.14.2 Aspectos sensoriales

3.14.2.1 Prueba virtual: Estudio conjunto

Este estudio se realizó de manera virtual, a través de redes sociales como Facebook[®], durante el periodo de Aislamiento Social, Preventivo y Obligatorio (ASPO) 2020. Se llevaron a cabo encuestas patrocinadas, segmentadas a adultos jóvenes, con el fin de reclutar a un grupo específicos de individuos consumidores de jugos frutales y derivados, alcanzando un total de 496 encuestados (76,2 % mujeres; 23,8 % hombres).

El objetivo del estudio conjunto fue investigar el interés de los consumidores locales en un prototipo de producto o candidato de mercado: un "postre gelificado" elaborado con ingredientes naturales y procesado mediante métodos menos severos, utilizando una encuesta estructurada, diseñada en Google Forms (Google), basada en una imagen acompañada de cuatro afirmaciones, las cuales proporcionaban diferentes tipos y grados de información sobre la imagen, como se ilustra en **Figura 3.2**. En la encuesta se evaluó la percepción de saludable y la voluntad de probar un gel postre

mostrando una imagen acompañada por cada una de las cuatro afirmaciones. Estas afirmaciones hacían referencia al tipo de procesamiento y a las características del producto propuesto. La terminología utilizada y el procedimiento general siguieron las especificaciones descritas por Ares y col., (2009) para este tipo de encuestas.

La organización interna de las afirmaciones (claims) incluidas en la encuesta se realizó de la siguiente manera: se seleccionó un diseño factorial incompleto (2^3). Se evaluaron tres factores categóricos: 1) perfil del jugo, 2) origen del agente gelificante y 3) tipo de procesamiento del jugo; con dos niveles (codificados internamente como 0, que no poseía alguna característica o 1 que si la poseía). Primer factor: perfil del jugo, los niveles fueron: 1- natural, sin conservantes, y 0- sin información sobre el perfil del jugo. Segundo factor: origen del agente gelificante con los niveles: 1- gelificado con componentes derivados de la cáscara de naranja, y 0-sin información sobre la gelificación. El último factor (procesamiento del jugo) abarcó los niveles: 1-jugo procesado sin uso de altas temperaturas, y 0-sin información sobre el procesamiento del jugo.

Se generaron diferentes combinaciones de factores de creciente complejidad, las cuales fueron distribuidas aleatoriamente entre los participantes. Cada participante evaluó la imagen del gel-postre junto con una de las siguientes afirmaciones (claims), como se ilustra en **Formulario 1**:

1. Gel postre frutal elaborado con jugo de naranja (Claim 1, C1).
2. Gel postre frutal elaborado con jugo de naranja, sin conservantes (Claim 2, C2).
3. Gel postre frutal elaborado con jugo de naranja, sin conservantes, gelificado a partir de componentes de la cáscara de cítricos. (Claim 3, C3).
4. Gel postre frutal elaborado con jugo de naranja, sin conservantes, gelificado a partir de componentes de la cáscara de cítricos, sin procesamiento térmico (Claim 4, C4).

Tras observar la imagen y leer la afirmación correspondiente, se solicitó a los participantes calificar la percepción de saludable utilizando una escala hedónica balanceada de 5 puntos, desde "nada saludable" hasta "muy saludable". Asimismo, señalaron su voluntad de probar el producto mediante una escala de 5 puntos, desde

"definitivamente no lo probaría" pasando por "quizás sí, quizás no", hasta "definitivamente lo probaría" (Ares, y col, 2009).

En la segunda parte de la encuesta se realizó un test CATA (Check-All-That-Apply), donde los participantes debían seleccionar todos los términos de una lista que consideraran relacionados con la imagen según la afirmación presentada. Los términos, ordenados de manera aleatoria, incluyeron: natural, novedoso, único, saludable, refrescante, color artificial, muy firme, color atractivo, muy cremoso, frutal, delicioso, para consumo al paso, tratamiento suave y nutritivo (Alcaire y col, 2017). Finalmente, se recopiló información demográfica como género, edad y frecuencia de actividad física.

Figura 3.2: Imagen del prototipo del gel postre junto a la afirmación (C: Claims) correspondiente al **Formulario 1** utilizado para el Estudio Conjunto



C3

Opinión acerca de un postre gelificado con base frutal

Gel postre frutal elaborado con jugo de naranja

*Sin conservantes químicos *Gelificado a partir de componentes de la cáscara de cítricos.



C4

Opinión acerca de un postre gelificado con base frutal

Gel postre frutal elaborado con jugo de naranja

*Sin conservantes químicos. *Gelificado a partir de componentes de la cáscara de cítricos. *Sin procesamiento térmico.



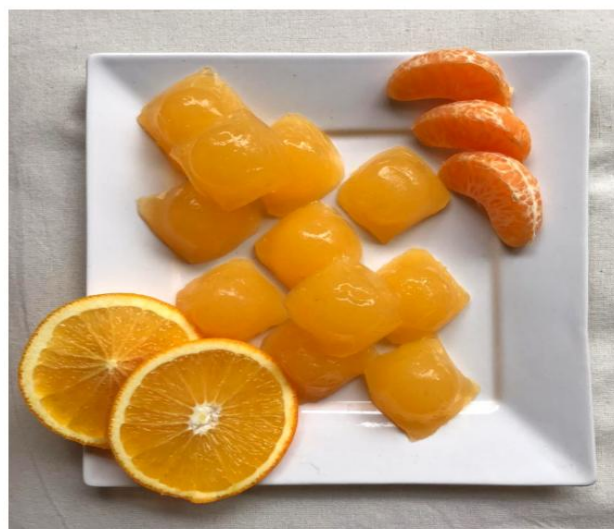
Formulario 1: Formulario digital (Google Forms) del estudio conjuntos y Test CATA

realizado para un prototipo de gel-postre

Opinión acerca de un postre gelificado con base frutal

Descripción del formulario

Gel postre frutal elaborado con jugo de naranja



1. Evalúe cuán saludable piensa que puede ser el producto en una escala del 1 al 5- donde 1 significa "Para nada saludable" y 5 significa "Muy saludable"- *

	1	2	3	4	5	
Para nada saludable	☐	☐	☐	☐	☐	Muy saludable

2. Exprese su voluntad de probar el postre gelificado en una escala del 1 al 5- donde 1 significa "Definitivamente no lo probaría", la mitad de la escala es "Tal vez sí, tal vez no" y 5 corresponde a "Definitivamente lo probaría"- *

	1	2	3	4	5	
Definitivamente no lo probaría	☐	☐	☐	☐	☐	Definitivamente lo probaría

• Por favor, tilde todas las palabras o frases que usted considere que aplican al gel frutal *

- ☐ muy firme
- ☐ novedoso
- ☐ color atractivo
- ☐ único
- ☐ muy cremoso
- ☐ natural
- ☐ color artificial
- ☐ refrescante
- ☐ nutritivo
- ☐ saludable
- ☐ tratamiento suave

Cantidad de porciones de fruta o verdura que consume por día *

- ☐ Ninguna
- ☐ 1-2 porciones
- ☐ Más de dos porciones

3.14.2.2 Pruebas en el laboratorio de análisis sensorial

En esta sección se explicarán los diferentes test sensoriales que se realizaron en los sistemas optimizados **S5** (S 3 % p/p; RA 0,019 % p/p), **S7** (RA 0,019 % p/p; E 5,5 % p/p) y **S16** (RA 0,038 % p/p; E 5,5 % p/p; P 10 % p/p), con el objetivo de evaluar su aceptabilidad global y ciertos atributos específicos. Estos test, además se utilizaron como criterio para seleccionar los sistemas que serían utilizados en los análisis posteriores.

Área de prueba

Las evaluaciones sensoriales se llevaron a cabo en el Laboratorio de Análisis Sensorial de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEyN, UBA), diseñado conforme a estándares internacionales, el mismo está dividido en tres áreas principales. La zona destinada a la preparación de muestras posee amplias mesadas de trabajo, un microondas, una heladera y una piletta de lavado. La sala de discusión o entrenamiento cuenta con una mesa, sillas y una computadora, mientras que el área de pruebas incluye seis cabinas diseñadas específicamente para llevar adelante las pruebas sensoriales. Las cabinas están equipadas con mesadas blancas iluminadas por un sistema de tres tipos de luces, una computadora, un llamador de luz de doble comando y un pasa-muestras, que permitió entregar las bandejas a los panelistas sin interrumpirlos durante los análisis (**Figura 3.3**). La iluminación consistió en luces blanca, roja y azul, empleadas según las características de las pruebas; la luz blanca se utilizó para evaluaciones donde no fue necesario enmascarar el aspecto de las muestras, mientras que las luces roja y azul se emplearon para ocultar características visuales específicas, evitando que estas influyeran en las respuestas de los panelistas.

El laboratorio fue diseñado con paredes blancas para minimizar estímulos visuales, se mantuvo a una temperatura adecuada mediante aire acondicionado y cuenta con acceso a internet en cada terminal de computadora. Además, el espacio se mantuvo aislado de distracciones externas, asegurando un ambiente silencioso, cumpliendo con la norma ISO 8589:2007.

Evaluadores

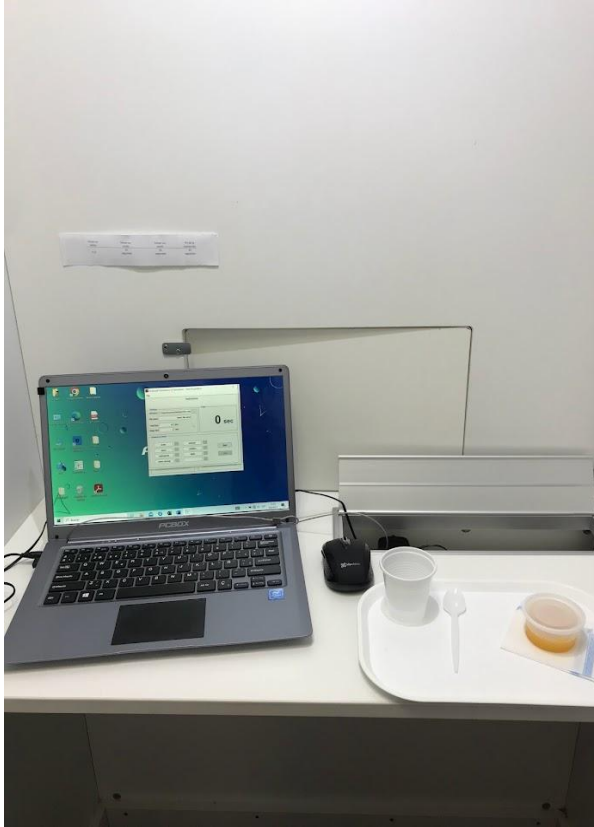
Para cada test sensorial realizado se convocó a consumidores frecuentes de derivados frutales, con edades entre 18 y 60 años, quienes participaron completando planillas digitales de manera cómoda y fluida. Es importante destacar que la participación fue voluntaria y no remunerada. En el caso del test de dominancia temporal de sensaciones (TDS), los participantes recibieron una capacitación previa para familiarizarse con el uso del software requerido antes de la prueba (**Figura 3.3.c**).

Figura 3.3. Laboratorio de Análisis Sensorial de Alimentos. a) Cabinas para realizar la evaluación sensorial, b) Bandeja preparada para la prueba sensorial de gel-postre frutal: vaso de agua, pote con la muestra a evaluar, c) Sala de entrenamiento/discusión donde se explica y capacita a los panelistas sobre la evaluación a realizar y el uso del software, d) Panelistas realizando la evaluación sensorial del gel frutal, y e) Operador entregando las muestras a través del pasa-muestras.

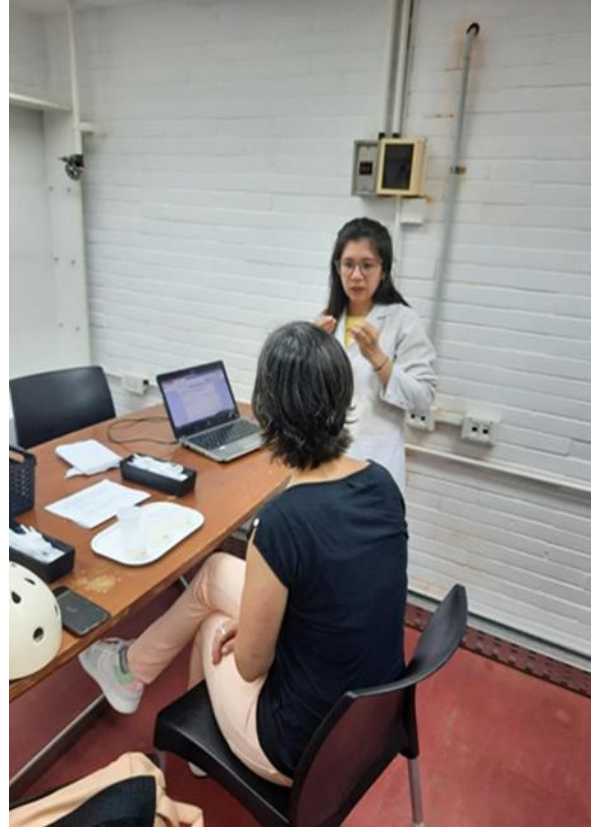
A



B



C



D



E



3.14.2.2.1 Test de campo

La prueba de campo se realizó utilizando los sistemas optimizados seleccionados mediante la metodología de superficie de respuesta. Los sistemas evaluados fueron 4: sistema 5, compuesto por un 3% p/p de S y 0,019% p/p de RA; el sistema 7, con un 5,5% p/p de E y 0,019% p/p de RA; el sistema 16, con 5,5% p/p de E, 0,038% p/p de RA y 10% p/p de P; y un sistema control, que contenía un 10% p/p de S. Las muestras fueron fraccionadas en potes plásticos de 25 g cada uno, identificados con un código de dos dígitos.

El formulario de evaluación (**Formulario 2**) se diseñó conforme a las recomendaciones generales citadas por Lawless y Heymann (2010b) para este tipo de prueba. En primer lugar, se solicitó a los evaluadores que calificaran el producto según su aceptabilidad general utilizando una escala hedónica de 9 puntos, donde 1 correspondía a “me disgusta extremadamente” y 9 a “me gusta extremadamente”.

Además, se evaluaron atributos específicos del gel frutal mediante distintas escalas sensoriales de 5 puntos. El amargor y el sabor metálico se evaluaron con una escala de intensidad corta cuyos valores iban de 1 "sin sabor amargo/metálico" a 5 "sabor amargo/metálico muy intenso". Por otro lado, los atributos como el sabor a naranja, ácido, dulce, consistencia y brillo se analizaron empleando escalas de punto justo (JAR, Lawless, 2013) de 5 puntos donde 1 representaba por ejemplo "sabor a naranja demasiado débil", el 3 era "adecuado sabor naranja" y 5 representaba "sabor a naranja demasiado fuerte". Adicionalmente, los atributos de sabor, aroma y color se evaluaron mediante escalas de aceptabilidad, cuyos extremos correspondían a "me desagrada mucho" y "me gusta mucho", mientras que el punto medio se definió como "no me gusta ni me disgusta" (**Formulario 2**).

Finalmente se procedió a analizar los datos, convirtiendo las posiciones asignadas en números. De la prueba de impresión global se observó la distribución de frecuencias de los puntajes asignados. Seguidamente se procedió a realizar un Análisis de la Varianza multivariado para identificar si los sistemas evaluados fueron significativamente diferentes entre sí. Se realizó un análisis de componentes principales (ACP) a modo de encontrar asociaciones entre la aceptabilidad global y atributos evaluados en los sistemas de gel frutal.

Se realizó un análisis de penalización utilizando los datos obtenidos del JAR, agrupando a los consumidores en tres categorías: por debajo, por encima o en el punto justo de cada atributo evaluado. Se determinó la diferencia en el puntaje hedónico entre los grupos que percibieron los atributos fuera del punto óptimo, conocida como caída promedio (*Mean drop*), y se representó gráficamente en función de la proporción total de consumidores. Este procedimiento permite determinar cuáles atributos, al ser percibidos fuera del punto justo, tienen un mayor impacto negativo en la aceptabilidad global de la muestra, medida a través del puntaje hedónico asignado por los consumidores.

3.14.2.2.2 Prueba CATA

Se realizó una prueba CATA (del inglés *Check-All-That-Apply*) en la que los panelistas, después de degustar las muestras debían seleccionar de una lista todos los términos sensoriales y no sensoriales que consideraban apropiados para describir cada muestra probada (Vidal y col, 2018). Los descriptores incluidos en la lista fueron: *opaco, aroma inusual, ácido, brillante, color atractivo, con un retrogusto agradable, delicioso, ideal para consumir en cualquier momento, sabor natural (similar a fresco), para consumo al paso, refrescante, aroma agradable, con partículas, ideal como postre liviano, sabor artificial, sabor a naranja, con un retrogusto desagradable y consistencia agradable (Formulario 2)*. Los conteos para cada descriptor fueron totalizados para cada producto y la tabla de contingencia resultante se utilizó en los análisis posteriores.

Con el fin de analizar la información proveniente de la realización de la prueba CATA, se procedió a un análisis de correspondencias (AC) usando la tabla de frecuencias de mención obtenida, consistente en las respuestas relativas a los descriptores sensoriales y no sensoriales para los cuatro sistemas evaluados: 5 (3,0% p/p S + 0,019% p/p RA), 7 (5,5% p/p E + 0,019% p/p RA), 16 (5,5% p/p E + 0,038% p/p RA y +10% p/p de P) y C (10% p/p S). De este análisis se obtuvo la representación gráfica bi-dimensional donde se pudo ver espacialmente a qué palabra se asoció cada muestra.

Formulario 2. Planilla para Test de Campo y CATA de un gel-postre frutal

Evaluación de un gel-postre frutal

B *I* U ↔ ✕

Ud. ha recibido para su evaluación muestras de un gel-postre frutal de naranja, el cual fue diseñado como un postre alternativo, de consumo al paso y saludable.

Código de muestra *

Texto de respuesta corta

Pruebe el gel frutal y confiando en su primera impresión, realice una marca en el casillero que mejor refleje su opinión: *

- ☐ Me gusta extremadamente
- ☐ Me gusta mucho
- ☐ Me gusta moderadamente
- ☐ Me gusta algo
- ☐ No me gusta , ni me disgusta
- ☐ Me disgusta algo
- ☐ Me disgusta moderadamente
- ☐ Me disgusta mucho
- ☐ Me disgusta extremadamente

¿Qué opina del AROMA que percibe del gel frutal ? *

- ☐ Me gusta mucho
- ☐ Me gusta moderadamente
- ☐ No me gusta ni me disgusta
- ☐ Me desagrada moderadamente
- ☐ Me desagrada mucho

A continuación, se le pide que responda las siguientes preguntas acerca del SABOR del gel frutal:

Descripción (opcional)

¿Qué opina del SABOR que percibe del gel frutal ? *

- ☐ Me gusta mucho
- ☐ Me gusta moderadamente
- ☐ No me gusta ni me disgusta
- ☐ Me desagrada moderadamente
- ☐ Me desagrada mucho

• ¿Qué opina del sabor a NARANJA del gel frutal ? *

- ☐ Demasiado débil
- ☐ Débil
- ☐ Adecuado
- ☐ Fuerte
- ☐ Demasiado Fuerte

• ¿Cuál es su opinión acerca del sabor ÁCIDO del gel frutal ? *

- ☐ muy poco ácido
- ☐ poco ácido
- ☐ adecuado
- ☐ muy ácido
- ☐ extremadamente ácido

Formulario 2. Planilla para Test de Campo y CATA de un gel-postre frutal (cont.)

- ¿Cuál es su opinión acerca del sabor METÁLICO del gel frutal ? *

- ☐ Nulo
- ☐ Poco Intenso
- ☐ Intenso
- ☐ Muy intenso
- ☐ Extremadamente intenso

-
- ¿Cuál es su opinión del DULZOR del gel frutal ? *

- ☐ Muy poco dulce
- ☐ Poco dulce
- ☐ Adecuado
- ☐ Muy dulce
- ☐ Extremadamente dulce

-
- ¿Cuál es su opinión acerca del sabor AMARGO del gel frutal ? *

- ☐ Nulo
- ☐ Poco intenso
- ☐ Intenso
- ☐ Muy intenso
- ☐ Extremadamente intenso

Formulario 2. Planilla para Test de Campo y CATA de un gel-postre frutal (cont.)

A continuación, responda la siguiente pregunta relacionada a la textura del gel frutal :

Descripción (opcional)

¿Cuál es su opinión acerca de la CONSISTENCIA del gel frutal al probarlo ? *

- ☐ muy fluido
 - ☐ fluido
 - ☐ adecuado
 - ☐ firme
 - ☐ muy firme
-

A continuación, se le solicita que responda preguntas acerca del COLOR del gel frutal:

Descripción (opcional)

¿Cuál es su opinión acerca del COLOR del gel frutal ? *

- ☐ muy desagradable
 - ☐ desagradable
 - ☐ no me agrada ni desagrada
 - ☐ agradable
 - ☐ muy agradable
-

• ¿Qué opina acerca del BRILLO del gel frutal ? *

- ☐ muy opaco
- ☐ opaco
- ☐ adecuado
- ☐ brillante
- ☐ muy brillante

Formulario 2. Planilla para Test de Campo y CATA de un gel-postre frutal (cont.)

225

• Por favor, tilde todas las palabras o frases que usted considere que aplican al gel frutal *

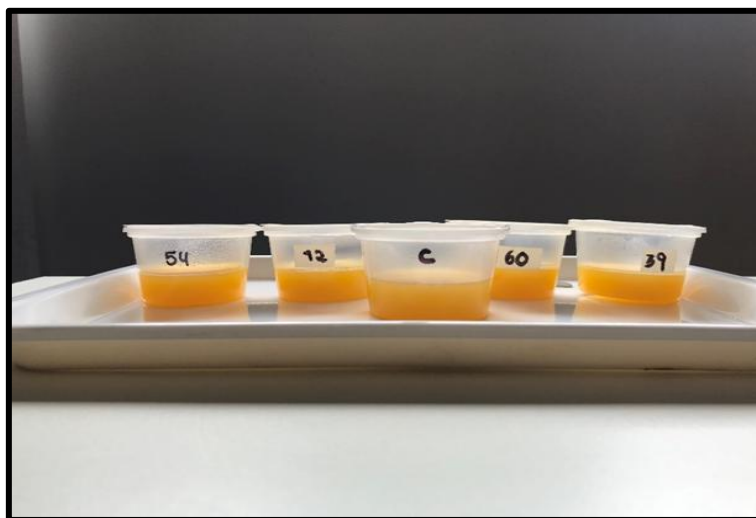
- ☐ aroma agradable
- ☐ aroma inusual
- ☐ particulado/granuloso
- ☐ consistencia agradable
- ☐ color atractivo
- ☐ opaco
- ☐ brillante
- ☐ con dejo/regusto agradable (sabor nuevo que aparece luego de tragar)
- ☐ sabor artificial
- ☐ sabor natural
- ☐ sabor a naranja
- ☐ con dejo/regusto desagradable (sabor nuevo que aparece luego de tragar)
- ☐ delicioso
- ☐ ideal como postre liviano
- ☐ refrescante
- ☐ nutritivo
- ☐ saludable
- ☐ para consumo al paso
- ☐ para cualquier momento del día
- ☐ ácido

3.14.2.2.3 Test de diferencia contra control

Esta prueba discriminativa se aplicó para verificar si los consumidores encontraban alguna diferencia entre la muestra full sacarosa (control) y los sistemas S5, S7 y S16, así como también la magnitud de la misma.

En cada sesión los evaluadores recibieron en total 4 muestras incógnita presentadas de forma idéntica, y codificadas con un número de dos dígitos, dentro de las cuales se encontraba el control camuflado. Además, recibieron un pote correspondiente a un control identificado como tal con letra "C", como se ilustra en la **Figura 3.4**. Se sirvieron 25 g de gel postre en potecitos, a temperatura de consumo entre 5 a 6 °C. En cuanto al orden de presentación fue balanceado y al azar. Se les pidió a los consumidores que evaluaran la magnitud de la diferencia global entre cada muestra de gel-postre frutal y el control (C), y que lo marcaran en una escala de categorías desde "ninguna" diferencia a "muy grande" cómo se detalla en el **Formulario 3**. Adicionalmente se les pidió, en lo posible, describir la diferencia.

Figura 3.4: Bandeja preparada para la prueba sensorial de diferencia contra control de gel-postre frutal: cuatro potes codificados y un pote con muestra control (C)



Formulario 3 Planilla para el Test de diferencia contra control

Evaluación de un gel-postre frutal

B **I** **U** **G** **X**

Ud. ha recibido para su evaluación muestras de un gel-postre frutal de naranja, el cual fue diseñado como un postre alternativo, de consumo al paso y saludable.

Se le ha entregado una muestra control (C) y otras cuatro muestras de gel frutal para que las compare respecto del mismo en cuanto a su diferencia global. Las muestras están ordenadas al azar. 1. Probar primero el control (C). 2. Luego probar la muestra codificada. 3. Evaluar la magnitud de la diferencia global de la muestra respecto del control. 4. Marcar en la escala con una "X" la casilla que mejor exprese la diferencia de sensación percibida. LA DIFERENCIA GLOBAL DE LA MUESTRA RESPECTO AL CONTROL ES:

	54	39	12	60
Ninguna	☐	☐	☐	☐
Ligera	☐	☐	☐	☐
Moderada	☐	☐	☐	☐
Grande	☐	☐	☐	☐
Muy Grande	☐	☐	☐	☐

En caso de encontrar diferencia: ¿Puede describir la misma?

Texto de respuesta larga

3.14.2.2.4 Test de dominancia temporal de sensaciones (TDS)

Este método sensorial descriptivo, consiste en evaluar y determinar repetidamente cual sensación es dominante, hasta que se deja de persistir. Se centra en la naturaleza dinámica del acto de comer, que implica cambios constantes en la respuesta sensorial al ingerir alimentos.

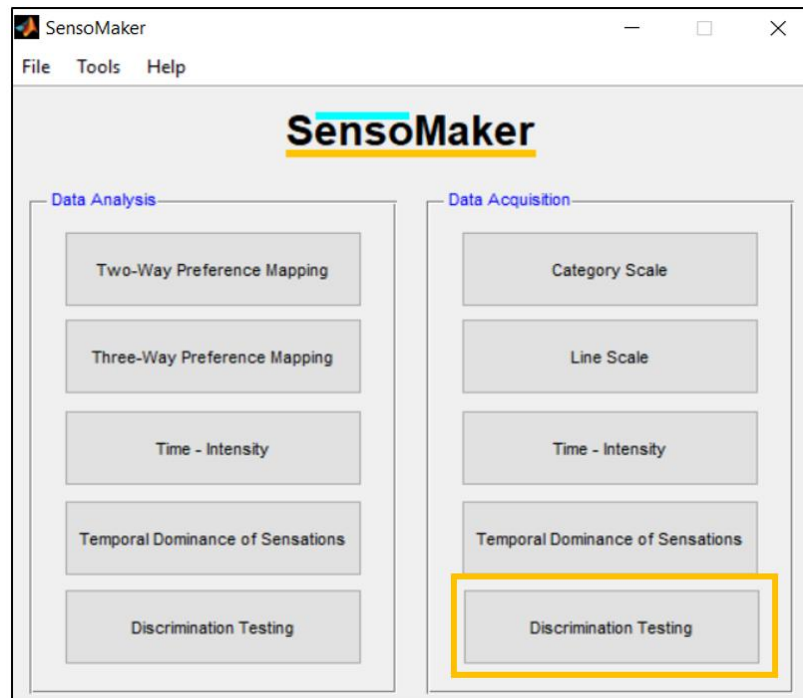
Para la realización del test se utilizó el software "Sensomaker" el cuál fue desarrollado por la Universidad de Lavras, Lavras, Brasil en el año 2014. Esta herramienta, permite realizar diversos análisis sensoriales, incluidos el TDS (**Figura 3.5**).

Para esta prueba se contó con un panel de 120 consumidores, quienes evaluaron los sistemas seleccionados en las pruebas sensoriales previas: **S5**, **S7** y control (**C**). Antes de la evaluación, se realizó una sesión preliminar para que los participantes se familiarizaran con el software y el aspecto temporal de las sensaciones. Se les indicó que tomaran un bocado de una galleta sin sal cada 15 segundos, durante un total de 45 segundos, y seleccionaran el atributo que captara mayor atención de una lista de atributos previamente cargada por el organizador en Sensomaker. En caso de que la sensación perdurara en el tiempo, debían seleccionar la palabra constantemente hasta dejar de sentirla o hasta que otra sensación dominara. Durante la prueba, un cronómetro visible en la pantalla ayudaba a los consumidores a seguir el tiempo. Tras los primeros 15 segundos, debían tomar un segundo bocado y repetir el procedimiento de selección, registrando la sensación dominante en intervalos de 15 segundos hasta completar los 45 segundos.

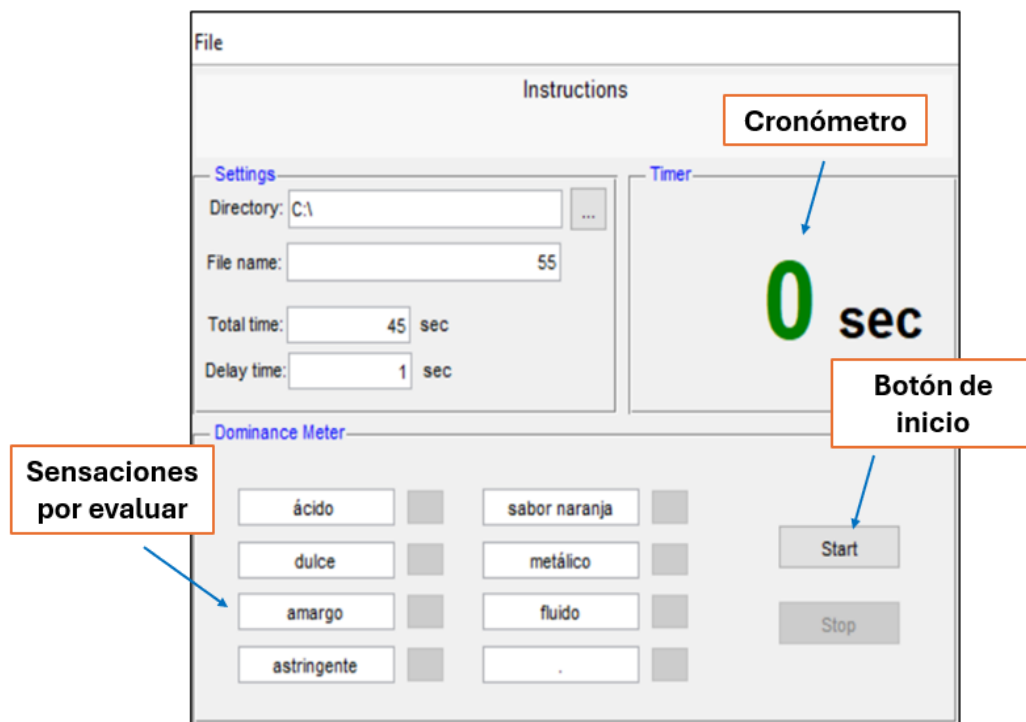
Inmediatamente después del entrenamiento, los participantes fueron ubicados en cabinas individuales para realizar la prueba con las tres muestras de gel postre: **S5**, **S7** y el control (**C**), que se entregaron en orden aleatorio a fin de balancear el posible sesgo en la percepción de una muestra sobre la otra. Se les indicó tomar una porción generosa del gel postre con una cuchara y consumir tres porciones consecutivas, una cada 15 segundos, seleccionando las sensaciones dominantes en cada momento según el procedimiento explicado en el entrenamiento.

Figura 3.5. Pantallas del software Sensomaker. a) Pantalla inicial para la selección del test a realizar, b) pantalla visible al momento previo a realizar el test

a)



b)



3.15 Evaluación de la calidad durante el almacenamiento en los sistemas seleccionados

En esta etapa del estudio, se evaluó el impacto del tipo de procesamiento empleado, como reemplazo de un tratamiento térmico convencional, en la preservación del jugo de naranja utilizado para la elaboración de los sistemas de gel postre seleccionados (**S5**, **S7** y el sistema **C**) a partir de los resultados del análisis sensorial explicado en la sección anterior. Para ello, se analizaron los sistemas correspondientes **S5**, **S7** y **C** elaborados a partir de JN tratado por UV-C/T (JNUV-C/T, 892 mJ/cm²; 50 ± 1 °C) según lo descrito en la sección **3.11.2**. Con fines de comparación, también se elaboraron los mismos sistemas partiendo de JN procesado por un tratamiento térmico convencional (**T-coil** a 80 °C durante 6 minutos) tal como se describe más adelante, en la **sección 3.15.1.2**.

Se estableció un período de almacenamiento de 35 días en condiciones de refrigeración (5 ± 1 °C), tomando como referencia la vida útil reportada para productos comerciales tipo gelatina con características similares. A lo largo de este período, se realizaron mediciones de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de los productos.

3.15.1 Calidad microbiológica

3.15.1.2 Jugo procesado

Se analizó la microbiota nativa del jugo de naranja procesado mediante luz UV-C asistida con temperatura moderada (UV-C/T), utilizando el dispositivo a escala piloto, según lo descrito en la **sección 3.6.2**. Como tratamiento de comparación, se empleó un procesamiento térmico en un sistema de serpentín de vidrio (T-coil) donde recircula la muestra, 300 mL durante 6 minutos, encerrado en un tubo de vidrio donde recircula agua a 80 °C, conectado a un baño termostático de agua para mantener la temperatura constante (**Figura 3.6**).

Tras el procesamiento, los jugos tratados (UV-C/T y T-coil) fueron almacenados bajo refrigeración (5 ± 1 °C) por un máximo de 24 a 30 horas antes de la elaboración de los geles-postres frutales. Los experimentos se realizaron por duplicado para cada condición de procesamiento.

Para la enumeración de la microbiota nativa, se tomaron muestras tanto al inicio del tratamiento (t_0) como al final (t_f), y se procedió según la metodología detallada en **sección 3.6.3**.

Las placas sembradas se incubaron en las siguientes condiciones: levaduras y mohos durante 5 días a 25 ± 1 °C, coliformes totales durante 48 horas a 37 ± 1 °C y mesófilos aerobios totales durante 72 horas a 37 ± 1 °C. Se graficó el log N (UFC/mL) vs el tiempo de almacenamiento.

Finalmente, se evaluó la influencia del tratamiento aplicado (UV-C/T o T-coil) en la microbiota nativa en comparación con el control (sin tratar) mediante un ANOVA de un factor. El nivel de significación fue fijado en $p < 0,05$. Se verificaron las suposiciones de homocedasticidad, normalidad, y se removieron datos anormales, si correspondía. Los contrastes de interacción se efectuaron mediante la prueba de Tukey.

Figura 3.6. Tratamiento térmico (80°C - 6 min) de jugo de naranja en coil de vidrio conectado a baño termostático.



3.15.1.3 Geles postre frutales seleccionados

Se analizó la microbiota nativa en los sistemas de geles postre frutales **S5**, **S7** y **C** elaborados con jugos tratados mediante los procesamientos UV-C/H y T-coil, almacenados en recipientes estériles (1g), cada 24 o 72 hs durante 35 días. Para ello, se tomó una alícuota de cada sistema bajo flujo laminar, que se introdujo en una bolsa estéril previamente tarada. Luego, se pesó y se añadió un volumen de agua peptona correspondiente a nueve veces el peso exacto de la muestra. El contenido de la bolsa se trituró y homogeneizó en un triturador de paletas (Stomacher), y se realizaron las diluciones seriadas correspondientes. Las diluciones, se sembraron en placas de Petri con agar, según los procedimientos previamente descritos. Se obtuvieron los gráficos de log N (recuento microbiano) versus el tiempo de almacenamiento. Todas las mediciones se realizaron por duplicado y se reportó el valor promedio.

3.15.2 Parámetros fisicoquímicos

Para evaluar el comportamiento y el efecto del tipo de procesamiento, se llevaron a cabo determinaciones fisicoquímicas en los sistemas de gel postre elaborados con el JN procesado mediante **UV-C/T** o **T-coil**, durante un periodo de almacenamiento de 35 días. Las determinaciones incluyeron turbidez, color, SST, pH, a_w , CRA, siguiendo las metodologías descritas en **sección 3.4** y **sección 3.12**. Las mediciones se realizaron cada tres días y por triplicado.

3.15.3 Aspectos reológicos

3.15.3.1 Perfil de textura

El análisis de las propiedades mecánicas se realizó sobre los sistemas geles postre frutales, los cuales fueron fraccionados en recipientes con tapas (diámetro: 5 cm; altura: 6 cm) en alícuotas de 40 g. Las mediciones se efectuaron mediante un análisis de perfil textura (PT) utilizando una Máquina Universal de Ensayos, conforme a lo descrito en la

sección de Materiales y Métodos (**sección 3.13.1**). Las muestras se analizaron cada 3 días por quintuplicado, y se reportó el promedio de los resultados obtenidos.

3.15.3.2 Viscosidad

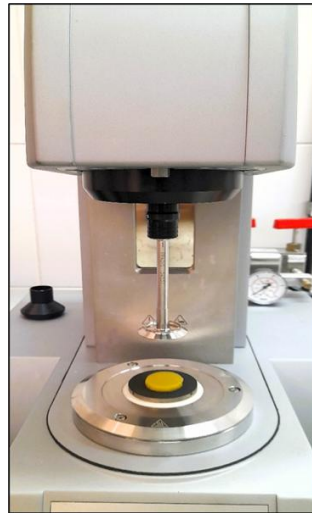
La medición del parámetro viscosidad se llevó a cabo en un reómetro Paar Physica CR 300 (Anton Paar GmbH, Graz, Austria) equipado con una geometría de platos paralelos rugoso (PP30; diámetro, 30 mm) en modo rotacional, se determinó la viscosidad aparente (η) de los geles-postres frutales (cilindros de 30 mm de diámetro, y 3 mm de espesor). El procedimiento experimental se estableció siguiendo lo detallado en la **sección 3.13.2**. Las muestras se analizaron cada 3 días por quintuplicado.

3.15.3.3 Propiedades viscoelásticas

Las mediciones se realizaron con un reómetro Paar Physica CR 302, equipado con una geometría de platos paralelos arenados (PP30; diámetro, 30 mm) y un plato inferior con controlador de temperatura, conectado a un baño termostático. El espesor de las muestras fue de 3 mm, y la temperatura se mantuvo a 5 °C mediante un sistema Peltier acoplado a un circuito de fluido, como se ilustra en la **Figura 3.7**. Inicialmente, se determinó el rango viscoelástico lineal (RVL) mediante un barrido de amplitud bajo deformación controlada, fijando una frecuencia de 1 Hz y variando la amplitud de deformación entre 0,1 % y 100 %. El software del equipo identificó el RVL detectando el punto de inflexión en la pendiente de la curva del módulo elástico (G') frente a la deformación (γ), proporcionando tanto el límite del RVL como un valor inferior recomendado para su empleo en pruebas posteriores. Finalmente, se realizó un barrido de frecuencias empleando una amplitud de deformación del 10 % y midiendo los módulos de almacenamiento (G') y pérdida (G'') en un rango de frecuencia de 0,1 a 100 Hz, asegurando que las condiciones permanecieran dentro de los límites de linealidad establecidos previamente. Las mediciones se realizaron cada 3 días por quintuplicado. Luego se reportó el gráfico más representativo de los módulos de almacenamiento, G' ,

y de pérdida, G'' , entre las réplicas para la evaluación comparativa de los espectros mecánicos.

Figura 3.7: Ejemplo de medida de un sistema de gel-postre frutal utilizada en las mediciones de propiedades viscoelásticas



3.16 Caracterización por microscopía electrónica de barrido (MEB)

La morfología de los sistemas de gel postre seleccionados (**S5**, **S7** y **C**) se analizó mediante micrografías obtenidas con un microscopio electrónico de barrido MEB (Supra 40; Carl Zeiss NTA, Oberkochen, Alemania). Las muestras fueron previamente liofilizadas durante 48 horas, luego se fijaron sobre un soporte utilizando cinta adhesiva de doble cara y se mantuvieron en un desecador al vacío hasta su utilización. La adquisición de las imágenes se realizó aplicando un voltaje de aceleración de 12,5 kV y 15 kV, con aumentos que variaron de 400x a 1500x, para un rango de tamaño de 50-200 μm .

Esquema de experiencias-Parte 2



PARTE 3-Subproducto 2: Gel para la nutrición deportiva

En esta sección se describen los materiales y métodos para el desarrollo y caracterización de un gel deportivo formulado a partir de un extracto líquido de yerba mate desarrollado en esta tesis y obtenido en JN preservado por el tratamiento UV-C/T (892 mJ/cm²; 50°C) propuesto en la primera etapa.

3.17 Materia prima

Para la elaboración del gel deportivo (**GD**) se utilizaron los siguientes ingredientes

- Extracto líquido de hojas de yerba mate obtenido en jugo de naranja procesado por UV-C/T (**EYM-JNUV-C/T**)
- Sacarosa de grado alimenticio, adquirido de supermercados locales
- Maltodextrina (Ingredion, Buenos Aires, Argentina)
- Goma guar (Biotec, Buenos Aires, Argentina)
- Goma garrofín (Biotec, Buenos Aires, Argentina)

3.18 Reactivos

Se utilizaron los mismos reactivos descriptos en la **sección 3.2**.

3.19 Medios de cultivo

Se utilizaron los mismos medios de cultivo descriptos en la **sección 3.10**.

3.20 Obtención y caracterización del extracto yerba mate

Se utilizaron hojas de yerba mate (YM) molida, canchada y estacionada ($\emptyset$, tamaño de partícula entre 0,420 y 40 mm), gentilmente provistas por la Cooperativa Agrícola de Colonia Liebig Ltda. (Colonia Liebig, Corrientes), como se muestra en la **Figura 3.8**. El uso de hojas de YM en este estadio final de procesamiento en el proceso industrial se justifica por estudios realizados previamente, los cuales evidenciaron que la etapa de estacionamiento contribuyó a obtener extractos con un mayor contenido de polifenoles totales y actividad antioxidante (Schenk y col., 2021).

Para la extracción, se siguió el procedimiento optimizado según el estudio Kozono y col. (2024), con algunas modificaciones. Brevemente, 10 g de hojas de YM molidas se mezclaron con 200 mL de JNUV-C/T en un vaso de doble camisa (600 mL), conectado a un baño termostático (Arcano, modelo Chilling MP-10C, China) para mantener la temperatura constante y se procedió a sonicar la muestra (Vibra Cell, VCX750, 20 kHz; 750W, amplitud de la onda de ultrasonido no pulsada 80 % (95,2 micrómetros) a 20 °C y por 7 minutos. Finalizada la extracción, se procedió al centrifugado a 1304 g durante 15 minutos (modelo DCA-300RVT R, Presvac S.R.L., Buenos Aires, Argentina). El sobrenadante, correspondiente al extracto líquido de yerba mate en jugo de naranja (**EYM-JNUV-C/T**), se recolectó para su posterior caracterización en cuanto al contenido de polifenoles totales y la actividad antioxidante total, conforme a la metodología detallada en la **sección 3.8**.

Figura 3.8 Hojas molidas de yerba mate canchada y estacionada.



3.21 Elaboración del gel deportivo

Tal como se ha mencionado en la **sección 1.6.2.2**, el uso de una mezcla de carbohidratos favorece el vaciamiento gástrico y, por lo tanto, mejora la biodisponibilidad de energía durante la actividad deportiva. Por este motivo, en el presente estudio se optó por formular el producto con una combinación de maltodextrina y sacarosa. En particular, la inclusión de maltodextrina se justifica por su elevada solubilidad en agua, su rápida digestibilidad y su baja osmolalidad, características que contribuyen a una mejor tolerancia gastrointestinal y una absorción eficiente, sin provocar molestias durante el ejercicio. Por otro lado, uso de agentes

espesantes como goma guar y goma garrofín representa una alternativa tecnológica de origen vegetal, alineada con las tendencias actuales hacia el desarrollo de productos más naturales.

3.21.1 Procedimiento de elaboración

Para la elaboración del gel para la nutrición deportiva o gel deportivo, **GD**, en primer lugar, se pesaron las cantidades necesarias de los ingredientes. A continuación, en un vaso de precipitado, se añadieron, como fuentes de energía, maltodextrina (33 % p/p) y sacarosa de grado alimenticio (25 % p/p), al **EYM-JNUV-C/T** (44 % p/p), mezclando a una temperatura de 15–20°C con ayuda de un agitador magnético. Posteriormente, se incorporaron de forma gradual los agentes espesantes goma guar (0,6% p/p) y goma garrofín (0,6% p/p) bajo agitación constante a 55 °C por 30 minutos. Este tiempo y temperatura fueron seleccionados para permitir la completa hidratación y dispersión de las gomas. Una vez finalizado, el GD fue envasado cuidadosamente en bolsas tipo “doy pack” metalizadas, bajo condiciones higiénicas controladas para evitar contaminación. Los envases fueron sellados herméticamente y almacenados a 20 °C hasta su posterior análisis, asegurando la estabilidad del producto en las condiciones definidas, tal como se muestra en la **Figura 3.9**.

La concentración de las gomas fue optimizada en estudios previos considerando su capacidad para reproducir la viscosidad de un gel energético comercial y mediante una prueba sensorial interna (datos no mostrados). Para alcanzar un contenido de cafeína comparable al de geles deportivos comerciales (20–40 mg de cafeína/32 g de gel) (Wickham-y Spriet, 2018). **GD** se elaboró utilizando **EYM-JNUV-C/T** previamente obtenido (**sección 3.20**). Como resultado, se logró una concentración final de 22 mg de cafeína/32 g de gel.

Figura 3.9 Procedimiento para envasar al **GD**



3.22 Caracterización fisicoquímica

Una vez elaborado GD, se procedió a su caracterización fisicoquímica mediante la determinación de pH, SST, turbidez, densidad y parámetros de color, según la metodología detallada en la **sección 3.4**. En cuanto a la distribución del tamaño de partícula, esta se evaluó tanto en la muestra de **GD** como en el sistema **EYM-JNUV-C/T**, con el fin de analizar si la incorporación de carbohidratos y agentes espesantes durante la formulación del gel genera modificaciones respecto de la matriz base empleada, conforme a lo descrito en la, conforme a lo descrito en la **sección 3.4.5**.

Además, se midió el contenido de polifenoles totales (CPT), la capacidad antioxidante (CA_{ABTS} y CA_{DPPH}), el contenido de flavonoides en los sistemas **GD**, **EYM-JNUV-C/T** y en **JNUV-C/T**, según la metodología detallada en la **sección 3.8**.

3.22.1 Determinación por HPLC de compuestos bioactivos

Se determinó la concentración de algunos compuestos bioactivos de relevancia en YM tales como, cafeína, rutina, ácido clorogénico y teobromina en **GD** como también en **EYM-JNUV-C/T**, por medio de Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC), según lo descrito por Deladino y col. (2013), con ligeras modificaciones. Para ello, se empleó un sistema HPLC 1525 (Waters, EE. UU.) equipado con una bomba binaria y el detector de arreglo de fotodiodos (PDA 2996) (Waters, EE. UU.), acoplado a una columna Restek Roc C18 (250 × 4.6 mm). La fase móvil A estuvo compuesta por una mezcla de acetonitrilo-metanol (50:50), mientras que la fase móvil B consistió en agua y ácido fosfórico (99:1). El programa de gradiente escalonado se optimizó mediante el cambio porcentual de las fases móviles y se estableció de la siguiente manera: Tiempo (min)/fase móvil A:B (%): T0/5:95, T3/5:95, T7/20:80, T15/20:80, T18/30:70, T30/30:70 y T35/5:95, con un flujo de 1 mL/min.

Las muestras se inyectaron (20 µL) en la columna LiChrospher® 100 RP-18e (250 mm × 4 mm, 5 µm), la cual se mantuvo a 30 ± 0.5°C. La identificación de los compuestos seleccionados se realizó mediante la co-inyección de los estándares de rutina, cafeína, ácido clorogénico y teobromina (todos los reactivos de Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, EE. UU.) y la posterior comparación de los tiempos de retención y los espectros de absorción característicos. La cuantificación se realizó utilizando la técnica de estándar externo. Se determinó el área bajo cada pico identificado del cromatograma y se comparó con los estándares correspondientes, integrando la longitud de onda de máxima absorción para cada compuesto. Los resultados se expresaron como media ± error estándar en mg/L de muestra de tres réplicas.

3.23 Propiedades reológicas

Dado que los geles deportivos están diseñados para ser consumidos durante la actividad física, es fundamental que presenten un comportamiento de flujo adecuado para facilitar su ingesta directa desde el envase. Por ello, se llevaron a cabo ensayos reológicos con el objetivo de caracterizar tanto el flujo como el comportamiento

viscoelástico del gel deportivo de elaboración propia y, a modo comparativo, de una muestra comercial (marca **ei**®, La Pampa, Argentina). Para ello, se utilizó un reómetro de esfuerzo controlado tangencial, equipado con geometría de platos paralelos y una separación de 800 µm entre platos. Las mediciones se realizaron en estado estacionario, manteniendo la temperatura constante a 25 °C mediante un sistema de placa Peltier.

3.23.1 Determinación de curva de flujo

Para caracterizar las muestras, se registraron las curvas de flujo tanto del gel deportivo elaborado como de la muestra comercial mediante un ensayo rotatorio, utilizando una geometría de platos paralelos perfilada (PP40/P2) de 40 mm de diámetro y un rango de velocidad de deformación ($\dot{\gamma}$) de 0,01 a 300 s⁻¹. En cada velocidad de deformación, se alcanzó el estado estacionario antes de registrar los datos, los ensayos se hicieron por duplicado.

Considerando que los perfiles de flujo obtenidos no evidenciaron la presencia de un esfuerzo de corte umbral, se optó por ajustar los datos experimentales al modelo de la Ley de la Potencia (Ostwald-de Waele):

$$\tau = k \cdot \dot{\gamma}^n$$

Donde τ representa al esfuerzo de corte, k representa el índice de consistencia, $\dot{\gamma}$ es la velocidad de deformación y, n es el índice de flujo.

3.23.2 Determinación de las propiedades viscoelásticas

Para los ensayos de viscoelasticidad, se procedió de manera similar a la metodología explicada en la **sección 3.15.3.3**, con algunas modificaciones. En primer lugar, se realizaron los barridos de amplitud para determinar el rango de viscoelasticidad lineal (RVL), trabajando a una frecuencia constante de 1 Hz y a un rango de velocidad de deformación ($\dot{\gamma}$) de 0,001 a 10 %. Posteriormente, se realizaron los barridos de frecuencia empleando un valor de amplitud de deformación del 0,125 % y un rango de

frecuencia de 0,1 a 100 Hz. Los ensayos se realizaron por duplicado utilizando una geometría de platos paralelos arenosa (PP40/S).

3.24 Estudios de almacenamiento

3.24.1 Calidad microbiológica

En esta etapa se llevó a cabo el análisis de la microbiota nativa en diferentes fases del proceso de elaboración de **GD**. Se evaluó la carga microbiana inicial del jugo de naranja sin tratar (**JN**) y luego del procesamiento mediante luz UV-C asistida por temperatura (**JNUV-C/T**), siguiendo la metodología detallada en la **sección 3.15.1.2**. Además, se realizó un control microbiológico del extracto líquido de yerba mate (**EYM-JNUV-C/T**), dado que este ingrediente podría contribuir al contenido microbiano del producto final.

Por otro lado, se evaluó la evolución de la microbiota en el gel deportivo, **GD**, durante el almacenamiento, mediante análisis realizados cada 24 o 72 horas a lo largo de 25 días, según la metodología detallada en la **sección 3.15.1.3**.

Adicionalmente, se efectuó un control microbiológico de superficies en los equipos y envases involucrados en el proceso, con el objetivo de determinar la posible carga microbiana presente en la superficie de la envasadora selladora (superficie inerte) y en el interior de los envases, cumplimiento de los Procedimientos Operativos Estandarizados de Saneamiento (POES) (ANMAT, 2009).

Para este análisis se empleó la técnica de muestreo por hisopado en las siguientes áreas: barra de sellado superior e inferior de la envasadora y el interior de un envase pouch. Se tomaron tres muestras utilizando hisopos estériles y se procedió a la siembra en medios de cultivo específicos:

- **Bacterias aerobias mesófilas:** siembra en profundidad en agar PCA e incubación a 30 °C durante 72 horas.
- **Mohos y levaduras:** siembra en profundidad en agar Rosa de Bengala e incubación a 25 °C durante 5 días.

Este conjunto de análisis permitió evaluar la calidad microbiológica del gel deportivo en distintas etapas del proceso productivo y garantizar que el envasado y el almacenamiento se realizaran en condiciones higiénicas adecuadas.

3.24.2 Calidad fisicoquímica

Con el objetivo de evaluar la estabilidad de **GD**, se monitorearon los parámetros fisicoquímicos más relevantes durante 25 días de almacenamiento. Se realizaron mediciones de color, pH, turbidez y SST, siguiendo la metodología detallada en la **sección 3.4**. Además, se determinó CPT, capacidad antioxidante, contenido de flavonoides, y la formación de 5-hidroximetilfurfural (HMF), de acuerdo con lo descrito en la **sección 3.9**. Todas las mediciones se realizaron cada tres días y por triplicado.

Con los resultados obtenidos se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar diferencias significativas en los parámetros fisicoquímicos medidos en el gel deportivo durante el almacenamiento. En caso de diferencias significativas ($p < 0,05$), se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey con un nivel de significancia del 5%. Todos los resultados fueron analizados utilizando el software Infostat v.2020 (Di Rienzo y col., 2020).

3.24.3 Índice de estabilidad

La estabilidad global de las muestras de GD fue evaluada mediante un analizador de barrido (Turbiscan Classic 2, Formulaction Co., L'Union, Francia). Una vez elaborado **GD** (día 0 del análisis), se colocaron 6 mL de muestra en cubetas de vidrio del equipo, alcanzando una altura aproximada de 55 mm. Las mediciones de retrodispersión se registraron a un ángulo de 135° respecto de la luz incidente, durante un período de almacenamiento de 30 días a una temperatura de 22 ± 1 °C.

A partir de los perfiles de retrodispersión obtenidos, se calculó el Índice de Estabilidad de Turbiscan (TSI, por sus siglas en inglés) según la siguiente ecuación:

$$TSI(t) = \frac{1}{N_h} \sum_{t_{max}=1}^{t_{max}} \sum_{Z_i=Z_{min}}^{Z_{max}} |BST(t_i; z_i) - BST(t_{i-1}; z_i)| \quad (3.5)$$

donde **TSI** es el índice de estabilidad Turbiscan; $t_{\max}$ es el punto de medición que corresponde al tiempo t en el que se calcula el TSI; $Z_{\min}$ y $Z_{\max}$ son los límites inferior y superior de altura seleccionados, respectivamente; N_h es el número de posiciones de altura en la zona seleccionada del escaneo; y **BSI** ($t_i; z_i$) y **BSI** ($t_{i-1}; z_i$) son las señales de retrodispersión consideradas para un escaneo " i " dado y el escaneo anterior " $i-1$ ", obtenidas a una altura z dada, (Liu y col 2019).

3.25 Análisis sensorial

3.25.1 Selección de evaluadores y organización de las etapas de prueba

En esta sección se describe la selección de los evaluadores y la organización de las etapas de prueba. Se decidió trabajar con consumidores deportistas, dado que el producto desarrollado está dirigido a un público específico. Por este motivo, resulta fundamental llevar a cabo el estudio sensorial con consumidores habituales o potenciales de este tipo de productos, a fin de obtener resultados relevantes y representativos.

3.25.2 Prueba virtual: Estudio conjunto

De forma similar a lo explicado en el apartado **3.14.2.1**, el estudio se realizó de manera virtual, a través de redes sociales como Facebook[®], durante el periodo de ASPO 2020. Se llevaron a cabo encuestas patrocinadas, segmentadas a adultos jóvenes, buscando entornos de "individuos deportistas" y posibles consumidores de derivados frutales deportivos, alcanzando un total de 428 encuestados (58 % mujeres; 42 % hombres). El estudio conjunto tuvo como objetivo evaluar el interés de los consumidores locales en un prototipo de gel deportivo, formulado con ingredientes naturales y procesado mediante métodos menos severos.

Para el desarrollo de la prueba se diseñó mediante Google Forms (Google) una encuesta estructurada, con el fin de investigar la influencia de las características de un producto de nutrición deportiva, y el tipo de procesamiento sobre la **percepción de**

saludable y la voluntad de probar de los consumidores como lo describen Ares y col. (2009). El diseño conjunto consistió en cuatro factores categóricos referidos: a la presencia de yerba mate como fuente de cafeína natural, a la ausencia de conservantes químicos, al procesamiento no térmico, y al uso de espesantes de fuentes vegetales. Toda la información se presentó mediante una imagen digital del prototipo de gel deportivo junto con una de las diferentes afirmaciones (claims), como se ilustra en la **Figura 3.10**.

Se generaron diferentes combinaciones de factores de creciente complejidad, las cuales fueron distribuidas aleatoriamente entre los participantes. Cada participante evaluó la imagen del prototipo de gel deportivo junto con una de las siguientes afirmaciones (*claims*), como se ilustra en **Formulario 4**:

Claim 1 (C1): Gel deportivo a base de jugo de naranja

**Con cafeína de fuente vegetal, como energizante natural.*

Claim 2 (C2): Gel deportivo a base de jugo de naranja.

** Con cafeína de fuente vegetal, como energizante natural.*

**Sin conservantes químicos.*

Claim 3 (C3): Gel deportivo a base de jugo de naranja.

**Con cafeína de fuente vegetal, como energizante natural.*

**Sin conservantes químicos.*

** Con espesantes de fuente natural*

**Sin procesamiento térmico.*

Claim 4 (C4): Gel deportivo a base de jugo de naranja.

**Con yerba mate que aporta cafeína de fuente vegetal, como energizante natural.*

**Sin conservantes químicos.*

**Con espesantes de fuente natural*

**Sin procesamiento térmico.*

En primer lugar, los participantes calificaron la **percepción de saludable** de las diferentes imágenes, utilizando una escala de 5 puntos desde "nada saludable" a "muy saludables", y luego su **voluntad a probarlo** usando una escala de 5 puntos desde "Definitivamente no lo probaría", en el medio con "Quizás sí, quizás no" hasta "Definitivamente lo probaría" (Ares y col. 2009). Además, se solicitó que marcaran todos los términos de una lista que ellos consideraban eran aplicables al producto, de acuerdo con la imagen y la afirmación proporcionada. Los términos, que aparecieron en una posición aleatoria, fueron: nutritivo, frutal, delicia, muy cremoso, color atractivo, muy firme, color artificial, energético, refrescante, saludable, único, novedoso y natural. Posteriormente, los consumidores debieron indicar la importancia atribuida a los atributos: *color, sabor, textura, procesado amigable, energético y natural*, mediante una escala de 5 puntos. Por último, se recopiló información demográfica como género, edad y frecuencia de actividad física.

Figura 3.10: Imagen del prototipo del gel deportivo junto a la afirmación (C: Claims) correspondiente al **Formulario 4** utilizado para el Estudio Conjunto

C1

Opinión acerca de un gel deportivo con base frutal

Gel deportivo a base de jugo naranja *Con cafeína de fuente vegetal, como energizante natural.



C2

Opinión acerca de un gel deportivo con base frutal

Gel deportivo a base de jugo naranja *Con cafeína de fuente vegetal, como energizante natural *Sin conservantes químicos.



C3

Opinión acerca de un gel deportivo con base frutal

Gel deportivo a base de jugo de naranja *Con cafeína de fuente vegetal, como energizante natural. *Sin conservantes químicos. *Con espesantes de fuente natural. *Sin procesamiento térmico.



C4

Opinión acerca de un gel deportivo con base frutal

Gel deportivo a base de jugo naranja*Con yerba mate que aporta cafeína, como energizante natural. *Sin conservantes químicos. *Con espesantes de fuente natural. *Sin procesamiento térmico.



Formulario 4: Formulario digital (Google Forms) del estudio conjuntos y Test CATA realizado para un prototipo de gel deportivo

Opinión acerca de un gel deportivo con base frutal

B I U  

Descripción del formulario

Gel deportivo a base de jugo naranja



Formulario 4: Formulario digital (Google Forms) del estudio conjuntos y Test CATA realizado para un prototipo de gel deportivo (continuación)

1. Evalúe cuán saludable piensa que puede ser el producto en una escala del 1 al 5- donde 1 significa "Para nada saludable" y 5 significa "Muy saludable"- *

	1	2	3	4	5	
Para nada saludable	☐	☐	☐	☐	☐	Muy saludable

2. Exprese su voluntad de probar el gel deportivo en una escala del 1 al 5- donde 1 significa "Definitivamente no lo probaría", la mitad de la escala es "Tal vez sí, tal vez no" y 5 corresponde a "Definitivamente lo probaría"- *

	1	2	3	4	5	
Definitivamente no lo probaría	☐	☐	☐	☐	☐	Definitivamente lo probaría

• Por favor, tilde todas las palabras o frases que usted considere que aplican al gel frutal *

- ☐ muy firme
- ☐ novedoso
- ☐ color atractivo
- ☐ único
- ☐ muy cremoso
- ☐ natural
- ☐ color artificial
- ☐ refrescante
- ☐ nutritivo
- ☐ saludable
- ☐ tratamiento suave
- ☐ energético
- ☐ delicia

Formulario 4: Formulario digital (Google Forms) del estudio conjuntos y Test CATA realizado para un prototipo de gel deportivo (continuación)

Diga cuán importante es el COLOR en este gel frutal deportivo *

	1	2	3	4	5	
Nada importante	☐	☐	☐	☐	☐	Muy importante

Diga cuán importante es el SABOR en este gel frutal deportivo *

	1	2	3	4	5	
Nada importante	☐	☐	☐	☐	☐	Muy importante

Diga cuán importante es el ENERGÉTICO en este gel frutal deportivo *

	1	2	3	4	5	
Nada importante	☐	☐	☐	☐	☐	Muy importante

Diga cuán importante es el NATURAL en este gel frutal deportivo *

	1	2	3	4	5	
Nada importante	☐	☐	☐	☐	☐	Muy importante

Formulario 4: Formulario digital (Google Forms) del estudio conjuntos y Test CATA realizado para un prototipo de gel deportivo (continuación)

Diga cuán importante es el TEXTURA en este gel frutal deportivo *

	1	2	3	4	5	
Nada importante	☐	☐	☐	☐	☐	Muy importante

Diga cuán importante es el PROCESADO AMIGABLE en este gel frutal deportivo *

	1	2	3	4	5	
Nada importante	☐	☐	☐	☐	☐	Muy importante

Edad *

☐ 25 años o menos

☐ 26-35 años

☐ 36-45 años

☐ 46-55 años

☐ 56-65 años

☐ 66 años o más

3.25.3 Perfil de emociones

Considerando la importancia de las emociones en la percepción y elección de alimentos, en la presente sección del estudio se abordó la evaluación sensorial desde esta perspectiva, con el objetivo de explorar las emociones evocadas por el consumo del gel frutal deportivo. Esta aproximación permitió obtener información complementaria

a las mediciones hedónicas tradicionales, brindando una visión más integral sobre la aceptación y percepción del gel deportivo.

Para la realización de la prueba se reclutaron consumidores deportistas voluntarios, jóvenes adultos de distintas disciplinas, principalmente ciclismo y running. Inicialmente participaron 55 personas, quienes debían comprometerse a completar las tres etapas establecidas. Sin embargo, dado que varios no pudieron cumplir con la totalidad del procedimiento, se contabilizó un total de 45 participantes entre corredores y ciclistas procedentes de Buenos Aires (CABA) y General Pico, La Pampa.

El estudio consistió en evaluar el gel deportivo bajo tres condiciones distintas, distribuidas en tres sesiones realizadas con un intervalo de una o dos semanas.

- **Condición ciega (degustación):** se solicitó a los consumidores deportistas que evaluaran el gel en su envase, sin identificación alguna, con el objetivo de analizar el efecto de los atributos sensoriales.
- **Condición esperada (sin degustación):** se presentó a los consumidores una imagen del logotipo junto con información sobre el sabor, tipo de procesamiento y fuente de cafeína del gel deportivo, con el propósito de examinar el efecto de dicha información sobre sus percepciones.
- **Condición informada (degustación):** los participantes evaluaron el gel deportivo con conocimiento previo de su ingrediente principal, a fin de estudiar el efecto combinado de los atributos sensoriales y la información de composición.

Las pruebas se llevaron a cabo en el entorno habitual donde los consumidores llevaban a cabo su actividad, con el objetivo de que la evaluación se efectuara en un ambiente natural de consumo (**Figura 3.11**), fuera de instalaciones sensoriales controladas.

En la primera sesión, los participantes degustaron el gel deportivo sin información previa (condición ciega) y calificaron la aceptabilidad global (escala de 9 puntos) y la disposición de consumo (escala de 5 puntos) mediante un formulario diseñado en Google Forms. Además, completaron un cuestionario de emociones adaptado de la metodología EmoSemio, previamente descrita en la **sección 1.7.2.3.4** (Spinelli y col., 2014; Spinelli y Monteleone, 2018), con el objetivo de evaluar el perfil

emocional y sensorial de los productos mediante el uso de una lista CATA (Check-All-That-Apply) y una escala RATA (Rate-All-That-Apply) de 5 puntos (**Formulario 5**).

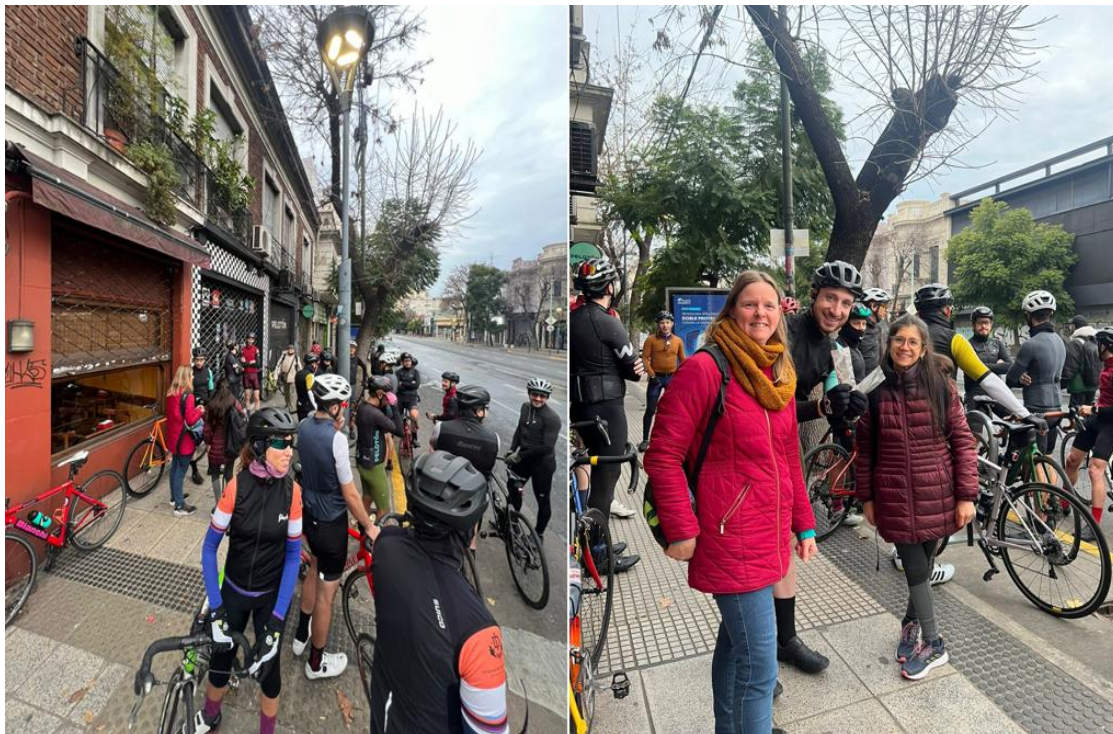
En la segunda sesión, los consumidores evaluaron la condición esperada (sin degustar) observando una imagen del envase con el nombre del producto e información relevante pero limitada sobre el concepto del producto (**Figura 3.12, a**). En esta sesión solo se calificó el agrado general esperado (prueba hedónica en escala de 9 puntos), así como la intención de consumo a futuro.

Finalmente, durante la tercera sesión (condición informada), realizaron la evaluación del gel acompañado de la imagen del prototipo de envase, el nombre del producto y una descripción detallada del concepto de diseño, que incluía información sobre el uso de tecnologías sostenibles e ingredientes de origen natural, entre otros aspectos más relevantes (**Figura 3.12, b**). Observando dicha imagen y probando el gel en situación de entrenamiento, cada evaluador completó el mismo formulario utilizado en la primera sesión (**Formulario 5**).

Para el análisis de los datos obtenidos en la prueba sensorial, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$, sobre las puntuaciones de aceptabilidad global, considerando a los sujetos como un factor aleatorio. Este análisis tuvo como objetivo evaluar el efecto de la información proporcionada sobre las puntuaciones hedónicas del gel deportivo en las distintas condiciones de evaluación (ciega, esperada e informada). Asimismo, con el propósito de determinar la influencia de las expectativas generadas por la etiqueta informativa en las puntuaciones de agrado, se calcularon las diferencias entre la apreciación esperada (E) y ciega (C), así como entre la apreciación informada (I) y ciega (C). Posteriormente, se llevó a cabo un ANOVA para identificar la presencia de diferencias significativas entre las condiciones evaluadas. Finalmente, los datos correspondientes a cada emoción evaluada en las condiciones ciega, esperada e informada fueron sometidos a un ANOVA, con el fin de examinar posibles variaciones en las respuestas emocionales en función de la condición de evaluación.

Figura 3.11 a) Reclutamiento de participantes para la evaluación sensorial, b) evaluación del gel deportivo por ciclistas en su entorno habitual de entrenamiento

a)



b)



Formulario 5: Formulario digital (Google Forms) del estudio perfil sensorial y de emociones, realizado para un prototipo de gel deportivo

Evaluación de un gel deportivo frutal para consumo durante la actividad física

Descripción del formulario

Este formulario recoge automáticamente los correos de todos los encuestados. [Cambiar configuración](#)

Rompa el troquel del envase y PRUEBE el gel y confiando en su primera impresión, realice una marca en el casillero que mejor refleje su opinión: *

- ☐ 9. Me gusta extremadamente
 - ☐ 8. Me gusta mucho
 - ☐ 7. Me gusta moderadamente
 - ☐ 6. Me gusta poco
 - ☐ 5. Ni me gusta ni me disgusta
 - ☐ 4. Me desagrada ligeramente
 - ☐ 3. Me desagrada moderadamente
 - ☐ 2. Me desagrada mucho
 - ☐ 1. Me desagrada absolutamente
-

Por favor **PRUEBE** el gel deportivo nuevamente

Formulario 5: Formulario digital (Google Forms) del estudio perfil sensorial y de emociones, realizado para un prototipo de gel deportivo (continuación).

A continuación, se presentan frases que describen diferentes emociones que pueden ser evocadas por el producto degustado. Usando la siguiente lista, responda ¿Qué emociones le surgen al probar este gel ? Por favor califique el grado de intensidad de cada emoción. *

	nada	algo	moderadamente	mucho	extremadamente
Me gratifica, me recompensa	☐	☐	☐	☐	☐
Me hace sentir pleno/a de energía y revitalizado	☐	☐	☐	☐	☐
Me hace feliz	☐	☐	☐	☐	☐
Me da satisfacción	☐	☐	☐	☐	☐
me transmite seguridad	☐	☐	☐	☐	☐
Me da curiosidad	☐	☐	☐	☐	☐
Me sorprende	☐	☐	☐	☐	☐
Me aburre	☐	☐	☐	☐	☐
Me relaja	☐	☐	☐	☐	☐
Me molesta	☐	☐	☐	☐	☐
Me hace sentir bien y activo	☐	☐	☐	☐	☐

Formulario 5: Formulario digital (Google Forms) del estudio perfil sensorial y de emociones, realizado para un prototipo de gel deportivo (continuación).

Es facil de tomar	☐	☐	☐	☐	☐
Lo siento refrescante	☐	☐	☐	☐	☐
Me parece saludable	☐	☐	☐	☐	☐
Me resulta artificial	☐	☐	☐	☐	☐
Me atrae	☐	☐	☐	☐	☐
Me irrita	☐	☐	☐	☐	☐
Me entusiasma	☐	☐	☐	☐	☐
Me hace sentir precavido/a y cauteloso/a	☐	☐	☐	☐	☐
Lo asocio con entrenamiento, divertimento y deporte	☐	☐	☐	☐	☐

1. Responda: ¿Con que frecuencia consume geles deportivos ? *

- ☐ Nunca
- ☐ De manera ocasional (solo en eventos deportivos)
- ☐ De manera frecuente (1 vez/semana)

Formulario 5: Formulario digital (Google Forms) del estudio perfil sensorial y de emociones, realizado para un prototipo de gel deportivo (continuación)

2. Exprese su voluntad de consumo del gel deportivo en una escala del 1 al 5- *
donde 1 significa "Definitivamente no lo consumiría", la mitad de la escala es "Tal vez sí, tal vez no" y 5 corresponde a "Definitivamente lo consumiría"-

	1	2	3	4	5	
Definitivamente no lo consumiría	☐	☐	☐	☐	☐	Definitivamente lo consumiría

Género con el que se identifica *

- ☐ Hombre
- ☐ Mujer
- ☐ Otro
- ☐ Prefiero no responder

Edad *

- ☐ 25 años o menos
- ☐ 26-35 años
- ☐ 36-45 años
- ☐ 46-55 años
- ☐ 56-65 años
- ☐ 66 años o más

Agregue debajo si desea hacer algún comentario adicional sobre el producto

Tu respuesta

Figura 3.12: Imagen del envase para la condición esperada (a), imagen del envase para la condición informada (b)

a)

Evaluación de un gel deportivo frutal para consumo durante la actividad física

B *I* U ↺ ↻

Descripción del formulario

UV-ENERYER



b)

Evaluación de un gel deportivo frutal para consumo durante la actividad física

B I U ↻ ✕

Descripción del formulario

Lea la etiqueta y luego pruebe el gel deportivo

Listo para consumir
Sin necesidad de agregar agua

Adecuado para cualquier actividad de entrenamiento

Energía instantánea
120 Kcal por porción

Con jugo de Naranja
Sin conservantes

ENERGÍA RÁPIDA

UV-ENERYER
Procesado por tecnologías verdes
Sin conservantes

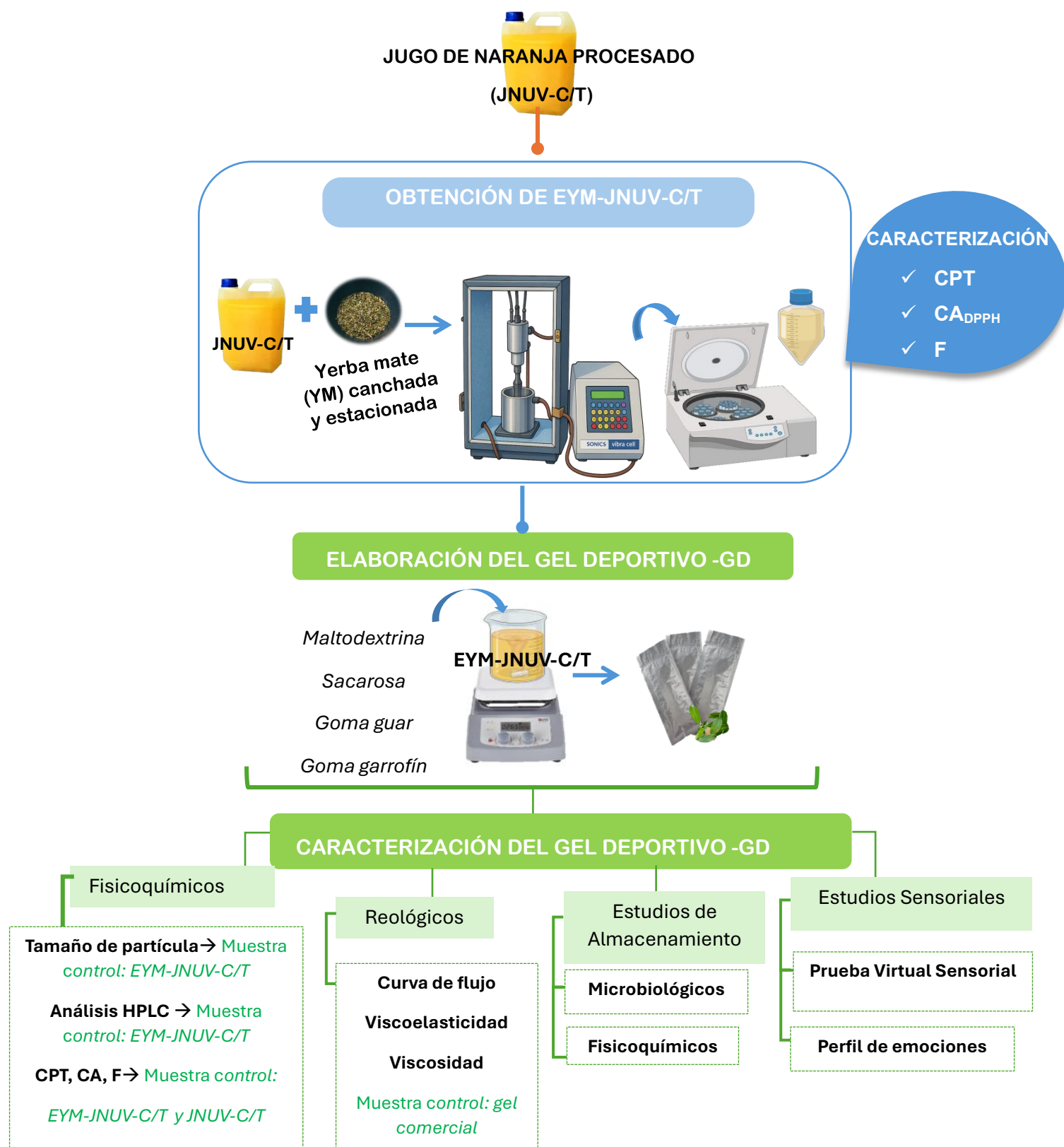
CAFEÍNA DE FUENTE NATURAL
SABOR NARANJA
50 g

Energía - Resistencia
30 g de carbohidratos - combinación maltodextrina y sacarosa

Procesado por Luz UV-C
Tecnología de bajo costo y amigable con el medio ambiente

Con Extracto de Yerba Mate
Aporta cafeína y otros compuestos beneficiosos para la salud

Esquema de experiencias-Parte 3



4 Resultados y discusión



PARTE 1: Aplicación de la tecnología UV-C para el procesamiento de jugos

En esta primera etapa, el estudio se centró en la caracterización del jugo de naranja (**JN**) a utilizar en el desarrollo de subproductos en las siguientes etapas. Asimismo, se evaluó la eficacia del tratamiento de preservación a escala planta piloto con luz UV-C asistida por temperatura moderada (50°C) en un reactor de construcción propia. Se llevaron a cabo estudios de cinética de inactivación utilizando inóculos simples o compuestos, considerando resultados previamente reportados por el grupo de investigación, los cuales indicaron que las cepas utilizadas eran buenos indicadores de microorganismos patógenos y deteriorativos relevantes en este tipo de matriz, con el objeto de evaluar la efectividad del tratamiento con luz UV-C asistida (García Carrillo y col., 2017; Fenoglio y col., 2020). Por otro lado, se evaluó el efecto del tratamiento emergente propuesto en las características fisicoquímicas de **JN**, con el objetivo de superar las limitaciones asociadas a los tratamientos térmicos convencionales usados como tratamientos de preservación en jugos.

4.1 Caracterización fisicoquímica del jugo naranja

Como se mencionó previamente en la **sección 3.4**, la caracterización fisicoquímica del jugo de naranja (**JN**) incluyó la medición de diferentes parámetros, tales como el coeficiente de absorción $\alpha_{(254\text{nm})}$, porcentaje de transmitancia (% UVT), color, pH, sólidos solubles totales (SST), viscosidad, densidad y tamaño de partícula.

La **Figura 4.1** muestra la relación entre la concentración (% v/v) y la absorbancia a 254 nm para el jugo de naranja preparado según el procedimiento descrito en la **sección 3.1**. A partir de la pendiente de la recta obtenida en el gráfico, se determinó el coeficiente de absorción ($\alpha_{254\text{nm}}$) y el valor de transmitancia UV (UVT%) empleando la **Ecuación 3.2 (Tabla 1)**.

Por otro lado, la **Figura 4.2** presenta la distribución del tamaño de partículas de **JN**, el cual mostró un perfil bimodal con valores de diámetro de partícula en superficie (D[3,2]) de $2,00 \pm 0,02 \mu\text{m}$ y de volumen (D[4,3]) de $78 \pm 2 \mu\text{m}$, lo que indica la presencia simultánea de dos tamaños bien diferenciados de partículas en la matriz.

Figura 4.1. Absorbancia (254 nm) vs concentración (v/v %) de JN

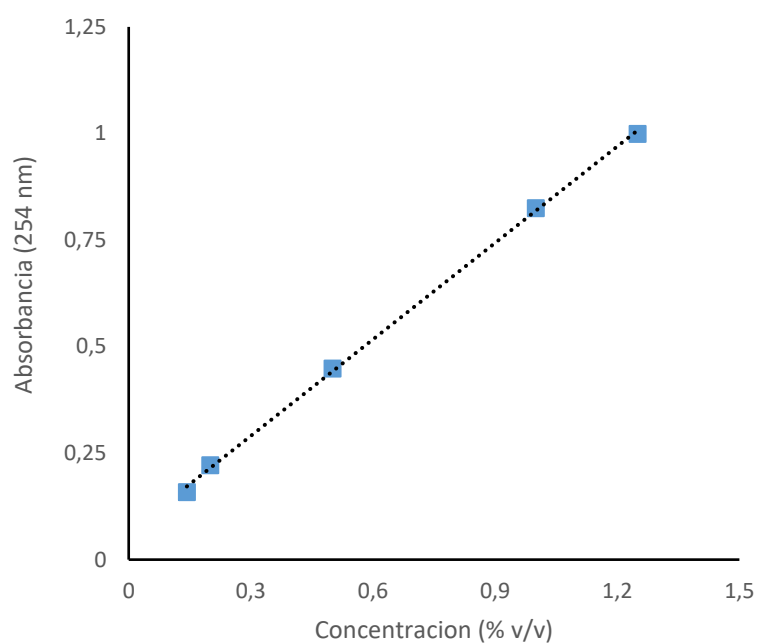
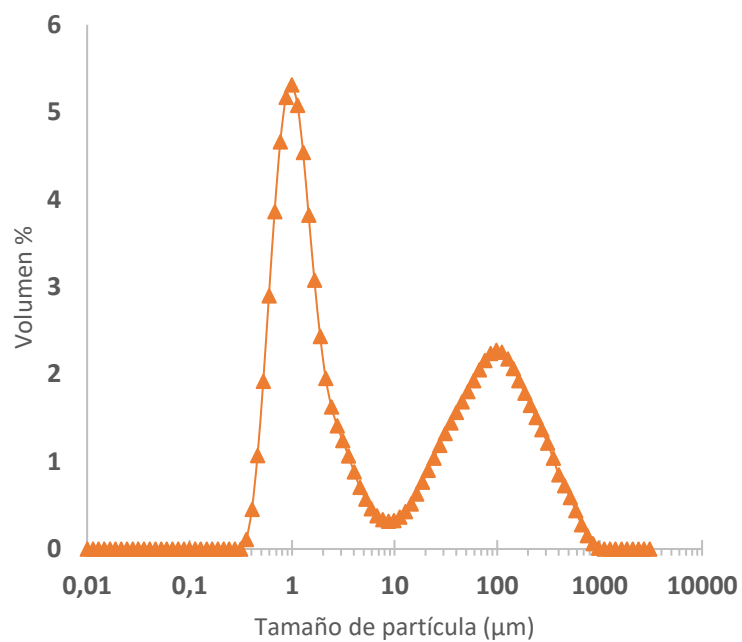


Figura 4.2. Volumen (%) versus tamaño de partículas (μm) de JN



De acuerdo a la **Tabla 1**, **JN** se caracterizó por una elevada turbidez (2967 ± 33 NTU), valor que sugiere una importante presencia de sólidos suspendidos. Además, se observó un elevado coeficiente de absorción a 254 nm (α_{254nm}) de $0,755 \pm 0,01$, hecho que evidencia la presencia de compuestos coloreados con capacidad de absorber en esa longitud de onda, y una baja transmitancia UV-T (18 ± 1 %), lo que confirma que se trata de una matriz altamente opaca a la luz ultravioleta. En conjunto, estos resultados obtenidos demuestran que **JN** es una matriz compleja y por lo tanto, representó un desafío de esta etapa.

Tabla 1 Valores promedio con su desviación estándar de: pH, SST, turbidez (T), coeficiente de absorción (α_{254nm}), transmitancia UV-C (TUV), color (L^* , a^* , b^*), densidad (δ), viscosidad (μ) de **JN**.

Turbidez (NTU)	pH	L^*	a^*	b^*	SST (°Brix)	α_{254nm}	UVT (%)	δ (g/mL)	μ (50°C) (mPa.s)
2967	3,60	32,67	3,61	25,69	12,7	0,755	18	1,09	1,9
± 33	$\pm 0,01$	$\pm 0,10$	$\pm 0,24$	$\pm 0,54$	$\pm 0,1$	$\pm 0,01$	$\pm 1,00$	$\pm 0,02$	$\pm 0,1$

Cabe destacar que los valores de los parámetros fisicoquímicos evaluados se encuentran dentro de lo informado por Hours y col. (2004), quienes realizaron una caracterización de jugos de naranja provenientes de cinco variedades (Navelina, New Hall, Salustiana, Washington Navel y Valencia) cultivadas en la provincia de Entre Ríos.

La correcta evaluación desde el punto de vista óptico de las características de **JN** resulta esencial para un diseño apropiado del tratamiento de luz UV-C a aplicar, dado que la eficacia de este método depende directamente de ellas. Para lograr una inactivación microbiana efectiva, los fotones de luz deben alcanzar las células objetivo; por tanto, la presencia de componentes que absorban o bloqueen el paso de la luz reduce notoriamente la eficiencia del tratamiento (Koutchma, 2019). En consecuencia, se prevé que las matrices complejas y turbias, como el jugo de naranja, presenten resultados menos favorables en comparación con jugos o bebidas claras (Guerrero y col., 2022; Guerrero y col., 2025).

En concordancia con lo expuesto, Keyser y col., (2008) aplicaron luz UV-C (23,4-2339,8 mJ/cm²), usando un reactor comercial (PureUV, Milnerton, South Africa), en varios jugos con el objeto de evaluar el efecto en la inactivación de bacterias aerobias mesófilas y mohos y levaduras. Estos autores encontraron una mayor inactivación en mohos y levaduras (4,48 ciclos log) que en las bacterias aerobias mesófilas (3,31 ciclos log) cuando se aplicó el tratamiento UV-C (1403,9 mJ/cm²) en jugo de guayaba y piña (2500 NTU). Mientras que para lograr la inactivación total en jugo de manzana (1100 NTU) se necesitó una menor dosis de UV-C (234 mJ/cm²), ya que este jugo era menos turbio. De manera similar, Fenoglio y col. (2020) evaluaron la inactivación de *E. coli* ATCC 25922, *S. cerevisiae* KE 162 y *L. plantarum* ATCC 8014 por luz UV-C (390 mJ/cm², 20°C) a escala piloto en el mismo equipo que se utilizó en esta tesis, en diversas matrices frutales, jugo de pera, jugo de naranja-mandarina y jugo naranja-banana-mango-kiwi-frutilla. Los autores concluyeron que la inactivación microbiana fue mucho mayor en el jugo de pera ($\alpha_{254nm} = 0,05$; 21,9 NTU), logrando 5,5–6,3–4,7 reducciones logarítmicas para *L. plantarum*, *E. coli* y *S. cerevisiae*, respectivamente; en comparación con los jugos de naranja-mandarina ($\alpha_{254nm} = 0,68$; 3100 NTU) y naranja-banana-mango-kiwi-frutilla ($\alpha_{254nm} = 0,37 \text{ cm}^{-1}$; 1767 NTU), observándose reducciones de hasta 2,4–3,8–1,6 y 3,6–3,7–1,3 ciclos logarítmicos, respectivamente.

4.2 Determinación de parámetros fluidodinámicos del procesamiento UVC

El cálculo del número de Reynolds (Re) mediante la Ecuación 3.6 precisó de conocer los valores de densidad y viscosidad del jugo a la temperatura del proceso (**Tabla 1**), así como la velocidad media de flujo, la cual fue determinada al dividir el caudal real (380 L/h) por el área transversal del reactor ($2,27 \times 10^{-4} \text{ m}^2$). El valor obtenido (Re = 5000) confirmó el establecimiento de un régimen de flujo turbulento. En cuanto al número de Dean (De), calculado mediante la Ecuación 3.7, fue de 1109, lo que indica la formación de vórtices secundarios dentro del reactor, los cuales promueven un mezclado eficiente y mejoran la interacción entre la luz UV-C y el fluido. La relación entre el diámetro interno del tubo y el correspondiente al coil (D/Dc) fue de 0,05, un valor

que, según Koutchma (2019), se encuentra en el rango (D/D_c : 0,03-0,10) de promoción de vórtices secundarios para un flujo tipo Dean. Koutchma y col. (2007) establecieron que, en reactores coil similares, un Re superior a 2000 combinado con vórtices secundarios asegura condiciones de flujo turbulento. En conjunto, estos valores confirman que las condiciones operativas favorecieron un régimen turbulento que optimizó un mezclado eficiente de los elementos de volumen en el reactor y por lo tanto, facilitó la interacción del fluido con la luz UV-C, asegurando una distribución eficiente de la radiación en el sistema.

Por otro lado, la distribución de los tiempos de residencia (DTR) en el reactor presentó un perfil unimodal, con un tiempo medio de residencia (t_m) de 41,93 segundos para un caudal de 380 L/h. El tiempo de residencia teórico (t_t) fue de 36,6 segundos, obteniéndose un ratio t_m/t_t de 1,15. Este valor indica que el volumen efectivo del reactor fue plenamente utilizado, dado que la relación se encuentra cercana y por encima de 1 (Mollah y col., 2018). Estos resultados son fundamentales para comprender la dinámica de flujo dentro del sistema y su influencia en la exposición uniforme del fluido a la radiación UV-C, lo que repercute directamente en la eficacia del tratamiento.

4.3. Determinación de dosis UV-C

Como ya se ha comentado, la caracterización de un equipo de tratamiento con UV-C implica identificar las diferentes dosis aplicadas, las cuales dependen tanto del diseño del reactor como de las propiedades de los fluidos procesados. La **sección 1.3.3.3** describe en detalle los tipos de dosis involucradas en los diferentes procesamiento UV-C. La energía UV-C entregada por volumen (E_{UV-C}) y la fluencia UV-C incidente (H_i) fueron determinadas en un estudio previo por Fenoglio (2023) siendo de 1670 mJ/mL y 2000 mJ/cm², respectivamente. En esta tesis se ha determinado para el reactor UV-C a escala piloto la dosis actinométrica, $H_{d_{act}}$.

4.3.1 Determinación de la dosis actinométrica ($H_{d_{act}}$)

Para estimar la fluencia entregada, que representa la energía disponible para la inactivación microbiana y que es efectivamente transferida al sistema sin ser absorbida ni dispersada por los componentes del fluido, se empleó el par actinométrico Ioduro-Iodato. Siguiendo el procedimiento indicado en la **sección 3.5.4**, se registraron los valores de absorbancia para distintos tiempos y niveles de exposición (31 pasadas, 21,7 minutos), así como la energía (J) correspondiente. Como resultado, se obtuvo una fluencia actinométrica ($H_{d_{act}}$) de 892 mJ/cm² para el reactor UV-C a escala piloto.

En la **Figura 4.3** se muestra la curva de las dosis obtenidas por actinometría en función del tiempo de exposición de exposición UV-C. Por su parte, la Tabla 2 detalla los valores de absorbancia medidos para diferentes tiempos de tratamiento (hasta 31 pasadas), junto con las concentraciones de triioduro (I_3^-) y la energía calculada conforme a las ecuaciones 3.12 a 3.15, expuestas en la **sección 3.5.4** de Materiales y Métodos.

Figura 4.3 Curva de dosis/tiempo de exposición obtenidas por actinometría en el equipo de procesamiento UV-C

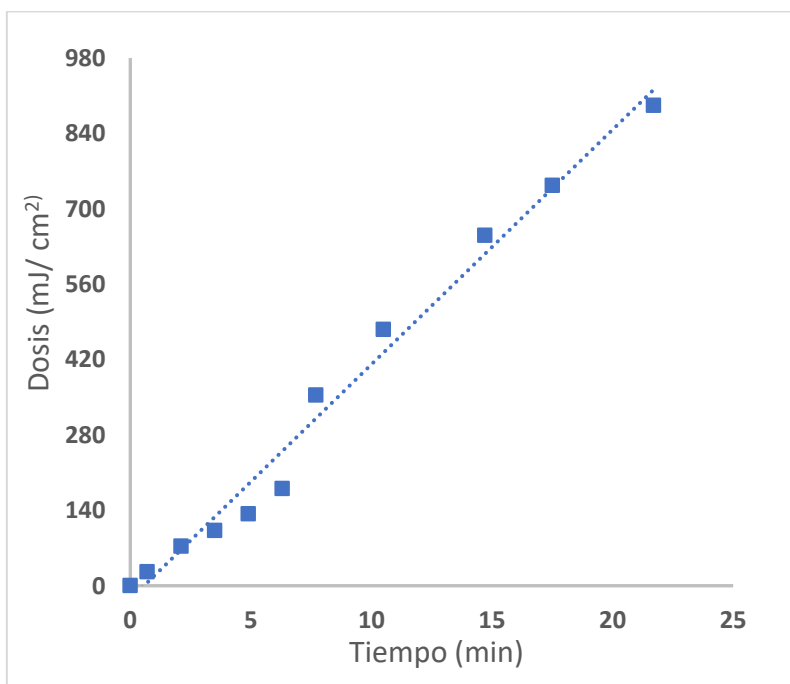


Tabla 2 Absorbancia y energía calculadas según las ecuaciones **3.12** a **3.15** para el par actinométrico Ioduro/Iodato sometido a irradiación con luz UV-C

Tiempo(min)	Abs (352nm)	I ₃ ⁻ (moles)	E (J)	Dosis UV-C (mJ/cm ²)
0	0,017	2,5490E-06	1	0
0,7	0,334	4,8835E-04	212	26
2,1	0,935	1,3671E-03	594	73
3,5	0,131	1,9129E-03	831	102
4,9	0,170	2,4895E-03	1082	133
6,3	0,230	3,3678E-03	1463	180
7,7	0,452	6,6146E-03	2874	354
10,5	0,608	8,8882E-03	3862	476
14,7	0,831	1,2146E-02	5278	650
17,5	0,450	1,3883E-02	6033	744
21,7	0,540	1,6659E-02	7239	892

4.4 Estudios de reto microbiano

Como se ha mencionado previamente en la **sección 3.6.1**, en el caso particular de los estudios de reto microbiano, la evaluación de la inactivación de esporas de *A. acidoterrestris* se realizó con un tratamiento UV-C simple (20 °C), dado que se ha comprobado que la aplicación de temperaturas moderadas e incluso elevadas no influye en su respuesta (Ferrario y Guerrero, 20218; Saucedo-Gálvez y col., 2020). En cuanto a los cócteles de *E. coli* y levaduras, se optó por un tratamiento con luz UV-C asistida (50 °C) (Feliciano y col., 2019; Fenoglio y col., 2019).

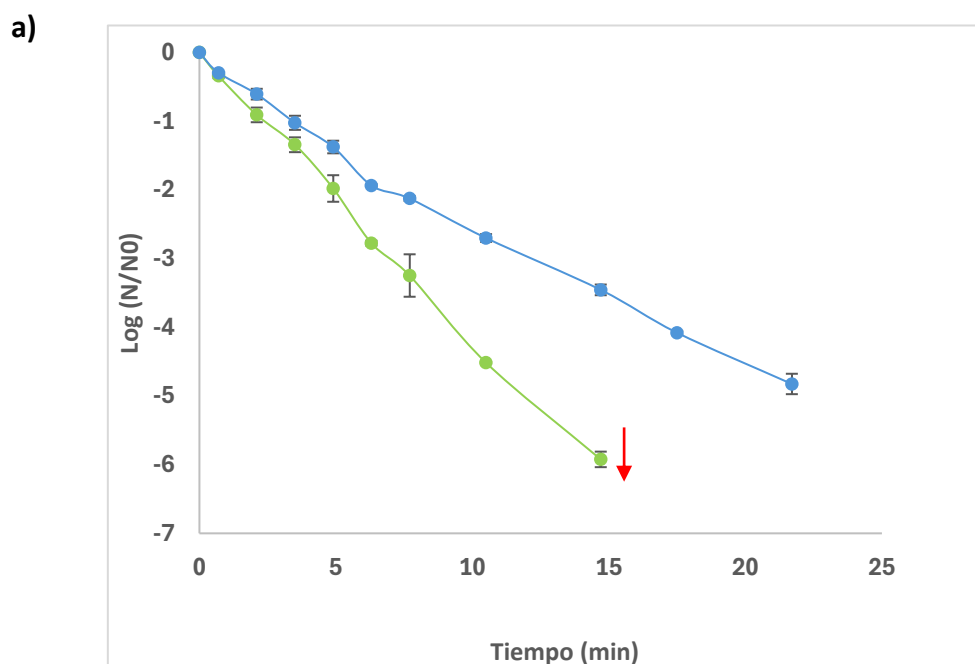
4.4.1 Efectividad del tratamiento por luz UV-C

En la **Figura 4.4** se presentan las curvas de inactivación correspondientes a los cócteles de *E. coli* (CEC), y levaduras (CL) tratadas por luz UV-C/T (892 mJ/cm²- 50°C, 21,7 min) y al inóculo simple de esporas de *A. acidoterrestris* ATCC 49025 (AA) tratadas por luz UV-C (892 mJ/cm²- 20°C, 21,7 min) en **JN**, según lo descrito en la Sección 3.6.2.

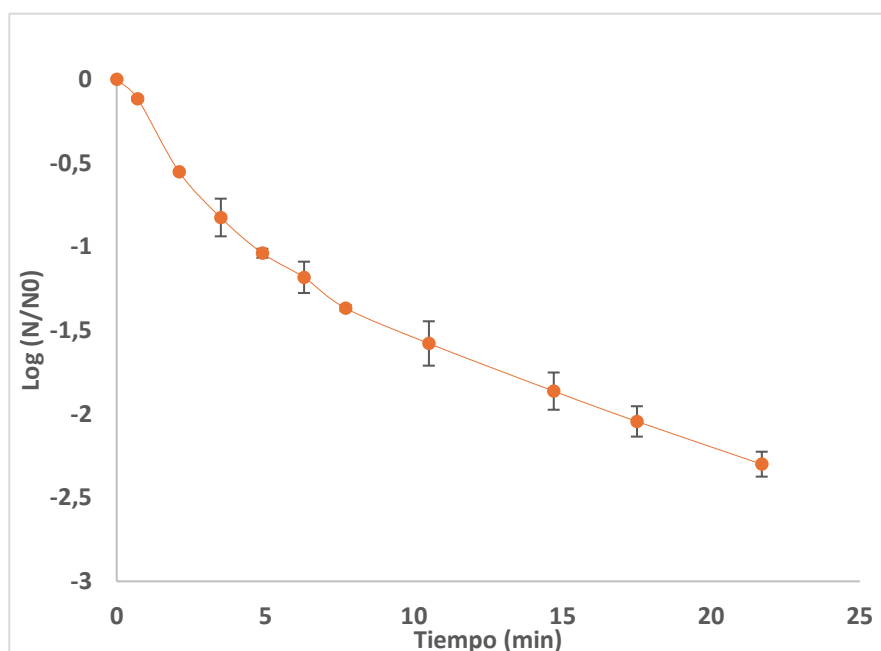
La curva de inactivación de CL presentó una tendencia lineal y evidenció la mayor sensibilidad al tratamiento, con una inactivación total de $5,92 \pm 0,19$ reducciones logarítmicas tras 15 minutos de exposición (**Figura 4.4 a**). En el caso del CEC, se alcanzó

una inactivación de $4,83 \pm 0,16$ reducciones logarítmicas al finalizar el tratamiento (21,7 minutos), observándose una curva con leve concavidad ascendente y sin presencia de hombro (**Figura 4.4 a**). Estos hallazgos evidencian la efectividad del tratamiento UV-C/T al inactivar cepas de microorganismos relevantes en una matriz compleja desde el punto de vista óptico, tal como JN. Sin embargo, en este estudio se observó un comportamiento diferente al reportado en otros estudios realizados con inóculos simples de levaduras, en los cuales se encontró que la inactivación por UV-C es menos efectiva en levaduras que en bacterias. Por ejemplo, Gómez-Sánchez y col. (2020) estudiaron la inactivación de *E. coli* ATCC 25922 y *S. cerevisiae* en jugo de granada comercial (pH 3,45; 11,38 °Brix) utilizando un reactor tipo Dean UV-C. Los autores observaron que *E. coli* mostró mayor sensibilidad a la luz UV-C (6369 mJ/mL , $20,0 \pm 0,2$ °C) que las levaduras, logrando una reducción de 4,38 ciclos logarítmicos frente a menos de un ciclo logarítmico, respectivamente.

Figura 4.4. Curvas de inactivación obtenidas por tratamiento con luz UV-C/T en reactor a escala piloto de los inóculos compuestos **a)** cóctel de *E. coli* (CEC) (●) y cóctel de Levaduras (CL) (●); curva de inactivación obtenida por tratamiento con luz UV-C simple con **b)** esporas de *A. acidoterrestris* (AA) (●) en JN. La flecha indica recuento indetectable (↓).



b)



De manera similar, Fenoglio y col. (2019), informaron que *E. coli* y *L. innocua* fueron más sensibles a la luz UV-C (1720 mJ/cm², flujo laminar, 2 lámparas UV de 36 W) que *S. cerevisiae* KE 162 en un blend natural de jugo de mandarina y naranja (pH: 4,10; 8,7 °Brix; 2095 NTU). Sin embargo, en este trabajo se pudo observar que al utilizar cócteles de microorganismos (bacterias y levaduras) el comportamiento de los mismos puede cambiar frente a un factor de estrés. Una posible explicación radicaría en el hecho que siendo las levaduras de mayor tamaño que las bacterias serían un blanco más fácil al impacto de los fotones y sobre todo si existe una variedad en un coctel, lo cual asegura que más fácilmente los haces de luz impacten (Guerrero y col., 2025). Además, juega un rol fundamental el tipo de reactor UV-C y la matriz empleada en la inactivación de los microorganismos (Mansur y col. 2023).

En el caso de las esporas de AA, el tratamiento con luz UV-C simple permitió alcanzar una inactivación moderada de $2,32 \pm 0,07$ reducciones logarítmicas (**Figura 4.4b**). Este resultado es comparable con el reportado por Varela Ferreira y col., (2020) quienes informaron una disminución de 1,5 ciclos log, en jugo de naranja reconstituido (11° Brix) tratado por UV-C (1260 mJ/cm²). La importancia de estos niveles de inactivación obtenidos con la aplicación de la luz UV-C radica en la alta resistencia de las

esporas de *A. acidoterrestris* a los métodos tradicionales de pasteurización térmica, los cuales no logran su inactivación en ningún grado. Cabe destacar que las concentraciones de esporas *A. acidoterrestris* empleadas en los ensayos de reto microbiano fueron considerablemente superiores a las presentes en la contaminación normalmente observada en bebidas de base frutal (Kozono y col., 2023). No obstante, la reducción obtenida mediante el tratamiento UV-C evidenció su capacidad para inactivar esporas de *A. acidoterrestris*, lo que refuerza su potencial aplicación en la industria alimentaria. Diversos estudios han respaldado la efectividad de la luz UV-C para este propósito. Saucedá-Gálvez y col. (2020) demostraron una inactivación de 5,5 logaritmos en esporas de *A. acidoterrestris* CECT 7094 inoculadas en jugo de manzana clarificado, utilizando una dosis de 21,5 J/mL a 20 °C. En la misma línea, Tremarin y col. (2017a y 2017b) evaluaron la inactivación de esporas en jugo de manzana (pH 3,2, 11°Brix, 27% de transmitancia UV) utilizando UV-C (13,44 W/m²) en placas de Petri con agitación. Estos autores reportaron reducciones de hasta 5 ciclos logarítmicos.

4.5 Modelado matemático de la cinética de inactivación

La **Tabla 3** presenta los valores de los parámetros obtenidos de los modelos matemáticos predictivos de Weibull y Coroller a partir de los datos de las curvas de inactivación del inóculo simple de esporas AA y los cócteles de *E. coli*, y levaduras, tratados por UV-C simple o UV-C/T. Además, la **Tabla 4** enumera los estadísticos relacionados a la distribución Weibulliana: moda, media, varianza y sesgo. Por último, la **Tabla 5** presenta los valores de los estadísticos RMSE, AIC y BIC (ver **sección 3.7**) a partir de los cuales se pudo comparar la adecuación de los modelos para predecir las respuestas de inactivación de los microorganismos frente a los distintos tratamientos en el JN.

El modelo de Weibull fue apropiado para representar los datos, ya que exhibió altos valores de R^2 adj en todos los casos (0,98 a 0,99) indicando que entre el 98% y el 99% de las variaciones en las respuestas de inactivación pudieron ser explicadas por el modelo (**Tabla 3**). Las curvas de inactivación de CEC y AA presentaron valores de $n < 1$ (**Tabla 3**), lo cual era esperable al considerar una leve concavidad hacia arriba de las

curvas (**Figura 4.5**). En particular, la curva correspondiente a CL presentó una tendencia más lineal, lo cual es coherente con su valor de n próximo a 1 ($n = 0,95$). Esto sugiere que la efectividad del UV-C decrece con el tiempo de tratamiento, quedando una población resistente, la cual podrían ser individuos adaptados al factor de estrés o que no llegan a irradiarse.

Los valores de b y n fueron empleados para generar las distribuciones de frecuencia de resistencia (**Figura 4.6**). Los tres inóculos evaluados: CEC, CL y AA, mostraron distribuciones con frecuencias sesgadas hacia la derecha y carentes de moda (**Figura 4.6 y Tabla 4**), lo que sugiere que la mayoría de la población fue inactivada en tiempos cortos de tratamiento. En relación con los parámetros estadísticos, el inóculo de CL presentó la menor media ($t_c = 2,32$ min), varianza ($\sigma^2 t_c = 5,92$ min²) y sesgo ($u_1 = 2,24$), en comparación con el CEC y las esporas de *A. acidoterrestris*, lo que indica que fue el más sensible. Le siguió el CEC, cuya mayor parte de la población se inactivó a los 3,38 min ($t_c = 3,38$ min, $\sigma^2 t_c = 17,66$ min², $u_1 = 2,70$). Finalmente, como era de esperar, las esporas bacterianas exhibieron el mayor valor de media y una amplia varianza ($t_c = 7,86$ min, $\sigma^2 t_c = 183$ min², $u_1 = 4,13$), evidenciando así su mayor resistencia frente a las células vegetativas.

Tabla 3. Parámetros estimados por los modelos de Weibull y Coroller para las curvas de inactivación de CEC, CL y esporas de *A. acidoterrestris* (AA) en JN tratado por UV-C simple (892 mJ/cm², 20°C) y UV-C/T (892 mJ/cm², 50°C).

Tratamiento	Inóculo	Coroller					Weibull			Red. log. (Log N/N ₀)
		α (-)	$\delta 1$ (min)	p (min)	$\delta 2$ (min)	R^2_{adj}	b (min ⁻ⁿ)	n (-)	R^2_{adj}	
JN / UV-C	AA	0,86* (0,07)	3,38* (0,70)	1,02* (0,15)	15,6* (3,77)	0,99	0,36* (0,03)	0,61* (0,03)	0,98	2,30 (0,07)
	CEC	0,93* (0,21)	2,99* (0,20)	1,08* (0,09)	6,25* (0,87)	0,99	0,41* (0,02)	0,81* (0,02)	0,99	4,82 (0,16)
	CL	2,28 ^{ns} (1,23)	2,5* (0,13)	1,1* (0,09)	4,57* (1,15)	0,99	0,46* (0,09)	0,95* (0,08)	0,99	5,92 (0,19)

(valor): error estándar de cada parámetro, * significativo al 5%, ^{ns} no significativo

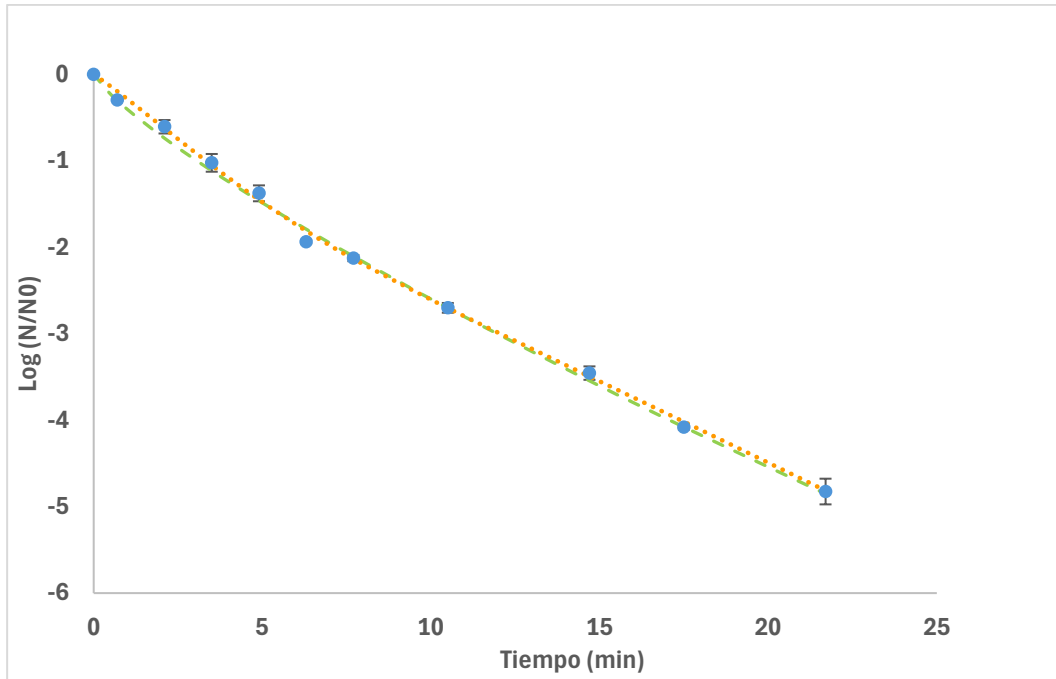
Tabla 4. Estadísticos relacionados con el modelo de Weibull^a correspondientes a la inactivación de esporas AA, cóctel CEC y cóctel CL.

Sistema/Tratamiento	Inóculo	t_{cm} (min)	$\bar{t}_c$ (min)	σ_{tc}^2 (min ²)	ν_1 (-)
JN / UV-C	AA	-	7,86	183	4,13
JN / UV-C/H	CEC	-	3,38	17,66	2,70
	CL	-	2,32	5,96	2,24

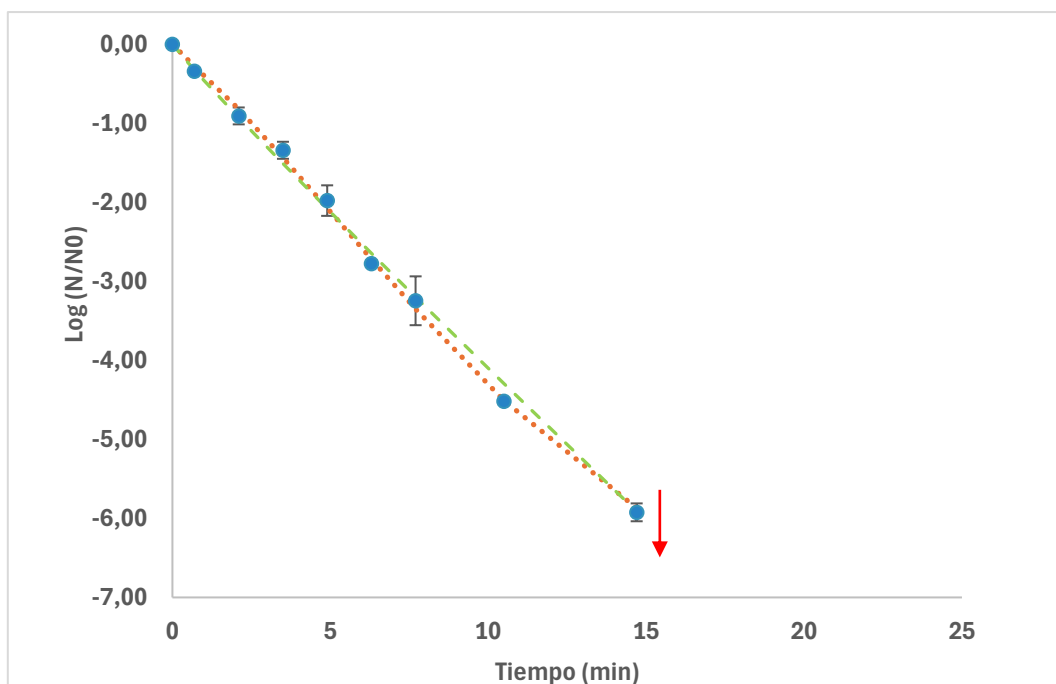
^a t_{cm} : moda, tiempo de tratamiento en el cual muere o se inactiva la mayor parte de la población; t_c , tiempo promedio de inactivación; varianza de tiempos de muerte (σ_{tc}^2), y ν_1 , sesgo de la distribución.

Figura 4.5 Datos experimentales (●) con su respectiva desviación estándar (I) y valores ajustados (líneas discontinuas) obtenidos a partir de los modelos de Weibull (---) y Coroller (.....) para la inactivación de coctel *E. coli* (a), coctel levaduras (b), y esporas de *A. acidoterrestris* (c) en jugo de naranja .

a)



b)



c)

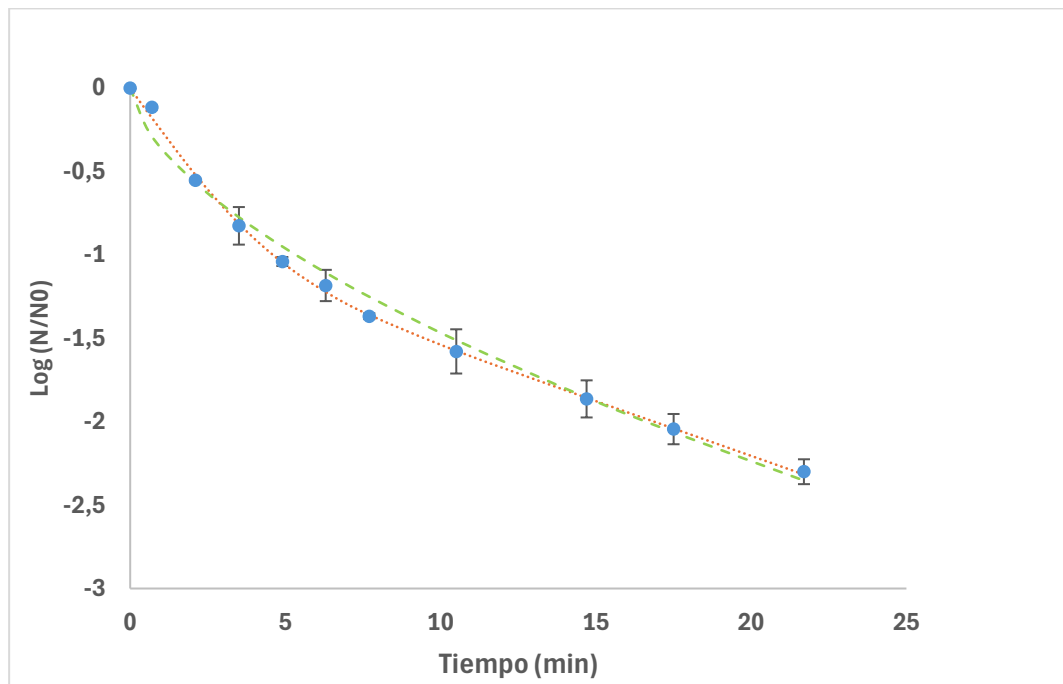
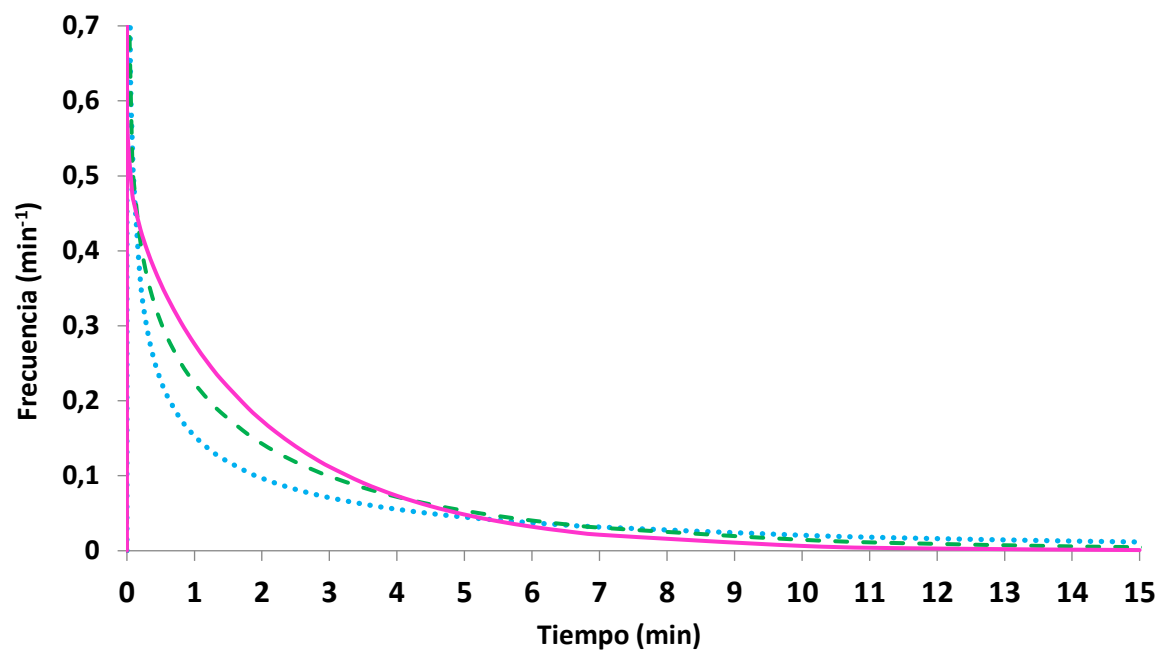


Figura 4.6. Distribución de las frecuencias de resistencias de Weibull correspondientes a la inactivación de AA (---), CEC (---) y CL (—)



El modelo de Coroller también fue apropiado para describir las curvas de inactivación microbiana, dado que se obtuvieron elevados valores de R^2_{adj} (0,99) y bajos valores de RMSE (**Tabla 5**). El parámetro α , que representa la relación logarítmica entre la fracción de la población sensible (f) y la más resistente ($1-f$), resultó cercano o mayor a 1, indicando que la mayoría de la población fue sensible, inactivándose durante los primeros minutos del tratamiento UV-C (**Tabla 3**). Los valores de δ_1 fueron de 2,4; 2,99 y 3,38 min para CL, CEC y esporas AA, respectivamente. Por otro lado, el δ_2 varió entre 4,57-15,6 min (**Tabla 3**), enfatizando la presencia de una fracción de miembros resistentes en la población microbiana la cual necesita más tiempo para ser inactivados.

Tabla 5. Valores de los índices de ajuste RMSE, AIC y BIC de los modelos de Weibull, y Coroller para las curvas de inactivación

Tratamiento	Inóculo	RMSE		AIC		BIC	
		Weibull	Coroller	Weibull	Coroller	Weibull	Coroller
JN / UV-C	AA	0,12	0,10	-31,12	-48,39	-27,85	-42,83
	CEC	0,10	0,18	-89,63	-104,8	-79,27	-94,52
	CL	0,13	0,10	-28,39	-34,63	-26,01	-27,80

Los valores de RMSE; AIC o BIC resaltados en negrita representa el mejor (mínimo) valor de la fila para la comparación de los modelos

Comparación de modelos

Con el objetivo de evaluar la bondad de ajuste de los distintos modelos, se compararon los valores de RMSE, AIC y BIC, calculados según lo descrito en la **sección 3.7**. El análisis del estadístico RMSE indicó que los modelos presentaron un ajuste similar. No obstante, el modelo de Weibull mostró el mejor desempeño en la

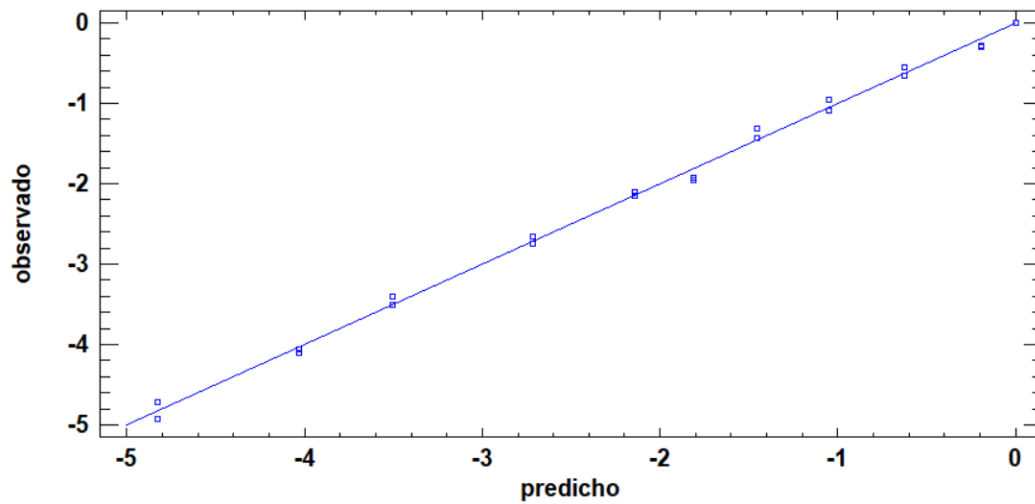
caracterización de la curva de inactivación de CEC, con un RMSE más bajo (0,10) en comparación con el modelo de Coroller (0,18). Sin embargo, al considerar los criterios AIC y BIC, se observó que el modelo de Coroller tuvo un mejor rendimiento en la mayoría de los casos, registrando valores relativamente más bajos en los tres inóculos evaluados en comparación con el modelo de Weibull (**Tabla 5**). Esto sugiere que, de acuerdo con los criterios AIC y BIC, que contemplan tanto la calidad del ajuste como la parsimonia del modelo, el modelo de Coroller, con cuatro parámetros, ofreció una mejor representación de los datos experimentales de inactivación de los tres inóculos usados, CEC, CL y AA.

La **Figura 4.7** presenta distintos instrumentos gráficos de validación interna de los modelos empleados, los cuales permiten verificar la adecuación de los mismos. A modo de ilustración se muestran sólo algunas de las condiciones evaluadas. El análisis de la gráfica de los valores observados en función de los valores predichos por el modelo mostró una distribución cercana a la línea diagonal, lo cual indica que los valores predichos resultaron muy parecidos a aquellos obtenidos experimentalmente (**Figura 4.7 a**). En los gráficos de los residuales en función de los valores predichos se observa, en general para todas las condiciones, una distribución de los residuales uniforme y horizontal en torno de los valores predichos, hecho que indica homocedasticidad (**Figura 4.7 b**). En ningún caso se observó forma de cono o herradura.

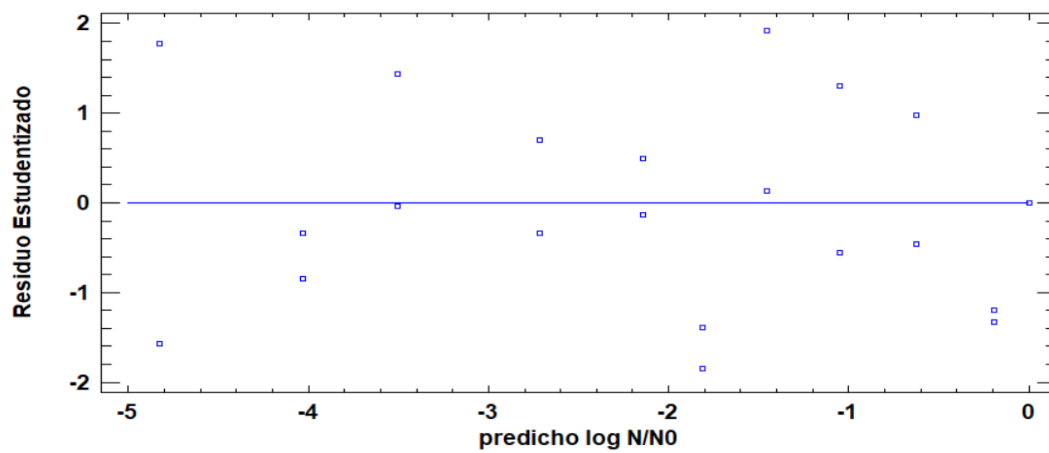
Figura 4.7. Ejemplos de validación interna para el modelo de Coroller y Weibull que representa las reducciones logarítmicas de cóctel de *E. coli* en jugo de naranja tratado por UV-C/T. a) Valores observados vs valores predichos por el modelo propuesto. b) Residuales vs valores predichos por el modelo propuesto.

Modelo de Coroller

a)

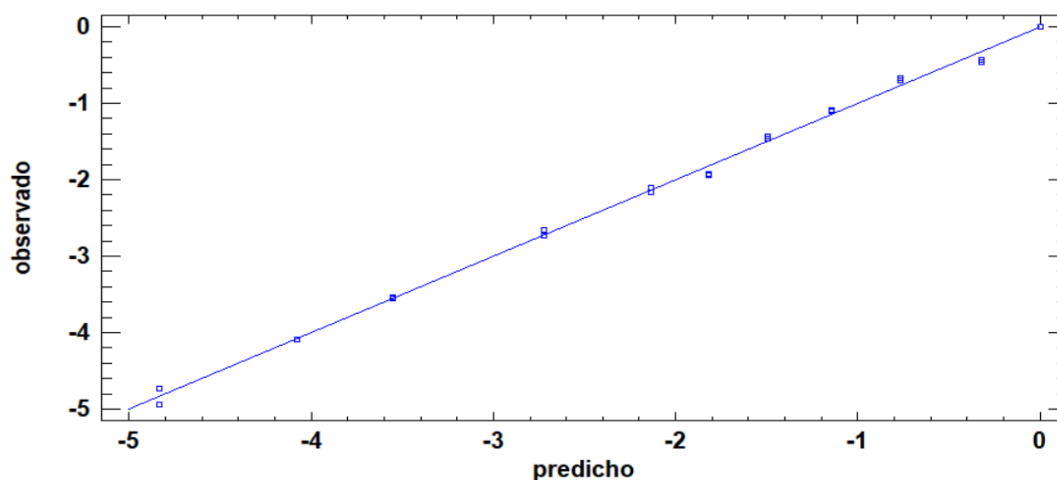


b)

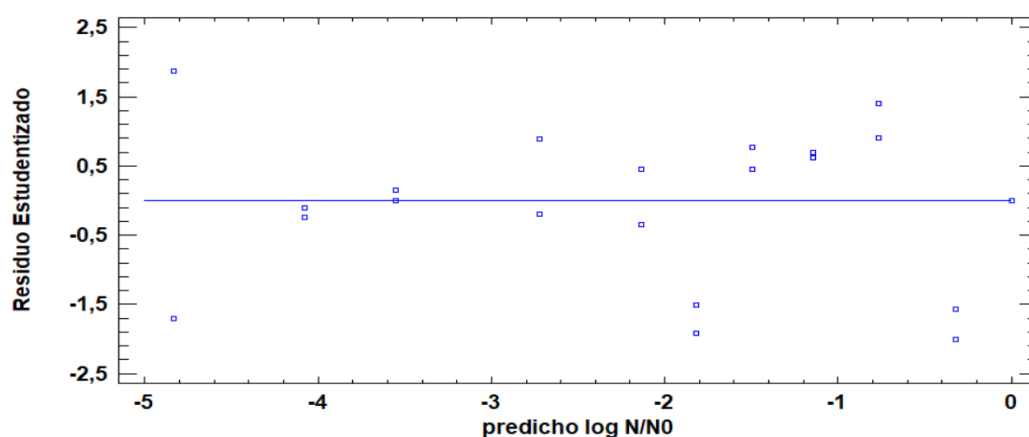


Modelo de Weibull

a)



b)

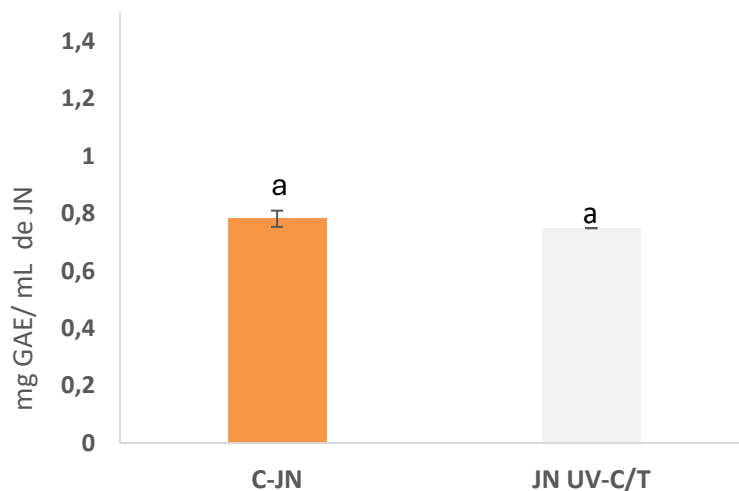


4.6 Estudio de calidad fisicoquímica

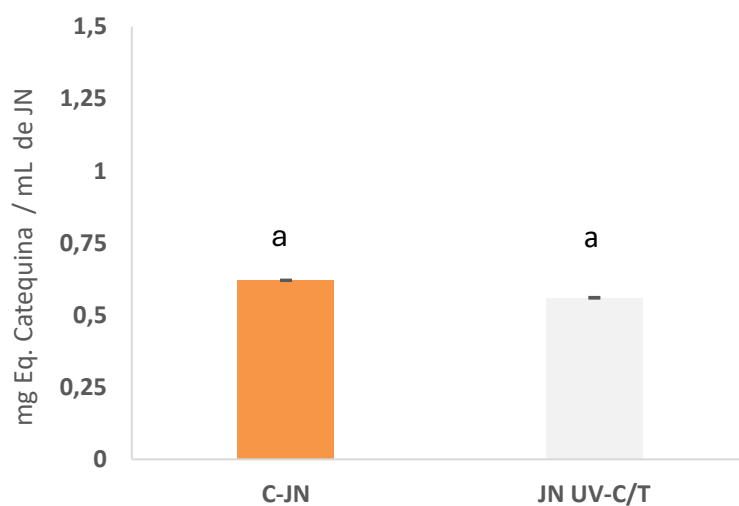
La **Figura 4.8** presenta los resultados obtenidos de los distintos parámetros de calidad medidos en el jugo naranja comercial sin procesar (control **C-JN**) y el jugo tratado por UV-C/T (**JNUV-C/T**). Los valores de polifenoles totales ($0,75 \pm 0,06$ mg GAE/mL), flavonoides ($0,56 \pm 0,01$ mg Eq Catequina/mL) y CA según el método ABTS ($0,18 \pm 0,01$ mg Eq Trolox /mL) en la muestra tratada fueron similares a los registrados en el control ($0,78 \pm 0,10$ mg GAE/mL y $0,22 \pm 0,01$ mg Eq Trolox /mL, respectivamente) (**Figura 4.8 a-c**). No obstante, se observó una ligera disminución en la CA medida por el método de DPPH en la muestra tratada en comparación con el control ($0,33 \pm 0,01$ mg Eq Trolox /mL frente a $0,55 \pm 0,04$ mg Eq Trolox /mL, respectivamente).

Figura 4.8 (a) Contenido de polifenoles totales (mg GAE/ mL); (b) contenido de flavonoides (mg Eq Catequina /mL) (c) CA (mg Eq Trolox /mL) por ABTS y (d) CA (mg Eq Trolox /mL) por DPPH; (e) vitamina C (mg ácido ascórbico/100 mL); (f) formación de HMF (mg HMF/L) de JN procesado o no (control) por UV-C/T. Las letras distintas sobre las barras indican la existencia de diferencias significativas ($p < 0,05$)

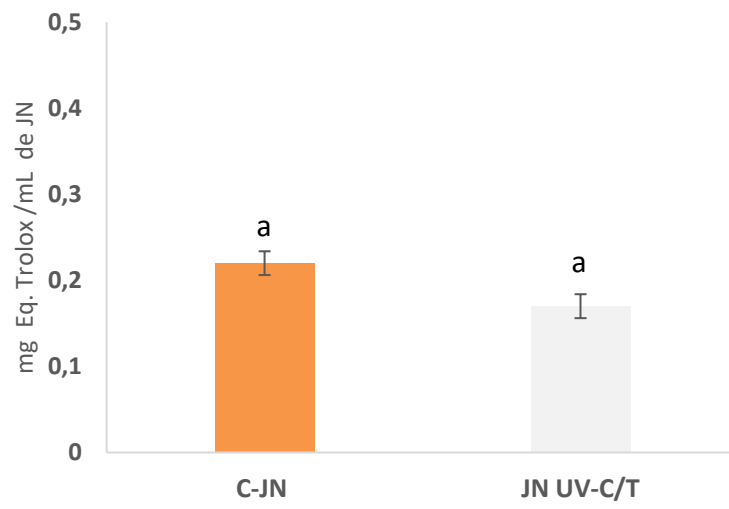
a



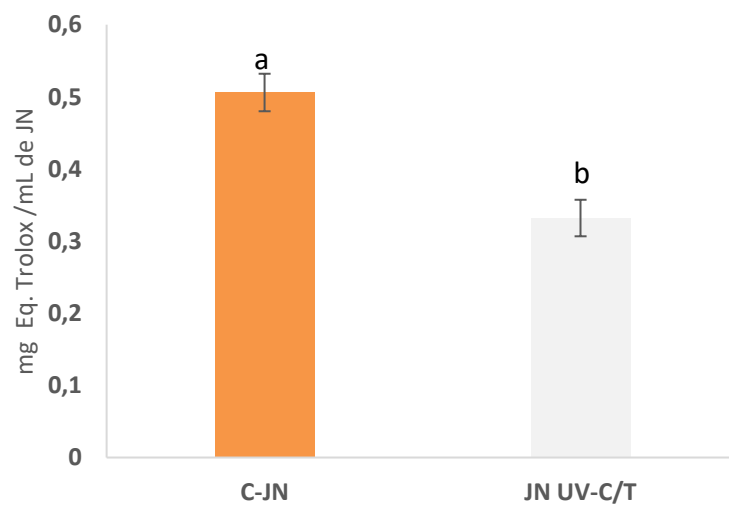
b



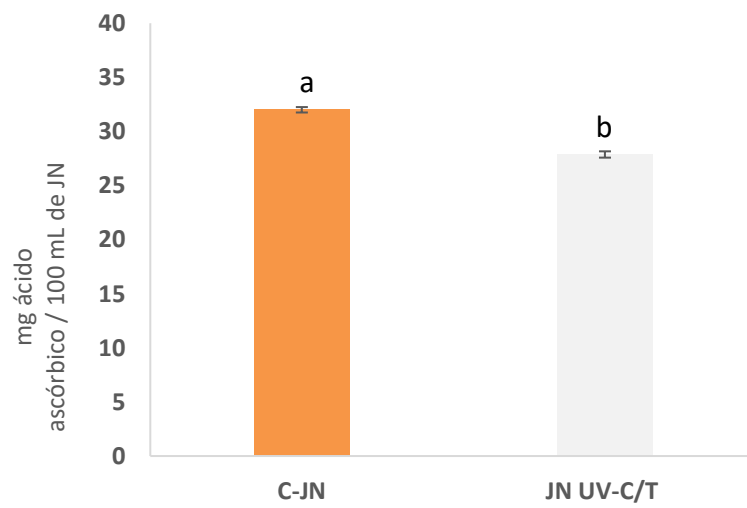
c



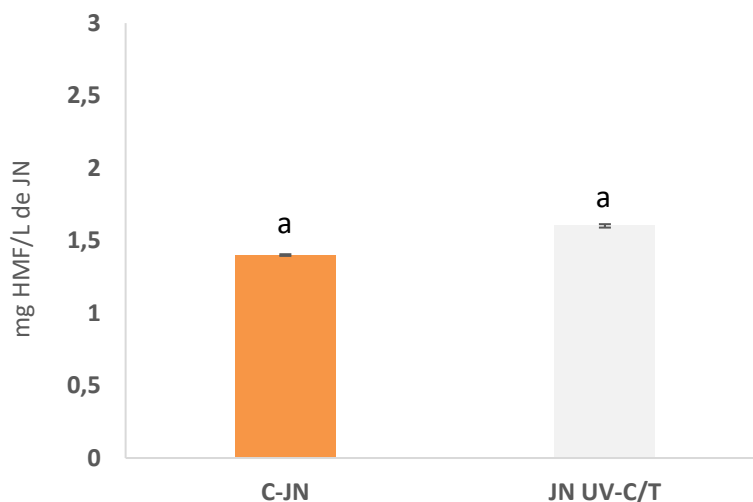
d



e



f



Por otro lado, **C-JN** presentó un mayor contenido de vitamina C ($31,75 \pm 0,25$ mg de ácido ascórbico/100 mL), el cual difirió significativamente del observado en JN-UV-C/T ($27,88 \pm 0,29$ mg de ácido ascórbico/100 mL), evidenciando una pérdida del 13% de su concentración. Este resultado sugiere que el tratamiento UV-C/T promovió la degradación de la vitamina C (**Figura 4.8e**). En concordancia con esta tendencia, Pagal y Gabriel (2020) evaluaron el impacto de un tratamiento con luz UV-C asistida por calor moderado ($1,44 \text{ mW/cm}^2$; 53°C ; 10,3 min) sobre el contenido de ácido ascórbico en jugo de naranja procesado en un sistema cerrado. Los autores reportaron una disminución significativa del 7% en comparación con el contenido inicial.

El contenido de 5-hidroximetilfurfural (HMF) para **C-JN** fue comparable con el determinado en **JNUV-C/T** ($1,3 \pm 0,01$ y $1,6 \pm 0,01$ mg 5-HMF/L, respectivamente) valores muy por debajo del límite permitido (20 mg HMF/L). Esto sugiere que el tratamiento con luz UV-C no promovió la formación de HMF en el jugo. La determinación de este compuesto es relevante debido a su potencial carácter carcinogénico, así como a su presencia natural en bajas concentraciones en los alimentos. No obstante, su formación se ve favorecida cuando ciertos azúcares, como la fructosa, son expuestos a altas temperaturas, lo que explica su detección en productos sometidos a tratamientos térmicos en concentraciones de hasta 100 ppb.

En cuanto al color, los parámetros CIELAB L^* , a^* y b^* obtenidos en la muestra tratada ($L^* = 32,0 \pm 0,6$; $a^* = -3,5 \pm 0,2$; $b^* = 25,58 \pm 1,2$) y en el control ($L^* = 32,5 \pm 0,6$;

$a^* = -3,3 \pm 0,5$; $b^* = 25,61 \pm 0,8$) no mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$), lo que indica que el tratamiento UV-C no alteró el color del jugo. Asimismo, los valores de pH, sólidos solubles totales (SST) y turbidez fueron similares entre la muestra control (pH= $3,55 \pm 0,05$; SST= $12,5 \pm 0,2$ °Brix; turbidez= 2955 ± 21 NTU) y la tratada (pH= $3,60 \pm 0,05$; SST= $12,7 \pm 0,1$ °Brix; turbidez= 2960 ± 22 NTU).

Estudios previos han reportado resultados variables en cuanto a la actividad antioxidante residual y el contenido de polifenoles tras tratamientos con luz UV-C, dependiendo del tipo de jugo, las condiciones del proceso y la metodología utilizada para la cuantificación de los compuestos bioactivos. García Carrillo y col. (2020) evaluaron la actividad antioxidante total y el contenido de polifenoles totales en jugo de zanahoria-naranja (pH: 4,21; 3030 NTU) sometido a UV-C asistido por temperatura moderada (1720 mJ/cm^2 ; $55 \text{ }^\circ\text{C}$). En coincidencia con el presente estudio, los autores reportaron que el jugo tratado presentó valores de polifenoles totales (CTP) y actividad antioxidante total (AAT) similares a los del control (CTP: $260 \pm 90,1 \text{ } \mu\text{g GAE/mL}$ y AAT: $1,6 \pm 1,3 \text{ mg Trolox Eq/mL}$ en el jugo tratado frente a $205,0 \pm 55,9 \text{ } \mu\text{g GAE/mL}$ y $0,9 \pm 0,5 \text{ mg Trolox Eq/mL}$ en el control). De manera similar, Türkmen y Takci no encontraron diferencias significativas en la capacidad antioxidante ni en el contenido de compuestos bioactivos de jugo de zanahoria negra (pH 6,3, $12,0$ °Brix) tras el tratamiento con luz UV-C (150 mJ/cm^2). Fundo y col. (2019) analizaron la actividad antioxidante por ABTS y el contenido de polifenoles totales en jugo de melón (pH 6,3; $11,4$ °Brix) tratado con UV-C ($13,44 \text{ W/m}^2$, 4 lámparas) y observaron que las muestras tratadas presentaron niveles de fenoles totales y actividad antioxidante comparables a las del jugo sin tratar. Asimismo, los autores indicaron que el tratamiento no generó alteraciones en parámetros fisicoquímicos como el pH, los sólidos solubles totales ni el color. En la misma línea, Fenoglio (2023) señaló que el tratamiento UV-C/T (892 mJ/cm^2 ; $50 \text{ }^\circ\text{C}$) aplicado a un jugo comercial de naranja-mandarina ($12,3$ °Brix; 3533 NTU) no produjo variaciones significativas en el color, los sólidos solubles ni la turbidez, destacando la estabilidad fisicoquímica del producto ante esta tecnología.

4.7 Conclusiones parciales: PARTE 1

- Fue posible determinar adecuadamente las propiedades fluidodinámicas que caracterizaron el procesamiento por luz UV-C. Asimismo se realizó con éxito la caracterización de las dosis UV-C involucradas.
- Mediante un tratamiento a escala piloto por luz UV-C (892 mJ/cm²) asistida por temperatura moderada (50 °C) se lograron inactivaciones en jugo de naranja de altas a moderadas para los inóculos compuestos (cócteles) ensayados.
- Sin la asistencia de temperatura, pudo comprobarse que el tratamiento UV-C (892 mJ/cm², 20 °C) a escala piloto logró una inactivación moderada esporas de *A. acidoterrestris* en JN, inactivación muy significativa teniendo en cuenta la contaminación normalmente observada de AA en jugos frutales y bebidas livianas, generalmente resistente a los tratamientos térmicos convencionales, hecho que representa una ventaja competitiva notoria de esta tecnología.
- Si bien, tanto el modelo de Weibull como el de Coroller o doble Weibull presentaron un muy buen desempeño, se seleccionó el modelo de Coroller por considerarse el más adecuado y representativo desde el punto de vista estadístico para describir la inactivación microbiana observada en jugo de naranja procesado mediante luz UV-C asistida por calor (892 mJ/cm², 50 °C) o luz UV-C simple (892 mJ/cm², 20 °C).
- El tratamiento con UV-C asistido por calor moderado (892 mJ/cm², 50 °C) no provocó variaciones significativas en los parámetros de color CIELab del jugo de naranja, ni en los demás parámetros fisicoquímicos evaluados (pH, sólidos solubles totales y turbidez). Asimismo, no se observaron modificaciones en el contenido de polifenoles totales, flavonoides ni en la capacidad antioxidante, determinada mediante el método ABTS, al comparar el jugo comercial tratado con su contraparte sin tratamiento. Asimismo, se determinó una disminución leve en el contenido de vitamina C y un ligero aumento del contenido de HMF muy por debajo del límite permitido.

- Finalmente, en función de los resultados obtenidos en esta etapa, se definió el procesamiento de JN a realizar en las siguientes etapas como un tratamiento asistido por temperatura moderada (892 mJ/cm^2 , $50 \text{ }^\circ\text{C}$).

PARTE 2-Subproducto 1: Gel postre frutal

En esta etapa del estudio, se abordó el diseño de un gel postre frutal con reemplazo total o parcial de sacarosa, empleando agentes de carga o edulcorantes, conforme a lo detallado en la **sección 3.11** de Materiales y Métodos. El objetivo también considera la utilización de ingredientes considerados más saludables que los aditivos utilizados típicamente en esta clase de geles de consumo al paso. En primer lugar, se comenzó con un estudio de optimización mediante la metodología de superficie de respuesta (MSR), evaluando la influencia de las mezclas de edulcorantes y agente de carga en diferentes parámetros fisicoquímicos y reológicos de los geles postre obtenidos. Adicionalmente, se llevaron a cabo pruebas sensoriales para identificar los sistemas de gel postre con características sensoriales similares a las de un gel postre comercial (control, denominado en esta tesis, full sacarosa). Finalmente, se realizó un estudio de almacenamiento de los sistemas seleccionados para evaluar la estabilidad microbiológica, fisicoquímica y reológica de los sistemas seleccionados.

4.8 Caracterización fisicoquímica

La **Tabla 6** muestra los parámetros fisicoquímicos de los sistemas de gel postre elaborados con diferentes concentraciones de eritritol (E), rabaudiósido A (RA), povidex (P) y sacarosa (S). Los valores de actividad de agua (a_w) variaron significativamente según la formulación, con un rango comprendido entre 0,937 y 0,975. El sistema control, elaborado con un 10 % p/p de sacarosa (S), presentó un valor de a_w de 0,972. Por otro lado, el sistema 15, elaborado con las concentraciones más altas de S y E y una concentración intermedia de P, mostró el valor más bajo de a_w (0,938). En contraste, el sistema 5, que no contenía P ni E, pero sí una concentración intermedia de S, presentó el valor más alto de a_w (0,975).

El pH de los geles postre osciló entre 3,77 y 5,02. El sistema 12, que no incluía S ni E, presentó el pH más bajo. En cambio, el sistema 23, elaborado con la concentración más alta de S y una concentración intermedia de E, pero sin P, mostró el valor más alto de pH. A diferencia de lo observado en esta tesis, Farías y col. (2019), al estudiar conservas de frutas nativas del Cerrado brasileño elaboradas con pectina de bajo

metoxilo (1,5 %) y distintas concentraciones de eritritol y polidextrosa (0–100 %), evidenciaron que la presencia de polidextrosa tendía a elevar el pH. Asimismo, reportaron que el incremento en la concentración de ambos polialcoholes aumentaba significativamente la actividad de agua (a_w), siendo este efecto más pronunciado en el caso de la polidextrosa. Por su parte, Riedel, Böhme y Rohm (2015) desarrollaron sistemas de gelatina con agar y contenido reducido de azúcar reemplazando la sacarosa por una mezcla de polidextrosa (56-84 % p/v) y oligofructosa (2.07-5.8 % p/v). En contraste, estos autores no encontraron diferencias significativas en el pH y la a_w entre las gelatinas control y aquellas con contenido de azúcar reducido.

En cuanto a la turbidez y el contenido de sólidos solubles totales (SST, expresados en °Brix), se observaron valores variados según el sistema analizado. SST osciló entre 14,7 (sistema 1) y 34,7 °Brix (sistema 11). En general, los sistemas que no incluían P en su formulación presentaron los valores más bajos de SST (sistemas 4, 5, 7, 23, 25 y 27). Por el contrario, aquellos con la concentración más alta de P mostraron los valores más elevados en SST (sistemas 9, 11, 13, 14 y 24). De manera concordante, Srisuvor y col. (2013) evaluaron el efecto de la polidextrosa (1, 2 o 3 g/100 mL) como reemplazo de grasa en yogures, reportando un incremento en los °Brix con concentraciones más altas de polidextrosa. Por último, la turbidez de los geles-postres varió entre 1367 (sistema 9) y 2756 NTU (sistema 1).

En lo que respecta a la capacidad de retención de agua (CRA), se observó que el sistema de control (pH: $4,13 \pm 0,03$), que solo contenía S (10% p/p), exhibió un alto valor de CRA ($99,67 \pm 0,13$ %). Este valor solo fue superado por los sistemas de gel postre, 5 ($99,73 \pm 0,01$ %) y 16 ($99,70 \pm 0,01$ %), que curiosamente contenían el nivel más bajo (sistema 5) o no contenían S y mostraron valores más bajos de pH ($3,85 \pm 0,09$ y $3,83 \pm 0,09$) en comparación con el control. En la tabla 2 se puede observar que, en general, los valores más altos de CRA, que oscilaron entre 99,17 % y 99,77 %, se determinaron para aquellos sistemas que no contenían E o tenían una concentración intermedia de E (0 - 5,5 % p/p), presentando los valores de pH más bajos ($3,77 \pm 0,05$ - $3,95 \pm 0,06$) (sistemas 1, 2, 4, 5, 7, 12, 16, 17 y 25). Por el contrario, los valores más bajos de CRA ($92,59 \pm 0,13$ %, $97,15 \pm 1,08$ % y $95,13 \pm 0,46$ %) se registraron para los sistemas 14, 18

y 26, que mostraron la mayor concentración de E (11 % p/v) y los valores de pH más altos ($4,20 \pm 0,03$, $4,19 \pm 0,04$ y $4,10 \pm 0,01$), respectivamente.

Estos resultados concuerdan con lo informado por Wan y col. (2019), quienes observaron un aumento de la CRA en geles de pectina de bajo metoxilo con pH hasta un valor de pH de 4,5, en el que la capacidad de retención de agua comenzó a disminuir. Sugirieron que, para la gelificación de la pectina, es necesaria cierta disociación de los grupos carboxilo para formar los puentes de calcio, por lo que el pH debe ser superior a 3,5 (pK_a de la pectina $\approx 3,5$).

Mediante la prueba MANOVA, que analizó de forma conjunta todos los parámetros fisicoquímicos evaluados (pH, SST, turbidez, CRA, actividad de agua y viscosidad), se observó que la muestra control presentó diferencias significativas con respecto a cada uno de los sistemas estudiados.

Tabla 6. Valores medios y desviaciones estándar de actividad de agua (a_w), SST, pH, capacidad de retención de agua (CRA), turbidez y viscosidad para los sistemas de gel-postre frutal.

Sistema	a_w	SST (°Brix)	pH	CRA (%)	Turbidez (NTU)	Viscosidad inicial (Pa.s)	Viscosidad final (Pa.s)	DS*
Control	0,972±0,001	21,03±0,12	4,13±0,03	99,67±0,13	2493±59	1614±6	6,64±0,46	<i>a</i>
1	0,974±0,001	14,7±0,12	4,00±0,02	99,27±0,05	2756±8	600±2	2,09±0,21	<i>b</i>
2	0,963±0,000	28,1±0,17	4,03±0,01	99,74±0,16	1843±7	579±44	3,54±0,35	<i>c</i>
3	0,953±0,000	27,4±0,26	3,99±0,04	99,42±0,19	1944±32	502±22	6,49±0,59	<i>d</i>
4	0,964±0,000	18,75±0,36	3,87±0,06	99,27±0,20	2501±74	763±2	4,64±0,29	<i>e</i>
5	0,975±0,001	15,45±0,06	3,85±0,09	99,73±0,01	2662±31	888±58	0,98±0,07	<i>f</i>
6	0,963±0,010	25,3±0,58	4,07±0,03	98,23±1,01	2747±33	383±23	1,86±0,12	<i>g</i>
7	0,961±0,004	19,65±0,25	4,03±0,02	99,24±0,00	2354±89	758±13	6,42±0,21	<i>h</i>
8	0,955±0,006	28,1±0,53	3,93±0,01	98,35±2,06	1791±11	474±29	4,96±0,20	<i>i</i>
9	0,969±0,001	31,25±0,06	4,01±0,00	98,59±0,03	1367±74	627±09	7,90±0,12	<i>j</i>
10	0,964±0,005	26,95±0,21	4,01±0,00	98,43±0,10	1704±11	756±32	4,06±0,90	<i>k</i>
11	0,950±0,001	34,7±0,61	3,78±0,07	99,17±0,19	1560±01	193±15	4,72±0,13	<i>l</i>
12	0,959±0,002	22,05±0,71	3,77±0,05	99,56±0,04	2472±63	561±21	5,60±0,46	<i>α</i>
13	0,947±0,002	30,5±1,64	3,96±0,12	98,77±0,00	1662±23	483±30	3,96±0,46	<i>m</i>
14	0,949±0,001	31,2±0,81	4,20 ±0,0 3	92,59±0,13	1502±71	159±8	2,91±0,38	<i>n</i>
15	0,938±0,003	30,2±0,44	3,97±0,04	99,58±0,06	1580±61	670±3	6,01±0,83	<i>o</i>
16	0,954±0,006	23,85±0,26	3,83±0,09	99,70 ±0,01	2058±34	830±9	5,44±0,12	<i>p</i>
17	0,961±0,012	21,15±1,01	3,82±0,04	99,17±0,17	2204±39	543±43	5,71±0,10	<i>α</i>
18	0,948±0,005	26,1±0,17	4,19±0,04	97,15±1,08	1739±31	173±33	3,34±0,05	<i>q</i>
19	0,965±0,001	20,8±0,06	4,01±0,07	99,66±0,02	1649±73	654±29	7,91±0,57	<i>r</i>
20	0,963±0,000	26,15±0,06	3,92±0,02	99,50 ±0,28	2036±33	524±7	4,62±0,39	<i>s</i>
21	0,953±0,002	26,4±0,21	4,01±0,02	99,15±0,89	2054±11	934±3	4,55±0,11	<i>t</i>
22	0,965±0,000	21,7±0,66	3,98±0,02	98,53±0,14	2239±22	615±3	4,92±0,26	<i>u</i>
23	0,967±0,000	19,7±0,35	5,02±1,74	99,18±0,33	2216±28	1097±7	4,46±0,30	<i>v</i>
24	0,943±0,005	30,85±0,52	4,12±0,01	98,53±0,01	2256±87	583 ±22	2,84±0,21	<i>w</i>
25	0,957±0,001	18,8±1,01	3,95±0,06	99,53±0,14	2636±85	953±48	5,41±0,20	<i>x</i>
26	0,955±0,003	27,35±0,52	4,10 ±0,0 1	95,13±0,46	1676±24	143±1	2,33±0,26	<i>y</i>
27	0,950±0,001	20,95±0,73	4,02±0,02	99,51±0,16	2359±62	1028±16	5,38±0,12	<i>z</i>

DS*: diferencia significativa: los valores experimentales con la misma letra no son significativamente diferentes ($p < 0,001$) según el MANOVA de dos vías; ($\pm$ valor): error estándar calculado a partir de 3 réplicas.

4.9 Aspectos reológicos

4.9.1 Análisis de perfil de textura (PT)

Se evaluaron los perfiles de textura (PT) de los sistemas de gel postre según la metodología detallada en la sección de **Materiales y Métodos, Apartado 3.10.1**, para obtener los parámetros mecánicos y observar el impacto del reemplazo parcial o total de sacarosa por mezclas de endulzantes no calóricos o agente de volumen en la formulación de los geles postre frutales elaborados en base de jugo de naranja UV-C/T. Los parámetros PT (D1, D2, gomosidad, elasticidad, cohesión y adhesividad) correspondientes a los sistemas de **geles postre** elaborados con diferentes concentraciones de S, E, RA y P se exhiben en la **Tabla 7**. Aquellos sistemas que no presentaban P (4, 5, 23, 25 y 27) mostraron los valores más altos de D1, adhesividad (4, 5 y 25) o gomosidad (23 y 27). Por el contrario, los sistemas elaborados con la mayor concentración de P (2, 11 y 14) exhibieron los mayores valores de elasticidad, y los menores valores de D1, gomosidad y adhesividad.

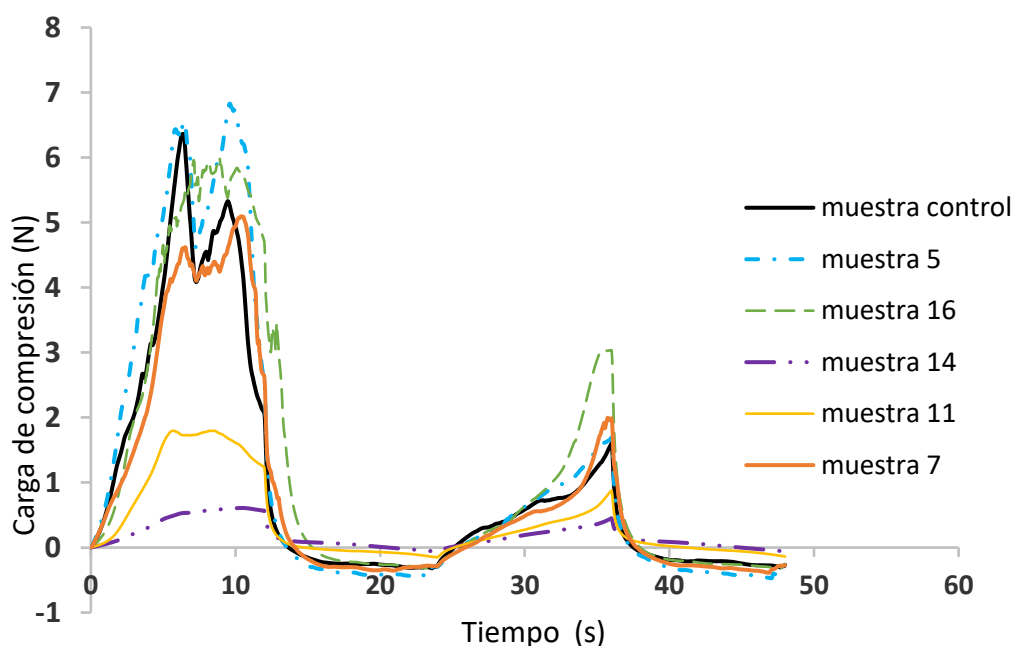
Tabla 7. Valores medios y desviaciones estándar de los parámetros PT para los sistemas de gel-postre frutal

Sistema	Dureza 1 (D1, N)	Dureza 2 (D2, N)	Adhesividad (N.m.10 ³)	Elasticidad (-)	Cohesividad (-)	Gomosidad (N)	DS*
19	7,14±1,63	2,39±0,99	3,96±1,10	0,75±0,14	0,15±0,13	1,05±0,53	ab
25	7,40 ±0,83	3,48±1,13	1,61±2,67	0,85±0,23	0,21±0,06	1,51±0,40	bd
23	7,15±0,39	4,25±0,93	1,16±0,30	0,87±0,05	0,24±0,03	1,74±0,30	d
16	7,05±0,69	3,10 ±0,71	1,76±0,97	0,87±0,16	0,23±0,05	1,57±0,32	d
27	7,34±1,63	2,79±1,06	1,11±0,55	0,86±0,06	0,22±0,01	1,71±0,42	d
20	6,00 ±0,95	1,90 ±0,28	3,38±0,84	0,86±0,08	0,15±0,02	0,85±0,20	aeijkm
5	7,79±0,32	1,77±0,18	3,37±1,13	0,86±0,13	0,15±0,03	1,13±0,22	e
6	5,23±0,62	1,18±0,15	2,92±1,41	0,86±0,06	0,16±0,04	0,83±0,18	ijklm
9	4,35±0,46	1,14±0,12	2,99±0,44	0,85±0,04	0,15±0,02	0,65±0,07	gjlm
13	3,75±0,67	1,09±0,30	2,73±0,51	0,82±0,04	0,17±0,04	0,64±0,26	fgjlm
10	5,12±0,42	1,39±0,24	1,90 ±0,90	0,89±0,04	0,17±0,02	0,85±0,19	klm
21	4,66±0,55	2,07±0,15	1,34 ±0,70	0,68±0,02	0,09±0,01	0,73±0,07	klm
8	4,65±0,55	1,32±0,15	1,41±0,70	0,92±0,02	0,21±0,01	0,99±0,07	klm
3	3,81±0,47	1,13±0,14	0,96±0,75	0,91±0,02	0,20±0,01	0,75±0,08	ghl
1	2,45±0,18	0,88±0,14	1,66±0,60	0,85±0,03	0,23±0,04	0,56±0,13	fgh
24	2,98±0,26	1,12±0,10	2,35±0,46	0,91±0,02	0,27±0,03	0,75±0,15	f
17	3,43±0,61	1,45±0,17	1,30 ±1,10	0,91±0,05	0,23±0,02	0,83±0,08	fghl
12	5,64±0,86	1,55±0,19	3,53±1,00	0,86±0,03	0,18±0,02	1,04±0,19	ijklm
7	5,68±0,62	1,24±1,93	3,44±1,48	0,83±0,05	0,12±0,09	0,71±0,63	ijkm
22	5,13±0,30	1,48±0,29	2,84±0,89	0,87±0,04	0,17±0,03	0,92±0,15	ijklm
15	5,01±1,03	1,20±0,32	4,87±0,96	0,78±0,07	0,12±0,03	0,60±0,24	J
Control	6,62±0,67	1,61±0,30	2,37±0,39	0,90 ±0,02	0,17±0,01	1,13±0,07	eik
4	7,02±0,68	1,34±0,28	4,26±0,87	0,85±0,03	0,12±0,02	0,88±0,13	ei
18	1,84±0,19	0,73±0,07	1,80 ±0,45	0,82±0,04	0,20±0,03	0,37±0,08	fh
14	0,99±0,09	0,54±0,05	0,28±0,08	0,87±0,02	0,32±0,01	0,32±0,03	c
26	1,00 ±0,08	0,58±0,03	0,29±0,04	0,89±0,01	0,35±0,07	0,34±0,33	c
11	1,90 ±0,36	0,92±0,13	0,65±0,27	0,89±0,01	0,24±0,02	0,47±0,05	ch
2	1,91±0,13	0,82±0,06	0,59±0,08	0,90 ±0,02	0,01±0,01	0,02±0,01	ch

*DS, Diferencia significativa: los valores experimentales con la misma letra no presentan diferencias significativas ($p < 0,001$) según el MANOVA de dos vías; ($\pm$ valor): error estándar calculado a partir de 5 réplicas.

En la **Figura 4.9** se muestran, a modo de ejemplo, las curvas de fuerza-tiempo de PT obtenidas para la muestra control y los sistemas 5, 7, 11, 14 y 16. Los sistemas 5, 7 y 16, sin o con baja concentración de P, exhibieron perfiles de fuerza-tiempo de PT similares a la muestra control. Por el contrario, los sistemas 11 y 14 con la mayor concentración de P, mostraron una notable disminución en los perfiles de PT resultantes. En consecuencia, el aumento de los sólidos solubles totales y la turbidez, inducidos por la mayor concentración de povidona (P), podría dificultar la proximidad entre las macromoléculas, afectando el fortalecimiento de la estructura del gel. De acuerdo con los resultados mostrados en el presente estudio, Chaudhary y col., (2013) estudiaron el efecto de diferentes concentraciones de povidona (P) (0-83% p/p) sobre las propiedades fisicoquímicas de matrices de goma gellan desaciladas y, observaron que a concentraciones bajas de povidona (hasta 30%, p/p), se formaban estructuras estables y más fuertes, mientras que niveles elevados de P, se producía una disminución en la fuerza de la red, lo que contribuyó a un aumento de la elasticidad del gel.

Figura 4.9. Análisis del perfil de textura: curvas de fuerza vs. tiempo obtenidas durante los dos ciclos de compresión realizados en los sistemas gel-postre frutal. Se eligieron seis sistemas representativos para mostrar en esta figura: control (—), sistema 5 (— · —), 16 (— · · —), 14 (— · · · —), 11 (— — —), y 7 (— — —).



4.9.2 Viscosidad

La **Tabla 6** ya mencionada también resume los valores de viscosidad iniciales y finales de los 27 geles postre frutales. Se observó que los sistemas C, 4, 5, 7, 23, 25 y 27 con los valores más altos de viscosidad inicial (758–1647 Pa·s) se asociaron con los valores más bajos de P y SST (15,5–21,0 °Brix). En contraste, los geles postre 9, 11, 13, 14 y 24, los cuales tenían las concentraciones más altas de P, mostraron las viscosidades iniciales más bajas (202–654 Pa·s) y los valores de SST más altos (30,5–34,7 ° Brix). En cuanto a las viscosidades finales, los sistemas 9, 11 y 13 fueron los que mostraron los valores más elevados (7,90–9,88 Pa·s), lo cual estuvo asociado a mayores concentraciones de P y bajas cantidades de E y RA. Por el contrario, los sistemas 1, 5, 6, 14, 18, 24 y 26, que presentaron viscosidades finales más bajas (0,98–3,34 Pa·s), fueron aquellos que no contenían los valores más bajos de S o bien, no contenían este azúcar.

Los datos presentados en la **Tabla 6** sugieren que la viscosidad de los sistemas analizados podría estar influenciada por el contenido de povidona, P. Sin embargo, estudios ya publicados presentan resultados contrastantes sobre el efecto de este componente. Srisuvar y col. (2013) observaron que una menor concentración de povidona en el yogur resultaba en una mayor viscosidad inicial. Por otro lado, Hamdy y col. (2021) encontraron que la viscosidad inicial del yogur descremado con povidona era mayor que la del yogur descremado sin este ingrediente. Estas diferencias podrían deberse a variaciones en las matrices alimentarias estudiadas y sugieren que el impacto de la povidona en la viscosidad podría depender de otros factores, como la interacción con otros ingredientes presentes en la formulación.

4.10 Selección de los mejores sistemas de gel postre frutal

4.10.1 *Análisis de regresión múltiple y metodología de superficie de respuesta (MSR)*

El efecto de las concentraciones variables de S, E, RA y P añadidas a los geles postre frutales, que maximizaron las respuestas D1 y CRA, fue expresado utilizando las mejores ecuaciones polinomiales de segundo orden. Estas fueron determinadas siguiendo el procedimiento detallado en la **sección 3.14.1**. Se obtuvieron valores altos de R^2 ajustado

(93,3–99,4%), lo que indica que un alto porcentaje de los datos experimentales fueron representados de manera adecuada por las ecuaciones ajustadas.

La ecuación polinómica de segundo grado que mejor predijo D1 (R^2 ajustado = 93,3%) fue:

$$D1 = 4.94 - 2.11 \cdot E - 2.22 \cdot P - 0.307 \cdot S^2 - 1.42 \times E^2 \quad (4.1)$$

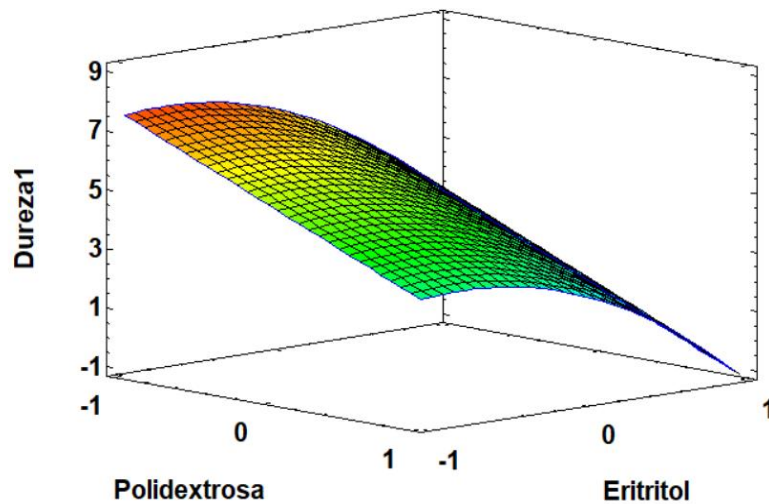
En esta ecuación, D1 corresponde a la dureza 1 (N), mientras que **S**, **E**, **P** y **RA** (en negrita mayúsculas) representan las variables codificadas, con valores entre -1 y 1, que se relacionan con las variables independientes S, E, P y RA (% p/p, letras mayúsculas).

El análisis de varianza y la suma de cuadrados calculada, correspondiente a las contribuciones de cada variable, mostraron que **P** (suma de cuadrados: 197,6) fue el término más influyente en la predicción de la respuesta D1. Este fue seguido por el término lineal **E** (suma de cuadrados: 85,7) y los términos cuadráticos **E**² (suma de cuadrados: 32,2) y **S**² (suma de cuadrados: 0,002).

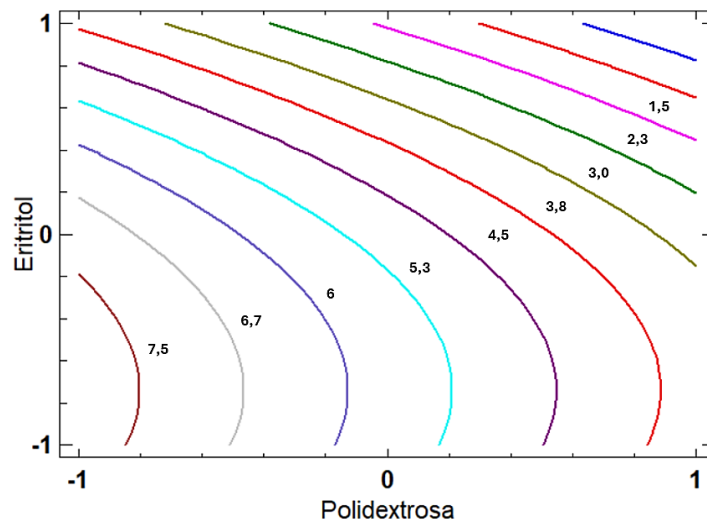
La **Figura 4.10 a-b** muestra la superficie de respuesta y el correspondiente gráfico de contorno, obtenidos a partir de la Ecuación (4.1) determinada mediante análisis de regresión múltiple. Esta ecuación relaciona la respuesta predicha, D1, con las variables codificadas **P** y **E**, manteniendo constante el valor de **S** en 0 ($S = 3\% \text{ p/v}$). Es importante destacar que los valores de **S** diferentes de 0 redujeron la respuesta predicha de D1 hasta en 0,30 N (cuando **S** tomó valores de 1 o -1 en la Ecuación 4.1), sin modificar significativamente los perfiles de la superficie y el gráfico de contorno, debido a su escasa contribución a la suma total de cuadrados. También, se observó una curvatura en la superficie a lo largo del eje **E**, lo que resaltó la importancia del término cuadrático **E**² en la ecuación predictiva de D1 (Ecuación 4.1). Finalmente, esta curvatura indicó que los valores más altos de D1 se obtuvieron para valores intermedios de **E** (**Figura 4.10 a**). Predicciones similares en todo el rango de **S** (datos no mostrados).

Figura 4.10 Superficie de respuesta (a) y gráfico de contorno (b) que relacionan la respuesta, dureza 1 (D1, N), con las concentraciones de polidextrosa (P, % p/p) y eritritol (E, % p/p) en los geles postre frutales. El valor de S se mantuvo constante en 3,0% p/p. Los números en cada contorno representan los valores de D1 para diversas combinaciones de E y P. El contorno gris (—) corresponden a combinaciones de E y P que predicen un valor de D1 similar al del sistema control ($D1_{\text{control}}: 6,62 \pm 0,67$).

a)



b)



Estos resultados coinciden con los reportados por Srisuvor y col. (2013), quienes formularon yogur con la adición de sacarosa (6 g) y diferentes concentraciones de polidextrosa (1, 2 y 3 g/mL). Estos autores Informaron que la firmeza de los sistemas de yogur disminuyó a medida que aumentaba la concentración de polidextrosa. Además, Wan y col. (2021) señalaron que el aumento de la concentración de eritritol del 10 al

30% p/v en geles elaborados con pectina de bajo metoxilo (0,6% p/v; pH 4,0) redujo su dureza. Concluyeron que la adición de eritritol puede afectar la formación de geles de pectina de bajo metoxilo al alterar la interacción entre la pectina y el calcio. A medida que aumentaba la concentración de eritritol, se introducían más grupos hidroxilo alcohólicos en el sistema de gel mixto. Estos grupos hidroxilo libres, propios del poliol de cadena abierta, podrían competir con la pectina por la quelación con los iones de calcio, disminuyendo así la resistencia del gel.

Con respecto a CRA , la mejor ecuación polinómica de segundo grado ($R^2_{adj} = 99,4$) que predijo esta variable de respuesta fue:

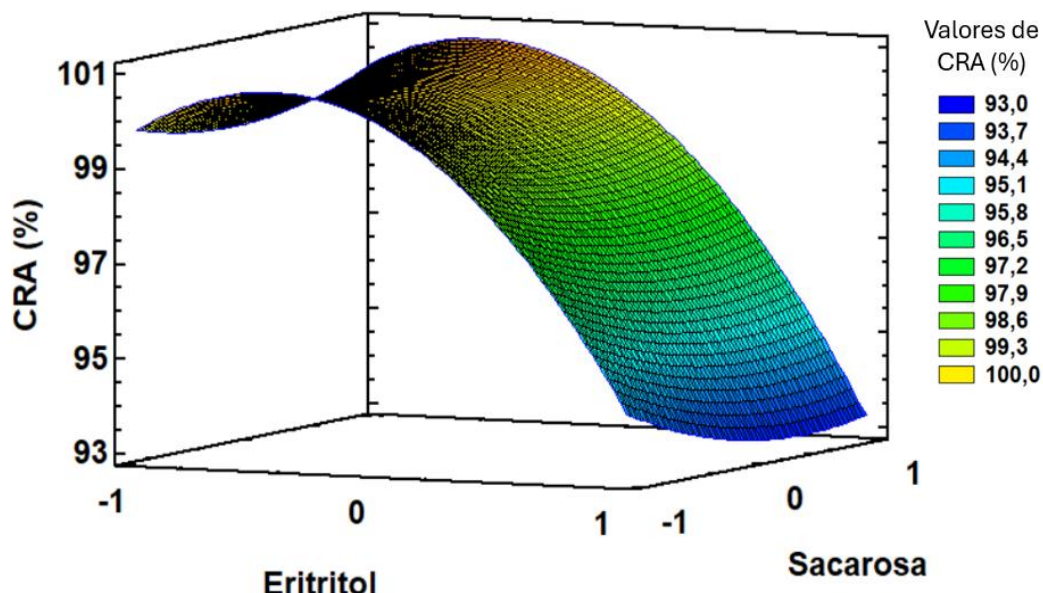
$$CRA = 99,2 - 0,142*S - 3,12*E - 0,414*P + 0,543*S^2 - 3,06*E^2 - 0,166*RA^2 - 0,372*S*E \quad (4.2)$$

En este caso, CRA representa la capacidad de retención de agua (%), siendo **S**, **E**, **P** y **RA** las variables codificadas con valores entre -1 y 1, que corresponden a las variables independientes S, E, P y RA (% p/p).

El análisis de varianza indicó que el término cuadrático **E²** (suma de cuadrados: 56,5) fue el más influyente en la predicción de la respuesta CRA, seguido por los términos **E** (suma de cuadrados: 42,2), **S²** (suma de cuadrados: 17,5), **P** (suma de cuadrados: 11,7), **S** (suma de cuadrados: 1,8), **S*E** (suma de cuadrados: 0,1) y **RA²** (suma de cuadrados: 0,2). En base a estos resultados, para los gráficos que muestran en la **Figura 4.11** y **4.12**, se seleccionaron **S** y **E** como las variables más influyentes para la predicción de CRA , mientras que **P** y **RA** se mantuvieron constantes en valores codificados de -1, 0 y 1, ya que la presencia y concentración de estos aditivos modificaron el perfil del gráfico de contorno. Es importante destacar que se obtuvieron los mismos gráficos de contorno cuando **RA** asumió valores positivos o negativos, dado que el parámetro **RA** en la Ecuación (4.2) es un término cuadrático (**Figuras 4.12 d-f**).

De manera similar a lo observado en el caso de D1, se determinó una curvatura en la superficie, en este caso asociada a E y S, lo que destacó la relevancia de los términos cuadráticos **E²** y **S²** en la ecuación predictiva (4.2). Esta ecuación definió un gráfico de superficie con un valor mínimo de capacidad de retención de agua (CRA) relacionado con S y un valor máximo asociado a E (**Figura 4.11**).

Figura 4.11 Superficie de respuesta que relaciona la respuesta, CRA, con las concentraciones de eritritol (E, % p/p) y sacarosa (S, % p/p) en los geles postre frutales. Se definió el valor codificado -1 de **P** y **RA**.



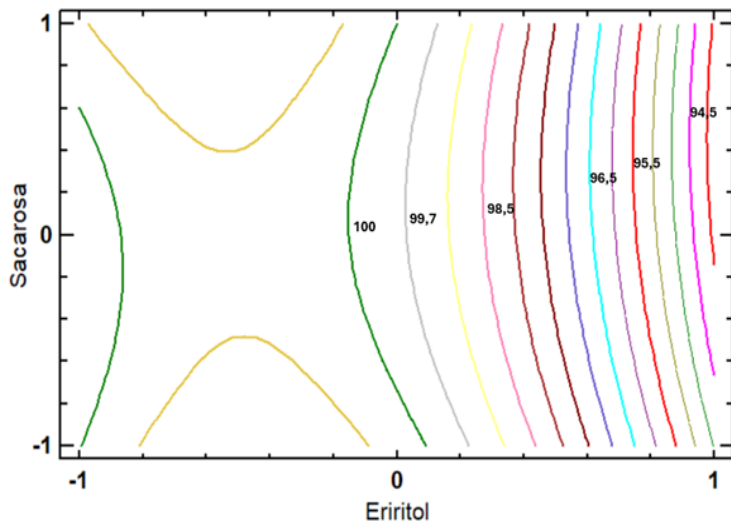
Los gráficos de contorno presentados en la **Figura 4.12** evidenciaron que, para todos los valores de **P** y **RA**, un aumento en **E** condujo a valores más bajos de CRA, con una influencia limitada de **S** (sacarosa). Esta disminución en CRA fue más pronunciada en el rango de **E** entre 5,5 % p/p (**E** = 0) y 11,0 % p/p (**E** = 1), independientemente de la presencia y concentración de **S**. No obstante, en ausencia o con concentraciones de **E** inferiores al 5,5 % p/p, se observaron mayores variaciones en los valores predichos de CRA en función de las concentraciones de **S**, **E**, **P** y **RA** (**Figura 4. 12**). En los, gráficos de contorno la línea gris representa múltiples combinaciones de **S** y **E** que predicen un valor de CRA similar al deseado, correspondiente al control ($CRA_{control} = 99,67 \pm 0,13\%$).

Como se puede observar, cuando no se añadió **P** a los sistemas de gel postre, no se detectaron cambios significativos en el perfil de los gráficos de contorno de la CRA en función de **E** y **S** (**Figura 4. 12 a y d**). En estos casos, se predijeron valores de CRA similares a los correspondientes al control (contornos en gris) para **E** entre 5,5 % p/p y 6,6 % p/p, independientemente de **S** y **RA** ensayados (**Figura 4.12 a y d**) o sin la adición de **E** y **S** en el rango de 0,9-3,7 % p/p combinado con **RA** = 0,019 % p/p (**Figura 4.12 a**). Cuando se añadió **P** a los geles postres, se observó que la ausencia o un rango más amplio de

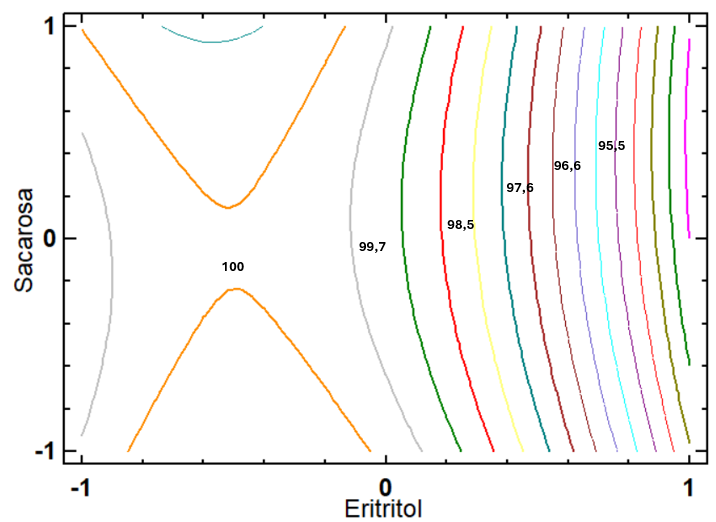
concentraciones de E predecían valores de CRA cercanos al sistema control, independientemente de los valores de **RA** y **S** (contorno gris en la **Figura 4.12 b, c, e, f**). Sin embargo, cuando P aumentó al máximo ensayado (20 % p/p), a concentraciones similares de E y RA, menores concentraciones de S en los geles postre lograron el valor de CRA deseado (contorno gris, **Figura 4 c y f**). Por ejemplo, se predijeron valores de CRA cercanos al sistema de control cuando P se estableció en la concentración ensayada intermedia de 10 % p/p (valor **P** codificado = 0), y E se estableció en valores bajos (0,3–1,5 % p/p) o más altos (4,3-6,6 % p/p), independientemente de la concentración de RA, en casi todo el rango de S (0-5,8 % p/p) (**Figura 4.12 b y e**). Cuando P aumentó a 20 % p/p (**P=1**), las concentraciones de S que garantizaron valores de CRA cercanos al correspondiente al control se restringieron a valores altos de S en el rango 3,4-6,0 % p/p (valores de E en el rango 0,07- 4,8 % p/p) o, valores bajos de S en el rango 0-2,3 % p/p, en todos los valores de RA. Este efecto fue más evidente en ausencia o en la concentración más alta de RA, que es asumiendo valores de **RA** 1 o -1. (**Figura 4.12 f**).

Figura 4.12 Gráficos de contorno que relaciona la CRA (%) con las concentraciones de eritritol (E, % p/p) y sacarosa (S, % p/p), para los geles postres con valores codificados fijo de P y RA . **a)** $P=-1/RA=0$; **b)** $P=0/RA=0$; **c)** $P=1/RA=0$; **d)** $P=-1/RA=-1/1$; **e)** $P=0/RA=-1/1$; **f)** $P=1/RA=-1/1$. El valor en cada línea corresponde a los valores de CRA para diversas combinaciones de E y S. Los contornos grises (—) representan múltiples combinaciones de E y S que predicen valores de CRA similares a los del sistema control ($CRA_{control}=99,67\pm0,13$)

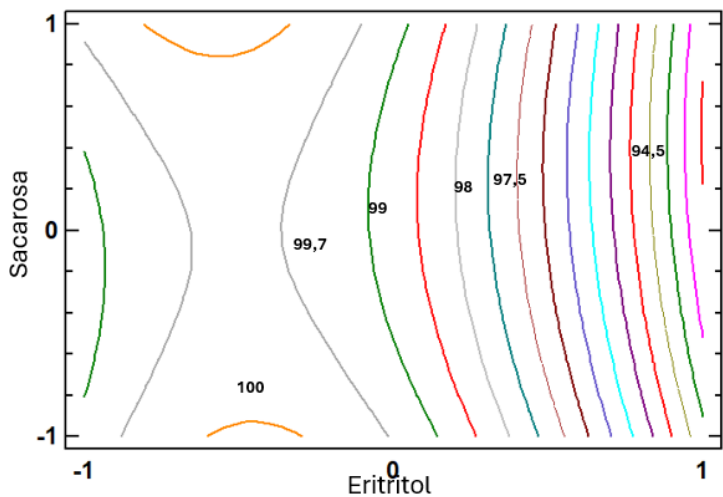
a) $P=-1$ y $RA=0$



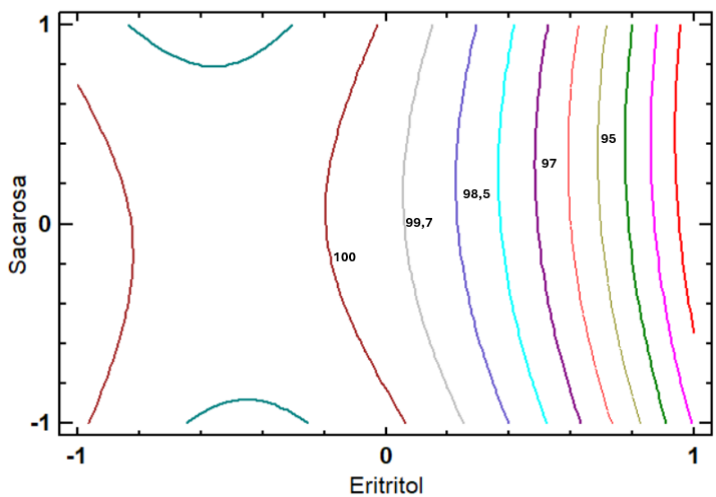
b) $P=0$ y $RA=0$



c) $P=1$ y $RA=0$

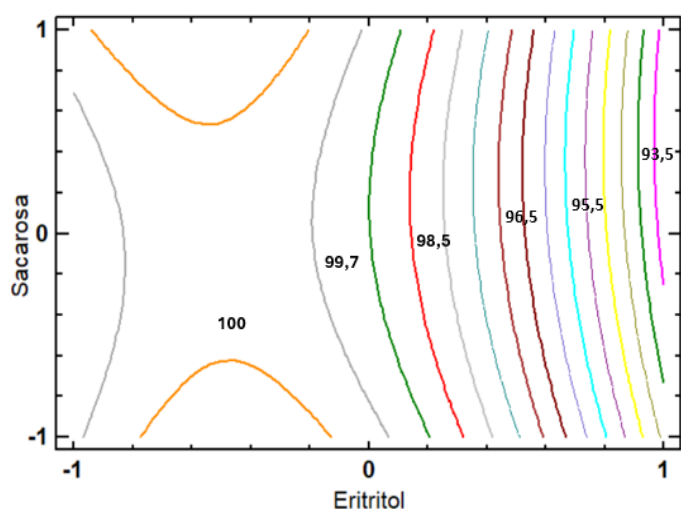


d) $P=-1$ y $RA=1/1$

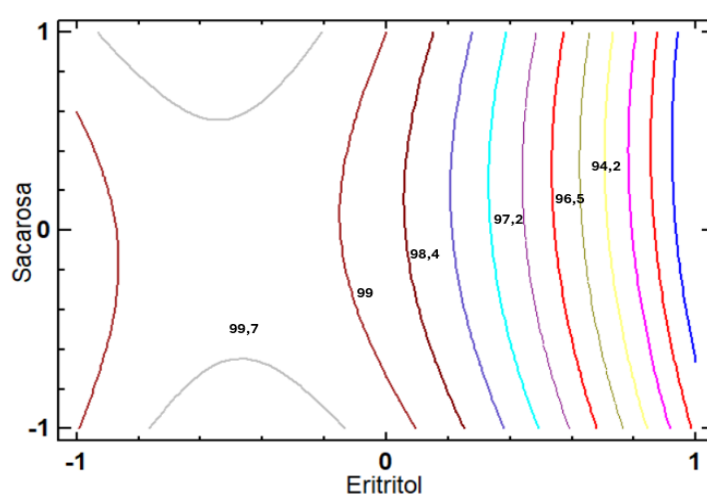


continuación de Figura 4.12

e) $P=0$ y $RA=-1/1$



f) $P=1$ y $RA=-1/1$



De acuerdo con el estudio basado en la metodología de superficie de respuesta MSR, se concluye que la mejor predicción de las respuestas D1 y CRA, con valores cercanos a los observados en el sistema control que contenía únicamente sacarosa (10 % p/p), dependió principalmente de las concentraciones de P y E. Cuando no se incorporó P a los **geles postre frutales**, se requirieron concentraciones intermedias de E (5,5- 6,6 % p/v), dentro de un amplio rango de concentraciones de S (0-6% p/p) y RA (0,000-0,038% p/p). Por otro lado, cuando P y E, no estaban presentes en las muestras, se utilizaron valores intermedios de S y RA. La incorporación de P, en concentraciones bajas a intermedias (5,6 -10 % p/p) combinadas con bajas concentraciones de E (0,0 -1,5 % p/p), también predijo respuestas D1 y CRA cercanas a las correspondientes al sistema de control, independientemente de las concentraciones de S y RA añadida.

En contraste con los resultados mostrados en la presente tesis, Tao y col., (2021) estudiaron la interacción de un gel de curdlan (un polisacárido microbiano extracelular de *Alcaligenes faecalis*) al 3 % p/p con eritritol (0, 1, 3, 5, 7 y 9%) en agua desionizada. Estos autores observaron que un aumento en la concentración de eritritol favoreció la capacidad de retención de agua, probablemente debido a la formación de enlaces de hidrógeno intermoleculares entre los grupos OH del curdlan y el eritritol. Por otro lado, Wan y col., (2021) examinaron el efecto de diferentes concentraciones de eritritol, xilitol y sorbitol (10, 20 y 30 % p/p) sobre la capacidad de retención de agua de geles de pectina

de bajo metoxilo e informaron que únicamente el aumento de las concentraciones de xilitol y sorbitol afectó negativamente la capacidad de retención de agua. Respecto al efecto de la polidextrosa, Huang y col., (2020) evaluaron el impacto de diferentes concentraciones de polidextrosa (1,5-5,0 %) en la capacidad de retención de agua del yogur descremado de búfalo, observando un incremento de este parámetro con el carbohidrato junto con una disminución del pH de las muestras. Por el contrario, Srisuvor y col. (2013) investigaron el efecto de la polidextrosa (1 a 3 g/100 ml) en la capacidad de retención de agua de un yogur bajo en grasa con puré de plátano cultivado con probióticos y no encontraron diferencias significativas en este parámetro al aumentar la concentración del azúcar.

Además de las predicciones de CRA y D1 para los geles postres frutales, se determinaron ecuaciones polinómicas de segundo grado que predijeron mejor *la* gomosidad (N) (Ec. 4.3), *la* adhesividad (Nm10⁻³) (Ec. 4.4), la elasticidad (Ec. 4.5) y *la* cohesión (Ec. 4.6) con las variables codificadas **S**, **E**, **RA** y **P** :

$$\text{Gomosidad} = 0,969 - 0,157*\text{RA} - 0,453*\text{P} - 0,107*\text{E} - 0,222*\text{RA}^2 + 0,264*\text{S}*\text{RA} - 0,112*\text{E}*\text{P} - 0,138*\text{RA}*\text{P} \quad (4.3)$$

$$\text{Adhesividad} = 0,875 - 0,483*\text{S} - 1,53*\text{E} - 0,471*\text{RA} - 0,742*\text{P} + 0,768\text{E}^2 + 0,620*\text{RA}^2 + 0,632*\text{P}^2 + 0,186*\text{S}*\text{RA} + 0,646*\text{S}*\text{P} + 0,887*\text{E}*\text{RA} + 0,234*\text{E}*\text{P} + 1,34*\text{RA}*\text{P} \quad (4.4)$$

$$\text{Elasticidad} = 0,912 + 0,014*\text{S} - 0,009*\text{E} + 0,018*\text{P} + 0,012*\text{S}^2 - 0,040*\text{E}^2 + 0,016*\text{RA}^2 - 0,041*\text{P}^2 - 0,012*\text{S}*\text{E} - 0,436*\text{S}*\text{RA} - 0,019*\text{S}*\text{P} + 0,038*\text{E}*\text{P} \quad (4.5)$$

$$\text{Cohesión} = 0,207 + 0,0077*\text{E} + 0,0591*\text{P} - 0,0520*\text{S}^2 + 0,0279*\text{E}^2 + 0,0404*\text{RA}^2 + 0,0349*\text{P}^2 - 0,0146*\text{S}*\text{P} - 0,0390*\text{E}*\text{RA} - 0,0185*\text{E}*\text{P} - 0,0750*\text{RA}*\text{P} \quad (4.6)$$

Al igual que los resultados observados para CRA y D1, la suma de cuadrados explicada por las variables independientes **P** y **E** fue la más relevante al describir la

adhesividad, elasticidad, cohesividad y gomosidad de las confiterías. Por el contrario, los efectos de **S** y **RA** resultaron ser insignificantes.

En base a los datos obtenidos en esta tesis y los recopilados de la bibliografía, se puede concluir que existe una diversidad de respuestas en cómo los aditivos incorporados, como los endulzantes y agentes de carga (por ejemplo, la povidona), afectan las propiedades evaluadas. Estas diferencias dependen, en gran medida, de la matriz utilizada, del tipo de agente gelificante empleado y de otros factores intrínsecos de las materias primas.

Para complementar el análisis de la metodología de superficie de respuesta (MSR), se llevó a cabo un análisis de componentes principales (ACP) doble, considerando todos los parámetros medidos en los 27 sistemas ensayados. El primer ACP se realizó para agrupar los parámetros de análisis de perfil de textura (PT) en dos componentes principales (CP1' y CP2'), que explicaron el 51% y el 33% de la varianza total, respectivamente. Este procedimiento fue justificado para reducir la multicolinealidad, dado que todos los parámetros derivaban de la misma curva de doble compresión. El CP1' mostró asociaciones positivas con dureza 1, dureza 2, adhesividad y gomosidad, mientras que presentó una correlación negativa con elasticidad. Por su parte, el CP2' se relacionó positivamente con cohesión, gomosidad y dureza 2, y negativamente con adhesividad (datos no mostrados).

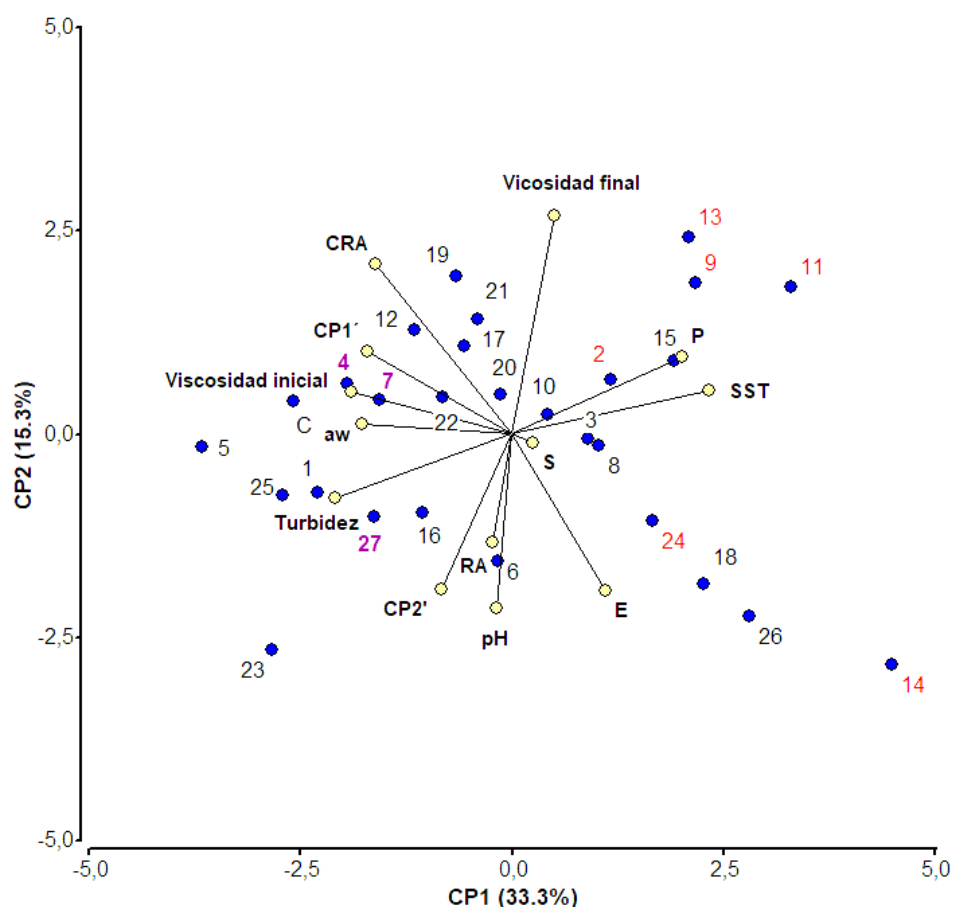
Posteriormente, se realizó un segundo ACP para determinar la relación espacial entre los sistemas y los parámetros medidos (pH, a_w , SST, CRA, turbidez, viscosidad inicial, viscosidad final, CP1' y CP2') (**Figura 4.13**). Los dos primeros componentes principales (CP1 y CP2) explicaron el 33,3% y el 15,3% de la varianza total, respectivamente. El primer eje (CP1) mostró una correlación positiva con SST y P , mientras que se asoció negativamente con a_w , viscosidad inicial, turbidez, CRA y CP1'. En cuanto al segundo eje (CP2), estuvo definido positivamente por CRA y viscosidad final, y negativamente por CP2', E y pH.

El control y los sistemas 1, 4, 5, 7, 16, 23, 25 y 27 se asociaron con los valores más altos de CRA, turbidez, viscosidad inicial, dureza 1 y 2, adhesividad y gomosidad, así como con los valores más bajos de SST y P . Según el ACP representado en la **Figura 4.13**,

los sistemas que no contenían P se ubicaron cerca de la muestra control (identificados en violeta).

Los sistemas con mayor concentración de P (identificados en rojo) se asociaron con los valores más altos de sólidos solubles totales (SST) y los valores más bajos de dureza 1 y 2, adhesividad, gomosis (representada en CP1'), turbidez, a_w , CRA y viscosidad final. Les siguieron los sistemas con un contenido intermedio de P (en negro) y, finalmente, los sistemas sin P (en violeta). Asimismo, los sistemas con la mayor concentración de E (6, 14, 18, 26) se relacionaron con los valores más bajos de CRA y viscosidad final. Por el contrario, los sistemas con menor contenido de E (12, 13, 17 y 22) presentaron los valores más altos de CRA y viscosidad final.

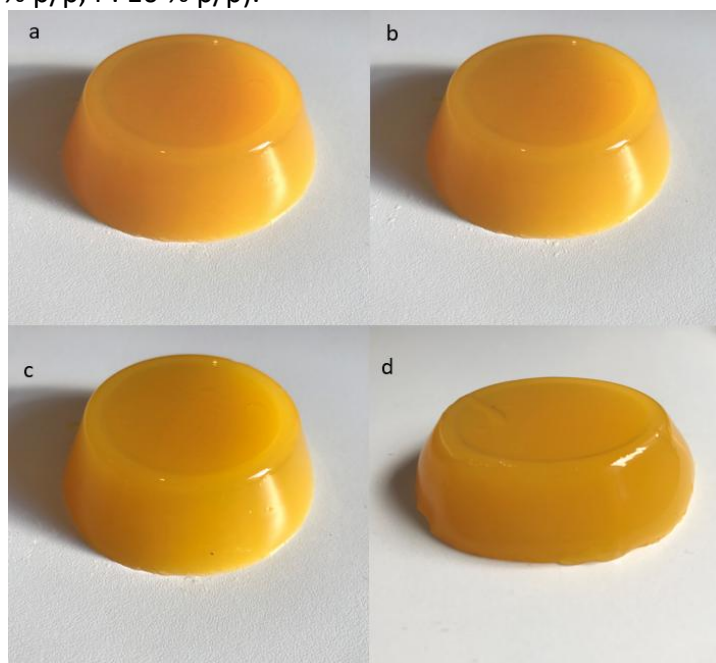
Figura 4.13 Bi-plot del análisis de componentes principales (ACP) que ilustra las relaciones espaciales entre los parámetros fisicoquímicos y reológicos de los sistemas gel postre frutal.



En la **Figura 4.13**, CP1' representa una asociación positiva con dureza 1, dureza 2, adhesividad y gomosidad, y una asociación negativa con elasticidad. La CP2' indica una asociación positiva con cohesión, gomosidad y dureza 2, y una correlación negativa con adhesividad. Los sistemas con la mayor concentración de P (números en rojo), los sistemas con una concentración intermedia de P (números en negro) y los sistemas sin P (números en violeta).

En función de los resultados obtenidos mediante el ACP y la MSR, se seleccionaron los sistemas **5**, **7** y **16** para análisis futuros, dado que mostraron características similares al sistema control, a pesar de tener composiciones muy diferentes de aditivos. En particular, los sistemas **7** y **16** son de gran interés debido a que no contienen S en su formulación. En el sistema **7**, esta fue reemplazada completamente por E y RA, mientras que en el sistema **16**, se utilizó una combinación de E, RA y P. El aspecto general de los geles postres elaborados puede observarse en la **Figura 4.14**

Figura 4.14 aspecto visual de los sistemas de geles postre frutal a: control (S: 10% p/v), b: S5 (S: 3% p/p, RA: 0,019% p/p), c: S7 (RA: 0,019 % p/p, E: 5,5 % p/p), d: Sistema 16 (RA: 0,038 % p/p, E: 5,5 % p/p, P: 10 % p/p).



4.10.2 Aspectos sensoriales

4.10.2.1 Estudio conjunto

Tal como se describió en la **sección 3.14.2.1**, se realizó un estudio sensorial virtual con el propósito de evaluar el interés de los consumidores locales por un prototipo de “postre gelificado”, elaborado con ingredientes naturales y procesado mediante métodos menos severos.

Los resultados obtenidos en el estudio conjunto muestran que la voluntad de probar alcanzó un promedio de $4,24 \pm 0,90$ puntos, lo que, en la escala de 5 puntos, se aproxima a la categoría “definitivamente lo probaría”. En cuanto a la percepción de saludable por parte de los consumidores, el promedio fue de $4,33 \pm 0,93$ puntos, correspondiente a la categoría “muy saludable”.

Mediante el análisis ANOVA, se observó una diferencia significativa ($p > 0,05$) en la percepción de saludable entre la afirmación 4 (C4) ($4,70 \pm 0,62$) y el resto de las afirmaciones, las cuales presentaron un valor medio en esta variable dentro del rango de $4,17 \pm 0,90$ a $4,25 \pm 0,95$. En contraste, en lo referido a la voluntad de probar, no se registraron diferencias significativas entre las cuatro afirmaciones (Tabla 8). Por lo tanto, se concluye que la información adicional sobre el procesamiento del jugo y el tipo de agente gelificante influyó positivamente en la evaluación de la percepción de saludable de los geles postre. Sin embargo, la información adicional no tuvo un impacto significativo en la intención de probar. Estos resultados coinciden con lo reportado por Mäkinen y col. (2016), quienes demostraron que la intención de los consumidores de probar productos y la percepción de agrado aumentaron al proporcionar información sobre los beneficios para la salud, específicamente en productos que contenían sustitutos de leche vegetal.

Tabla 8: Valores medio con sus correspondientes desviaciones estándar y resultados significativos del ANOVA, de la evaluación de percepción de saludable y voluntad de probar para gel postre frutal

Claim	Percepción saludable	Voluntad de probar
C1	4,17 ± 0,90 ^a	4,20 ± 0,90 ^a
C2	4,25 ± 0,95 ^a	4,29 ± 0,88 ^a
C3	4,23 ± 0,95 ^a	4,19 ± 0,70 ^a
C4	4,70 ± 0,62 ^b	4,26 ± 0,87 ^a

Los valores medios que comparten la misma letra dentro de una columna y categoría no difieren significativamente entre sí ($p > 0,05$).

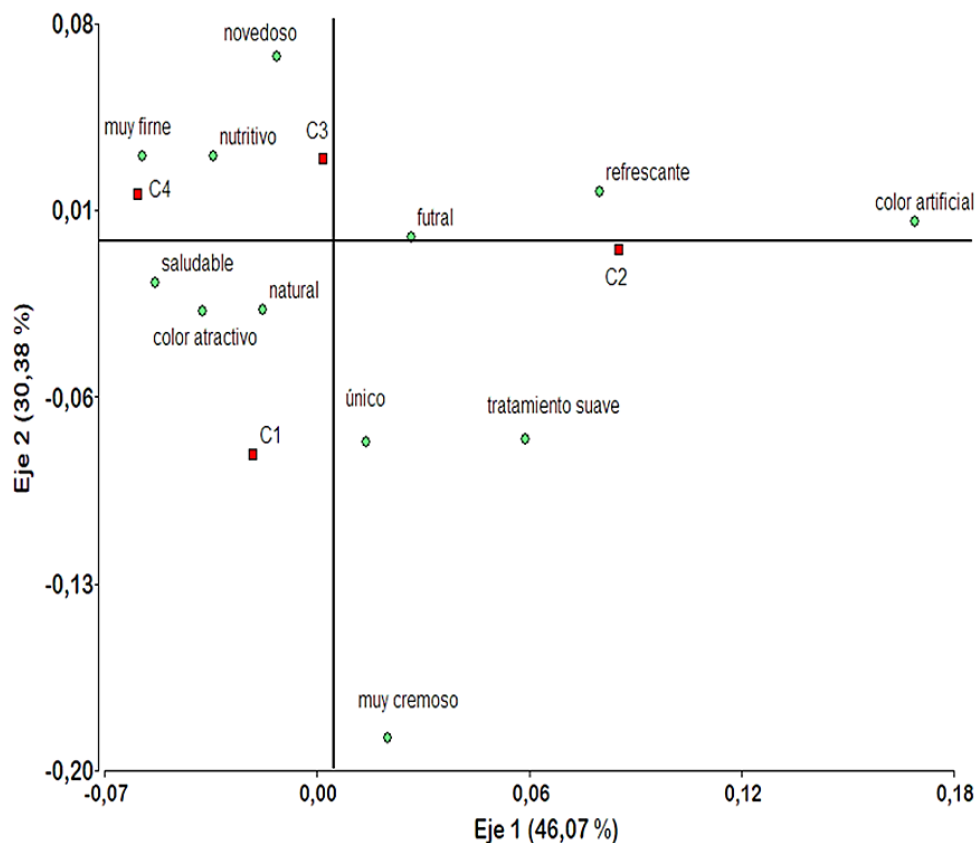
Por otro lado, la imagen del gel postre frutal, presentada junto con una de las cuatro afirmaciones (denominados frecuentemente “claims”, del habla inglesa), fue descrita por los participantes mediante la selección de entre uno y cinco términos de una lista proporcionada, según lo especificado en la sección 3.18.3.1 de Materiales y Métodos. Los términos más mencionados fueron: *afrutado*, *natural*, *refrescante* y *saludable*. En contraste, los términos menos frecuentes incluyeron: *demasiado cremoso*, *color artificial*, *único*, *demasiado firme* y *gusto indulgente*. La **Figura 4.15** muestra el análisis de correspondencia (AC) realizado para los descriptores evaluados en la pregunta CATA. Los dos primeros ejes del AC explicaron el 46,07 % y el 30,38 % de la varianza de los datos experimentales, respectivamente. En este contexto, la imagen del gel postre asociada al claim 1 (C1) presentó valores negativos en ambos ejes y fue descrita como *saludable*, *natural* y *con color atractivo*. Es probable que los participantes relacionaran estos términos con la mención de “jugo de naranja” en el claim. Por su parte, la imagen asociada al claim 2 mostró un valor positivo en el eje 1 y un valor negativo en el eje 2, siendo descrita como *única*, *muy cremosa* y *con tratamiento suave*. El término *único* podría haberse seleccionado debido a que los participantes fueron informados de que el gel postre frutal no contenía conservantes.

Por último, las imágenes asociadas a los claims 3 y 4 presentaron valores negativos y positivos en los ejes 1 y 2, respectivamente, y fueron descritas como un

snack *nutritivo*, *novedoso* y *muy firme*. En este caso, la información adicional del claim 4, relacionada con el uso de tratamientos no térmicos, no modificó significativamente la forma en que los consumidores percibieron la confitería.

En conjunto, los resultados obtenidos para los interrogantes sobre intención de probar y percepción de saludable, junto con las descripciones positivas recopiladas mediante la pregunta CATA, respaldan el interés general de los consumidores por este tipo de producto.

Figura 4.15 Bi-plot del análisis de correspondencias, que representa la frecuencia de mención de términos para los 4 claims evaluados a partir de una lista incluida en el cuestionario CATA. a



4.10.2.2. Test de Campo

En la primera etapa del estudio sensorial, se realizó un test de campo que incluyó la evaluación de la aceptabilidad global mediante una escala hedónica de 9 puntos, la

percepción de los consumidores sobre atributos sensoriales relevantes volcada en escalas cortas de 5 puntos y una prueba CATA (**sección 3.14.2.1**). Este análisis se llevó a cabo en los geles postre frutales seleccionados (**S5**, **S7** y **S16**), así como en la muestra control (**C**), todos elaborados con jugo de naranja tratado mediante UV-C/T, de acuerdo con lo descrito en la **sección 3.11.2** de Materiales y Métodos.

La **Tabla 9** presenta los puntajes promedio de aceptabilidad global y los atributos evaluados, utilizando escalas de intensidad, JAR ("Just About Right") o de aceptabilidad. El análisis de varianza multivariada (MANOVA) no reveló diferencias significativas ($p > 0,05$) entre la muestra **C** (10 % S), **S5** y **S7**. No obstante, el sistema **S16** presentó diferencias significativas con respecto al resto de las muestras. En particular, la aceptabilidad global promedio de **S16** fue de $5,66 \pm 1,95$ ("ni me gusta ni me disgusta"), mientras que la muestra control, **S5** y **S7** alcanzaron puntajes de $6,60 \pm 1,40$, $6,50 \pm 1,20$ y $6,60 \pm 1,30$, respectivamente, correspondientes a la categoría "me gusta moderadamente".

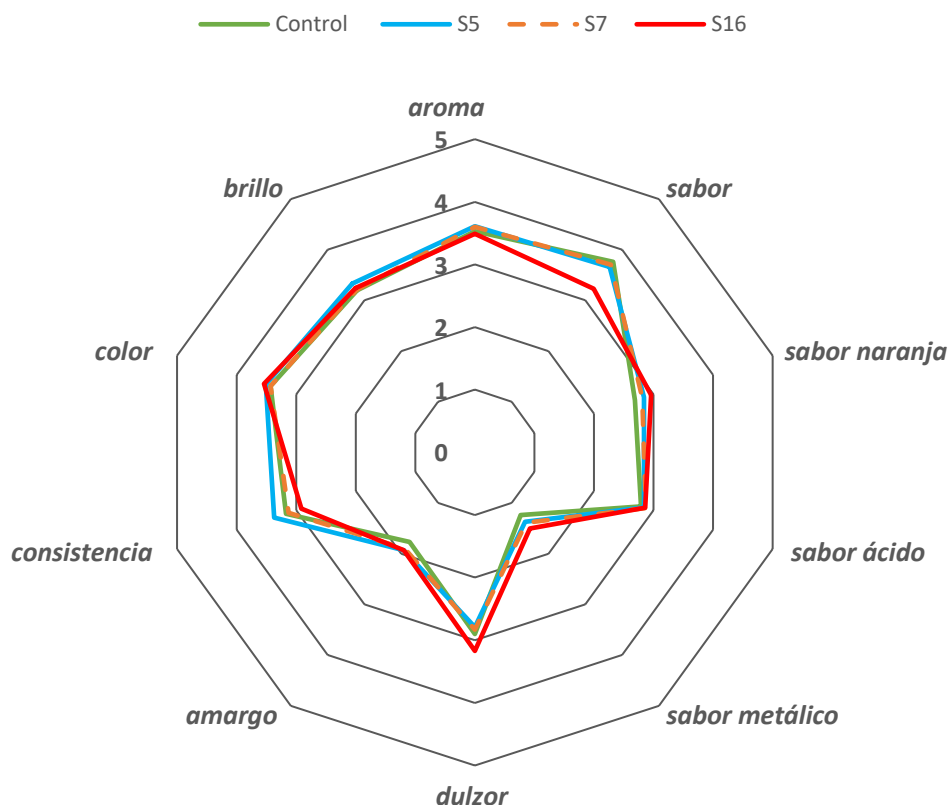
El análisis MANOVA ($\alpha = 0,05$) también identificó diferencias significativas en la evaluación conjunta de los atributos sensoriales y las muestras analizadas. Este resultado destaca que, si bien los sistemas **S5**, **S7** y la muestra **C** presentaron perfiles sensoriales similares, el sistema **S16** exhibió un perfil diferenciado.

Tabla 9: Puntajes medios obtenidos para la aceptación global, y atributos evaluados en los geles-postres frutales seleccionados: **C** (10% p/p S), **S5** (3% p/p S + 0,019% p/p RA), **S7** (0,019% p/p RA + 5,5% p/p E), **S16** (0,038% p/p RA + 5,5% p/p E + 10% p/p P).

<i>Muestra</i>	<i>Hedónico</i>	<i>Aroma</i>	<i>Sabor</i>	<i>Sabor naranja</i>	<i>Sabor ácido</i>	<i>Sabor metálico</i>	<i>Dulzor</i>	<i>Sabor amargo</i>	<i>Consistencia</i>	<i>Color</i>	<i>Brillo</i>	<i>SD</i>
C	6,60 ±1,40	3,53 ±0,88	3,76 ±0,92	2,69 ±0,75	2,79 ±0,90	1,24 ±0,55	2,9 ±0,76	1,77 ±0,89	3,17 ±0,68	3,43 ±0,99	3,2 ±0,71	B
S5	6,50 ±1,20	3,61 ±0,86	3,66 ±0,90	2,84 ±0,83	2,84 ±0,90	1,37 ±0,66	2,79 ±0,68	1,93 ±0,94	3,37 ±0,71	3,51 ±1,07	3,33 ±0,7	B
S7	6,60 ±1,30	3,60 ±0,81	3,70 ±0,91	2,81 ±0,87	2,87 ±0,85	1,39 ±0,69	2,83 ±0,74	1,90 ±0,93	3,13 ±0,61	3,43 ±0,97	3,21 ±0,76	B
S16	5,66 ±1,70	3,49 ±0,81	3,23 ±1,00	2,96 ±0,94	2,86 ±0,91	1,49 ±0,72	3,17 ±0,87	1,93 ±1,00	2,91 ±0,83	3,54 ±0,86	3,24 ±0,81	A

El gráfico de araña (**Figura 4.16**), muestra los puntajes medios obtenidos para cada atributo evaluado. Se registró una diferencia significativa ($p < 0,05$) en el sabor entre **S16** ($3,23 \pm 1,18$, “ni me gusta ni me disgusta”) y **S5**, **S7** y **C** ($3,66 \pm 0,09$, $3,70 \pm 0,91$ y $3,76 \pm 0,92$, “me gusta moderadamente”). Asimismo, **S16** presentó una consistencia inferior ($2,91 \pm 0,83$) en comparación con los otros sistemas, que obtuvieron valores entre 3,13 y 3,37. No obstante, no se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) en el “aroma”, con puntajes similares entre **S5**, **S7**, **C** y **S16** (3,49-3,61; “ni me gusta ni me disgusta”). En cuanto a otros atributos, todos los sistemas mostraron valores cercanos a la adecuación en acidez (2,79-3,00), dulzor (2,79-3,17), sabor a naranja (2,69-2,96) y brillo (3,20-3,33). El amargor fue percibido como poco intenso (1,77-1,93) y no se detectó sabor metálico (1,24-1,49) en ninguno de los casos.

Figura 4.16 Gráfico de araña del puntaje otorgado para los atributos medidos en diferentes escalas de 5 puntos: aceptabilidad (sabor, color y aroma), intensidad (amargor y sabor metálico) y adecuación (JAR) (dulzor, sabor ácido, consistencia, sabor a naranja y brillo) en los geles postre frutales seleccionados: S5 (—), S7(—), S16(—) y control (—).

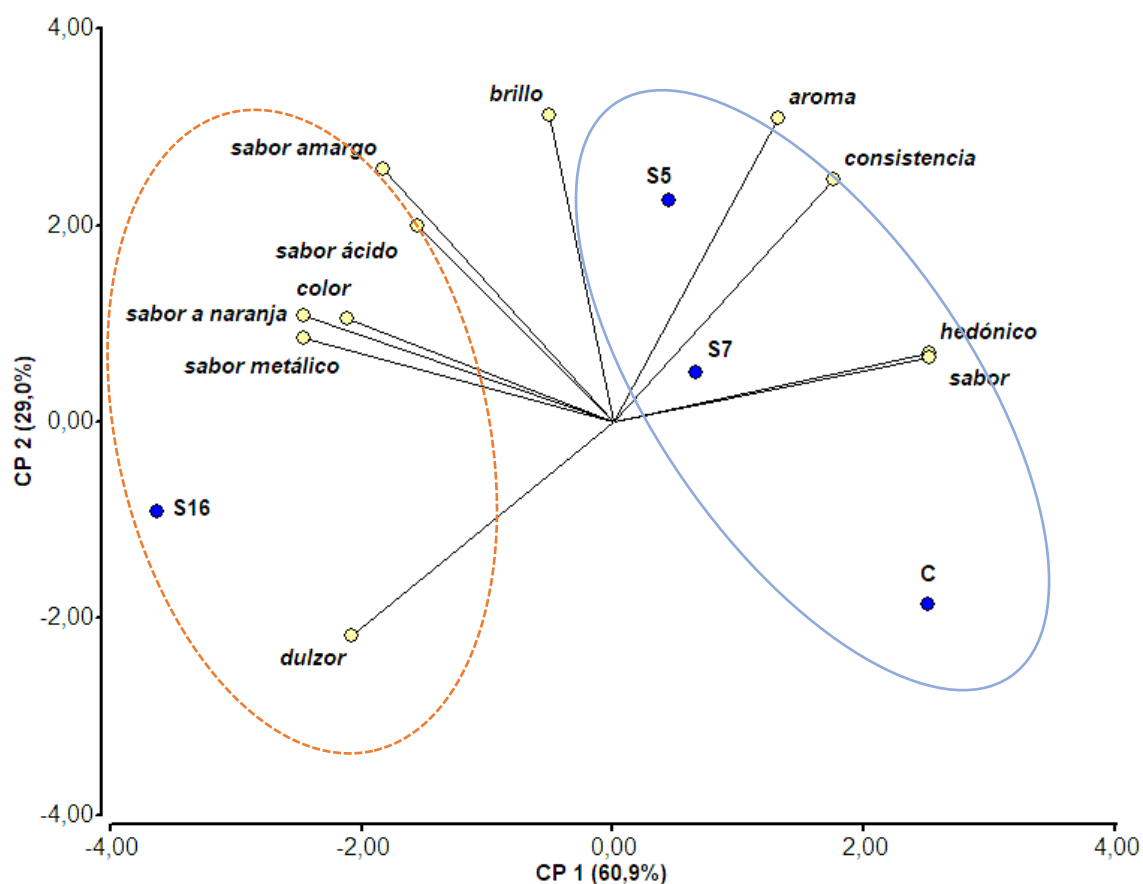


Adicionalmente, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) para explorar las relaciones entre la aceptabilidad global, los atributos sensoriales y las muestras analizadas, cuyos resultados se representan en la **Figura 4.17**. El bi-plot generado mediante ACP asocia la aceptabilidad global y los atributos sensoriales con las muestras analizadas. Los dos primeros componentes principales (CP) explicaron el 61 % y el 29 % de la variabilidad de los datos, respectivamente. El CP1 mostró una asociación positiva con el puntaje hedónico, sabor y consistencia, mientras que presentó una asociación negativa con el sabor a naranja, la acidez, el sabor metálico, el dulzor, el sabor

amargo y el color. Por su parte, el CP2 se relacionó positivamente con el aroma, la acidez, el sabor amargo, la consistencia y el brillo, y negativamente con el dulzor.

El análisis permitió identificar que el sistema **S16** se posicionó en el cuadrante izquierdo, separado del resto de las muestras. Los sistemas control (**C**), **S7** y **S5** se caracterizaron por obtener los puntajes más altos en aceptabilidad global, sabor, consistencia y aroma, además de los valores más bajos para sabor metálico, sabor amargo, acidez, sabor a naranja, color y dulzor. En contraste, **S16** presentó los valores más altos en dulzor, sabor metálico, sabor a naranja, color, acidez y sabor amargo, así como los valores más bajos en puntaje hedónico, sabor, consistencia y aroma.

Figura 4.17 Bi-plot correspondiente al Análisis de Componentes Principales mostrando la asociación entre las muestras y la aceptabilidad global y los atributos de los sistemas de gel postre frutal estudiados.



Test de penalidad

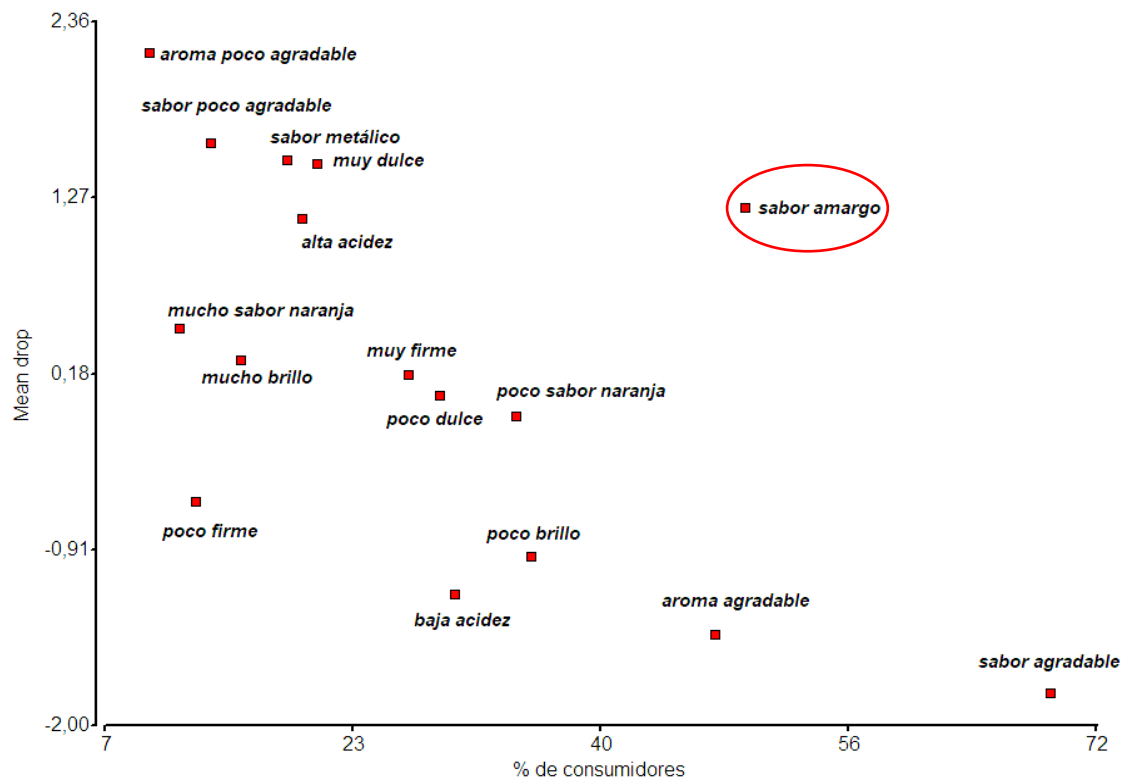
Mediante el test de penalidad se relacionó cuáles atributos fueron los responsables de la penalización en la aceptabilidad global de los productos, por parte de los consumidores, generando una caída en el puntaje hedónico de los mismos (*mean drop*) como se detalló en la **sección 3.14.2.2**.

En todas las muestras evaluadas, un porcentaje significativo de consumidores, entre el 50 % y el 60 %, señaló que el sabor amargo fue el principal factor que penalizó la aceptabilidad global, generando una reducción en el puntaje hedónico de entre 1,2 y 2,0 puntos (**Figura 4.18**). En particular, para el sistema **S5**, otros atributos que también contribuyeron a esta penalización fueron la consistencia “muy firme” y la percepción de un “sabor metálico”, los cuales fueron reportados por el 36 % y el 27 % de los consumidores, respectivamente. Estos atributos ocasionaron reducciones en el puntaje hedónico de 1,23 y 1,05 puntos, respectivamente (**Figura 4.18 b**). Una tendencia similar se observó en el sistema **S7** (**Figura 4.18 c**), donde el “sabor metálico” disminuyó el puntaje hedónico en 1,07 puntos, siendo percibido por un 29 % de los evaluadores. Asimismo, el 23 % de los consumidores consideró que el sistema presentaba una consistencia “muy firme”, lo que redujo la aceptabilidad global en 0,85 puntos.

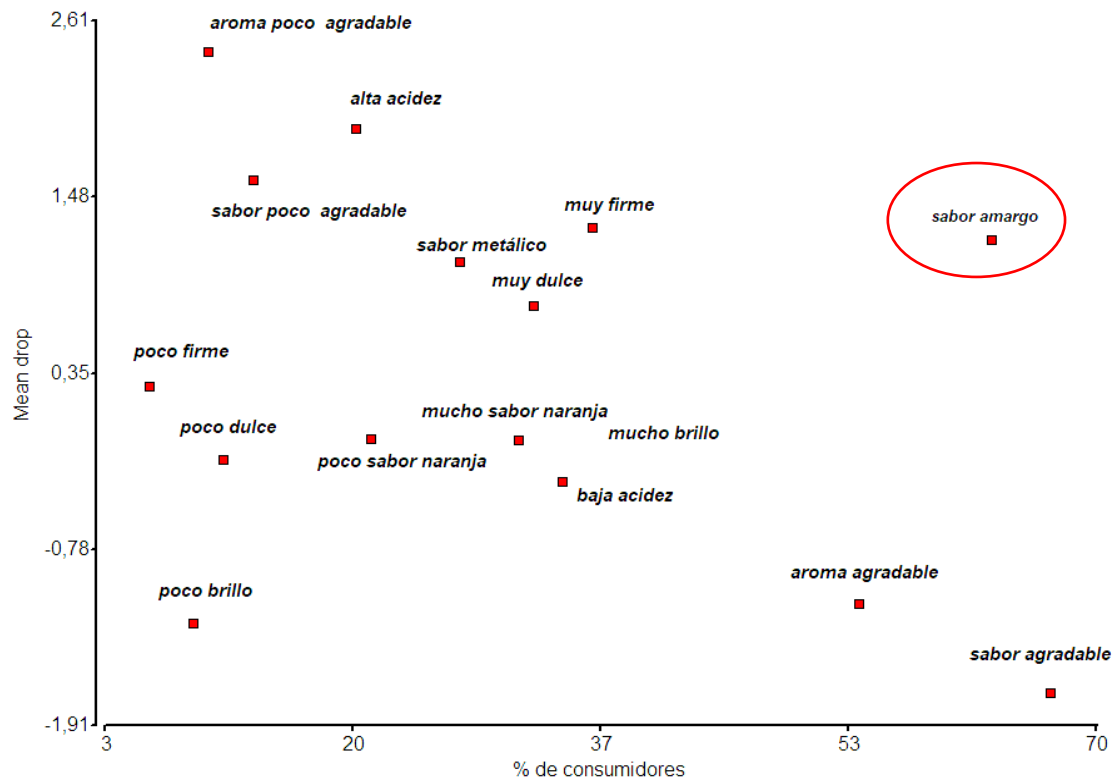
Por otro lado, en el sistema **S16**, además del sabor amargo, el sabor metálico fue otro atributo que penalizó la evaluación global del producto, con una disminución de 1,70 puntos. Finalmente, el 33 % de los evaluadores reportó la percepción de un sabor poco agradable, lo que provocó una caída de 2,34 puntos, mientras que el 29 % identificó una alta acidez, generando una disminución de 2,05 puntos.

Figura 4.18 Gráfico del “Mean drop” en función del % de consumidores, obtenido mediante el Test de penalidad para los geles-postres frutales **a)** control, **b)** sistema 5, **c)** sistema 7 y **d)** sistema 16 todos elaborados en base a jugo comercial de naranja tratado por UV-C/T

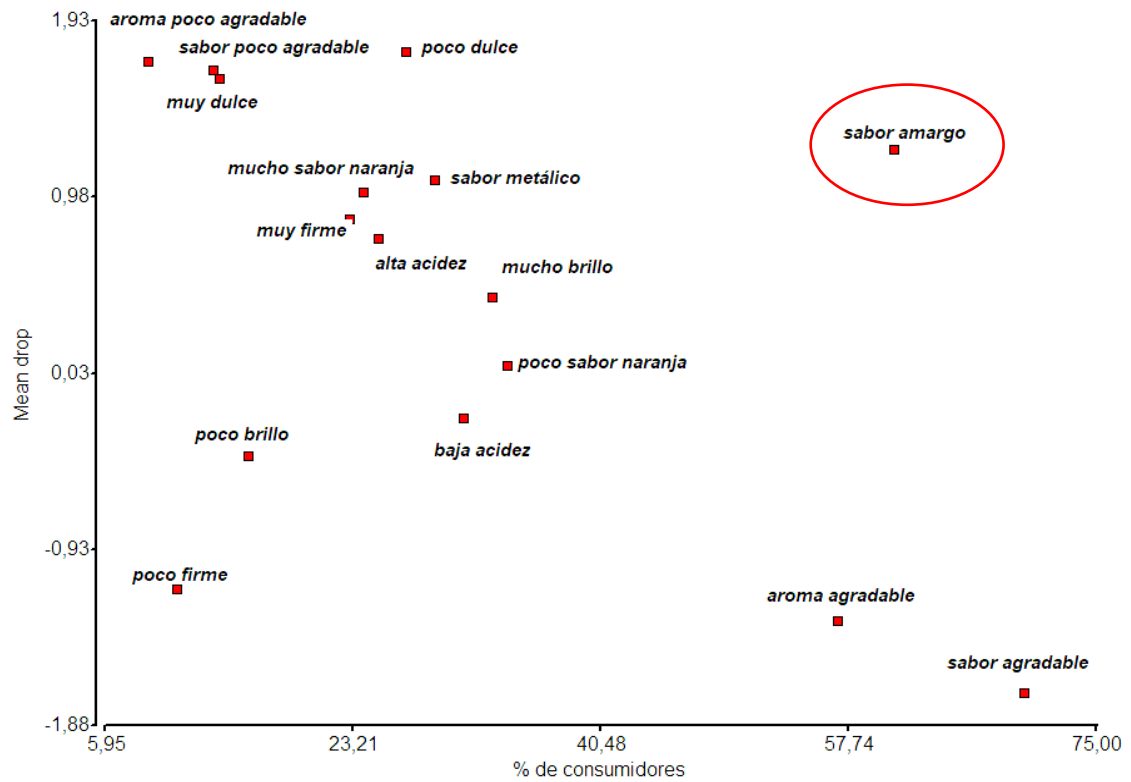
a)

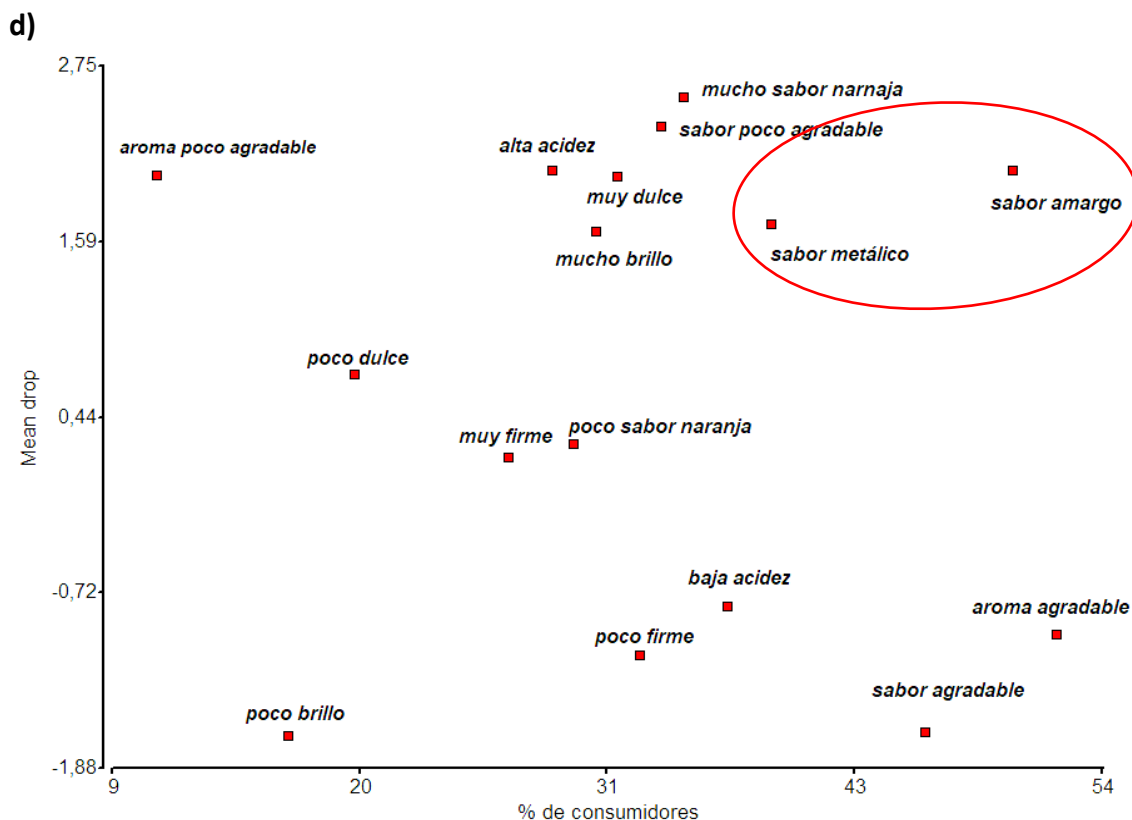


b)



c)



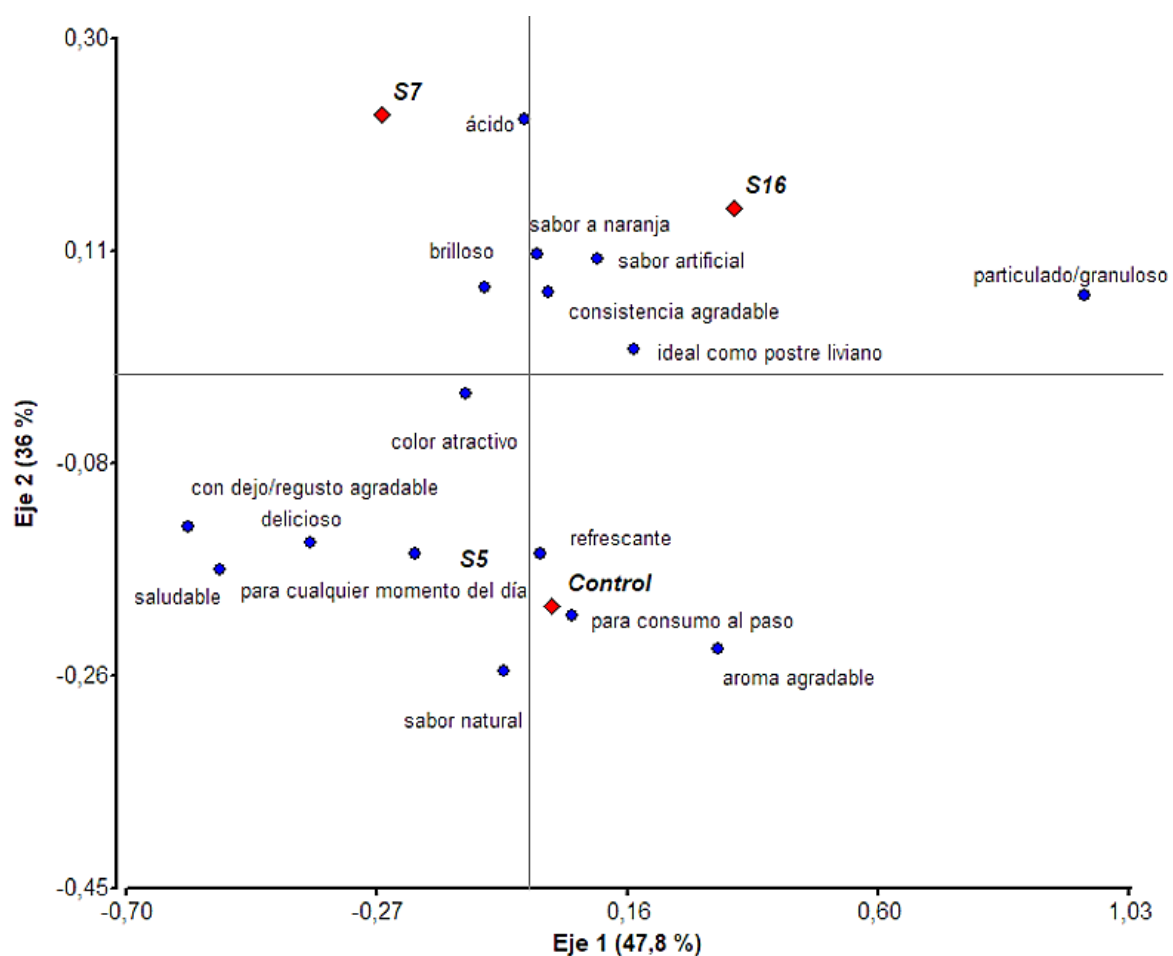


4.10.2.3 Prueba CATA

En base a las frecuencias de mención obtenidas en la prueba CATA para los cuatro sistemas evaluados, se realizó un análisis de correspondencias (AC) y se representó gráficamente a fin de observar qué atributos sensoriales describían mejor los sistemas seleccionados y el control (**Figura 4.19**). Las dos primeras dimensiones del AC explicaron el 47,8 % y el 36 % de la variabilidad de los datos, respectivamente. Aquellas muestras y descriptores que se encuentran en el mismo cuadrante están asociadas entre sí. En particular, la muestra control presentó valores positivos para el eje 1 y negativos para el eje 2, siendo descrita como: *refrescante, para consumo al paso* y con *aroma agradable*. Mientras que, **S5** se ubicó en la zona de valores negativos en ambas dimensiones y se asoció con descriptores como *sabor natural, para consumir en cualquier momento del día, color atractivo, delicioso, con regusto agradable* y *saludable*. La muestra **S7** presentó valores negativos del eje 1 y positivos para el eje 2, y fue descrita como *brillante, ácida*. Finalmente, el **S16** presentó valores positivos para

ambos ejes y se asoció a los términos: *sabor artificial, consistencia agradable, ideal como postre liviano, particulado, sabor a naranja*. Las cuatro muestras se encontraron en cuadrantes separados, indicando que fueron descriptas por diferentes términos.

Figura 4.19 Bi-plot del análisis de correspondencias que representa la frecuencia de citación de términos. De acuerdo con la pregunta CATA para la evaluación sensorial de las formulaciones seleccionadas: **S5** (3 % S y 0,019 % RA), **S7** (0,019 % RA y 5,5 % E) y **S16** (0,038 % RA, 5,5 % E y 10 % P), así como del gel -postre frutal elaborado con sacarosa completa (control, **C**).



4.10.2.4 Test de diferencia contra control

En esta prueba los panelistas (consumidores) analizaron la magnitud de la diferencia global entre los tres sistemas de gel postre elaborados con reemplazo parcial o total de sacarosa, tal como se detalla en Materiales y Métodos, **sección 3.14.2.2.3**, respecto del sistema control elaborado únicamente con sacarosa. Los sistemas comparados frente al control reconocido como tal (gel-postre frutal elaborado con un 10% p/p S) fueron:

- Control camuflado (**C**)
- Sistema elaborado con 3% S y 0,019% RA p/p (**S5**)
- Sistema elaborado con 0,019% RA y 5,5% E p/p (**S7**)
- Sistema elaborado con 0,019% RA; 5,5% E y 10% P p/p (**S16**)

Con los resultados obtenidos a partir de la escala numérica de categorías (desde 1: “ninguna” diferencia hasta 5: “diferencia muy grande”), se calculó la diferencia media correspondiente de cada sistema respecto del control identificado como tal.

Los sistemas **C**, **S5** y **S7** recibieron una puntuación media de 2,04, 2,36 y 2,27, respectivamente, lo cual corresponde a una “ligera diferencia”. Esto indica que los consumidores no pudieron discriminar entre estas formulaciones y la muestra elaborada con full sacarosa. En cambio, el **S16** exhibió una puntuación media de 2,86 entre diferencia ligera y moderada. Con el propósito de determinar si existen diferencias significativas entre los sistemas evaluados, se llevó a cabo un ANOVA de dos factores: muestra y sujeto, el cual se resume en la **Tabla 10**. El mismo indicó que los juicios emitidos por los sujetos no fueron significativamente diferentes ($F_{\text{sujeto}} < F_{\text{crítico sujetos}}$) a un nivel de significación del 5 %, por lo que hubo coherencia entre las respuestas y los consumidores se comportaron como un grupo. El ANOVA también reveló que se encontraron diferencias significativas entre las muestras evaluadas ($F_{\text{muestras}} > F_{\text{crítico muestras}}$). Con el propósito de evaluar cuáles sistemas (**S5**, **S7** y **S16**) fueron significativamente diferentes al control, se procedió a realizar el test de comparaciones múltiples de Dunnet según la siguiente ecuación (Meilgaard y col., 2007):

$$\Delta_{\text{Dunnett}} = d(\alpha, \Phi_{\text{error}}) \cdot S_{\text{error}} \cdot (2/n)^{1/2}$$

$$S_{\text{error}} = \sqrt{MSE}$$

n=número de sujetos

k= (n de tratamiento): n-1

d se obtiene de tablas

La diferencia crítica calculada fue de 0,33 (α : 0,05; Φ_{error} : 207; k: 3; n: 70), y las medias que excedieron este valor se consideraron estadísticamente diferentes con un 5 % de significación. Los sistemas **C**, **S7** y **S5** no mostraron diferencias significativas respecto al control (Δ :0; Δ :0,23; Δ :0,31). En cambio, la diferencia calculada entre la media del sistema **S16** y el control (Δ :0,81) excedió el valor crítico (estadístico de Dunnett: 0,33), confirmando su diferencia significativa ($p < 0,05$).

Tabla 10: Análisis de varianza para las posiciones asignadas por los participantes en un test de diferencia contra control de geles-postres frutales con sustitución parcial o total de sacarosa

Fuente	gl	SUMA DE CUADRADOS	MEDIA DE CUADRADOS	F	F _{crítico}
SUJETO	69	75,86	1,10	1,19 ^{NS}	1,36
MUESTRAS	3	24,75	8,25	8,92 ^S	2,64
ERROR	207	191,50	0,93		
TOTAL	279	292,11			

^{NS} No significativo ^S significativo al 95 % (α : 0,05)

Estos resultados, están en concordancia con los obtenidos en el test de campo. Los mismos evidenciaron que la sustitución total de sacarosa por la mezcla de polidextrosa, rebaudiósido A y eritritol afecta de manera notable la percepción global del sistema S16. Por este motivo, se decidió descartarlo del sensorial dinámico y de los análisis microbiológicos y fisicoquímicos posteriores, los cuales serán abordados en detalle en las secciones subsiguientes como parte del estudio integral de calidad (**sección: 3.15**).

4.10.2.5 Test de Dominancia Temporal de Sensaciones (TDS)

El análisis de los cambios temporales en las sensaciones dominantes durante el consumo de geles postre se realizó a partir de las curvas de dominancia generadas

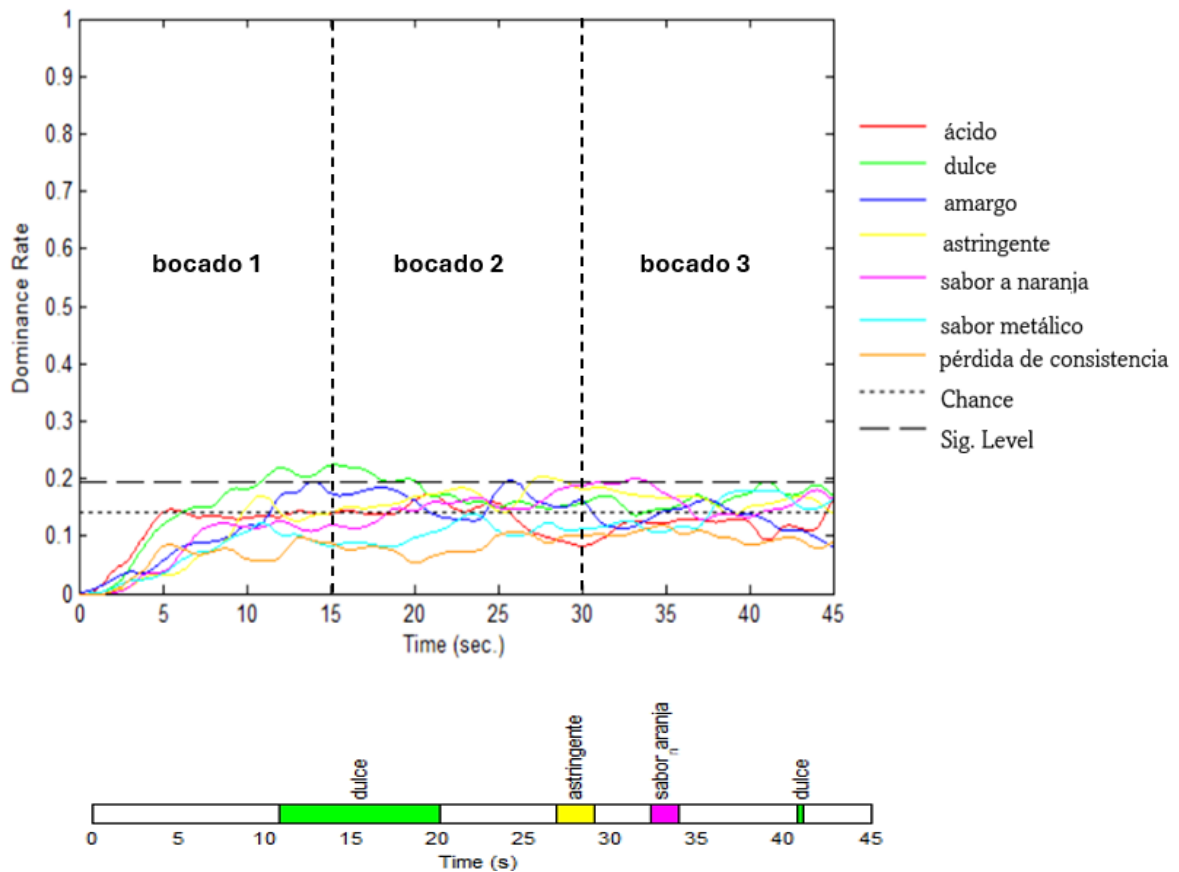
mediante la prueba TDS. Las curvas de dominancia TDS estandarizadas para **C**, **S5** y **S7** (**Figura 4.20**), muestran la evolución de la tasa de dominancia de los atributos a lo largo del tiempo. Para evaluar la significancia de estas curvas, cada gráfico TDS incluye líneas correspondientes al nivel de probabilidad al azar y al nivel de significancia. La línea de probabilidad al azar representa la tasa de dominancia esperada al azar ($1/\text{número de atributos}$), mientras que la línea de significancia indica el valor mínimo de la proporción que resulta significativamente mayor que el nivel de azar ($p = 0,05$). Las líneas que superaron el nivel de significancia fueron interpretadas como un consenso significativo entre los evaluadores en la percepción de una sensación en un momento determinado.

Las curvas TDS revelaron diferencias en el tipo y el orden de las sensaciones dominantes entre los sistemas evaluados. En términos generales, el **C** se caracterizó principalmente por la dominancia de "**dulce**", mientras que en los sistemas alternativos (**S5** y **S7**), el **sabor a naranja** fue el atributo más destacado. En el sistema **C**, durante el primer bocado, la "dulzura" fue la sensación dominante entre los 10 y 15 segundos, alcanzando una tasa de dominancia máxima de 0,18 a los 20 segundos (**Figura 18 a**). En el segundo bocado, inicialmente predominó la sensación "**dulce**" (15-20 segundos), seguida de "ácido" (25-26 segundos) y "astringente" (27-29 segundos). Durante el tercer bocado, el atributo dominante fue el "sabor a naranja" (33-34 segundos).

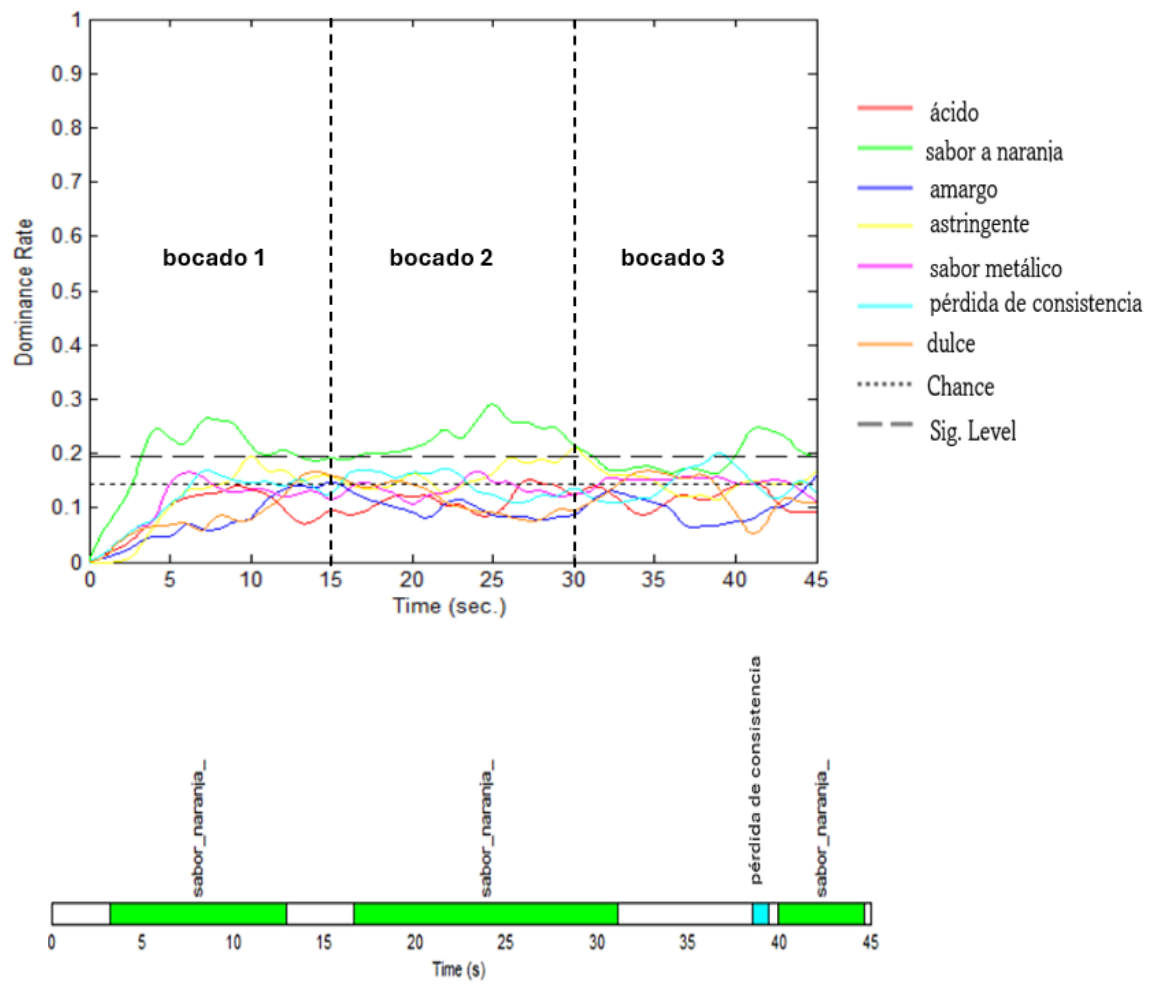
En **S5**, el "**sabor a naranja**" fue dominante en los bocados 1 (2-13 segundos) y 2 (16-31 segundos). En el tercer bocado, inicialmente se observó la dominancia de la "**pérdida de consistencia**" (38-39 segundos), seguida por el "**sabor a naranja**" (40-45 segundos) (**Figura 4.20 b**). En contraste, en el sistema **S7**, el primer bocado estuvo dominado principalmente por "**dulce**" (8-10 segundos), seguida del "**sabor a naranja**" (13-14 segundos). En los bocados 2 y 3, la "**dulce**" fue el atributo predominante en comparación con los demás (**Figura 4.20 c**).

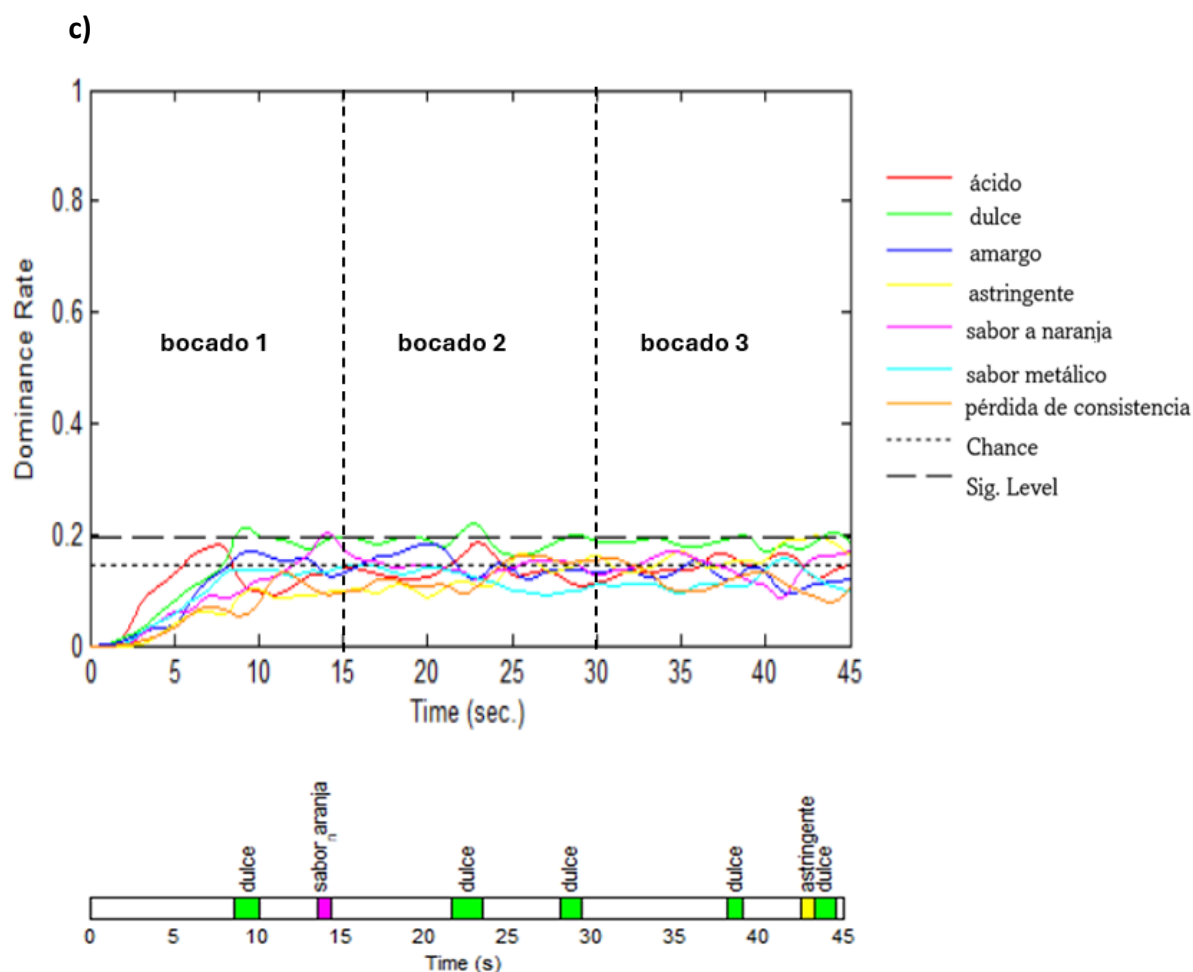
Figura 4.20. Curvas de dominancia del análisis temporal de dominancia de sensaciones para siete atributos sensoriales percibidos durante el consumo (tres bocados) de los geles postres frutales: **(a) C**, **(b) S5** y **(c) S7** elaborados con jugo tratado con UV-C/T. Las dos líneas horizontales representan el nivel de azar (---) y el nivel de significancia (—).

a)



b)





4.11 Evaluación de la calidad en los sistemas seleccionados durante el almacenamiento

En esta sección se presentan los resultados obtenidos del estudio de almacenamiento realizado en los sistemas seleccionados. El enfoque principal fue analizar el impacto del tratamiento de preservación aplicado al jugo de naranja (UV-C o T-coil) y de la formulación, en relación con los diferentes parámetros evaluados en los geles postres frutales. Este análisis permitió identificar cómo las variables involucradas afectan la calidad final y la vida útil de estos geles postres, los cuales fueron desarrollados bajo un enfoque más sostenible.

4.11.1 Calidad microbiológica

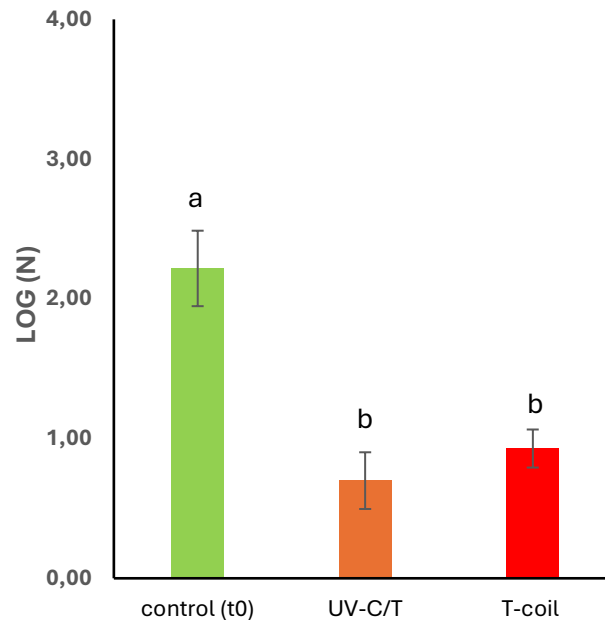
Jugo de naranja

La **Figura 4.21** muestra el impacto de los tratamientos UV-C/T (21,7 min; 892 mJ/cm²; 50°C) y T-coil (6 min; 80 °C) en la microbiota nativa del jugo de naranja después del procesamiento. No se encontraron coliformes en ninguna de las muestras de jugo (datos no mostrados). No hubo diferencias significativas ($P > 0,05$) en la eficacia de los tratamientos UV-C/T y T-coil en la inactivación de microbiota nativa, ya que ambos tratamientos lograron una inactivación similar de los mesófilos aerobios (reducciones de 1,3–1,5 log) (**Figura 4.21a**) y de las poblaciones de levaduras y mohos (reducciones de 0,7–0,8 log) (**Figura 4.21b**).

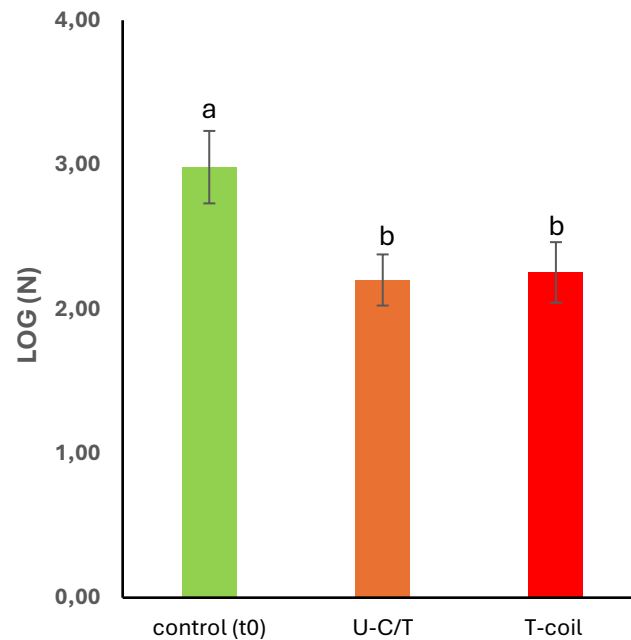
De manera similar, Taze y col. (2015) observaron 1,5 reducciones log en la población de mohos y levaduras en jugo de naranja recién exprimido (4061 NTU, pH 3,7) tratado en un equipo de luz UV-C estanco (20 min, 108 mJ/cm²). Asimismo, Riganakos y col. (2017) reportaron una inactivación similar de levaduras y mohos (1,3 log ciclos), pero una mayor reducción en el conteo de mesófilos aerobios (4,3 log ciclos) en jugo de zanahoria (11 000 NTU, pH 6,3) después de la exposición a UV-C (225 mJ /cm², 20 L/h, 5 pasadas). Es importante mencionar que el recuento inicial para para el caso de mohos y levaduras y de aerobios mesófilos fue en el rango 180 y 960 UFC/mL , es decir se contó con un nivel de microbiota nativa relativamente bajo.

Figura 21. Recuentos microbianos (log N) correspondientes al jugo de naranja no tratado (■) o medidos inmediatamente después de realizar los tratamientos de jugo UV-C/T(■) o T-coil (■). (a) aerobios mesófilos (b) Levaduras y mohos. Diferentes letras minúsculas colocadas por encima de las barras de error (I) indican una diferencia significativa ($P < 0,05$).

a)



b)



Geles postre

Se estudió la evolución de la microbiota nativa en los sistemas de geles postre elaborados con jugo de naranja tratado por luz UV-C asistida (21,7 min; 892 mJ/cm²; 50 °C) y T-coil (6 min; 80 °C), durante un período de almacenamiento refrigerado (5 °C) de 35 días, simulando condiciones típicas de góndolas.

Los cambios en las poblaciones de microbiota nativa (aerobios mesófilos, hongos y levaduras) se representan en la **Figura 4.22** y se puede observar que hacia el final del almacenamiento no se detectaron niveles de aerobios mesófilos en los sistemas C, S5 y S7 al ser elaborados tanto con jugo tratado con luz UV-C/T o T-coil (**Figura 22a**). En cuanto al recuento de mohos y levaduras de los sistemas S5 y S7, se registró una leve disminución en la población hacia el final del almacenamiento, para ambos tipos de procesos empleado en jugo (UV-C/T y T-Coil). Sin embargo, se registró un aumento significativo ($P < 0,05$) de 2 ciclos log en el gel postre frutal C, independientemente del tratamiento de jugo aplicado (**Figura 4.22b**).

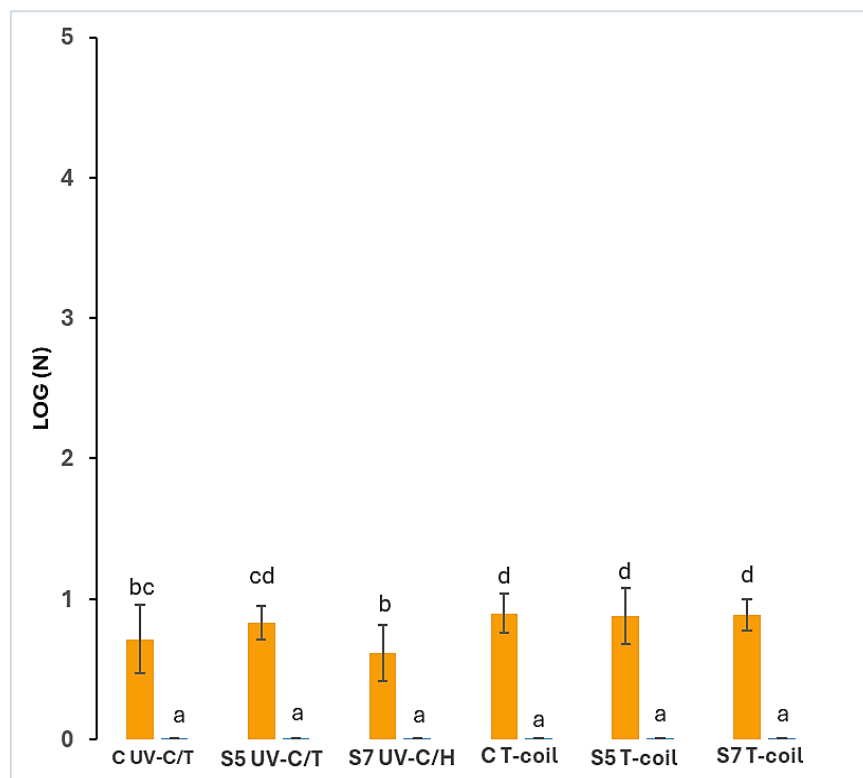
Este comportamiento podría estar relacionado con las observaciones de Schelegueda y col.(2020), quienes informaron un efecto inhibitorio sobre *Zygosaccharomyces bailii* en sistemas de gelificación modelo al inicio del almacenamiento refrigerado, pero solo cuando la goma gellan estaba presente junto con xilitol. Sin embargo, al final del almacenamiento, la población de levaduras creció en este sistema, lo que llevó a la conclusión de que *Z. bailii* utilizó el xilitol como fuente de carbono solo después de agotar otras fuentes.

De manera similar, en el presente estudio, el crecimiento más rápido observado en la formulación C, a pesar de su alto contenido de actividad de agua, podría explicarse por la presencia de sacarosa (10% p/p), una fuente fácilmente metabolizable por los microorganismos. Por otro lado, los resultados obtenidos en este estudio también concuerdan con los reportados por Plotnikova y col. (2022), quienes encontraron la ausencia de coliformes totales en muestras de jaleas elaboradas con pectina de manzana y la adición de varios carbohidratos (glucosa, maltosa o fructosa, 14,9–77,3 g

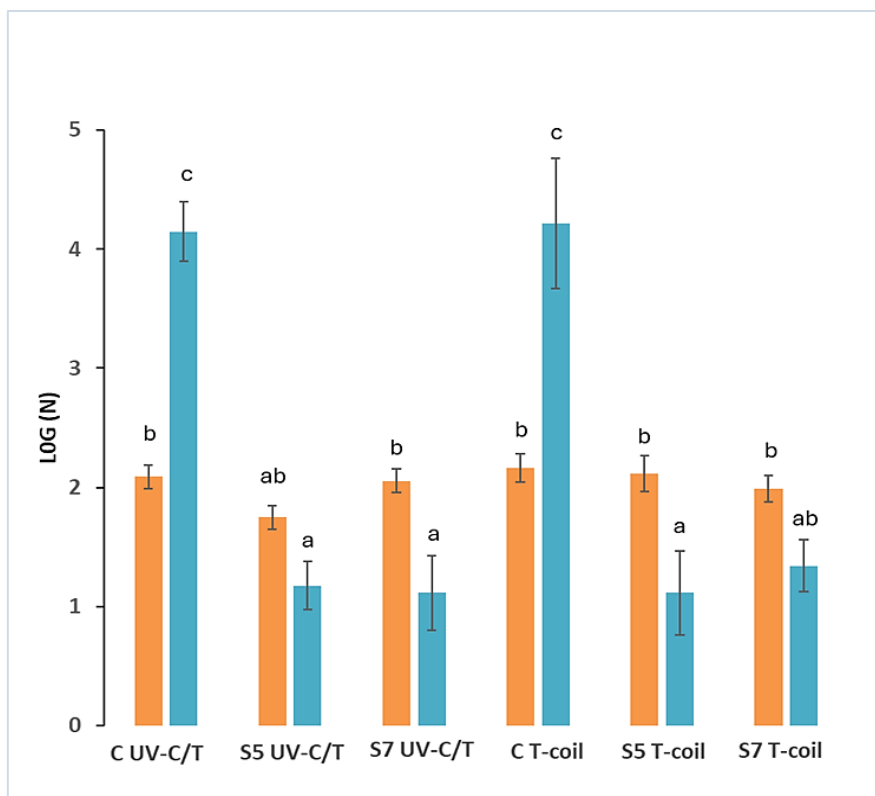
por 100 g) durante 12 semanas de almacenamiento. Sin embargo, como en el presente estudio, también observaron el desarrollo de mohos en la superficie del sistema con la mayor actividad de agua ($a_w = 0,839$) después de 5 semanas de almacenamiento refrigerado.

Figura 4.22. Recuentos microbianos de (a) aerobios mesófilos y (b) mohos y levaduras en los sistemas elaborados con jugo de naranja tratado por UV-C/T o T-coil, medidos a 1 día (■) o 35 días (■) de almacenamiento en refrigeración (5 ± 1 °C). Sistemas: C (10% p/v S), S5 (3% p/p de S y 0.019% p/p de RA) y S7 (0.019% p/p de RA y 5.5% p/p de E). Diferentes letras minúsculas sobre las barras de error (I) indican una diferencia significativa ($P < 0,05$).

a)



b)



4.11.2 Propiedades fisicoquímicas

Con el propósito de identificar posibles modificaciones durante el almacenamiento, se analizaron las propiedades fisicoquímicas de los sistemas de gel postre frutal (**C**, **S5** y **S7**). Los resultados obtenidos se muestran en la **Tabla 11**. El análisis MANOVA de dos vías evidenció diferencias significativas ($P < 0,001$) entre las muestras al considerar el conjunto de variables evaluadas.

En relación con la turbidez, los geles elaborados con jugo tratado por UV-C/T mostraron variaciones a lo largo del almacenamiento. A partir del día 1, la formulación **S5** presentó los valores más elevados (2459 ± 4 NTU), seguida de **C** (2251 ± 5 NTU) y **S7** (2228 ± 3 NTU). Tras 35 días, estos valores disminuyeron levemente, siendo **S5** la que mantuvo la mayor turbidez (2220 ± 1 NTU), mientras que **C** y **S7** mostraron valores similares (2113 ± 1 NTU). Respecto a la luminosidad (L^*), **C** evidenció los valores más bajos ($29,68 \pm 0,01$ al inicio y $29,40 \pm 0,04$ al final del almacenamiento), en comparación

con **S5** ($32,63 \pm 0,01/31,22 \pm 0,01$) y **S7** ($31,20 \pm 0,01/29,10 \pm 0,01$). Se observó una leve disminución de este parámetro con el tiempo en todos los sistemas. En cuanto al parámetro a^* , las formulaciones **C** ($-2,48 \pm 0,01/-2,40 \pm 0,01$) y **S5** ($-2,81 \pm 0,03/-2,33 \pm 0,01$) tendieron a tonalidades rojizas durante el almacenamiento, posiblemente debido a la presencia de sacarosa, que podría favorecer reacciones de pardeamiento no enzimático. En cambio, **S7** presentó un desplazamiento hacia tonalidades verdosas ($-2,21 \pm 0,01/-2,93 \pm 0,01$). En lo que respecta al parámetro b^* , **C** ($22,75 \pm 0,01/23,52 \pm 0,01$) y **S7** ($22,79 \pm 0,02/23,49 \pm 0,01$) mostraron un incremento en la tonalidad amarilla, mientras que **S5** experimentó el efecto opuesto ($24,82 \pm 0,02/21,99 \pm 0,50$).

Los parámetros pH, sólidos solubles totales (SST) y actividad de agua (a_w) no evidenciaron variaciones significativas durante el almacenamiento. En todos los sistemas, CRA se vio afectada por el tiempo, con una disminución significativa ($P < 0,001$) desde valores iniciales de 98,3–98,7% hasta 94,1–96,6% al día 35. No obstante, el tratamiento aplicado al jugo influyó en la evolución de este parámetro: los geles elaborados con jugo tratado por T-coil presentaron una reducción ligeramente superior (2,2–3,5%) en comparación con aquellos procesados mediante UV-C/T (1,9–2,9%). Este comportamiento coincide con lo informado por An y col. (2018), quienes observaron una disminución significativa en este parámetro cuando evaluaron geles de surimi luego de 7 días de almacenamiento.

Tabla 11. Parámetros fisicoquímicos: (a) actividad de agua (a_w), sólidos solubles totales (SST), pH, capacidad de retención de agua (CRA), turbidez y coordenadas de color CIELab, correspondientes a los sistemas elaborados con jugo de naranja tratado con UV-C o T-coil y endulzados con sacarosa (sistema control, **C**) o diferentes combinaciones de sacarosa, eritritol y rebaudiósido A (**S5** y **S7**), almacenados por 35 días a 5 °C durante (se expresan los valores correspondientes a los días 1 y 35).

Sistema	Tratamiento	Día de almacenamiento	a_w	SST (°Brix)	pH	CRA (%)	Turbidez (NTU)	L*	a*	b*	DS ^a
C	UV-C/H	1	0,979±0,001	20,70±0,20	3,86±0,01	98,49±0,24	2251±05	29,68±0,01	-2,48±0,01	22,75±0,01	a
		35	0,972±0,001	20,83±0,03	3,80±0,01	96,62±0,01	2113±01	29,40±0,04	-2,40±0,01	23,56±0,01	b
	T-coil	1	0,976±0,001	20,70±0,20	3,86±0,20	98,50±0,25	2,51±05	30,51±0,55	-2,66±0,28	22,85±0,01	c
		35	0,972±0,001	20,85±0,01	3,80±0,01	94,11±0,35	2113±01	30,49±0,04	-2,33±0,01	23,85±0,05	d
S5	UV-C/H	1	0,975±0,001	15,45±0,05	4,16±0,01	98,50±0,25	2459±40	32,63±0,01	-2,81±0,03	24,82±0,02	e
		35	0,968±0,001	16,10±0,10	3,82±0,10	95,62±0,55	2220±01	31,22±0,01	-2,33±0,01	21,99±0,50	f
	T-coil	1	0,972±0,001	15,85±0,05	3,97±0,05	98,26±0,01	3113±01	31,40±0,01	-2,55±0,01	24,16±0,03	g
		35	0,972±0,001	16,15±0,05	3,84±0,05	94,49±0,07	3345±04	33,50±0,02	-2,57±0,02	21,56±0,40	h
S7	UV-C/H	1	0,973±0,001	15,80±0,20	3,83±0,20	98,34±0,38	2228±03	31,20±0,01	-2,21±0,01	22,79±0,02	i
		35	0,967±0,001	16,35±0,15	3,82±0,15	96,51±0,17	2113±01	29,10±0,01	-2,63±0,01	23,49±0,01	j
	T-coil	1	0,897±0,001	17,50±0,01	4,01±0,01	98,65±0,45	2234±04	30,62±0,15	-1,79±0,01	23,34±0,05	k
		35	0,968±0,001	17,13±0,13	3,84±0,13	96,50±0,25	2189±01	30,50±0,01	-2,87±0,01	21,30±0,70	l

DS^a: Diferencia significativa: los valores experimentales con letras diferentes son significativamente distintos ($p < 0,001$) según el MANOVA de dos vías; ($\pm$ valor); los errores estándar se calcularon a partir de 3 réplicas.

4.11.3 Aspectos reológicos

En esta sección se presentan y analizan los resultados correspondientes a los parámetros reológicos de los geles postre frutal. La evaluación de estas propiedades resulta fundamental para comprender la estructura y la textura del producto, aspectos clave que influyen tanto en la aceptación sensorial como en la estabilidad durante el almacenamiento. Los parámetros reológicos, como la dureza, elasticidad, viscosidad y cohesión, pueden verse afectados por la composición del sistema y por cambios estructurales que ocurren a lo largo del tiempo. Por ello, se analizaron las variaciones experimentadas por los geles elaborados con diferentes combinaciones de edulcorantes y jugo de naranja tratado mediante tecnologías UV-C/T o T-coil, considerando períodos de almacenamiento de hasta 35 días.

Perfil de textura y viscosidad

La **Tabla 12** presenta los parámetros obtenidos mediante el análisis de perfil de textura (PT), dureza 1 (D1), dureza 2 (D2), gomosidad, elasticidad, cohesión y adhesividad, correspondientes a los geles postre frutal (**C**, **S5** y **S7**) evaluados al inicio y al final del almacenamiento. Las muestras se agruparon según la composición y el tiempo de almacenamiento. El análisis MANOVA de dos vías no mostró diferencias significativas entre los tratamientos de jugo aplicados. Sin embargo, se observaron diferencias significativas ($P < 0,001$) entre los sistemas edulcorantes empleados.

En el día 1, el sistema **S7** presentó los valores más elevados de D1 (UV-C/H: 7,56 N; T-coil: 7,64 N), D2 (UV-C/T: 3,30 N; T-coil: 3,34 N), adhesividad (UV-C/T y T-coil: 3,30 $\text{N}\cdot\text{m}\cdot 10^3$) y elasticidad (UV-C/T y T-coil: 0,64), seguido por el sistema **C** y, posteriormente, por **S5**. A lo largo del almacenamiento, se detectaron descensos moderados en D1, D2, viscosidad inicial y viscosidad final en todos los sistemas, sin importar el tratamiento aplicado. Por ejemplo, el gel **S7** tratado con UV-C/T mostró disminuciones en D1 (7,56–6,30 N), D2 (3,30–1,70 N), viscosidad inicial (1009–630 Pa·s) y viscosidad final (5,21–3,93 Pa·s). En contraste, se registraron incrementos en la gomosidad (2,57–4,29 N), cohesión (0,34–0,68) y elasticidad (0,64–0,88) durante el almacenamiento, lo que sugiere

modificaciones estructurales progresivas en la matriz del gel. Resultados similares fueron reportados por Banaś y col. (2018) en mermeladas de grosella con bajo contenido de azúcar almacenadas bajo refrigeración durante seis meses. Asimismo, Korus y col.(2015) observaron disminuciones en la dureza de mermeladas de arándano formuladas con pectina de cítricos y manzana tras el almacenamiento, lo que se atribuyó a la degradación de la red de pectina inducida por la acidez del producto, acompañada de una relajación en la consistencia.

Comportamiento viscoelástico

Los valores de los módulos de almacenamiento (G') y de pérdida (G'') correspondientes a los sistemas **C**, **S5** y **S7** elaborados con jugo tratado por UV-C/T o T-coil y a los días de almacenamiento 1 o 35, se presentan en la **Figura 4.24**. Las mediciones se realizaron con un valor de deformación del 10%, dentro de la región lineal viscoelástica (**Figura 4.23**), con el objetivo de evaluar el efecto de la composición, el tipo de procesamiento y el tiempo de almacenamiento sobre el comportamiento dinámico de los sistemas.

En el día 1 de análisis, los tres sistemas exhibieron un cruce entre G' y G'' en el rango de $107\text{--}128\text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ ($17,0\text{--}20,4\text{ Hz}$), lo que evidencia la ruptura de la estructura interna e indica el inicio del comportamiento de flujo. Tras 35 días de almacenamiento, dicho cruce se desplazó hacia frecuencias menores ($89,5\text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$; $14,3\text{ Hz}$), independientemente de la composición o el tipo de procesamiento aplicado. Este desplazamiento podría asociarse a una disminución en la firmeza del gel durante el almacenamiento, reflejando la pérdida progresiva de la estructura.

En todos los sistemas analizados, se observó que G' fue superior a G'' antes del punto de cruce, lo que revela un comportamiento predominantemente elástico y similar a un gel. Por el contrario, a frecuencias superiores al punto de cruce, se evidenció un comportamiento líquido ($G'' > G'$). Resultados similares fueron reportados por Kapoor y col. (2023) en mermeladas elaboradas con pulpa de fruta y distintas proporciones de pectina (1,3–1,8%), donde se observó un G' constante y un aumento de G'' con la frecuencia angular.

Tabla 12 Parámetros reológicos correspondientes a los sistemas elaborados con jugo de naranja tratado con UV-C o T-coil y endulzados con sacarosa (sistema control, **C**) o diferentes combinaciones de sacarosa, eritritol y rebaudiósido A (**S5** y **S7**), almacenados por 35 días a 5 °C durante (se expresan los valores correspondientes a los días 1 y 35)

Sistema	Treatment	Día de almacenamiento	Dureza 1 (D1, N)	Dureza 2 (D2, N)	Adhesividad (N.m.10 ³)	Elasticidad (-)	Cohesividad (-)	Gomosidad (N)	Viscosidad Inicial (μ0; Pa.s)	Viscosidad Final (μf; Pa.s)	DS ^a
C	UV-C/H	1	5,27±0,11	2,38±0,14	2,38±0,14	0,59±0,02	0,44±0,15	1,76±0,76	779±02	6,68±01	a
		35	4,03±0,02	1,32±0,18	1,42±0,12	0,42±0,03	0,19±0,04	3,27±0,07	677±15	4,45±01	b
	T-coil	1	5,31±0,13	2,39±0,14	2,38±0,13	0,59±0,01	0,44±0,14	1,76±0,76	777±03	6,25±01	a
		35	4,13±0,10	1,32±0,20	1,42±0,12	0,42±0,01	0,19±0,04	3,27±0,07	668±26	4,47±01	b
S5	UV-C/H	1	5,13±0,23	2,28±0,71	2,28±0,71	0,54±0,01	0,38±0,07	1,96±0,43	891±01	1,87±01	c
		35	4,14±0,12	1,21±0,12	2,41±0,09	0,68±0,15	0,49±0,08	2,02±0,39	801±01	1,46±01	d
	T-coil	1	5,39±0,45	2,29±0,70	2,28±0,71	0,54±0,01	0,38±0,07	1,96±0,43	892±01	1,87±01	c
		35	4,15±0,13	1,17±0,13	2,41±0,10	0,68±0,10	0,49±0,08	2,02±0,30	801±19	1,46±01	d
S7	UV-C/H	1	7,56±0,20	3,30±0,06	3,30±0,06	0,64±0,03	0,34±0,01	2,57±0,04	1,010±08	5,21±01	e
		35	6,30±0,20	1,70±0,35	2,87±0,22	0,88±0,04	0,68±0,12	4,29±0,45	630±11	3,93±04	f
	T-coil	1	7,64±0,11	3,34±0,03	3,30±0,06	0,64±0,10	0,34±0,01	2,56±0,10	1,008±26	5,21±01	e
		35	6,29±0,21	1,70±0,35	2,87±0,20	0,88±0,10	0,68±0,10	4,29±0,40	630±31	3,93±01	f

DS^a: Diferencia significativa: los valores experimentales con letras diferentes son significativamente distintos ($p < 0,001$) según el MANOVA de dos vías; ($\pm$ valor); los errores estándar se calcularon a partir de 5 réplicas.

De acuerdo con la clasificación propuesta por Chaux-Gutiérrez y col.(2019), los geles pueden considerarse verdaderos o débiles. Los verdaderos geles se caracterizan por valores de G' y G'' independientes de la frecuencia, siendo G' mayor que G'' . En cambio, los geles débiles, como los obtenidos en el presente estudio, presentan una dependencia de ambos módulos con la frecuencia y mantienen la relación $G' > G''$. Esta característica resulta deseable en los geles postres elaborados, dado que proporciona la combinación adecuada de elasticidad y deformabilidad para su aplicación final.

Figura 4.23: Barrido de amplitud con control de la deformación de cizalla de los sistemas gel-postre frutal seleccionados con reemplazo total o parcial de sacarosa y el sistema control: (●) C, (●) S5, (●) S7 y, (▲) valor limite recomendado de RVL

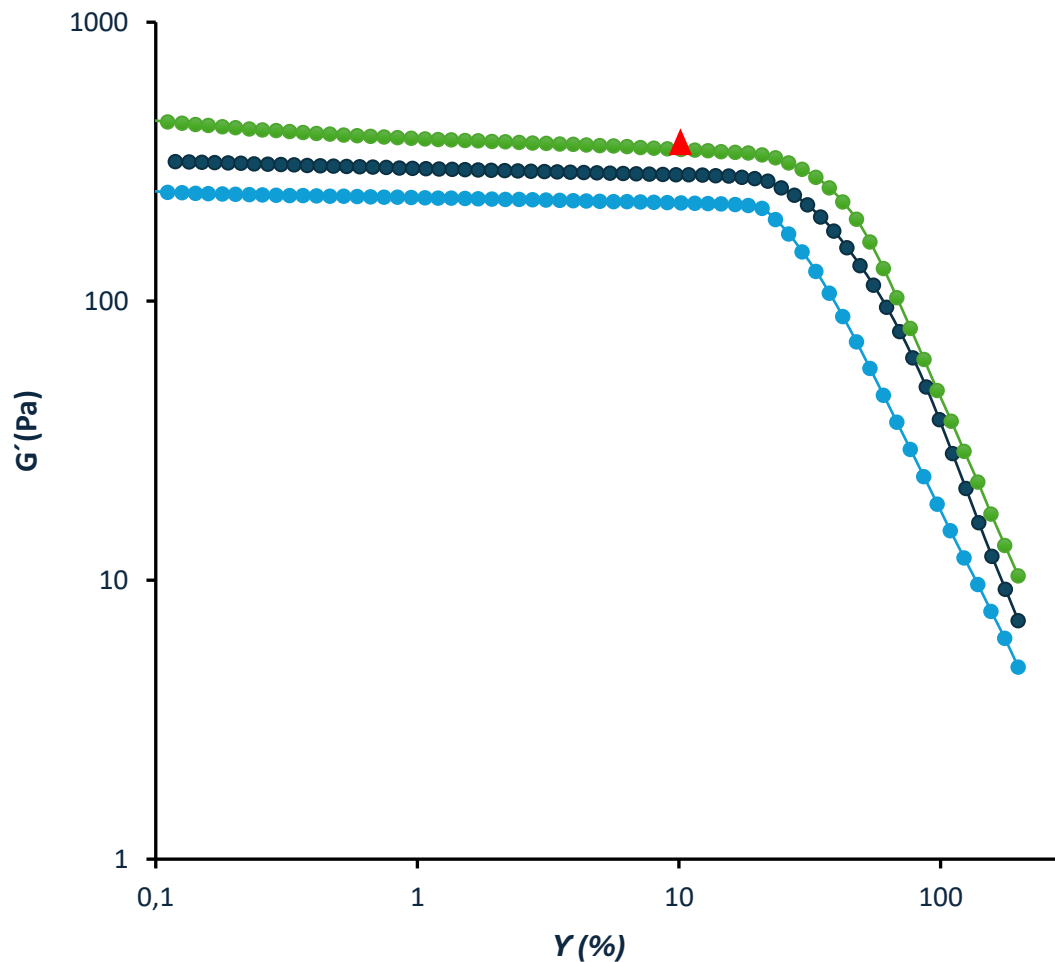
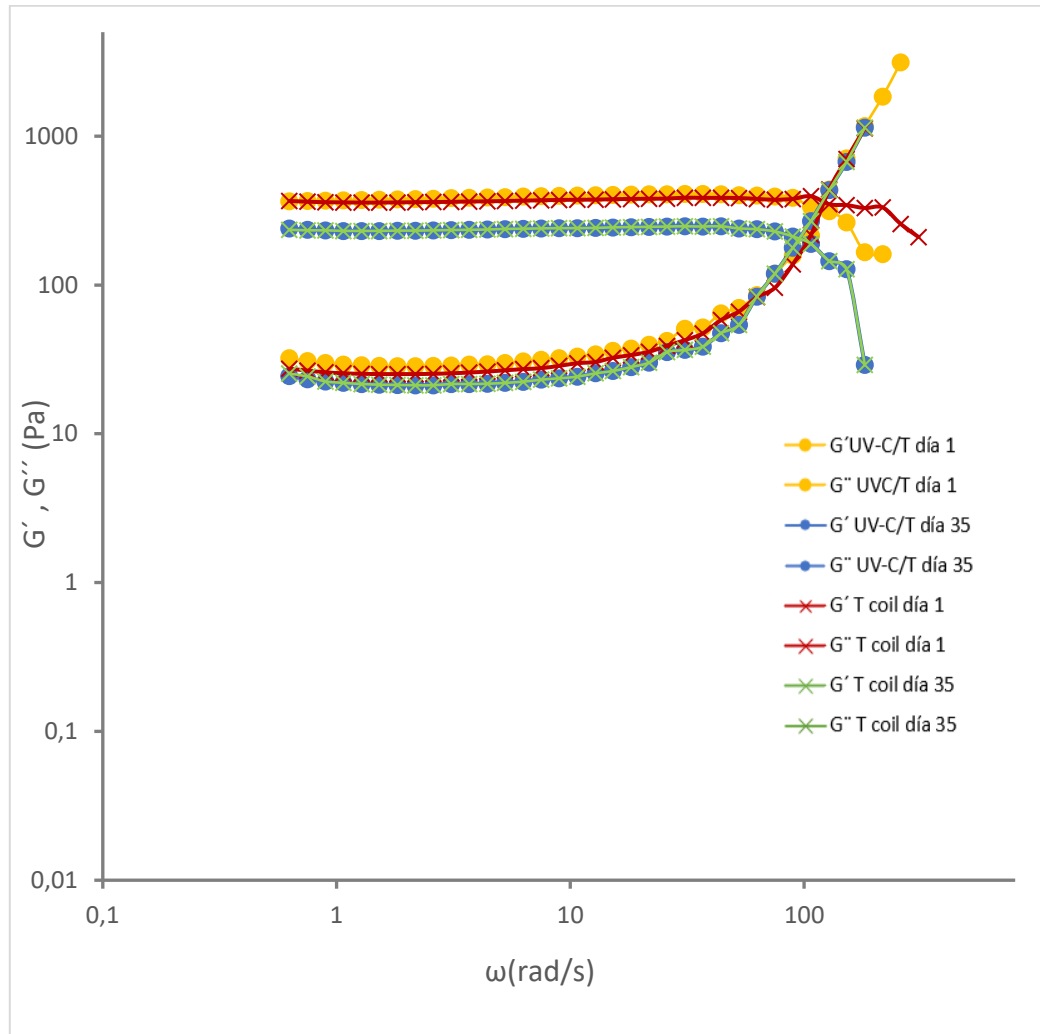
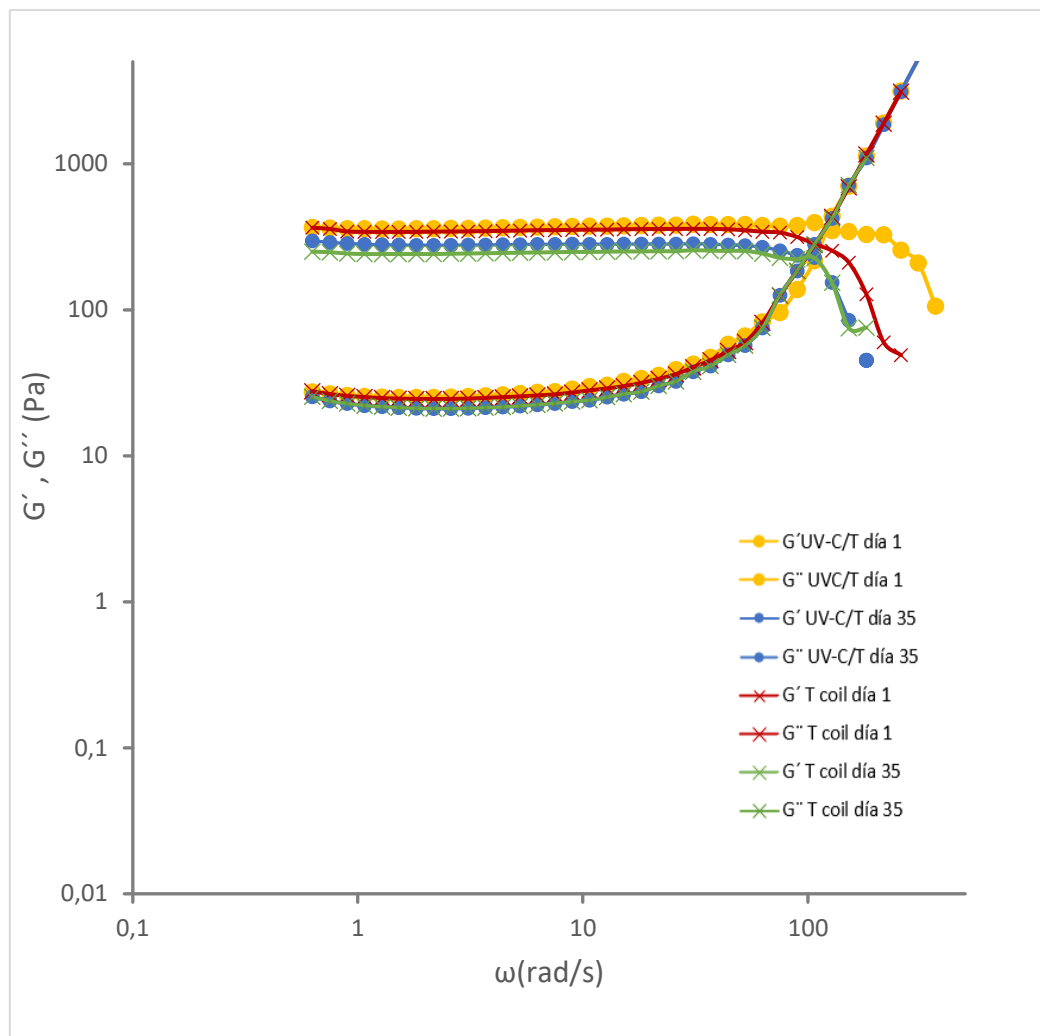


Figura 4.24 Espectros mecánicos de sistemas de geles postre frutales elaborados con jugo tratado mediante UV-C/T o T-coil, almacenados 35 días bajo refrigeración (5 ± 1 °C). **(a)** C (10 % p/p S), **(b)** S5 (0,019 % p/p RA y 3 % p/p S) y **(c)** S7 (0,019 % p/p RA y 5,5 % p/p E).

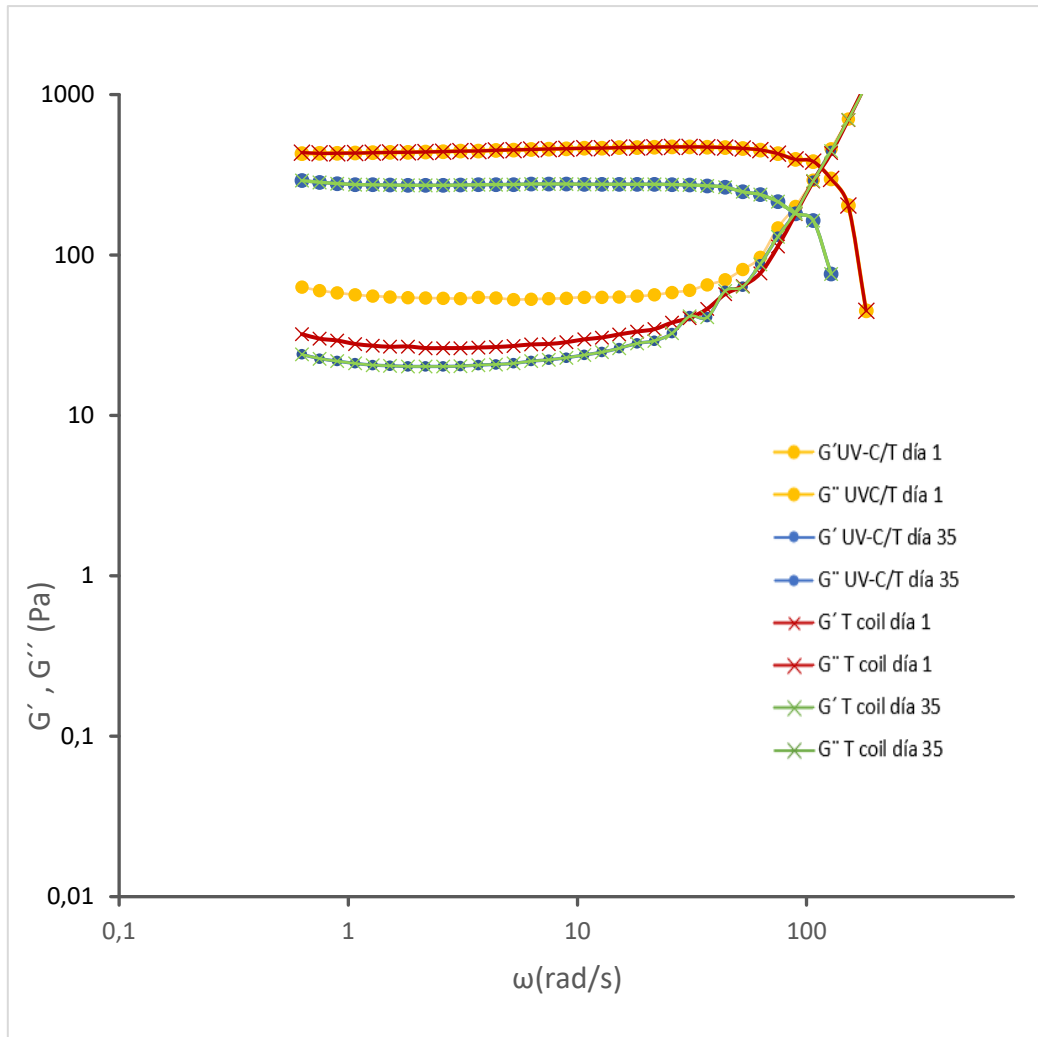
a)



b



C

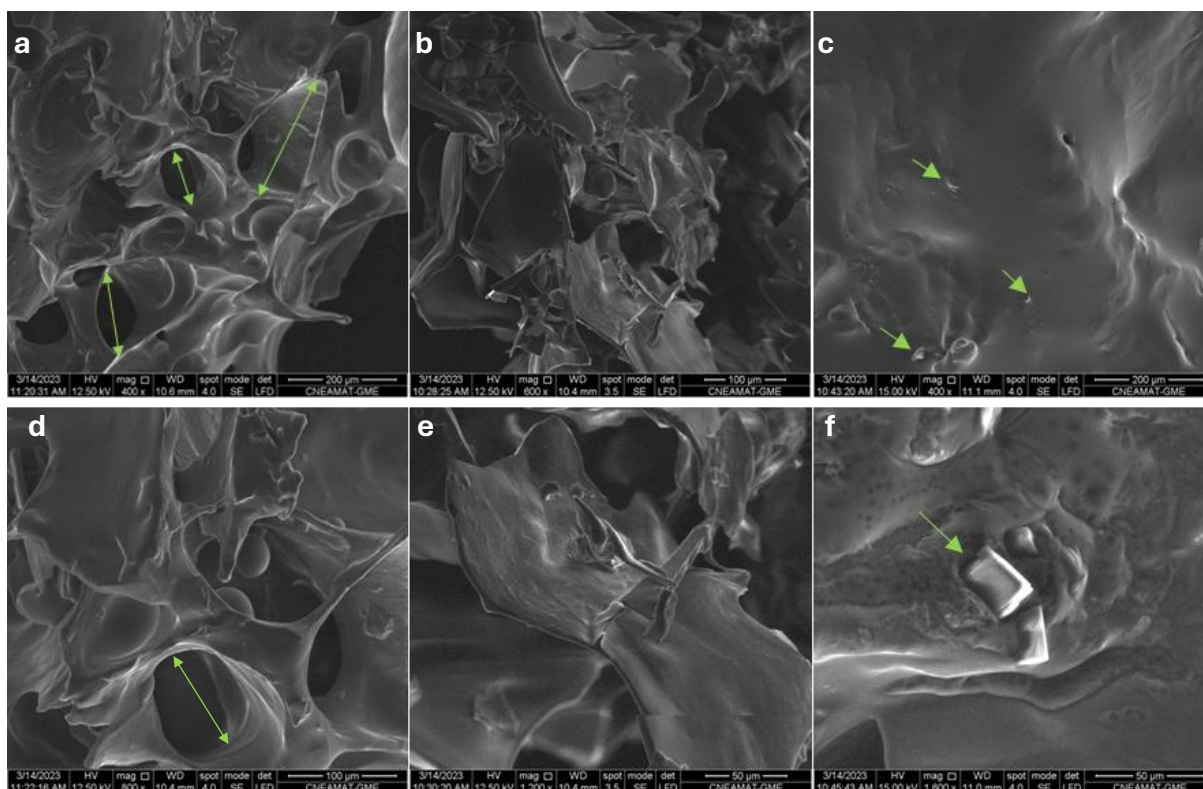


4.12 Microscopía electrónica de barrido (MEB)

Las micrografías obtenidas mediante MEB, tras el liofilizado de los geles de confitería elaborados con jugo tratado con UV-C/H, revelaron la morfología superficial de **C**, **S5** y **S7** (Figura 23). El sistema **C**, que contenía un 10 % p/p de sacarosa (**Figura 25a y d**), presentó una estructura rugosa caracterizada por una abundante cantidad de poros de gran tamaño. Al disminuir la concentración de sacarosa (**S5**: 3 % p/p de S + **0,019** % p/p de RA), la microestructura mostró una superficie aún rugosa, aunque con una menor cantidad de poros, los cuales resultaron menos definidos (**Figura 25b, e**). En contraste, **S7**, endulzado con una mezcla de RA y E, exhibió una superficie notablemente más lisa,

carente de poros visibles y con partículas de E dispersas en la matriz (**Figura 25c, f**). Estos resultados coinciden con los obtenidos en los ensayos de perfil de textura (PT) y reología, evidenciando una textura más firme para esta formulación. Hallazgos similares fueron reportados por Ates y col. (2020) en geles de pectina elaborados con distintas proporciones de sacarosa y alulosa, donde la presencia de sacarosa se asoció con superficies rugosas y poros bien definidos.

Figura 4.25. Micrografías obtenidas por MEB de los sistemas geles postres frutales analizados (a, d) **control** (10 % p/p de sacarosa), (b, e) **S5** (0,019 % p/p de RA y 3 % p/p S) y (c, f) **S7** (0,019 % p/p RA y 5,5 % p/p E). Las imágenes se registraron con aumentos de (e, f) 50 μm , (b, d) 100 μm y (a, c) 200 μm . ($\uparrow$) Presencia de partículas de eritritol; ($\leftrightarrow$) poros con tamaños variables entre 100 y 200 μm .



4.13 Conclusiones parciales: Parte 2-Subproducto 1: Gel postre frutal

- Mediante un estudio conjunto, se evidenció que un grupo significativo de consumidores demostró un marcado interés en un prototipo de “gel postre frutal” elaborado con ingredientes más naturales y/o preservados por tecnologías con menor impacto ambiental. Este prototipo obtuvo una valoración muy positiva tanto en la voluntad de probarlo como en la percepción de saludable
- Con la intención de encontrar el/los sistemas/s más similar/es a un el gel postre conteniendo solo sacarosa (control), se realizó exitosamente un estudio de optimización en el que se desarrollaron y compararon 27 sistemas de gel postre frutal, usando pectina de bajo metoxilo, jugo de naranja preservado con luz UV-C, y reemplazo total o parcial de sacarosa por mezclas de eritritol, rebaudiósido A y polidextrosa.
- Mediante el estudio de optimización por regresión múltiple y MSR, se hallaron algunas combinaciones de los mencionados ingredientes que garantizaron un comportamiento similar del gel postre, en cuanto a la capacidad de retención de agua (CRA) y dureza (D1) respecto del sistema control. En primera instancia, se definieron así tres sistemas con reemplazo total (**S7** y **S16**) y parcial de sacarosa (**S5**).
- Como resultado de las pruebas sensoriales realizadas en los sistemas seleccionados por el estudio de optimización, solo **S5** y **S7** fueron percibidos como similares al control. Los mismos fueron muy bien valorados en cuanto a diferentes aspectos sensoriales.
- Los sistemas propuestos, **S5** (3% p/p S y 0,019% p/p RA) y **S7** (0,019% p/p RA y 5,5% p/p E), elaborados con jugo de naranja preservado por luz UV-C/T, se mantuvieron microbiológicamente estables durante 35 días de almacenamiento en refrigeración, lo que respalda la eficacia del tratamiento aplicado al jugo y el posterior proceso de elaboración del gel. Asimismo, las propiedades reológicas y fisicoquímicas presentaron ligeras modificaciones.

- En conclusión, en esta etapa se desarrollaron geles postre frutales con un enfoque holístico de salud, medio ambiente e indulgencia. Se obtuvieron así dos alternativas viables las cuales fueron analizadas de forma multidimensional (investigación de mercado y estudios fisicoquímicos, reológicos, microbiológicos y sensoriales).

PARTE 3-Subproducto 2: Gel para la nutrición deportiva

En esta sección se detallan los resultados obtenidos correspondientes al **gel para la nutrición deportiva** o comúnmente llamado **gel deportivo**, el cual fue elaborado según lo especificado en la **sección 3.21** de Materiales y Métodos. La investigación se centró en el diseño de un gel destinado a la nutrición deportiva, cumpliendo con los requisitos de un producto funcional para deportistas y empleando ingredientes naturales como, por ejemplo, jugo de naranja preservado mediante una tecnología emergente, luz UV-C, considerada más verde que los tratamientos térmicos convencionales.

Se evaluaron distintos parámetros fisicoquímicos y reológicos para caracterizar el comportamiento de flujo del gel deportivo recién elaborado, así como el contenido de los compuestos bioactivos más relevantes y perfil sensorial establecido por consumidores de este tipo de producto. Además, se evaluó su estabilidad microbiológica durante el almacenamiento. Cabe destacar que, esta sección comienza con la obtención de un ingrediente clave, extracto de yerba mate, incorporado de manera novedosa al gel deportivo, como una fuente de antioxidantes y otros compuestos bioactivos relevantes, la cual fue realizada por un método alternativo al que se venía aplicando en el laboratorio.

4.14 Obtención y caracterización de extracto líquido de yerba mate

El extracto líquido de yerba mate (**EYM-JNUV-C/T**) fue obtenido, tal como se describió en **sección 3.20**, por extracción de los componentes bioactivos de hojas de yerba mate molidas suspendidas en jugo de naranja preservado por luz UV-C asistida (**JNUV-C/T**). El mencionado extracto presentó los siguientes valores en cuanto a contenido de polifenoles totales (CPT), capacidad antioxidante (CA_{DPPH}) y contenido de flavonoides (F): $3,30 \pm 0,12$ mg GAE/mL, $4,25 \pm 0,22$ mg Eq Trolox/mL y $4,46 \pm 0,12$ mg Eq Catequina/mL, respectivamente. En particular, CPT fue comparable con el valor reportado por Kozono y col. (2024), para un extracto de hojas de yerba mate suspendidas en agua, obtenido en condiciones experimentales similares ($3,57 \pm 0,07$

mg GAE/mL). Estos valores reflejan el potencial del extracto para contribuir a la funcionalidad deseada en el gel deportivo, particularmente en términos de actividad antioxidante. Cabe destacar que el uso de una matriz distinta al agua, como en esta tesis el jugo de naranja, no afectó negativamente la extracción de los compuestos bioactivos, a pesar de su diferente composición y menor pH, factores que podrían haber interferido en la estabilidad de algunos metabolitos (Sepúlveda y Zapata, 2019). Además, el empleo de jugo como medio de extracción permitió prescindir de etapas posteriores de secado (liofilización o secado spray), lo cual representa una ventaja tanto en términos de tiempo de procesamiento como desde una perspectiva ambiental.

4.15 Caracterización del gel deportivo

4.15.1 Parámetros fisicoquímicos

El gel deportivo (**GD**) elaborado a partir del extracto líquido de YM en jugo de naranja preservado (**EYM-JNUV-C/T**) según la **sección 3.20**, presentó un pH de $3,97 \pm 0,03$, valor adecuado para la estabilidad microbiológica y sensorial, dado que la acidez contribuye a inhibir el crecimiento microbiano y favorece la conservación del producto. El contenido de sólidos solubles totales (SST) fue de $52,9 \pm 0,3$ °Brix, coherente con la formulación basada en la utilización de jugo de naranja como medio líquido base y los azúcares añadidos necesarios para el desarrollo del gel deportivo. Cabe destacar que, este valor de SST resulta favorable para la reposición rápida de carbohidratos durante la actividad física (Jeukendrup, 2014; Hearn y col. 2022). Por otro lado, **GD** presentó una turbidez de 1054 ± 2 NTU, menor que en el jugo de naranja (JN: 2967 NTU, sección 4.1). Asimismo, este valor de turbidez fue comparable con la observada en geles comerciales como la marca ENA® (727 ± 5 NTU) y ei® (2806 ± 10 NTU). La densidad obtenida en **GD** fue de $1,245 \text{ g/cm}^3$, valor que se encuentra dentro del rango reportado para los geles energéticos comerciales ($1,20\text{--}1,30 \text{ g/cm}^3$), lo cual facilita el consumo del producto durante la actividad física. Este valor fue mayor que en **JNUV-C/T** ($1,09 \text{ g/cm}^3$) debido al agregado de los ingredientes que se emplean para la elaboración de GD.

En cuanto al color del gel deportivo, se observó un valor de luminosidad (L^*) de $22,70 \pm 0,17$, indicando un tono relativamente oscuro (Brühl y Scherze, 2021). Este resultado es esperable teniendo en cuenta la incorporación de compuestos de la yerba mate al jugo de naranja ($L^* = 32,00$). El valor del componente a^* del espacio CIELab obtenido ($4,02 \pm 0,19$) refleja una ligera tendencia hacia tonalidades rojizas, mientras que el valor de b^* ($21,43 \pm 0,52$) muestra una marcada contribución amarilla, característica de los productos basados en jugo de naranja. En términos generales el color de **GD** cambió hacia una tonalidad más rojiza respecto de **JNUV-C/T** ($a^* = -3,50$). El aspecto general del gel deportivo puede observarse en la **Figura 4.26**.

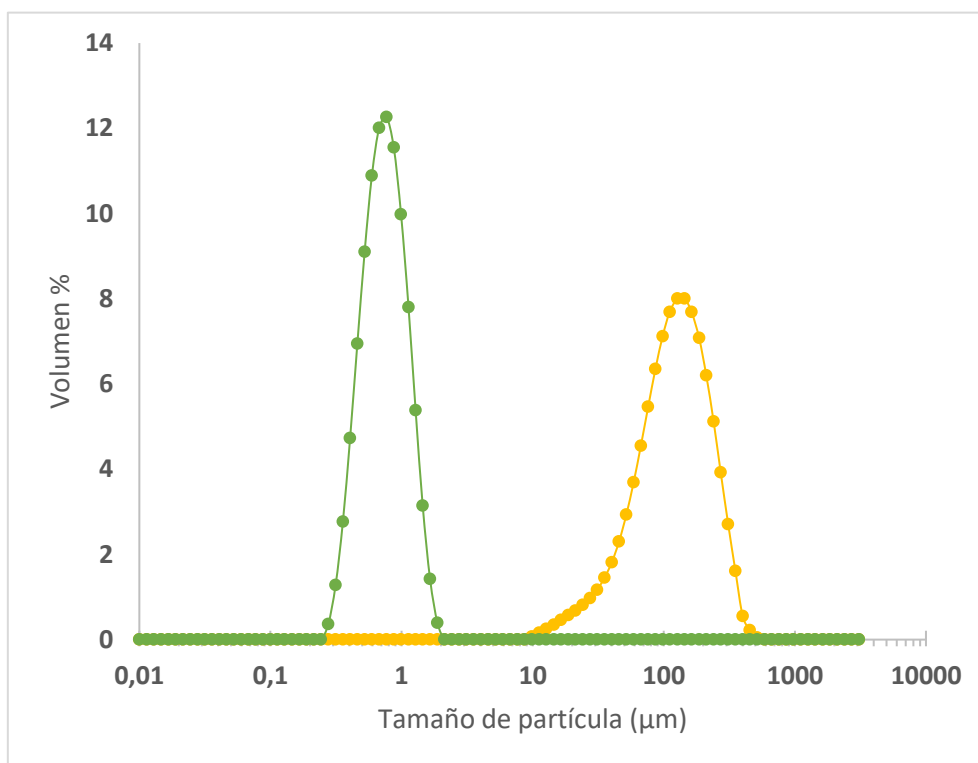
Figura 4.26 Aspecto visual del gel deportivo elaborado



La caracterización del tamaño de partícula permitió describir y comparar las dos muestras analizadas: **GD** y **EYM-JNUV-C/T**. La **Figura 4.27** muestra que ambas muestras presentaron una distribución monomodal, a diferencia de lo observado previamente (**sección 4.1**) para el jugo de naranja, cuya distribución fue bimodal. Esto sugiere que los

procesos adicionales aplicados al jugo, como la extracción por ultrasonido para la obtención del EYM o la formulación del gel, inciden en la organización y el tamaño de las partículas. En particular, GD mostró los mayores valores de diámetros medios ($D[3;2] = 92 \pm 4,09 \mu\text{m}$ y $D[4;3] = 145 \pm 11 \mu\text{m}$) y la menor área de superficie específica ($52 \pm 2 \text{ m}^2/\text{kg}$), mientras que EYM-JNUVC/T presentó partículas de tamaño significativamente menor ($D[3;2] = 0,725 \pm 0,01 \mu\text{m}$ y $D[4;3] = 0,838 \pm 0,01 \mu\text{m}$) y una superficie específica considerablemente mayor ($8277 \pm 3 \text{ m}^2/\text{kg}$), lo cual podría atribuirse al método de extracción empleado, ultrasonido de alta intensidad, el cual genera partículas finas y homogéneas (He y col., 2022)

Figura 4.27. Volumen (%) versus tamaño (μm) de partículas correspondientes a GD (●) y EYM-JNUV-C/T (●)



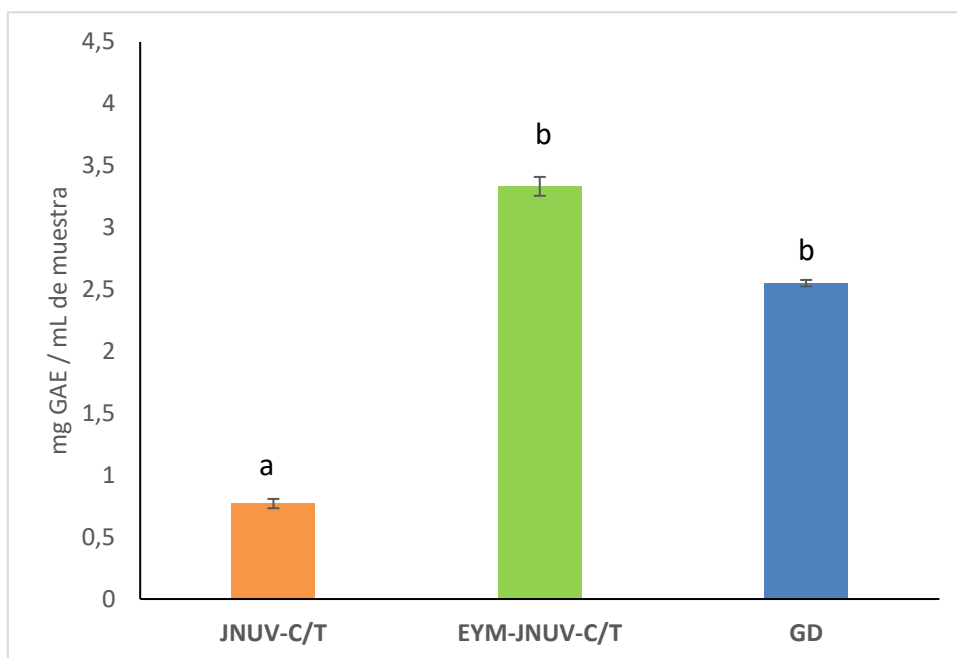
Con el objeto de analizar el efecto del agregado de yerba mate al jugo de naranja preservado y los tratamientos posteriores involucrados en el desarrollo de **GD**, se compararon los valores de contenido de polifenoles totales (CPT), capacidad antioxidante por los métodos ABTS (CA_{ABTS}) y DPPH (CA_{DPPH}), contenido de flavonoides (F) entre los sistemas **JNUV-C/T**, **EYM-JNUV-C/T** y **GD**.

La **Figura 4.28** presenta los valores correspondientes para cada parámetro determinado. En términos generales, la muestra **JN-UV-C/T** exhibió valores significativamente menores ($p < 0,05$) de CPT ($0,77 \pm 0,01$ mg GAE/mL), CA_{DPPH} ($0,33 \pm 0,01$ mg Eq Trolox /mL), CA_{ABTS} ($0,15 \pm 0,01$ mg Eq Trolox /mL) y F ($0,56 \pm 0,02$ mg catequina Eq/mL). En comparación, las muestras **GD** y **EYM-JNUV-C/T** presentaron valores considerablemente más altos: CPT ($2,56 \pm 0,01$ y $3,30 \pm 0,07$ mg GAE/mL), CA_{DPPH} ($3,31 \pm 0,02$ y $4,05 \pm 0,03$ mg Eq Trolox /mL), CA_{ABTS} ($0,56 \pm 0,02$ y $0,74 \pm 0,01$ mg Eq Trolox /mL) y F ($5,37 \pm 0,02$ y $5,32 \pm 0,03$ mg Eq Catequina /mL), respectivamente, sin observarse diferencias significativas ($p > 0,05$) entre ellas. Esto indica que las etapas adicionales requeridas para la obtención del gel, las cuales implicaron el uso de temperaturas moderadas, no afectaron significativamente el contenido de compuestos bioactivos ni la capacidad antioxidante. Sin embargo, la presencia de compuestos de yerba mate en el jugo (EYM-JNUV-C/T) utilizado en la formulación del gel incrementó el contenido de estos compuestos bioactivos y su actividad antioxidante, mejorando así el perfil nutricional.

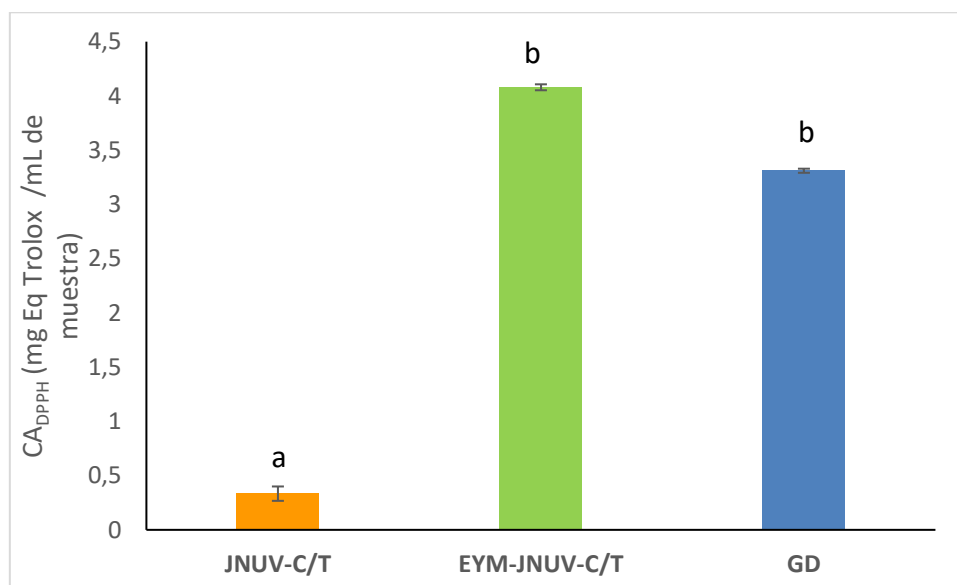
En línea con estos resultados, Saraiva y col (2019) demostraron que la incorporación de un 1,0 % de extracto de yerba mate en queso fresco aumentó notablemente los compuestos fenólicos totales y la actividad antioxidante, con incrementos de 2,3 veces en CPT, 22,9 veces en CA_{DPPH} y 2,7 veces en CA_{ABTS} en comparación con la muestra control. Asimismo, Budin y col (2025) reportaron un aumento significativo en el contenido de compuestos fenólicos totales en barras de cereal adicionadas con extractos de yerba mate, observando un incremento del 139,8 % al usar el extracto encapsulado y del 87,5 % con extracto sin encapsular, en comparación con las barras sin adición de extracto.

Figura 4.28(a) Valores de CPT (mg GAE/ mL); (b) CA_{ABTS} (mg Eq Trolox /mL) y (c) CA_{DPPH} (mg Eq Trolox /mL), flavonoides (F) (mg Eq Catequina / mL), determinados en JNUV-C/T (■), EYM-JNUV-C/T (■) y GD (■)

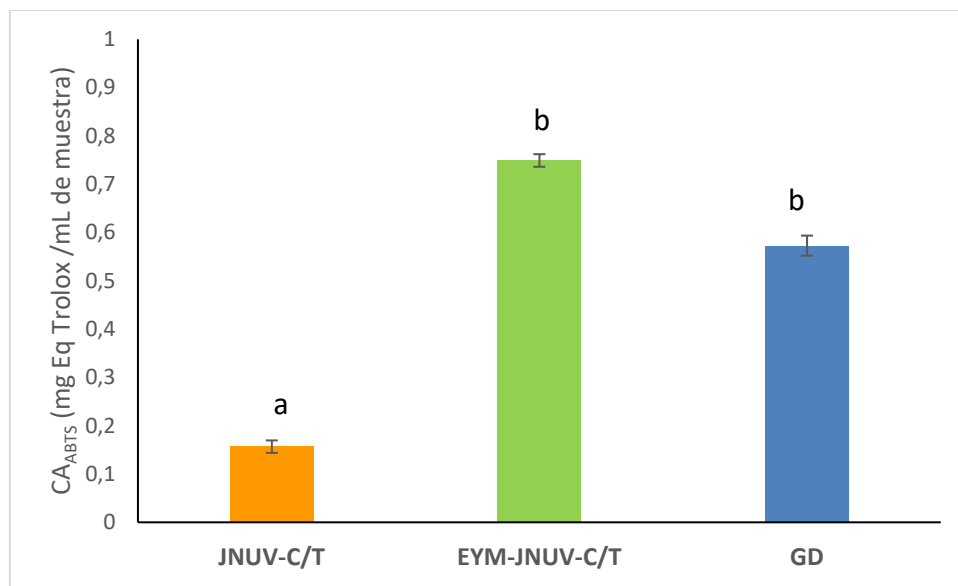
a)



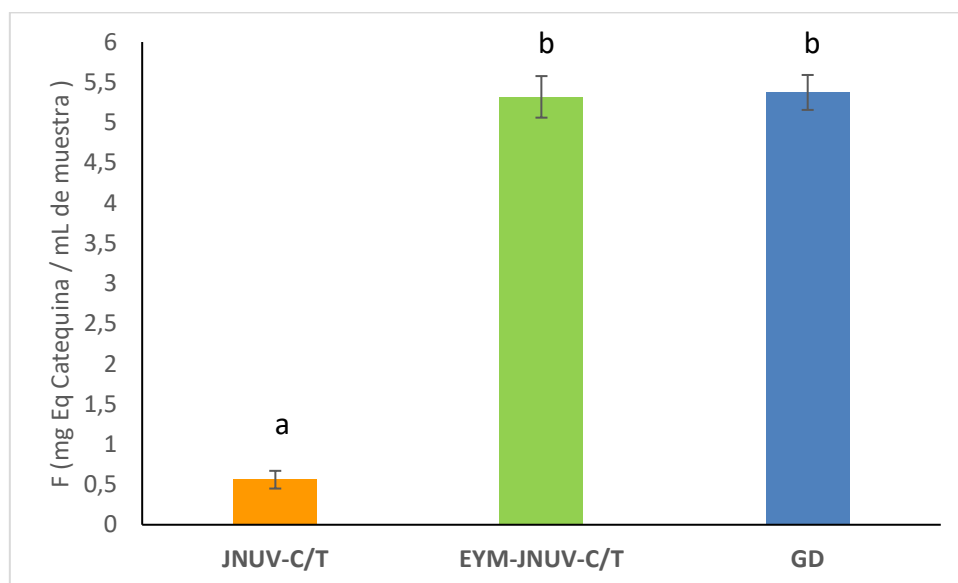
b)



c)



d)



4.15.2 Determinación por HPLC de compuestos bioactivos

Como se mencionó en la **sección 3.20**, **GD** y **EYM-JNUV-C/T** fueron caracterizados en términos de concentraciones de los polifenoles más relevantes por tener efectos demostrados como beneficiosos para la salud (Walton y col. 2023; Płatkiewicz y col., 2024). Los compuestos medidos fueron teobromina, ácido clorogénico, cafeína y rutina.

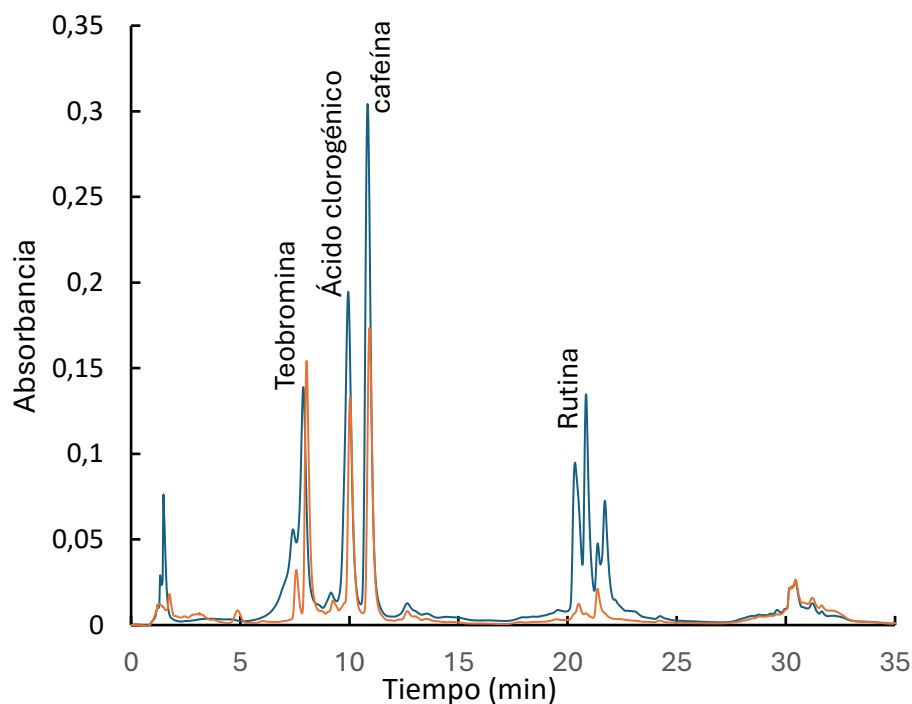
Como puede observarse en el cromatograma obtenido (**Figura 4.29**), se identificaron cuatro picos principales con los siguientes tiempos de retención: teobromina ($7,4 \pm 0,2$ min), ácido clorogénico ($9,7 \pm 0,1$ min), cafeína ($10,4 \pm 0,3$ min) y rutina ($19,7 \pm 0,3$ min). Tanto **GD** como **EYM-JNUV-C/T** presentaron un perfil similar, diferenciándose únicamente en el área de los picos, lo que indica diferencias en la concentración de los compuestos analizados.

Las concentraciones más elevadas se observaron en **EYM-JNUV-C**, con valores de: teobromina ($0,282 \pm 0,05$ mg/mL), ácido clorogénico ($0,87 \pm 0,12$ mg/mL), cafeína ($0,447 \pm 0,02$ mg/mL) y rutina ($0,341 \pm 0,02$ mg/mL). En comparación, las concentraciones determinadas en **GD** fueron: teobromina ($0,271 \pm 0,03$ mg/mL), ácido clorogénico ($0,746 \pm 0,09$ mg/mL), cafeína ($0,401 \pm 0,01$ mg/mL) y rutina ($0,294 \pm 0,03$ mg/mL). Esta diferencia sugiere que el proceso de elaboración del gel, que incluye una etapa de calentamiento moderado, podría haber contribuido a la disminución parcial de algunos de estos compuestos bioactivos. No obstante, las concentraciones finales obtenidas se mantienen dentro del rango reportado en la literatura para matrices con extracto de yerba mate, lo cual resulta favorable desde el punto de vista nutricional.

En este sentido, la bibliografía da cuenta de una amplia variabilidad en las concentraciones de estos compuestos bioactivos, en función de las condiciones de extracción y procesamiento. Płatkiewicz y col. (2024) llevaron a cabo un análisis exhaustivo mediante cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas en tándem (LC-MS/MS) de infusiones de yerba mate elaboradas con agua caliente y fría. Estos autores identificaron que las infusiones calientes presentaron, en general, concentraciones más elevadas de compuestos bioactivos en comparación con las infusiones frías: la cafeína se encontró entre 10 y 31 $\mu\text{g/mL}$ en infusiones calientes, y entre 1,7 y 13 $\mu\text{g/mL}$ en frías; la teobromina, por su parte, mostró valores de 4,3 a 51

$\mu\text{g/mL}$ en bebidas calientes y de 1,3 a 27 $\mu\text{g/mL}$ en frías. En el caso de la rutina, se reportaron concentraciones entre 0,9 y 152 $\mu\text{g/mL}$ en infusiones calientes, y entre 0,4 y 72 $\mu\text{g/mL}$ en frías.

Figura 4.29 Cromatogramas por HPLC obtenido a 271 nm correspondientes a EYM-JNUV-C/T (—) y GD (—)



4.15.3 Propiedades reológicas

Las muestras de **GD** y gel comercial (marca **ei**) fueron caracterizados desde el punto de vista reológico según lo descrito en la **sección 3.23** con el objeto de comparación del gel desarrollado con los disponibles en el mercado.

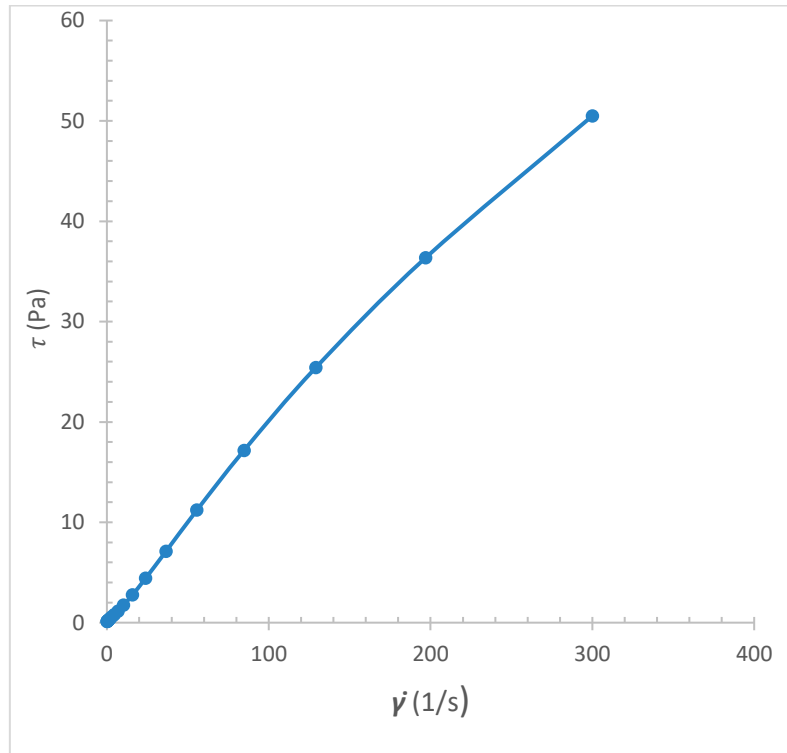
En la **Figura 4.30** se presentan las curvas de flujo correspondientes, las cuales muestran la relación entre el esfuerzo de corte (τ) y la velocidad de corte ($\dot{\gamma}$). GD presentó un comportamiento muy próximo al de un fluido newtoniano, mientras que el gel comercial **ei** evidenció un perfil claramente newtoniano, con una relación proporcional entre τ y $\dot{\gamma}$ (**Figura 4.30a-b**).

Los datos experimentales de ambas muestras fueron ajustados al modelo de la Ley de la Potencia (Ostwald-de Waele). En el caso del gel comercial (**ei**), el índice de comportamiento al flujo fue $n = 1 \pm 0,02$ (**Tabla 15**), lo que confirma su comportamiento newtoniano. Por su parte, **GD** presentó un índice de $n = 0,90 \pm 0,02$, valor cercano a 1, que indica un comportamiento levemente pseudoplástico, caracterizado por una ligera disminución de la viscosidad con el aumento de la velocidad de corte (**Figura 4.31**). En cuanto al índice de consistencia (K), ambas muestras exhibieron valores bajos, como se observa en la **Tabla 15**: $K = 0,36 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$ para **ei** y $K = 0,31 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$ para **GD** indicando una baja resistencia al flujo, característica deseable para su ingesta durante la actividad física.

En la **Figura 4.31** se presentan las curvas correspondientes al ensayo de viscosidad, las cuales permiten observar el comportamiento de ambos geles frente a distintos gradientes de velocidad de corte. El gel comercial (**ei**), al tratarse de un fluido newtoniano, mantuvo la viscosidad constante a lo largo de todo el ensayo, con un valor aproximado de $1 \text{ Pa}\cdot\text{s}$. Por el contrario, **GD** evidenció un comportamiento claramente pseudoplástico, con un marcado adelgazamiento por cizallamiento: la viscosidad aparente fue de $2,3 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ a bajas velocidades de corte ($0,1 \text{ s}^{-1}$), disminuyendo progresivamente hasta alcanzar $0,28 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ a 100 s^{-1} . Este comportamiento observado en **GD** se encuentra en concordancia con lo reportado por Theocharidou y col. (2021), quienes evaluaron dispersiones de goma guar ($0,25\text{--}1,5 \text{ g}\cdot\text{dL}^{-1}$) y reportaron una marcada disminución de la viscosidad aparente con el aumento de la velocidad de corte, entre $166 - 0,05 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ a $0,1 \text{ s}^{-1}$ y entre $0,23 - 0,009 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ a 10^3 s^{-1} , en función de la concentración utilizada.

Figura 4.30 a) Curvas de flujo experimentales (esfuerzo de cizalla, τ , versus velocidad de deformación, $\dot{\gamma}$, para GD (a) y gel comercial “energía infinita – ei (b)

a)



b)

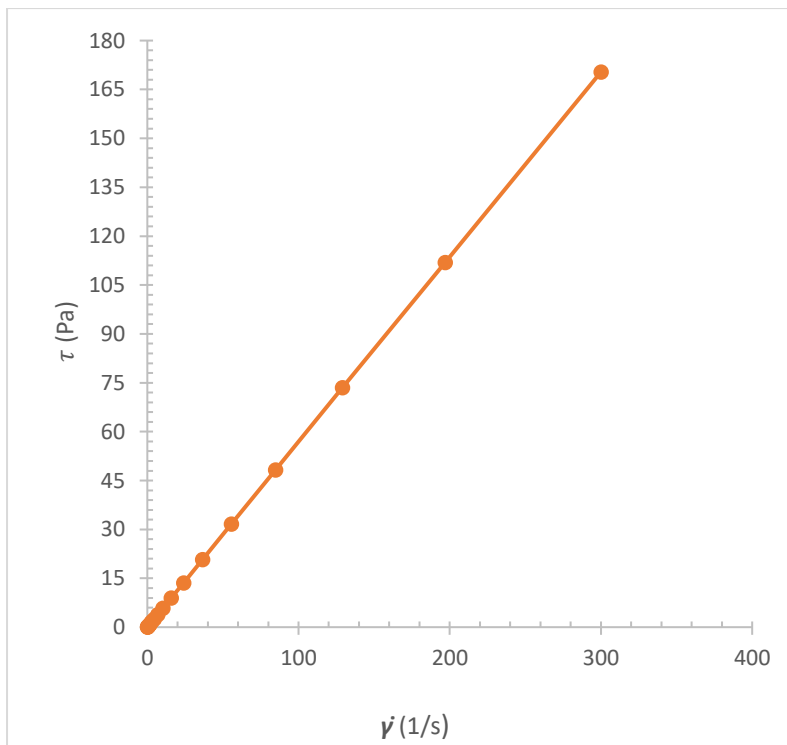
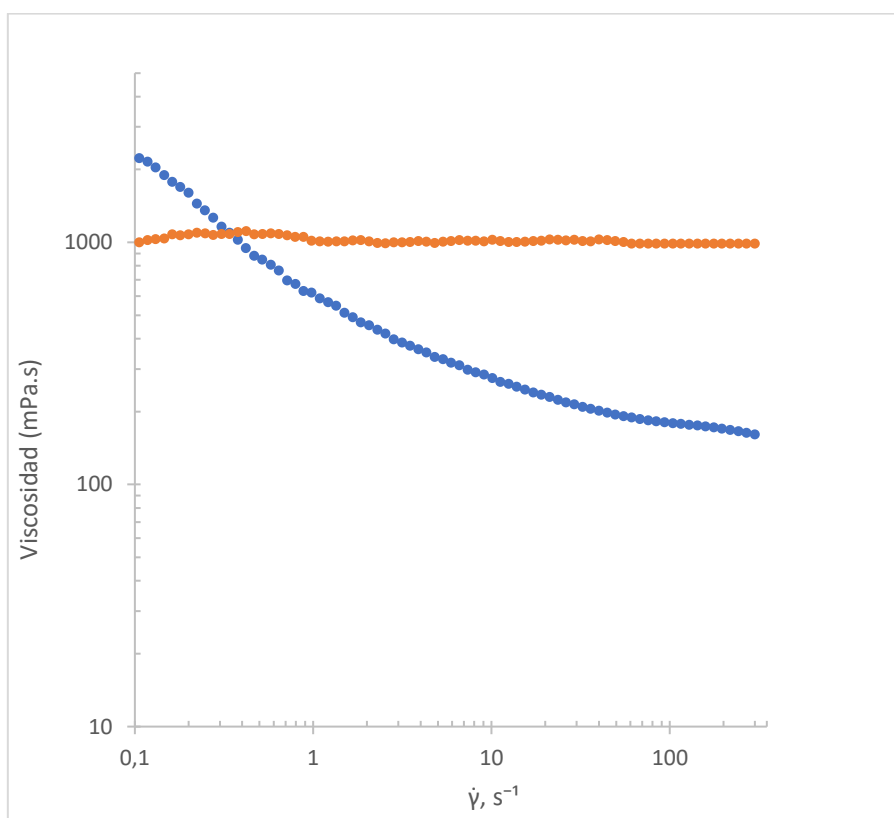


Tabla 15 Valores promedio de los parámetros del modelo de Ostwald

Modelo de Ostwald ($R^2_{adj} = 0,99$)			
Muestra	$K \text{ (Pa.s}^n\text{)}$	n	p-valor
GD	$0,31 \pm 0,03$	$0,90 \pm 0,02$	$<0,0001$
ei®	$0,36 \pm 0,01$	$1,00 \pm 0,01$	$<0,0001$

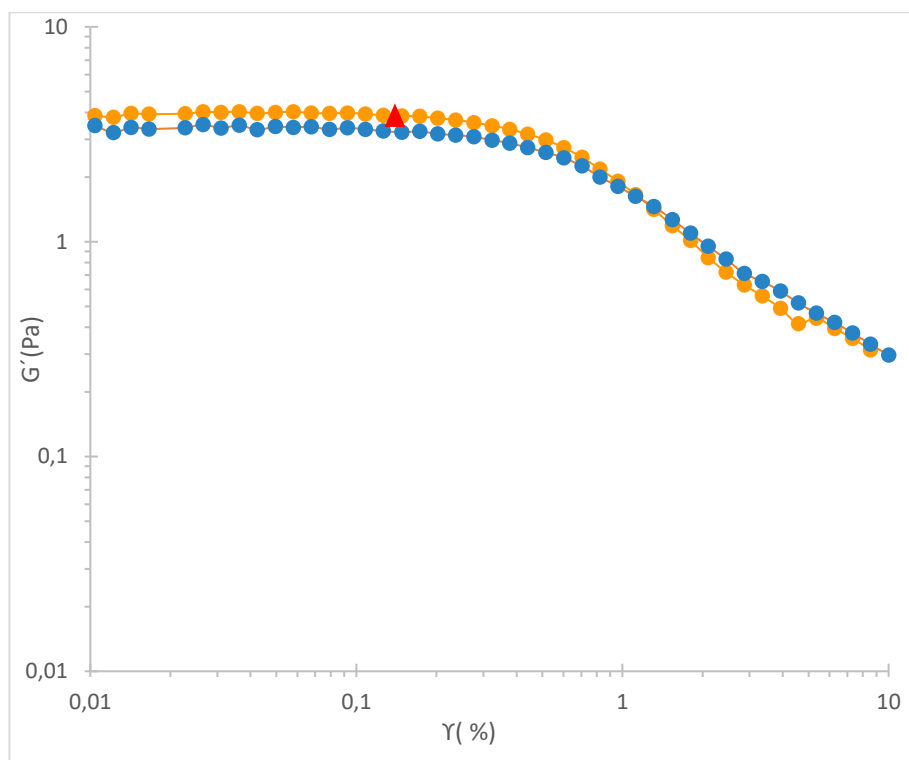
Figura 4.31 Viscosidad vs. velocidad de deformación ($\dot{\gamma}$, s^{-1}) del Gel Deportivo (GD ●) y comercial (marca ei ●)



Por otra parte, se evaluó el comportamiento viscoelástico de los sistemas estudiados mediante ensayos oscilatorios. En primer lugar, se realizó un barrido de amplitud (**sección 3.23.2**) con el objetivo de determinar la región de viscoelasticidad lineal (RVL), dentro de la cual la respuesta del material se mantiene independiente de la

magnitud de la deformación aplicada (**Figura 4.32**). Se identificó un valor de deformación del 0,125 % dentro de dicha región, el cual se empleó como para el posterior ensayo de barrido en frecuencia.

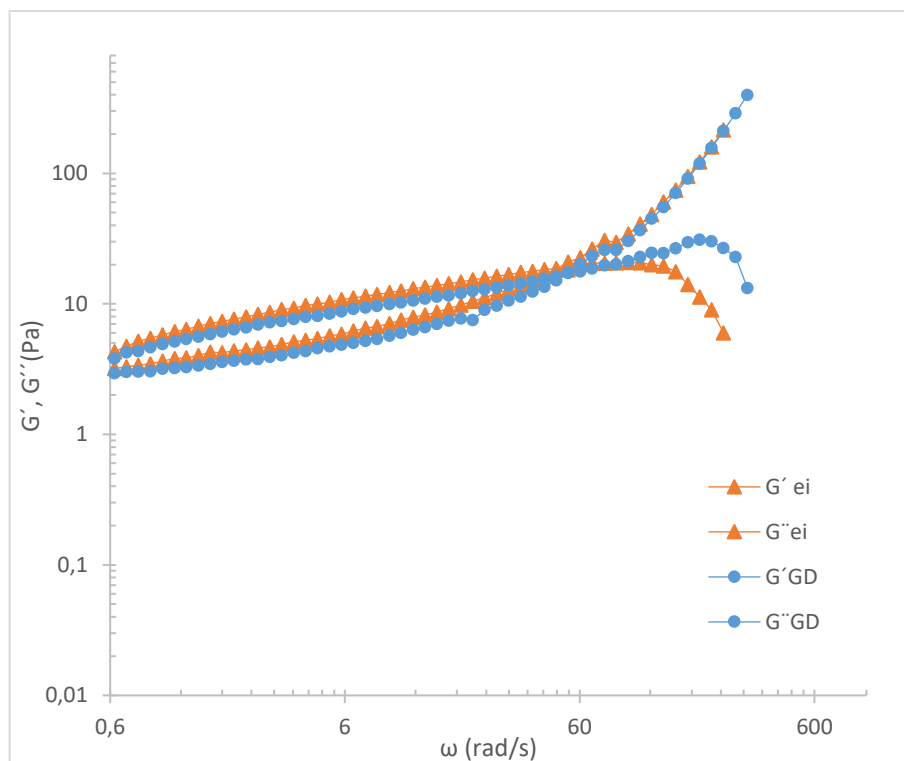
Figura 4.32 Barrido de amplitud con control de la deformación de cizalla GD (●) y gel comercial (●); valor limite recomendado de RVL (▲).



En la **Figura 4.33** se muestran los resultados del barrido en frecuencia correspondiente a ambos geles. Se observó que el módulo de almacenamiento (G') fue superior al módulo de pérdida (G'') en la mayor parte del espectro evaluado, lo que indica que el material almacena más energía elásticamente que la que disipa como calor, lo cual es característico de un comportamiento predominantemente sólido o elástico, típico de los geles estructurados (Mezger y col., 2020). El cruce entre ambos módulos, identificado a $53,7 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$, señala el umbral a partir del cual comienza a predominar la componente viscosa de la respuesta del sistema. Por encima de esta frecuencia, se evidenció un comportamiento líquido, reflejado en la condición $G'' > G'$.

Los valores obtenidos para G' y G'' se ubicaron entre 3 y 11 Pa. Los mismos se encuentran en concordancia con lo reportado por otros autores para geles similares. Quinzio y col. (2018) para soluciones de goma guar (0,5–1 % p/p), cuyos valores oscilaron entre 0,1 y 15 Pa, dependiendo de la concentración del hidrocoloide. El comportamiento reológico observado resulta adecuado para la aplicación prevista, ya que una consistencia semisólida débil, que fluye bajo esfuerzo facilita tanto la manipulación del producto como ingesta fácil, sin esfuerzo (Ben y col. 2020). Este tipo de textura, que se adapta a la dinámica del movimiento durante el uso, representa un atributo sensorial deseable en geles energéticos.

Figura 4.33 Espectro mecánico del gel deportivo (GD) y gel comercial



4.16 Estudios de almacenamiento

4.16.1 Calidad microbiológica

Tal como se detalla en la **sección 3.24.1**, el estudio de la estabilidad microbiológica implicó la determinación de la microbiota nativa en diferentes puntos estratégicos del proceso de elaboración del gel deportivo (**GD**). Se evaluaron las poblaciones de aerobios mesófilos (**AM**), mohos y levaduras (**M y L**), y coliformes totales en: el jugo de naranja sin tratar (**JN**), el jugo tratado mediante luz UV-C asistida por calor moderado (**JNUV-C/T**), el extracto de yerba mate en jugo tratado (**EYM-JNUV-C/T**), y el **GD** inmediatamente después de su obtención.

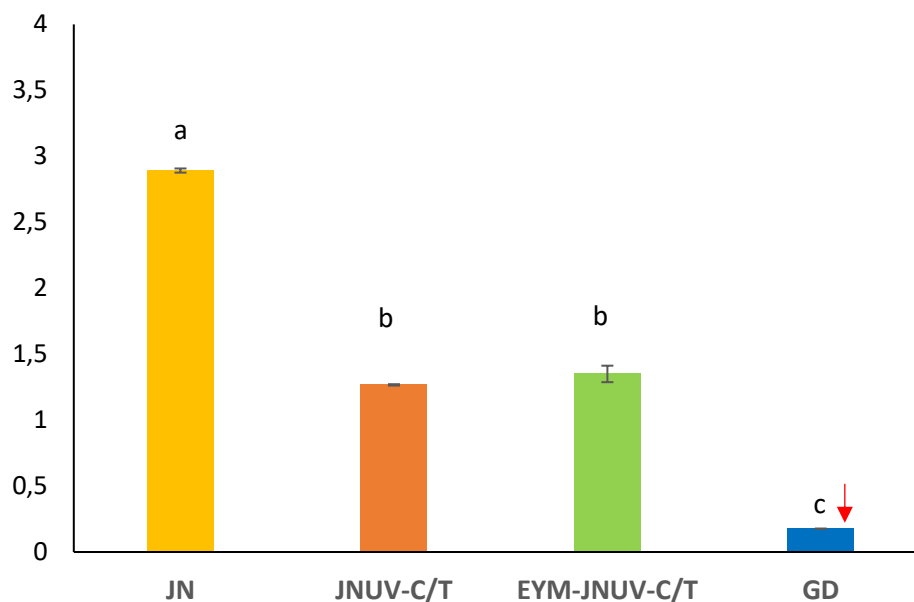
La **Figura 4.34** muestra el recuento microbiano ($\log N$) correspondiente a cada una de estas etapas. En primer lugar, se observó que **JN** presentó cargas iniciales relativamente bajas, con 780 UFC/mL para **AM** y 570 UFC/mL para **M y L**. Luego del tratamiento UV-C asistido por calor moderado (**JNUV-C/T**), ambas poblaciones disminuyeron significativamente ($P < 0,05$), alcanzando 19 UFC/mL para **AM** y 57 UFC/mL para **M y L**, lo que representa una reducción de 1,6 y 0,96 ciclos logarítmicos, respectivamente. Además, se logró la inactivación completa de coliformes totales (datos no mostrados).

Por otro lado, la presencia de compuestos de yerba mate extraídos en el jugo (**EYM-JNUV-C/T**) no representó una fuente de contaminación microbiana, ya que no se observaron aumentos significativos en el recuento respecto a **JNUV-C/T**. Posteriormente, tras la elaboración del gel deportivo (**GD**), se registró una disminución adicional de aproximadamente un 90 % en el recuento microbiano con relación a la carga presente en el extracto **EYM-JNUV-C/T**.

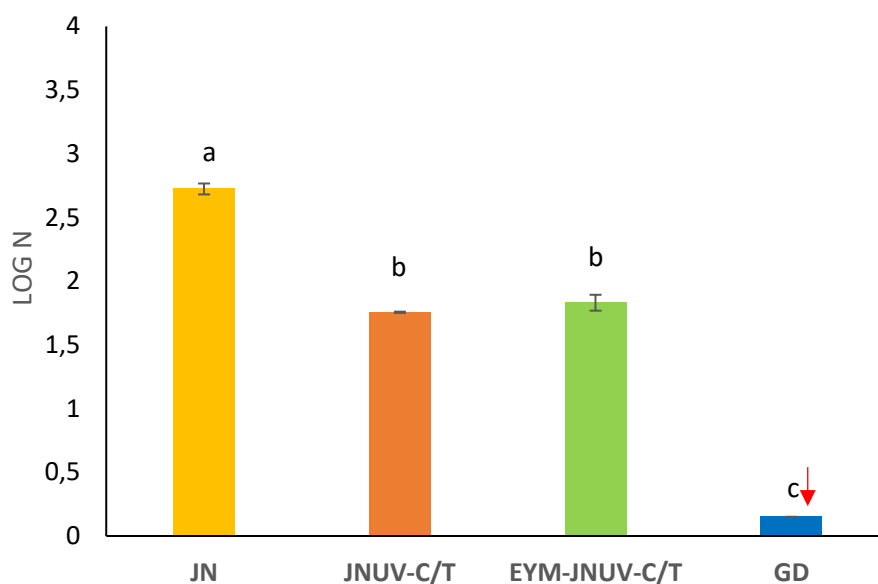
Durante el almacenamiento del **GD** durante 25 días, no se detectó crecimiento de ninguna de las poblaciones microbianas evaluadas (datos no mostrados), lo que evidencia la efectividad del tratamiento aplicado, así como el adecuado cumplimiento de buenas prácticas de manufactura y condiciones asépticas durante el llenado y envasado del producto.

Figura 4.34. Recuento microbiano (log N) correspondiente a **JN** sin tratamiento (■) o inmediatamente después del proceso de preservación, **JNUV-C/T** (■), luego de la obtención de **EYM-JNUV-C/T** (■) y luego de la elaboración de **GD** (■). (a) aerobios mesófilos. (b) mohos y levaduras. Diferentes letras colocadas por encima de las barras de error (I) indican una diferencia significativa ($P < 0,05$).

a)



b)



Por último, en relación con el estudio de las superficies de la envasadora-selladora y del interior de los envases tipo pouch, el análisis reveló que tanto la barra de

sellado superior-inferior, como el interior de los envases presentaron recuentos <1 UFC/cm² para bacterias viables, mohos y levaduras, lo que indica condiciones asépticas y acordes con los estándares de higiene establecidos para zonas limpias. Por lo tanto, se sugiere continuar con la metodología de asepsia aplicada al equipo controlado, haciendo especial hincapié en las barras termoselladoras, y programar controles microbiológicos previos al uso a fin de asegurar el cumplimiento sostenido de los estándares.

4.16.2 Calidad fisicoquímica

Se midieron diversos parámetros de calidad fisicoquímica (pH, color, turbidez, SST, CPT, CA_{ABTS} y CA_{DPPH}, flavonoides (F), y formación de HMF en GD elaborado a partir de **EYM-JNUV-C/T**, según lo detallado previamente en la sección 3.24.2.

Según el análisis de varianza (ANOVA), no se observaron cambios significativos ($p < 0,05$) en los parámetros fisicoquímicos del gel deportivo (**GD**) durante el almacenamiento. Como se muestra en la Tabla 16, los valores de pH (día 0/25) fueron $3,90 \pm 0,03$ y $3,89 \pm 0,01$, respectivamente; los sólidos solubles totales (SST) (día 0/25) se mantuvieron en $52,9 \pm 0,02$ y $53,0 \pm 0,12$ °Brix; y la turbidez (día 0/25) presentó valores de 1053 ± 20 y 1100 ± 6 NTU.

En cuanto a los parámetros de color, los valores de L* (día 0/25) fueron $22,7 \pm 0,17$ y $23,0 \pm 0,21$; a* (día 0/25) varió entre $4,02 \pm 0,19$ y $4,04 \pm 0,15$; y b* (día 0/25) entre $21,4 \pm 0,12$ y $22,1 \pm 0,19$. Al representar las coordenadas de color en el diagrama de cromaticidades CIE x-y (**Figura 4.35**), se observó que los puntos correspondientes a las muestras de GD se solapan a lo largo del tiempo, indicando que no hubo diferencias perceptibles en el color del producto durante el almacenamiento. De forma similar, los análisis de capacidad antioxidante y compuestos bioactivos no mostraron variaciones significativas a lo largo del almacenamiento. Los valores obtenidos en los días 0 y 25 fueron: CA_{DPPH} = $2,47 \pm 0,11$ / $2,33 \pm 0,10$ mg Eq Trolox /mL, CA_{ABTS} = $0,53 \pm 0,01$ / $0,48 \pm 0,01$ mg Eq Trolox /mL, CPT = $2,54 \pm 0,04$ / $3,03 \pm 0,01$ mg GAE /mL, F = $5,37 \pm 0,10$ / $5,07 \pm 0,09$ mg Eq Catequina /mL (**Tabla 16**). Estos resultados indican que el producto, envasado en doypack y almacenado bajo condiciones controladas de temperatura, mantiene su estabilidad fisicoquímica durante un período de 25 días.

Por otro lado, se determinó la formación de HMF en GD, considerando que su elaboración parte de una matriz tratada con luz UV-C y que se incorporan azúcares susceptibles de sufrir transformaciones durante un almacenamiento prolongado o inadecuado (Oral y col., 2012; Ros-Polski y col., 2016). En la **Tabla 16** se observa que, al inicio del almacenamiento, GD presentó un contenido de $5,73 \pm 0,10$ mg HMF/L, mientras que a los 25 días se registró un valor de $5,76 \pm 0,06$ mg HMF/L. Estos resultados indican que el contenido de HMF se mantuvo estable durante el período de almacenamiento. Asimismo, los valores registrados se mantuvieron por debajo del límite establecido por la Asociación de la Industria de Jugos y Néctares de Frutas y Verduras para la Unión Europea (AIJN), que es de 20 mg HMF/L (AIJN, 2001; Li y col. 2019).

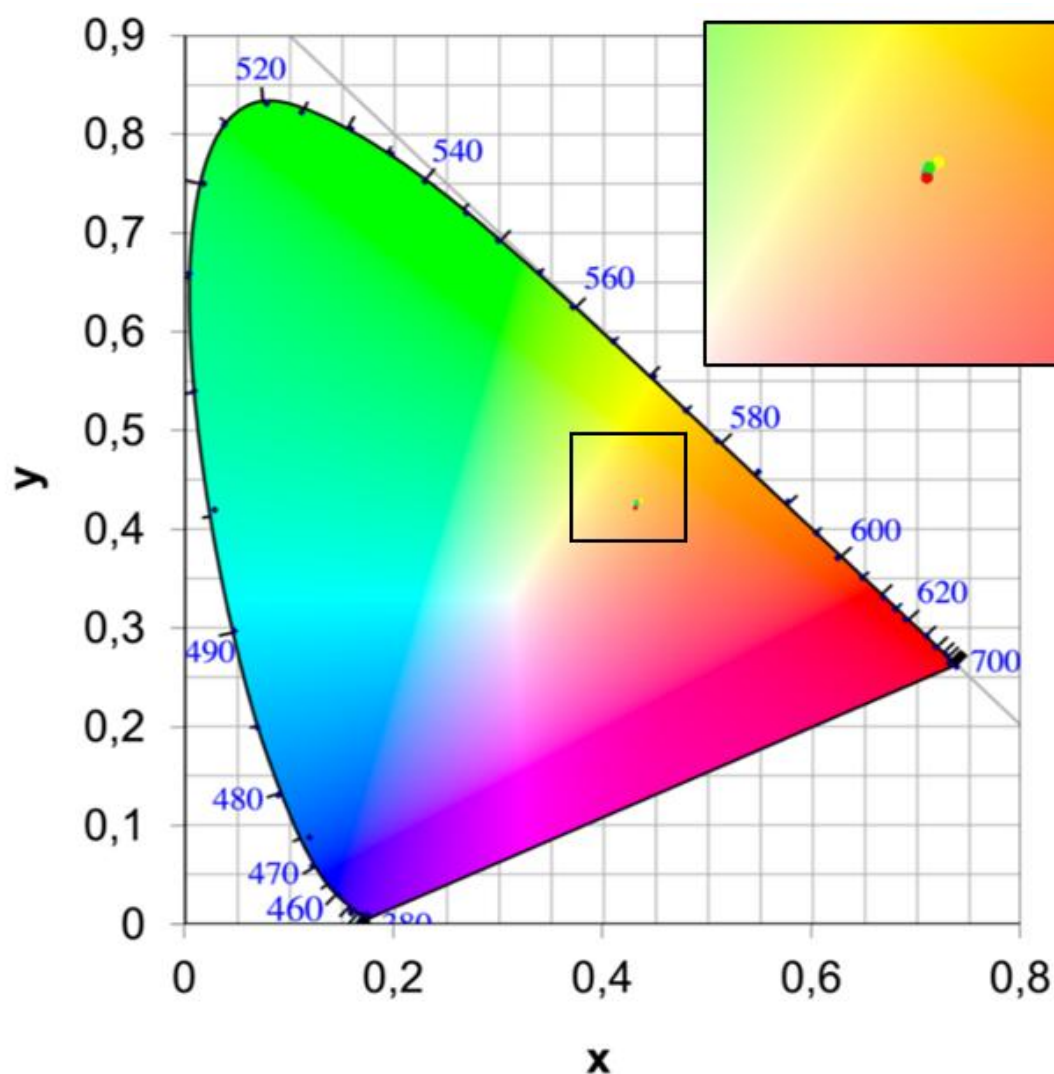
4.16.3 Índice de estabilidad

El índice de estabilidad de Turbiscan (TSI) es un valor adimensional que permite cuantificar de forma rápida y robusta la evolución de los fenómenos de desestabilización en una muestra. En general, un aumento en la pendiente y en el valor de la curva de TSI en el tiempo indica una disminución de la estabilidad del sistema, lo que se traduce en una separación más rápida de las fases (Acosta y col., 2020). Tal como se observa en la **Figura 4.36**, el valor de TSI aumentó progresivamente con el tiempo de almacenamiento de **GD**, evidenciando un incremento significativo luego de 5 días, seguido de un ascenso más lento hasta alcanzar un valor final de TSI de 8,8 a los 30 días. Estos resultados indican que **GD** presentó inestabilidad durante el almacenamiento, atribuida a la migración de partículas y posterior sedimentación.

Tabla 16. Valores de pH, SST, turbidez y parámetros de color del espacio CIELAB L* a* b*, contenido de polifenoles totales (CPT), capacidad antioxidante por los métodos de DPPH y ABTS, flavonoides (F), HMF durante el almacenamiento de **GD** (25 días, 20°C). Letras iguales la ausencia de diferencias significativas (p<0,05), según el análisis de varianza de un factor (ANOVA) con prueba post hoc de Tukey (HSD).

Tiempo (Día)	pH	SST (° Brix)	Turbidez (NTU)	L*	a*	b*	CPT (mg GAE/mL)	CA _{DPPH} (mg Eq Trolox/mL)	CA _{ABTS} (mg Eq Trolox/mL)	F (mg Eq Catequina /mL)	HMF (mg HMF/L)
GD0	3,97 ^a (0,02)	52,9 ^a (0,02)	1053 ^a (15)	22,70 ^a (0,17)	4,02 ^a (0,19)	21,43 ^a (0,12)	2,55 ^a (0,04)	2,48 ^a (0,11)	0,53 ^a (0,01)	5,38 ^a (0,12)	5,37 ^a (0,10)
GD5	3,88 ^a (0,01)	53,0 ^a (0,02)	1045 ^a (1)	22,35 ^a (0,03)	3,89 ^a (0,14)	21,46 ^a (0,03)	2,44 ^a (0,02)	2,83 ^a (0,06)	0,54 ^a (0,01)	4,98 ^a (0,10)	5,74 ^a (0,16)
GD10	3,88 ^a (0,01)	53,1 ^a (0,02)	1206 ^a (15)	21,80 ^a (0,01)	4,14 ^a (0,01)	20,57 ^a (0,06)	2,47 ^a (0,10)	2,26 ^a (0,03)	0,47 ^a (0,02)	5,86 ^a (0,11)	4,68 ^a (0,05)
GD15	3,86 ^a (0,01)	53, 1a (0,02)	1145 ^a (7)	23,44 ^a (0,27)	3,75 ^a (0,11)	22,41 ^a (0,28)	2,60 ^a (0,01)	2,20 ^a (0,03)	0,51 ^a (0,03)	4,73 ^a (0,03)	5,78 ^a (0,20)
GD20	3,91 ^a (0,02)	53,2 ^a (0,10)	1139 ^a (2)	23,01 ^a (0,11)	4,05 ^a (0,11)	22,96 ^a (0,11)	2,55 ^a (0,02)	2,10 ^a (0,01)	0,58 ^a (0,02)	4,83 ^a (0,05)	5,38 ^a (0,10)
GD25	3,89 ^a (0,01)	53,1 ^a (0,12)	1100 ^a (6)	23,01 ^a (0,21)	4,04 ^a (0,15)	22,96 ^a (0,19)	2,45 ^a (0,03)	2,33 ^a (0,10)	0,48 ^a (0,01)	5,08 ^a (0,08)	5,07 ^a (0,09)

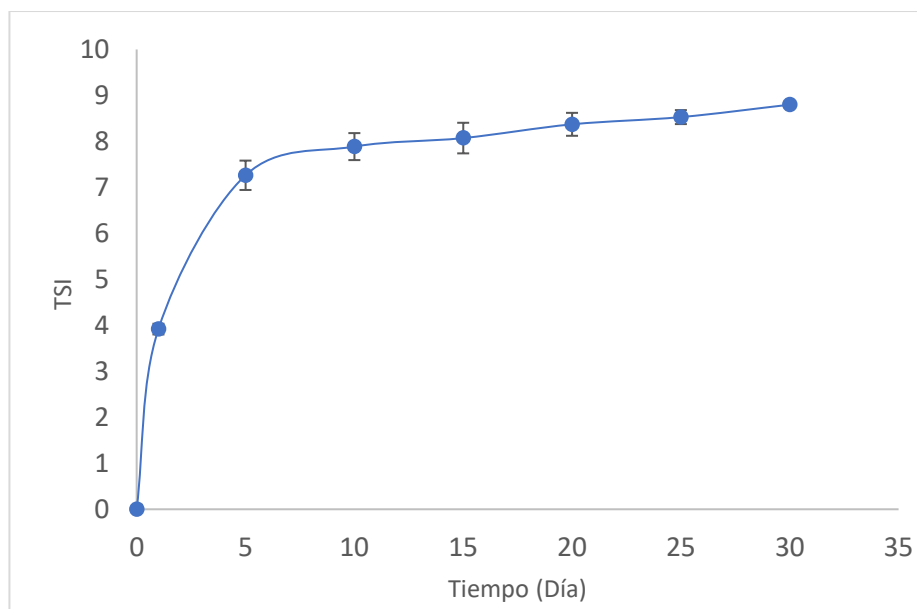
Figura 4.35. Evolución del color del gel deportivo sobre el diagrama de cromaticidades CIE



Esta desestabilización podría deberse a interacciones entre los componentes del sistema, tales como el extracto de yerba mate (EYM), los hidrocoloides y los azúcares, cuyos efectos combinados sobre la viscosidad y la densidad de las partículas pueden favorecer la sedimentación, de acuerdo con lo establecido por la ley de Stokes. No obstante, esta inestabilidad no compromete la funcionalidad del producto en términos de su capacidad antioxidante ni de sus propiedades bioactivas. Además, los geles deportivos suelen ser agitados (mediante masajeo del pouch) antes del consumo, lo que permite restablecer su homogeneidad. A diferencia de otros productos, como jugos o bebidas envasadas en recipientes transparentes donde la separación de fases es

fácilmente perceptible y pudiera ser rechazada, **GD** se envasó en pouches tipo doypack con estructura multicapa que incluyen una barrera de aluminio metalizado. Dado que el contenido no es visible, la posible sedimentación no resulta apreciable a simple vista.

Figura 4.36 Índice de estabilidad de Turbiscan en función del tiempo (día)



4.17 Aspectos sensoriales

4.17.1 Prueba virtual: Estudio conjunto

Tal como se describió en la **sección 3.25.2**, se realizó un estudio preliminar que consistió en investigar el interés de consumidores deportistas en un prototipo gel deportivo, elaborado con ingredientes naturales y procesado mediante métodos menos severos.

Se llevó a cabo un MANCOVA para detectar si había diferencias en la percepción de saludable, voluntad de probar, importancia del color, sabor, procesado amigable, natural y textura según la información brindada, utilizando los covariables géneros, edad, frecuencia de consumo de frutas/verduras y actividad física. Las covariables resultaron no significativas, con lo cual los atributos no variaron según los segmentos poblacionales. Además, se realizó un MANOVA y se obtuvo que, la voluntad de probar ($3,98 \pm 1,00$) y percepción de saludable ($3,96 \pm 0,99$) para el claim 1 (C1) fueron

significativamente menores que cuando se brindó información de la ausencia de conservantes (claims 2, 3 y 4); en estos casos, la voluntad de probar tomó valores entre 4,18 a 4,25 y para percepción de saludable los valores fueron entre 4,28 a 4,43 (**Tabla 4.16**). Esto refleja que los consumidores mostraron una mayor intención de probar y percepción de saludable al conocer que el producto no contenía conservantes químicos. Mientras que la información restante no aumentó de manera significativa la puntuación de estos dos atributos, respecto al claim 2.

Tabla 4.16. Valores medios y desviaciones estándar de los de los atributos evaluados en el prototipo gel deportivo y resultados significativos del MANOVA en los parámetros evaluados

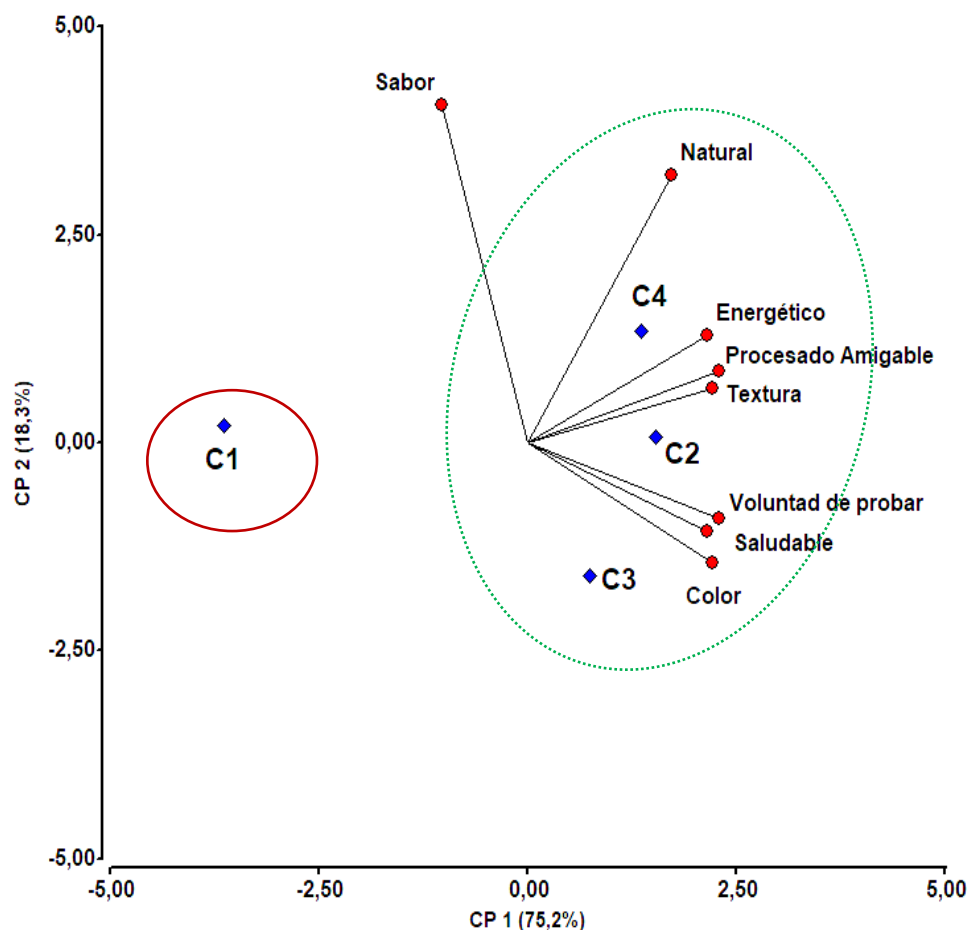
Claim	Percepción de saludable	Voluntad de probar	Color	Sabor	Textura	Procesado amigable	Natural	Energético	DS*
C1	3,96±0,99	3,98±1,00	3,71±0,83	4,26±0,90	3,93±0,83	4,00±1,00	4,44±0,95	4,50±0,89	A
C2	4,28±0,83	4,25±0,88	4,06±0,90	4,12±0,90	4,20±0,94	4,34±0,86	4,74±0,86	4,64±0,62	B
C3	4,43±0,78	4,21±1,00	4,16±0,88	4,08±0,90	4,23±0,98	4,21±0,90	4,48±0,90	4,56±0,80	B
C4	4,38±0,83	4,18±1,00	4,07±0,99	4,28±0,88	4,34±0,84	4,31±0,90	4,81±0,50	4,61±0,71	B

DS*: diferencia significativa. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Asimismo, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) a modo de analizar las relaciones espaciales entre la información provista por los distintos claims y las variables percepción de saludable, voluntad de probar, color, sabor, natural, procesado amigable, textura y energético del gel deportivo. La **Figura 4.36** muestra el gráfico bidimensional resultante, con un CCC de 0,99, indicando que se alcanzó una reducción adecuada con el análisis. Las dos primeras componentes principales (CP1 y CP2) explicaron conjuntamente el 95 % de la variabilidad. La percepción de saludable, voluntad de probar, natural, textura, procesado amigable y energético, se asociaron positivamente con la CP1, mientras que el color y sabor negativamente. Por su parte, el

atributo energético mostró una relación positiva con la CP2. Los consumidores al tener conocimiento sobre la información de los claims 2, 3 y 4, puntuaron el producto con mayores valores de percepción de saludable, voluntad de probar, natural, textura, procesado amigable y energético, respecto a la información provista en C1. En contraste, en ausencia de la información proporcionada por los *claims* 2, 3 y 4, los panelistas asignaron mayor relevancia al sabor.

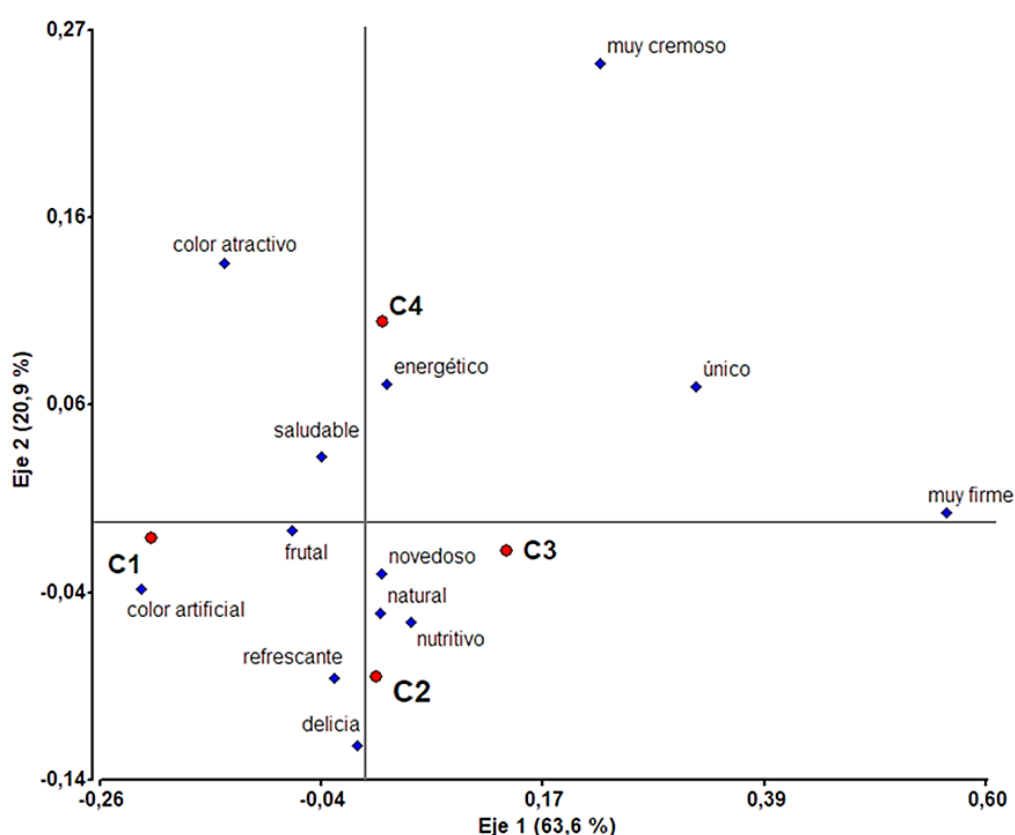
Figura 4.36 Gráfico bidimensional del Análisis de Componentes Principales (APC) ilustrando la relación de los puntajes asignados a cada atributo del gel deportivo y los diferentes claims



Para explorar las asociaciones entre las cuatro declaraciones y los términos seleccionados por los consumidores, se aplicó un análisis de correspondencia (AC) a partir de la tabla de frecuencia con que fue mencionado cada término en la pregunta CATA. El gel deportivo frutal fue descrito entre 1 y 5 términos por los consumidores, siendo los más frecuentes: frutal, natural, novedoso, refrescante, energético. Por el

contrario, los términos menos utilizados fueron saludable, color atractivo. La **Figura 4.37** presenta el gráfico resultante de AC, cuyas dos primeras dimensiones representaron el 67,9 % y 24,4 % de la varianza de los datos, respectivamente. Se puede visualizar que el C1 se posicionó con valores negativos en el eje 1 y positivos en el eje 2, siendo descrita principalmente por los atributos *color artificial, frutal, refrescante y delicioso*. Al evaluar el gel con el *claim 4*, se ubicó en el cuadrante positivo de ambos ejes y se definió mediante términos como *energético, único, muy cremoso y firme*. La introducción de la afirmación "*yerba mate como fuente de cafeína natural*" evocó inmediatamente el concepto de *energético* en los panelistas. Por último, las evaluaciones junto con los *claims 2 y 3* mostraron valores positivos en ambos ejes y estuvieron caracterizadas por los atributos *novedoso, natural y nutritivo*.

Figura 4.37 Bi-plot del análisis de correspondencias, que representa la frecuencia de mención de términos para los 4 Claims evaluados a partir de una lista incluida en el cuestionario CATA. Gel deportivo a base de jugo de naranja * con cafeína de fuente vegetal, como energizante natural (Claim 1, **C1**); Gel deportivo a base de jugo de naranja. * Con cafeína de fuente vegetal, como energizante natural. *Sin conservantes químicos. (Claim 2, **C2**); Gel deportivo a base de jugo de naranja. * Con cafeína de fuente vegetal, como energizante natural. *Sin conservantes químicos. *Con espesantes de fuente natural *Sin procesamiento térmico. (Claim 3, **C3**); Gel deportivo a base de jugo de naranja. * Con yerba mate que aporta cafeína, como energizante natural. *Sin conservantes químicos. *Con espesantes de fuente natural *Sin procesamiento térmico. (Claim 4, **C4**).



4.17.2 Perfil de emociones

Como se detalló previamente (**sección 4.25.3**), se realizó un estudio sensorial en el que consumidores deportistas evaluaron **GD** bajo tres condiciones sensoriales: ciega (C), esperado (E), e informada (I), con el objetivo de identificar cómo cambia la aceptabilidad global y las emociones evocadas durante su consumo de **GD** en la

actividad deportiva. La condición esperada (E) fue la única sesión que solo se realizó sin consumo de **GD** y en forma digital.

Los resultados del análisis de varianza revelaron un efecto significativo de la condición de evaluación ($F_{(1,52)} = 5,85$, $p < 0,05$) sobre las puntuaciones de aceptabilidad global de **GD**.

La **Tabla 4.17** muestra el efecto de las expectativas sobre el puntaje hedónico del gel deportivo, evidenciando una disconfirmación positiva, dado que la aceptabilidad global en la evaluación a ciegas fue superior a la esperada ($E - C < 0$). Asimismo, la degustación con información (condición informada = I) influyó significativamente en el puntaje hedónico del gel, como lo indica la diferencia entre la valoración informada y la evaluación a ciegas ($I - C > 0$). La aceptación general fue mayor cuando los consumidores conocían ciertos beneficios del producto, como su capacidad antioxidante y la presencia de ingredientes específicos. Esto sugiere que la información disponible durante la prueba favoreció una mejor percepción del producto.

Tabla 4.17 Puntuaciones medias de agrado y desviación estándar (D.E.) para **GD** evaluado por los consumidores en las condiciones: a ciegas(C), esperado (E) e informado (I) (con escala de 9 puntos), junto con las diferencias entre los puntajes promedio ($n = 45$). **I-C** representa la diferencia entre el agrado en la condición informada y la condición a ciegas; **E-C** indica la diferencia entre el agrado esperado y el agrado en la condición a ciegas.

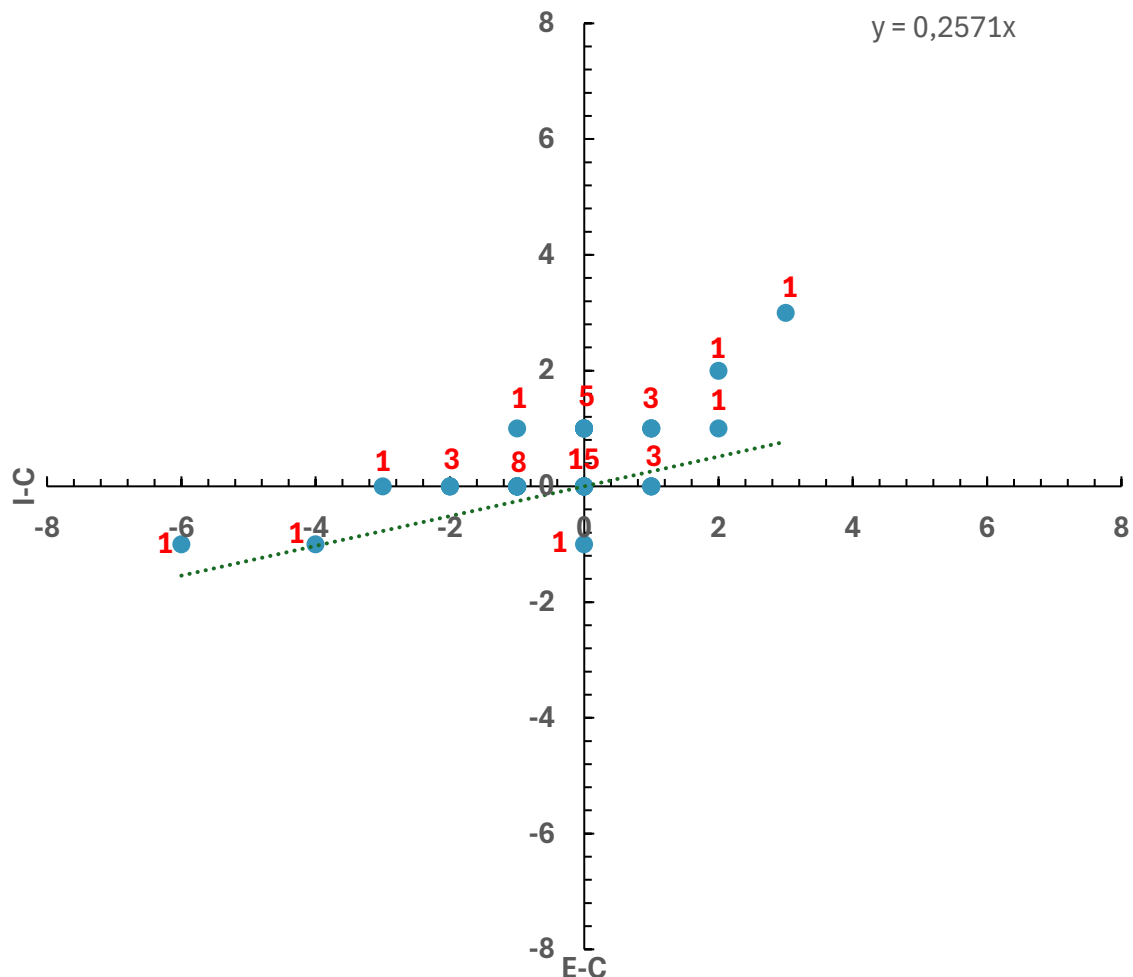
C	E	I	E-C	I-C
7,4±1,2 ^a	7,0±1,2 ^b	7,7±0,80 ^c	-0,3±0,70*	0,3±0,80**

^{a,b,c} Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). Los símbolos * y ** indican diferencias significativas entre los puntajes de agrado a niveles de $p \leq 0,05$

Por otro lado, la **Figura 4.38** muestra la regresión lineal entre la diferencia hedónica informada y ciega ($I - C$) y el grado de disconfirmación ($E - C$) para cada sujeto. La pendiente de la ecuación de regresión fue positiva ($Y = 0,26x$), lo que indica un efecto de asimilación por parte de los consumidores deportistas, es decir, cuando la preferencia

hedónica se desplaza en la dirección de las expectativas (esperado). De acuerdo con estudios previos, a través de este análisis, es posible determinar si la asimilación es completa o incompleta. Una pendiente cercana a 1 sugiere una asimilación completa, es decir, que el producto se percibe de acuerdo con las expectativas previas y que la información proporcionada tuvo un impacto positivo sobre el agrado. En cambio, una pendiente entre 0 y 1 ($0 < (I - C/E - C) < 1$) indica una asimilación incompleta (Caporale y Monteleone, 2004; Proserpio y col., 2020). En este sentido, como se observa en la **Figura 4.38**, aunque la pendiente obtenida fue positiva, su valor bajo revela una asimilación incompleta. Esto sugiere que la discrepancia entre la preferencia esperada y la evaluación a ciegas no tuvo un impacto positivo en la percepción del producto informado, por lo que las características sensoriales continúan siendo determinantes clave en la aceptación del gel deportivo. Según Spinelli y col. (2015), las etiquetas pueden generar expectativas de agrado mayores o menores en comparación con el producto evaluado a ciegas. En consecuencia, la aceptación global de un producto se verá principalmente influenciada por las características sensoriales percibidas, más que por la percepción de la información, lo cual solo refuerza un desempeño ya positivo.

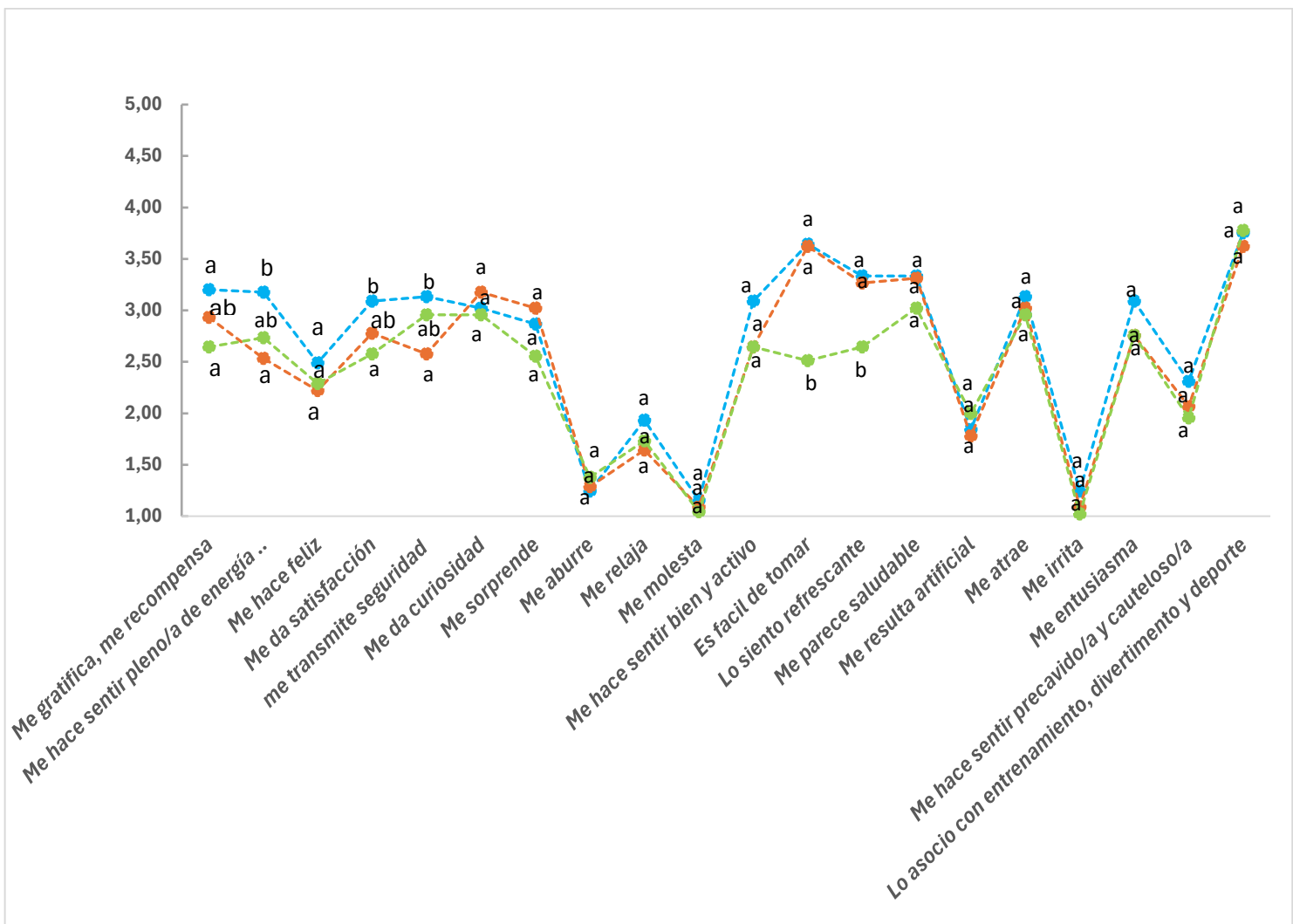
Figura 4.38: Efecto de la disconfirmación de expectativas para el gel deportivo: gráfico de regresión lineal de las puntuaciones E-C vs. I-C. El número en rojo sobre cada punto indica la cantidad de sujetos que presentaron una misma combinación de valores de diferencias I – C y E – C.



En cuanto al estudio del perfil emocional, la **Figura 4.39** muestra los puntajes promedio obtenidos en las tres condiciones de prueba: ciega (C), esperada (E) e informada (I). En términos generales, se observó que en la condición I, las emociones presentaron puntajes más elevados en comparación con las condiciones C y E. Entre las emociones con mayores diferencias se destacan “me gratifica, me recompensa”, “me hace sentir pleno/a de energía y revitalizado/a”, “me hace feliz”, “me da satisfacción”, “me transmite seguridad”, “me da curiosidad”, “me sorprende”, “me relaja” y “me hace sentir bien y activo/a”. El análisis de varianza (ANOVA) evidenció diferencias significativas

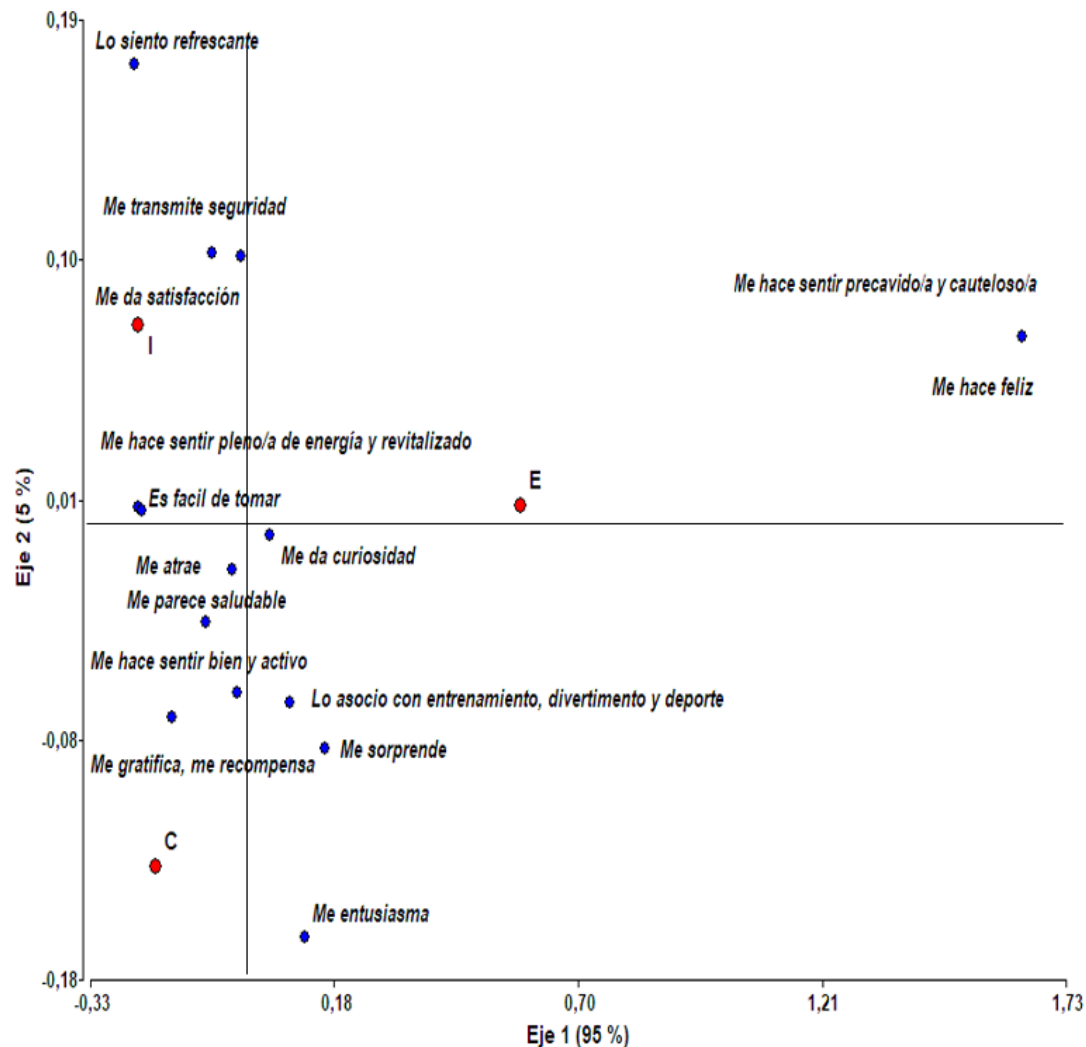
en el perfil emocional generado en las distintas condiciones de evaluación ($F(3,24) = 11$; $p < 0,05$). En particular, la condición esperada presentó valores significativamente más bajos ($p < 0,05$) en algunas emociones, como “es fácil de tomar”, “lo siento refrescante”, “me gratifica, me recompensa” y “me hace sentir pleno/a de energía y revitalizado/a”, en comparación con las condiciones ciega e informada, cuyos valores fueron similares entre sí.

Figura 4.39 Puntajes medio obtenido en el perfil emocional para las tres condiciones de prueba: ciega (---), esperada (---) e informada (---). Las letras distintas indican la existencia de diferencias significativas ($p < 0,05$) en cada emoción evaluada según la condición experimental (esperada, ciega o informada).



Con el fin de explorar las asociaciones entre la condición de evaluación y las emociones generadas en la prueba RATA, se aplicó un AC basado en el recuento total de frecuencia de mención (**Figura 4.40**). A partir de este análisis, se pudo evidenciar que, en general, los consumidores tendieron a utilizar términos emocionales positivos con mayor frecuencia, independientemente de la condición de prueba. Este resultado está alineado con investigaciones previas que han demostrado que los consumidores suelen asociar los productos alimenticios con términos emocionales de valencia positiva en lugar de negativa (Jiang y col., 2014; Meiselman, 2015). La **Figura 4.40** presenta el gráfico obtenido de AC, las primeras dos dimensiones representaron el 95 % y 5 % de la varianza de los datos, respectivamente. En particular el perfil emocional de **GD** en la condición informada se posicionó con valores negativos en el eje 1 y positivos en el eje 2, siendo descrito principalmente por las emociones: *me transmite seguridad, me da satisfacción, me hace sentir pleno/a de energía y revitalizado, es fácil de tomar, y lo siento refrescante*. Posiblemente el hecho de probar el gel junto con la etiqueta con ciertas declaraciones como tipo de procesamiento, ingredientes empleados, evoco inmediatamente el concepto “*me transmite seguridad*” en los consumidores. Al evaluar el gel en la condición ciega, se ubicó en el cuadrante negativo de ambos ejes y quedó asociado a, *me atrae, me parece saludable, me hace sentir bien y activo, y me gratifica, me recompensa*. Finalmente, la condición esperada se caracterizó por un perfil emocional definido las expresiones *me hace sentir precavido/cauteloso y me hace feliz*.

Figura 4.40 Bi-plot del análisis de correspondencias, que representa la frecuencia de mención de términos para las tres condiciones de prueba de emociones en la evaluación de GD: ciega (C), esperada (E) e informada (I) a partir de una lista incluida en el cuestionario CATA.



Finalmente, en cuanto a la voluntad de consumo futuro, los deportistas puntuaron con un promedio de $4,20 \pm 0,0$ puntos, lo que, en la escala de 5 puntos, se aproxima a la categoría “definitivamente lo probaría”. En relación con la frecuencia de consumo, los resultados evidenciaron que un 58 % de los participantes consume este tipo de productos de manera ocasional (solo en eventos deportivos), un 32 % expresó consumirlos con frecuencia y solo un 10 % manifestó no haberlos consumido nunca.

Estos resultados reflejan un alto interés por parte del público objetivo y un potencial de incorporación en nichos de consumo relacionados con la actividad física.

4.18 Conclusiones parciales: Parte 3-Subproducto 2: Gel para la nutrición deportiva

- Se desarrolló un gel deportivo elaborado con extracto líquido de yerba mate como fuente natural de cafeína y otros compuestos bioactivos, con adecuada calidad microbiológica y un comportamiento reológico favorable, caracterizado por un perfil de flujo comparable al de geles comerciales, lo que asegura una fácil fluidez y facilita su consumo.
- La utilización de jugo de naranja sin conservantes ni aditivos, preservado mediante una tecnología de bajo impacto ambiental, resultó altamente conveniente como medio líquido de extracción. Esta elección no solo permitió simplificar el número de etapas en la elaboración del gel, sino que también ofreció ventajas desde el punto de vista ambiental.
- La aplicación de luz UV-C asistida por temperatura moderada (50 °C) redujo la carga microbiana en el jugo de naranja, garantizando la posterior estabilidad microbiológica del gel de nutrición deportiva durante el almacenamiento.
- El contenido de cafeína alcanzado en el gel desarrollado (23 mg por envase) resultó comparable al valor declarado en la mayoría de los geles comerciales. El origen natural de la cafeína utilizada en este producto representa una ventaja competitiva frente a los geles convencionales, que en general emplean cafeína de origen sintético.
- No se observaron cambios significativos en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, durante 25 de almacenamiento (20°C) del gel deportivo, lo que sugiere una buena estabilidad del producto a lo largo del tiempo.
- A través de un estudio sensorial virtual, un número significativo de consumidores deportistas lo percibieron como saludable y manifestaron una elevada intención de probar el gel deportivo.

- La implementación novedosa del estudio del perfil de emociones en deportistas de alto rendimiento durante el entrenamiento constituyó un importante desafío metodológico. La realización de múltiples pruebas en condiciones reales implicó una carga adicional para los participantes, que asumieron con compromiso cada instancia del procedimiento.
- De este estudio se desprende que el gel deportivo fue bien aceptado por los por el grupo de deportistas. Las emociones evocadas durante su consumo se asociaron con conceptos positivos relacionados a un estilo de vida saludable.
- El gel deportivo desarrollado no solo proporcionaría energía rápida, sino que también tiene el potencial de contribuir con otros compuestos bioactivos provenientes de la yerba mate, como polifenoles y antioxidantes, mejorando así su perfil nutricional.

5 Conclusiones finales



Conclusiones

El trabajo realizado a lo largo de esta tesis ha demostrado que:

El tratamiento con luz UV-C asistido por calor moderado resultó ser una estrategia efectiva para preservar el jugo de naranja a ser utilizado en los subproductos de diseño. Se alcanzó una inactivación significativa de microorganismos indicadores de patógenos y deteriorativos. En particular, el uso de luz UV-C representó una ventaja competitiva frente a los tratamientos térmicos convencionales, al inactivar eficientemente esporas termorresistentes de *Alicyclobacillus acidoterrestris* en jugo de naranja. Asimismo, este tratamiento de preservación no alteró significativamente los parámetros fisicoquímicos del jugo.

A partir del jugo de naranja preservado, se desarrollaron dos subproductos utilizando ingredientes nobles, de fuentes naturales y/o obtenidos con procedimientos amigables con el medio ambiente, los cuales fueron dirigidos a grupos poblacionales bien diferentes.

Como primer subproducto, se desarrolló exitosamente un gel postre frutal de consumo al paso, el cual podría aumentar la oferta en góndola de opciones indulgentes, pero más saludables, con menor contenido o ausencia de azúcares y una calidad global similar a los productos comerciales.

El segundo subproducto desarrollado, un gel para nutrición deportiva, representó un desafío importante, no solo por la poca información existente tanto en la academia como en la industria, sino por la implementación y análisis de la prueba sensorial realizada por deportistas de alto rendimiento realizada en varias etapas.

Finalmente, se destaca que, tanto para la preservación del jugo de naranja como para el diseño y desarrollo de los dos subproductos, se priorizaron aspectos tan importantes como salud, medio ambiente y accesibilidad, respondiendo así a las demandas del consumidor establecidas por las últimas tendencias mundiales de lanzamiento de alimentos y bebidas.

Investigaciones futuras

A continuación, se detallan algunos aspectos de esta investigación para los cuales se propone seguir estudiando.

- Medir la dosis germicida mediante la técnica de biodosimetría en el equipo de procesamiento UV-C a escala piloto, realizando las correspondientes adaptaciones/modificaciones necesarias para la inyección del trazador.
- Evaluar la vida útil sensorial de los subproductos desarrollados.
- Estudiar un sistema de envase práctico y de fácil apertura, tanto para el gel postre de consumo al paso como para el gel deportivo de consumo durante la actividad deportiva.
- Estudios de bioaccesibilidad de los compuestos de interés aportados por la yerba mate, realizados por simulación digestiva intestinal *in vitro*.

6 Bibliografía



Bibliografia

- Abdullahi, N. & Abba Dandago, M. (2020). Hurdle technology: principles and recent applications in foods. *Indonessian Food and Nutrition Progress*, 17, 1. <https://doi.org/10.22146/ifnp.52552>
- Acosta, M., Reyes, L.H., Cruz, J.C., & Pradilla, D., (2020). Demulsification of Colombian heavy crude oil (W/O) emulsions: insights into the instability mechanisms, chemical structure, and performance of different commercial demulsifiers. *Energy Fuels*. 34 (5), 5665–5678 <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.0c00313>
- Adetunji, L. R., Adekunle, A., Orsat, V., & Raghavan, V. (2017). Advances in the pectin production process using novel extraction techniques: A review. *Food Hydrocolloids*, 62, 239-250. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.08.015>
- Adu, J.K., Amengor, C.D.K., Orman, E., Ibrahim, N.M., Ifunanya, M.O., & Arthur, D.F. (2019). Development and validation of UV-Visible spectrophotometric method for the determination of 5-Hydroxymethyl furfural content in canned malt drinks and fruit juices in Ghana. *Journal of Food Quality*, 1–8.
- AIJN (2001). Code of practice for evaluation of fruit and vegetable juices. Association of the industry of juices and nectars from 935 fruits and vegetables of the European Union.
- Akaike, H., (1973). Information Theory and Extension of the Maximum Likelihood Principle. In: Petrov, B.N., Cza'ki, F. (Eds.), *Proceedings of the 2nd International Symposium of Information*. Akademia iKiado, Budapest, 267–281
- Alcaire, F., Antúnez, L., Vidal, L., Zorn, S., Giménez, A., Castura, J.C., & Ares, G. (2017). Comparison of static and dynamic sensory product characterizations based on check-all-that-apply questions with consumers. *Food Research International*, 97, 215-222. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.04.012>
- Alkhatib, A., & Atcheson, R. (2017). Yerba maté (*Ilex paraguariensis*) metabolic, satiety, and mood state effects at rest and during prolonged exercise. *Nutrients*, 9(8), 882. <https://doi.org/10.3390/nu9080882>
- Allende, A., Bover-Cid, S., & Fernández, P. S. (2022). Challenges and opportunities related to the use of innovative modelling approaches and tools for microbiological food safety management. *Current Opinion in Food Science*, 100839
- An, Y., You, J., Xiong, S., & Yin, T. (2018). Short-term frozen storage enhances cross-linking that was induced by transglutaminase in surimi gels from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*). *Food chemistry*, 257, 216–222. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.140>

ANMAT. (2009) *Gacetilla Clave del Mes: Higiene e Inocuidad de los Alimentos: Procedimientos Operativos Estandarizados de Saneamiento (POES)*.

Antonio-Gutiérrez, O. T., López-Díaz, A. S., López-Malo, A., Palou, E., & Ramírez-Corona, N. (2019). UV-C Light for Processing Beverages: Principles, Applications, and Future Trends. En A.Grumezescu & A.M. Holban (Eds.), *Processing and Sustainability of Beverages* (pp. 205-234). Cambridge, Reino Unido: Woodhead Publishing.

AOAC International. (2005). *Official methods of analysis of AOAC International* (18th ed., Method 925.09). Gaithersburg, MD: AOAC International.

Apak, R., Özyürek, M., Güçlü, K., & Çapanoğlu, E. (2016). Antioxidant activity/capacity measurement. 1. Classification, physicochemical principles, mechanisms, and electron transfer (ET)-based assays. *Journal of agricultural and food chemistry*, 64(5), 997–1027. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b04739>

Ares, G., Giménez, A., & Gámbaro, A. (2009). Consumer perceived healthiness and willingness to try functional milk desserts. Influence of ingredient, ingredient name and health claim. *Food Quality and Preference*, 20(1), 50-56. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2008.07.002>

ASTM(1968). Committee E-18 on Sensory Evaluation of Materials and Products.

Ates, G. A., Ozvural, B., & Oztop, M. H. (2020). Understanding the role of D-allulose and soy protein addition in pectin gels. *Journal of Applied Polymer Science*, 138(18), e49885. <https://doi.org/10.1002/app.49885>

Auerbach, M.H., Mitchell, H., Moppett, F.K. (2011). Polydextrose. In: O'Brien Nabors, L. (Ed.), *Alternative Sweeteners*, fourth ed. CRC Press, Boca Raton, pp. 489e505.

Awad, T., Moharram, H.A., Shaltout, O.E., Asker, D., y Youssef, M. (2012). Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: a review. *Food Research International*, 48, 410-427

Azmir, J., Zaidul, I., Rahman, M., Sharif, K., Mohamed, A., Sahena, F., Jahurul, M., Ghafoor, K., Norulaini, N., & Omar, A. (2013). Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. *Journal of Food Engineering*, 117(4), 426-436. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.014>

Baines, D., & Seal, R., (2012). *Natural Food Additives, Ingredients and Flavourings*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK.

Banaś A., Korus A., & Korus J. (2018). Texture, color, and sensory features of low-sugar gooseberry jams enriched with plant ingredients with prohealth properties. *J Food Qual* 2018:1–12 (2018). <https://doi.org/10.1155/2018/1646894>.

Barroso, M. V., Graça-Reis, A., Cattani-Cavaliere, I., Gitirana, L. B., Valenca, S. S., & Lanzetti, M. (2019). Mate tea reduces high fat diet-induced liver and metabolic

- disorders in mice. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 109, 1547-1555. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.11.007>
- Barut Gök, S. (2021a). Effect of uv-c treatment on microbial population and bioactive compounds of orange juice using modified reactor based on dean vortex flow. *Gida*, 46(3), 634-646. <https://doi.org/10.15237/gida.gd21042>
- Barut Gök, S. (2021b). UV-C treatment of apple and grape juices by a modified UV-C reactor based on Dean vortex technology: Microbial, physicochemical and sensorial parameters evaluation. *Food and Bioprocess Technology*, 14, 1055-1066. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02624-z>
- Basak, S., & Annapure, U. S. (2022). Trends in “green” and novel methods of pectin modification - A review. *Carbohydrate Polymers*, 278, 118967. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118967>
- Bastos, D. H., Saldanha, L. A., Catharino, R. R., Sawaya, A. C., Cunha, I. B., Carvalho, P. O., & Eberlin, M. N. (2007). Phenolic antioxidants identified by ESI-MS from Yerba maté (*Ilex paraguariensis*) and green tea (*Camelia sinensis*) extracts. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 12(3), 423–432. <https://doi.org/10.3390/12030423>
- Baysal, A. H. (2018). Short-Wave Ultraviolet Light Inactivation of Pathogens in Fruit Juices. *Fruit Juices*, 463-510. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802230-6.00024-2>
- Bazin, T., Hooks, K. B., Barnette, T., Truchetet, M. E., Enaud, R., Richez, C & Schaefferbeke, T. (2018). Microbiota composition may predict anti-TNF alpha response in spondyloarthritis patients: an exploratory study.
- Bedui-Dergal, S. (2006). Química de los Alimentos. 4ta. edición, Pearson Addison Wesley, Mexico.
- Belbahi, A., Nadir, A., Kernou, O., & Madani, K. (2023). Impact of thermal and non-thermal pasteurization on the microbial inactivation of fruit juice: En: Ultraviolet Light in Food Technology: Principles and Applications. (Ed) Koutchma, T.; Forney, L.J.; Moraru, C.I. CRC Press
- Belo, Y.N., Al-Hamimi, S., Chimuka, L, & Turner, C. (2019). Ultrahigh-pressure supercritical fluid extraction and chromatography of Moringa oleifera and Moringa peregrina seed lipids. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 411 (16), 3685-3693, [10.1007/s00216-019-01850-x](https://doi.org/10.1007/s00216-019-01850-x)
- BeMiller, J.N. (2019). Carbohydrate Chemistry for Food Scientists Third Edition. Published by Elsevier Inc. in cooperation with AACC International. ISBN: 978-0-12-812069-9
- Ben Tobin, A.; Mihnea, M.; Hildenbrand, M.; Miljkovic, A.; Bañuelos, G.G.; Xanthakis, E. & Lopez-Sanchez, P. (2020). Bolus rheology and ease of swallowing of particulated

- semi-solid foods as evaluated by an elderly panel. *Food & Function.*, 11, 8648–8658. DOI: 10.1039/d0fo01728k
- Berté, K.A.S.; Rodriguez-Amaya, D.B.; Hoffmann-Ribani, R. & Maccari-Junior, A. (2014). p. 145-153. Antioxidant activity of maté tea and effects of processing. In: Preedy, V., ed. *Processing and impact on antioxidants in beverages*. Elsevier, London, England.
- Bhadekar, R., & Bhola, J. (2019). Nonconventional Preservation Techniques: Current Trends and Future Prospects. *Preservatives and Preservation Approaches in Beverages*, 115-147. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816685-7.00004-5>
- Biancaniello, M., Popović, V., Fernandez-Avila, C., Ros-Polski, V., Koutchma, T., (2018). Feasibility of a Novel Industrial-Scale Treatment of Green Cold-Pressed Juices by UV-C Light Exposure. *Beverages*, 4, 29.
- Biguzzi, C., Schlich, P., & Lange, C. (2014). The impact of sugar and fat reduction on perception and liking of biscuits. *Food Quality and Preference*, 35, 41-47. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.02.001>
- Bitwell, C., Indra, S. S., Luke, C., & Kakoma, M. K. (2023). A review of modern and conventional extraction techniques and their applications for extracting phytochemicals from plants. *Scientific African*, 19, e01585. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2023.e01585>
- Bolton, J. (2020). Action spectra, a review. IUVA News. <https://iuvanews.com/stories/070317/action-spectra.shtml>.
- Borczak, B., Sikora, M., Kapusta-Duch, J., & Kutyła-Kupidura, E. M. (2022). The Effect of Polyols and Intensive Sweeteners Blends on the Nutritional Properties and Starch Digestibility of Sugar-Free Cookies. *Starch - Stärke*, 74(1-2), 2100180. <https://doi.org/10.1002/star.202100180>
- Both, S., Chemat, F., & Strube, J. (2014). Extraction of polyphenols from black tea – Conventional and ultrasound assisted extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 21(3), 1030-1034. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2013.11.005>
- Bourne, M. (2002). *Food Texture and Viscosity. Concept and Measurement*. Elsevier, Holanda.
- Boutrolle, I., Delarue, J., Arranz, D., Rogeaux, M., & Köster, E. P. (2007). Central location test vs. Home use test: Contrasting results depending on product type. *Food Quality and Preference*, 18(3), 490-499. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2006.06.003>
- Box, G.E.P. & Behnken, D.W. (1960) Some New Three Level Designs for the Study of Quantitative Variables. *Technometrics*, 2, 455-475. <http://dx.doi.org/10.1080/00401706.1960.10489912>

- Brühl, L., & Scherze, I. (2021). Precise colour communication by determination of the colour of vegetable oils and fats in the CIELAB 1976 (Lab*) colour space. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 123(2), 2000329. <https://doi.org/10.1002/ejlt.202000329>
- Budin, A. C., Wensing, C. S., Vianna Cruz, C. L., Gomes Ruffi, C. R., Garcia, A. O., & Moura, S. C. S. (2025). Stability study of bioactive compounds from yerba mate extract encapsulated by ionic gelation and application of microparticles in fruit and cereal bars. *LWT- Food Science and Technology*, 215, 117245. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.117245>
- Buera M.P. & Resnik S. (1990). Colorimetric measurements in a turbid medium: hydrolyzed concentrated cheese whey. *Die Farbe* (35): 268-272.
- Buniowska, M., Carbonell-Capella, J. M., Frigola, A., & Esteve, M. J. (2017). Bioaccessibility of bioactive compounds after non-thermal processing of an exotic fruit juice blend sweetened with *Stevia rebaudiana*. *Química de los Alimentos*, 221, 1834-1842. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.093>
- Burris, K., Harte, F., Davidson, P., Stewart, C. Jr, & Zivanovic, S. (2012). Composition and bioactive properties of yerba mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.): A review. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 72, 268–274.
- Cahuê, F.; Nascimento, J.H.M.; Barcellos, L.; & Salerno, V.P. (2019). *Ilex paraguariensis*, exercise and cardioprotection: a retrospective analysis. *Journal of Functional Foods* 53: 105-108
- Caporale, G., & Monteleone, E. (2004). Influence of information about manufacturing process on beer acceptability. *Food Quality and Preference*, 15, 271–278.
- Carbonell-Capella, J., Buniowska, M., Cortes, C., Zulueta, A., Frigola, A., & Esteve, M. (2017). Influence of pulsed electric field processing on the quality of fruit juice beverages sweetened with *Stevia rebaudiana*. *Food and Bioprocess Technology*, 101, 214-222. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.11.012>
- Carocho, M., Morales, P., & Ferreira, I. C. (2017). Sweeteners as food additives in the XXI century: A review of what is known, and what is to come. *Food and Chemical Toxicology*, 107, 302-317. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.06.046>
- Carpentieri, S., Ferrari, G., & Pataro, G. (2023). Pulsed electric fields-assisted extraction of valuable compounds from red grape pomace: Process optimization using response surface methodology. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1158019. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1158019>
- Castura, J. C., Antúnez, L., Giménez, A., & 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>

- Chaudhary, V., Small, D. M., & Kasapis, S. (2013). Structural studies on matrices of deacylated gellan with polydextrose. *Food Chemistry*, 137, 37–44.
- Chaux-Gutiérrez AM, Pérez-Monterroza EJ & Mauro MA. (2019). Rheological and structural characterization of gels from albumin and low methoxylamidated pectin mixtures. *Food Hydrocolloids* 92:60–68 <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.01.025>.
- Chen, Q., Wang, D., Tan, C., Hu, Y., Sundararajan, B., & Zhou, Z. (2020). Profiling of Flavonoid and Antioxidant Activity of Fruit Tissues from 27 Chinese Local Citrus Cultivars. *Plants (Basel, Switzerland)*, 9(2), 196. <https://doi.org/10.3390/plants9020196>
- Chen, Q., Zhao, Z., Wang, X., Xiong, K., & Shi, C. (2022). Microbiological predictive modeling and risk analysis based on the one-step kinetic integrated Wiener process. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 75, 102912.
- Chiozzi, V., Agriopoulou, S., & Varzakas, T. (2022). Advances, Applications, and Comparison of Thermal (Pasteurization, Sterilization, and Aseptic Packaging) against Non-Thermal (Ultrasounds, UV Radiation, Ozonation, High Hydrostatic Pressure) Technologies in Food Processing. *Applied Sciences*, 12(4), 2202. <https://doi.org/10.3390/app12042202>
- Clark, S.; Costello, M.; Drake, M. & Bodyfelt, F. (2009). The Sensory Evaluation of Dairy Products. Eds, S. Clark, M. Costello, M. Drake y F. Bodyfelt. Springer Science, 2da edición. New York, Estados Unidos.
- Coroller, L., Leguerinel, I., Mettler, E., & Savy, N.P. (2006). General model, based on two mixed Weibull distributions of bacterial resistance, for describing various shapes of inactivation curves. *Applied and Environmental Microbiology*, 72, 6493-6502.
- Cruz-Cansino, N. D. S., Reyes-Hernández, I., Delgado-Olivares, L., Jaramillo-Bustos, D. P., Ariza-Ortega, J. A., & Ramírez-Moreno, E. (2016). Effect of ultrasound on survival and growth of *Escherichia coli* in cactus pear juice during storage. *Brazilian Journal of Microbiology*, 47(2), 431-437.
- Cui, P., Li, M., Yu, M., Liu, Y., Ding, Y., Liu, W., & Liu, J. (2022). Advances in sports food: Sports nutrition, food manufacture, opportunities and challenges. *Food Research International*, 157, 111258. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111258>
- Da Veiga, D. T. A., Bringhenti, R., Copes, R., Tatsch, E., Moresco, R. N., Comim, F. V., & Premaor, M. O. (2018). Protective effect of yerba mate intake on the cardiovascular system: a post hoc analysis study in postmenopausal women. *Brazilian journal of medical and biological research, Revista brasileira de pesquisas medicas e biologicas*, 51(6), e7253. <https://doi.org/10.1590/1414-431x20187253>

- Dai, J., & Mumper, R. J. (2010). Plant phenolics: Extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. *Molecules*, 15(10), 7313-7352. <https://doi.org/10.3390/molecules15107313>
- Das, P. R., & Eun, J. (2018). A comparative study of ultra-sonication and agitation extraction techniques on bioactive metabolites of green tea extract. *Food Chemistry*, 253, 22-29. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.080>
- Delacassa, E. & Bandoni, A. L. (2001). "El mate," *Revista de Fitoterapia*, vol. 1, no. 4, pp. 257–265, https://www.researchgate.net/publication/284764225_El_mate
- Deladino, L., Navarro, A., & Martino, M. (2013). Carrier systems for yerba mate extract (*Ilex paraguariensis*) to enrich instant soups. Release mechanisms under different pH conditions. *LWT-Food Science and Technology*, 53, 163–169.
- Delarue, J., & Lawlor, B., (2022). Rapid sensory profiling techniques: Applications in new product development and consumer research. Woodhead Publishing, ISBN: 9780128219379
- Delorme, M. M., Guimarães, J. T., Coutinho, N. M., Balthazar, C. F., Rocha, R. S., Silva, R., Margalho, L. P., Pimentel, T. C., Silva, M. C., Freitas, M. Q., Granato, D., Sant'Ana, A. S., Duarte, M. C. K., & Cruz, A. G. (2020). Ultraviolet radiation: An interesting technology to preserve quality and safety of milk and dairy foods. *Trends in Food Science & Technology*, 102, 146_154. Available from <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.06.001>.
- Demir, H., Yıldız, M. K., Becerikli, İ., Unluturk, S., & Kaya, Z. (2019). Assessing the impact of non-thermal and thermal treatment on the shelf-life of onion juice. *Czech Journal of Food Sciences*, 36(6), 480-486
- Desmet, P. (2003). Measuring emotion: Development and application of an instrument to measure emotional responses to products. In: *Funology. Human-Computer Interaction Series*, vol 3. (eds) Blythe, M.A., Overbeeke, K., Monk, A.F., Wright, P.C. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/1-4020-2967-5_12
- Devezeaux de Lavergne, M., M. Van Delft, M.F. Van de Velde, M.A.J.S. Van Boekel, & M. Stieger. (2015). Dynamic texture perception and oral processing of semi-solid food gels: Part 1: Comparison between QDA, progressive profiling and TDS. *Food Hydrocolloids*, 43 pp 207-217.
- Dewey-Mattia, D., Manikonda, K., Hall, A. J., Wise, M. E., & Crowe, S. J. (2018). Surveillance for foodborne disease outbreaks—United States, 2009–2015. *MMWR Surveillance Summaries*, 67(10), 1.
- Di Rienzo, J. A., Balzarini, M., Casanoves, F., Gonzalez, L. A., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2020). *InfoStat: software estadístico*. Córdoba, Argentina: Universidad Nacional de Córdoba.

- EFSA, (2013). Scientific Opinion on the safety of advantame for the proposed uses as a food additive. *EFSA Journal*, 11 (7), 3301, 2013.
- Einhorn-Stoll, U., & Drusch, S. (2015). Methods for investigation of diffusion processes and biopolymer physics in food gels. *Current Opinion in Food Science*, 3, 118-124. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.07.002>
- Elez-Martínez, P. and Martín-Belloso, O. (2007) Effects of high intensity pulsed electric field processing conditions on vitamin C and antioxidant capacity of orange juice and gazpacho, a cold vegetable soup. *Food Chemistry*, 102, 201-209. doi:10.1016/j.foodchem.2006.04.048
- Embuscado, M. E. (2015). Spices and herbs: Natural sources of antioxidants – a mini review. *Journal of Functional Foods*, 18, 811-819. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.03.005>
- Esfahani, D. A., & Goli, M. (2022). The effect of Stevioside-Isomalt, whey protein concentrate, and *Bacillus coagulans* on the physicochemical and sensory properties of Iranian probiotic Masghati sweet. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(10), e16028. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16028>
- Esmerino, E. A., Castura, J. C., Ferraz, J. P., Tavares Filho, E. R., Silva, R., Cruz, A. G., Freitas, M. Q., & Bolini, H. M. (2017). Dynamic profiling of different ready-to-drink fermented dairy products: A comparative study using Temporal Check-All-That-Apply (TCATA), Temporal Dominance of Sensations (TDS) and Progressive Profile (PP). *Food Research International*, 101, 249-258. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.012>
- EU [Regulation \(EC\) No 1333/2008](#) of the European Parliament and the Council of 16 December 2008 on food additives is the general framework for the placing on the market and use of additives in Europe.
- Fagundes, A., Danguy, L. B., Schmitt, V., & Mazur, C. E. (2015). *Ilex paraguariensis*: Compostos bioativos e propriedades nutricionais na saúde. *Revista Brasileira de Obesidade, Nutrição e Emagrecimento.*, 5(42), 94–101. <http://dialnet.unirioja.es/servlet/oaiart?codigo=4837941>
- FAO, (2022). *Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura* (FAOSTAT) <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- Farias, T. R. T., Schiassi, M. C. E. V., Pereira, P. A. P., de Souza, V. R., Lago, A. M. T., Borges, S. V., & Queiroz, F. (2019). Mixed Brazilian Cerrado fruits preserve without added sugar: The effect of body agents. *British Food Journal*, 121, 1969–1981.
- Faruque, S., Tong, J., Lacmanovic, V., Agbonghae, C., Minaya, D. M., & Czaja, K. (2019). The Dose Makes the Poison: Sugar and Obesity in the United States – a

- Feliciano, R. J., Estilo, E. E. C., Nakano, H., & Gabriel, A. A. (2019). Ultraviolet-C resistance of selected spoilage yeasts in orange juice. *Food microbiology*, 78, 73-81.
- Fenoglio, D. (2023). Evaluación de la efectividad del uso de luz ultravioleta de onda corta (UV-C) asistida por otros factores en la preservación de jugos claros y turbios a escala piloto. Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Industrias.
- Fenoglio, D., Ferrario, M., Carrillo, M. G., Schenk, M., & Guerrero, S. (2020). Characterization of microbial inactivation in clear and turbid juices processed by short-wave ultraviolet light. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(6), e14452. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14452>
- Fenoglio, D., Ferrario, M., Schenk, M. & Guerrero, S.(2019). UV-C light inactivation of single and composite microbial populations in tangerineorange juice blend. Evaluation of some physicochemical characteristics .*Food and Bioproducts Processing*, 117, 149-159.
- Fenoglio, D., Soto Madrid, D., Alarcón Moyano, J., Ramos, A., & Mauri, A. (2021). Active food additive based on encapsulated yerba mate (*Ilex paraguariensis*) extract: Effect of drying methods on the oxidative stability of a real food matrix (mayonnaise). *Journal of Food Science and Technology*, 58(5), 1574–1584. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04669-y>
- Ferrario, M., & Guerrero, S., (2018). Inactivation of *alicyclobacillus acidoterrestris* ATCC 49025 spores in apple juice by pulsed light. Influence of initial contamination and required reduction levels. *Revista Argentina de Microbiología*, 50 (1), 3–11.
- Ferrario, M., Alzamora, S. M., & Guerrero, S. (2015). Study of the inactivation of spoilage microorganisms in apple juice by pulsed light and ultrasound. *Food microbiology*, 46, 635- 642.
- Ferrario, M., Alzamora, S.M., & Guerrero, S., (2013). Inactivation kinetics of some microorganisms in apple, melon, orange and strawberry juices by high intensity light pulses. *Journal of Food Engineering*, 118, 302-311
- Ferrario, M., Schenk, M., Carrillo, M. G., & Guerrero, S. (2018). Development and quality assessment of a turbid carrot-orange juice blend processed by UV-C light assisted by mild heat and addition of Yerba Mate (*Ilex paraguariensis*) extract. *Food Chemistry*, 269, 567- 576.
- Franz, C. M., Specht, I., Cho, G. S., Graef, V., & Stahl, M. R. (2009). UV-C-inactivation of microorganisms in naturally cloudy apple juice using novel inactivation equipment based on Dean vortex technology. *Food Control*, 20(12), 1103-1107.

- Fundo, J. F., Miller, F. A., Mandro, G. F., Tremarin, A., Brandao, T. R., & Silva, C. L. (2019). UV-C light processing of Cantaloupe melon juice: Evaluation of the impact on microbiological, and some quality characteristics, during refrigerated storage. *LWT-Food Science and Technology*, 103, 247-252.
- Gabriel, A. A. (2012). Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and spoilage yeasts in germicidal UV-C-irradiated and heat-treated clear apple juice. *Food Control*, 25(2), 425-432.
- Galmarini, M.V., R. Symoneaux, M. Visalli, M.C. Zamora & Schlich, P. (2016). Could Time–Intensity by a trained panel be replaced with a progressive profile done by consumers? A case on chewing-gum. *Food Quality and Preference*, 48 (2016), pp 274-282.
- Ganea, M., Ioana, P. C., Ghitea, T. C., Ștefan, L., Groza, F., Frent, O. D., Nagy, C., Iova, C. S., Florina, A., Ciavoi, G., Vicas, L. G., Constanta, P. D., & Moisa, C. (2025). Development and evaluation of gelatin-based gummy jellies enriched with oregano oil: Impact on functional properties and controlled release. *Foods*, 14(3), 479. <https://doi.org/10.3390/foods14030479>
- García Carrillo M, Ferrario M, Schenk M & Guerrero S, (2020). Effect of a UV-C light-based hurdle strategy for carrot-orange juice processing on *Candida parapsilosis* inactivation and physiological state: impact on juice sensory and physicochemical quality parameters. *Food Bioprocess Technology*, 13:1954–1967. <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02540-8>.
- García Carrillo, M., Ferrario, M., & Guerrero, S. (2017). Study of the inactivation of some microorganisms in turbid carrot-orange juice blend processed by ultraviolet light assisted by mild heat treatment. *Journal of Food Engineering*, 212, 213-225. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.06.005>
- Garcia-Loredo, A., Guerrero, S. & Alzamora, S.M. (2015). Inactivation kinetics and growth dynamics during cold storage of *Escherichia coli* ATCC 11229, *Listeria innocua* ATCC 33090 and *Saccharomyces cerevisiae* KE162 in peach juice using aqueous ozone. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 29, 271–279.
- Geeraerd, A. H., Valdramidis, V. P., & Van Impe, J. F. (2005). GInaFiT, a freeware tool to assess non-log-linear microbial survivor curves. *International Journal of Food Microbiology*, 102(1), 95-105.
- Giacomazza, D.; Bulone, D.; San Biagio, P.L.; Marino, R.; & Lapasin, R. (2018). The role of sucrose concentration in self-assembly kinetics of high methoxyl pectin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 112, 1183–1190.

- Goldfein, K. R., & Slavin, J. L. (2015). Why Sugar Is Added to Food: Food Science 101. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(5), 644-656. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12151>
- Gómez-Juaristi, M.; Martínez-López, S.; Sarria, B.; Bravo, L.; & Mateos, R. (2018). Absorption and metabolism of yerba mate phenolic compounds in humans. *Food Chemistry* 240: 1028- 1038
- Gómez-Sánchez, D. L.; Antonio-Gutiérrez, O.; López-Díaz, A. S.; Palou, E.; López-Malo, A.; & Ramírez-Corona, N. (2020). Performance of combined technologies for the inactivation of *Saccharomyces cerevisiae* and *Escherichia coli* in pomegranate juice: The effects of a continuous-flow UV-Microwave system. *Journal of Food Process Engineering*, 43(12), e13565. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13565>
- Gopisetty, V. V. S., Patras, A., Kilonzo-Nthenge, A., Yannam, S., Bansode, R. R., Sasges, M., Mallory-Burns, S., Vergne, M.J., Pan, C., & Xiao, H. (2018). Impact of UV-C irradiation on the quality, safety, and cytotoxicity of cranberry-flavored water using a novel continuous flow UV system. *LWT- Food Science & Technology*, 95, 230-239.
- Gouma, M., Álvarez, I., Condón, S., & Gayán, E. (2020). Pasteurization of carrot juice by combining UV-C and mild heat: Impact on shelf-life and quality compared to conventional thermal treatment. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 64,102362. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102362>.
- Guerrero S., Schenk M., Fenoglio D., Andreone A., & Kozono M. L. (2025). Ultraviolet light for food and beverage preservation. Exploring the latest advancements and potential challenges ahead. En: *Innovative Food Processing and Packaging Technologies: Present and Future*. (Ed). Bermudez Aguirre, D. Ed Elsevier, EEUU. ISBN: 978-0-323-91742-1
- Guerrero, S. N., Ferrario, M., Schenk, M., & Carrillo, M. G. (2017). Hurdle Technology Using Ultrasound for Food Preservation. *Ultrasound: Advances for Food Processing and Preservation*, 39-99. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804581-7.00003-8>
- Guerrero, S., Ferrario, M., Schenk, M., Fenoglio, D. & Andreone, A. (2022). Ultraviolet light En *Electromagnetic Technologies in Food Science*. Eds Gómez López, V. & Bhat, R. Wiley Blackwell, UK. ISBN-13 978-1119759515 , 481 páginas.
- Guerrero-Beltran, J. A., & Barbosa-Cnovas, G. V., 2004. Advantages and limitations on processing foods by UV light. *Food Science Technology Int*, 10, 13747.
- Gunter-Ward, D. M., Patras, A., S. Bhullar, M., Kilonzo-Nthenge, A., Pokharel, B., & Sasges, M. (2018). Efficacy of ultraviolet (UV-C) light in reducing foodborne pathogens and model viruses in skim milk. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(2), e13485.

- Gutiérrez, D. R., Char, C., Escalona, V. H., Chaves, A. R., & Rodríguez, S. D. C. (2015). Application of UV-C Radiation in the Conservation of Minimally Processed Rocket (*Eruca sativa* Mill.). *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 3117-3127.
- Hamdy, S. M., Abdelmontaleb, H. S., Mabrouk, A. M., & Abbas, K. A. (2021). Physicochemical, viability, microstructure, and sensory properties of whole and skimmed buffalo set-yoghurts containing different levels of polydextrose during refrigerated storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, e15643. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15643>
- Hearris, M. A., Pugh, J. N., Langan-Evans, C., Mann, S. J., Burke, L., Stellingwerff, T., Gonzalez, J. T., & Morton, J. P. (2022). C-glucose-fructose labeling reveals comparable exogenous CHO oxidation during exercise when consuming 120 g/h in fluid, gel, jelly chew, or coingestion. *Journal of applied physiology*, 132(6), 1394–1406. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00091.2022>
- Heck, C.I. & De Mejia, E.G. (2007) Yerba Mate Tea (*Ilex paraguariensis*): A Comprehensive Review on Chemistry, Health Implications, and Technological Considerations. *Journal of Food Science*, 72, R138-R151. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00535.x>
- Hirt, B., Fiege, H., Cvetkova, S., Gräf, V., Scharfenberger-Schmeer, M., Durner, D., & Stahl, M. (2022b). Comparison and prediction of UV-C inactivation kinetics of *Sacharomyces cerevisiae* in model wine systems dependent on flow type and absorbance. *LWT- Food Science and Technology*, 169, 114062. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114062>.
- Hirt, B., Hansjosten, E., Hensel, A., Gräf, V., & Stahl, M. (2022a). Improvement of an annular thin film UV-C reactor by fluid guiding elements. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 77, 102988. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.102988>
- Holowaty, S. Thea, A, Alegre, C. & Schmalko, M. (2018). Differences in physicochemical properties of yerba mate (*Ilex paraguariensis*) obtained using traditional and alternative manufacturing methods. *Journal of Food Process Engineering*, 41 (8): e12911.
- Hours, R. A., Ferreyra, M. M., Schvab, M. D., Gerard, L. M., Zapata, L. M., & Davies, C. V. (2005). Caracterización fisicoquímica y microbiológica de jugos de naranja destinados a vinificación. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, XVI(31), 319-239.
- <https://www.argentina.gob.ar/salud>.
- Hu, X., Geng, S., Wang, X., & Hu, C. (2012). Inactivation and photorepair of enteric pathogenic microorganisms with ultraviolet irradiation. *Environmental Engineering Science*, 29(6), 549-553.

- Huang, L., Abdel-Hamid, M., Romeih, E., Zeng, Q. K., Yang, P., Walker, G., & Li, L. (2020). Textural and organoleptic properties of fat-free buffalo yoghurt as affected by polydextrose. *International Journal of Food Properties*, 23(1), 1–8.
- Huang, X., Kakuda, Y., & Cui, W. (2001). Hydrocolloids in emulsions: particle size distribution and interfacial activity. *Food hydrocolloids*, 15(4-6), 533-542.
- Hutchings, S. C., Low, J. Y. Q., & Keast, R. S. J. (2019). Sugar reduction without compromising sensory perception. An impossible dream? *Critical reviews in food science and nutrition*, 59(14), 2287–2307. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1450214>
- Innova Market Insight (2021). Beverage for health and wellness challenge conventional soft drinks. *The Word of Food Ingredients* Marzo 2021, pag 16-20.
- Innova Market Insight (2023). Top Ten Trends for 2023. Explore the latest top ten trends in the food and beverage industry for 2023. <https://www.innovamarketinsights.com/trends/top-ten-trends-for-2023-redefining-value-in-a-volatile-world/>
- Innova Market Insight (2024). Consumer Trends 2024 Explore the latest consumer trends, including home-centric living and combining health goals and pleasure <https://www.innovamarketinsights.com/trends/global-consumer-trends/>
- Innova Market Insight (2024). Global Sugar Reduction Trends and Innovations <https://www.innovamarketinsights.com/trends/global-sugar-reduction/>
- INYM, (2024). Informe del Sector Yerbatero. *Instituto Nacional de la Yerba Mate* <https://inym.org.ar/descargar/publicaciones/estadisticas/2024.html>
- Isolabella, S.; Cogoi, L.; López, P.; Anesini, C.; Ferraro, G.; Filip, R. 2010. Study of the bioactive compounds variation during yerba mate (*Ilex paraguariensis*) processing. *Food Chemistry*, 122, 695-699.
- Jacques, R. A., Dos Santos Freitas, L., Pérez, V. F., Dariva, C., De Oliveira, A. P., De Oliveira, J. V., & Caramão, E. B. (2007). The use of ultrasound in the extraction of *Ilex paraguariensis* leaves: A comparison with maceration. *Ultrasonics Sonochemistry*, 14(1), 6-12. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2005.11.007>
- Jaiswal, R., Sovdat, T., Vivan, F., & Kuhnert, N. (2010). Profiling and characterization by LC-MSn of the chlorogenic acids and hydroxycinnamoylshikimate esters in maté (*Ilex paraguariensis*). *Journal of agricultural and food chemistry*, 58(9), 5471–5484. <https://doi.org/10.1021/jf904537z>
- Jang, Y. J., Chung, S. J., Kim, S. B., & Park, S. (2021). Searching for optimal low-calorie sweetener blends in the ternary & quaternary system. *Food Quality and Preference*, 90, 104184.

- Jeukendrup A. (2014). A step towards personalized sports nutrition: carbohydrate intake during exercise. *Sports Medicine*, 44; 25–33 doi: 10.1007/s40279-014-0148-z
- Jeukendrup A. E. (2011). Nutrition for endurance sports: marathon, triathlon, and road cycling. *Journal of sports sciences*, 29 Suppl 1, S91–S99. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.610348>
- Jiang, Y., King, J. & Prinyawiwatkul, W. (2014). A review of measurement and relationships between food, eating behavior and emotion. *Trends in Food Science & Technology*, 36, 5-28.
- Jiménez-Sánchez, C., Lozano-Sánchez, J., Segura-Carretero, A., & Fernández-Gutiérrez, A. (2017). Alternatives to conventional thermal treatments in fruit-juice processing. Part 2: Effect on composition, phytochemical content, and physicochemical, rheological, and organoleptic properties of fruit juices. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(3), 637-652.
- Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). (2016). *Steviol glycosides (3.1.8)*. En *Evaluation of certain food additives: Eighty-second report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives* (pp. 54–63, 132, 152, 162). World Health Organization. (WHO Technical Report Series No. 1000). <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/250277/1/9789241210003-eng.pdf>
- Kamilla, A. A., Mardhiyah, A., Visinanda, A., & Harjunowibowo, D. (2024). Non-thermal UV-C pasteurization: An effective method for microbial reduction in liquid foods. *BIO Web of Conferences*, 146, 01044. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202414601044>
- Karki, N., Achhami, H., Pachhai, B. B., Bhattarai, S., Shahi, D. K., Bhatt, L. R., & Joshi, M. K. (2024). Evaluating citrus juice: A comparative study of physicochemical, nutraceutical, antioxidant, and antimicrobial properties of citrus juices from Nepal. *Heliyon*, 10(23), e40773.
- Kaya, Z., & Unluturk, S. (2019). Pasteurization of verjuice by UV-C irradiation and mild heat treatment. *Journal of Food Process Engineering*, 42(5), e13131. Available from <https://doi.org/10.1111/jfpe.13131>.
- Kaya, Z., & Unluturk, S., 2016. Processing of clear and turbid grape juice by a continuous flow UV system. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 33, 282-288.
- Ke, L. Q. (2015). Optimization of ultrasonic extraction of polysaccharides from *Lentinus edodes* based on enzymatic treatment. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(3), 254–259.
- Kenney, E., & Adhikari, K. (2016). Recent developments in identifying and quantifying emotions during food consumption. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(11), 3627-3630. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7717>

- Keyser, M. Müller, I. Cilliers, F., Nel, W., & Gouws, P. (2008). Ultraviolet radiation as a non-thermal treatment for the inactivation of microorganisms in fruit juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 9 348–354.
- Khan, SA, Dar, AH, Bhat, SA, Fayaz, J., Makroo, HA & Dwivedi, M. (2020). High Intensity Ultrasound Processing in Liquid Foods. *Food Reviews International*, 38 (6), 1123–1148. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1768404>
- Khan, T.A., & Sievenpiper, J.L. (2016). Controversies about sugars: results from systematic reviews and meta-analyses on obesity, cardiometabolic disease and diabetes. *European Journal of Nutrition*. 25–43 (2016). <https://doi.org/10.1007/s00394-016-1345-3>
- Kim, J. K., & Harrison, M. A. (2009). Surrogate selection for Escherichia coli O157: H7 based on cryotolerance and attachment to romaine lettuce. *Journal of food protection*, 72(7), 1385-1391.
- Kim, S. S., Park, S. H., Kim, S. H., & Kang, D. H. (2019). Synergistic effect of ohmic heating and UV-C irradiation for inactivation of Escherichia coli O157: H7, Salmonella Typhimurium and Listeria monocytogenes in buffered peptone water and tomato juice. *Food Control*, 102, 69-75.
- King, S. C., & Meiselman, H. L. (2010). Development of a method to measure consumer emotions associated with foods. *Food Quality and Preference*, 21(2), 168-177. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2009.02.005>
- Knorr, D., Zenker, M., Heinz, V., y Lee, D. (2004). Applications and potential of ultasonics in food processing. *Trends in Food Science and Technology*, 15, 261- 266.
- Korus, A., Jaworska, G., Bernaś, E., & Juszczak, L. (2015). Characteristics of physico-chemical properties of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) jams with added herbs. *Journal of Food Science and Technology*, 52(5), 2815–2823. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1315-9>
- Köster, E. P., & Mojet, J. (2015). From mood to food and from food to mood: A psychological perspective on the measurement of food-related emotions in consumer research. *Food Research International*, 76, 180-191. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.04.006>
- Koutchma, T. (2009). Advances in ultraviolet light technology for non-thermal processing of liquid foods. *Food and Bioprocess Technology*, 2(2), 138–155. <https://doi.org/10.1007/s11947-008-0178-3>.
- Koutchma, T. (2014). Chapter 2 - Basic Principles of UV Light Generation. In *Food Plant Safety*; Academic Press: Toronto, ON, Canada, 2014; pp. 3–13, ISBN 9780124166202.

- Koutchma, T. (2019). *Ultraviolet Light in Food Technology: Principles and Applications* (2nd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429244414>
- Koutchma, T., Parisi, B., & Patazca, E. (2007). Validation of UV coiled tube reactor for fresh juices. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 6(3), 319-328.
- Koutchma, T., Popović, V., Ros-Polski, V., & Popielarz, A. (2016). Effects of ultraviolet light and high-pressure processing on quality and health-related constituents of fresh juice products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(5), 844–867.
- Koutsoumanis, K. P., Lianou, A., & Gougouli, M. (2016). Latest developments in foodborne pathogens modeling. *Current Opinion in Food Science*, 8, 89-98.
- Kozono, L., Fenoglio, D., Ferrario, M., & Guerrero, S. (2023). Inactivation of Alicyclobacillus acidoterrestris spores, single or composite Escherichia coli and native microbiota in isotonic fruit-flavoured sports drinks processed by UV-C light. *International Journal of Food Microbiology*, 386, 110024. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.110024>
- Kozono, M. L., Andreone, A., Schenk, M., Rivero, R., E. Taravini, I. R., & Guerrero, S. N. (2024). Ultrasound-assisted extraction of yerba mate leaves for the development of active additives in sports nutrition products. *Journal of Food Process Engineering*, 47(7), e14670. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14670>
- Kumar, K., Srivastav, S., & Sharanagat, V. S. (2021). Ultrasound assisted extraction (UAE) of bioactive compounds from fruit and vegetable processing by-products: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 70, 105325. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105325>
- La Cava, E. L. M., & Sgroppo, S. C. (2019). Combined effect of UV-C light and mild heat on microbial quality and antioxidant capacity of grapefruit juice by flow continuous reactor. *Food and Bioprocess Technology*, 12, 645-653.
- Lai HM, & Lin TC. (2006). Bakery products: science and technology. In: Bakery products. Science and technology. Hui YH, editor. Blackwell Publishing. p 3–65.
- Lawless, H. T., & Heymann, H. (2010a). Discrimination testing. In *Sensory evaluation of food* (pp. 79-100). Springer, New York, NY.
- Lawless, H., & Heymann, H. (2010b). Consumer field tests and questionnaire design. In D.R. Heldman, (Ed.), *Sensory evaluation of food. Principles and practices*, New York: Springer, 349-378.
- Lawless, H.T. (2013). Product Optimization, Just-About-Right (JAR) Scales, and Ideal Profiling. En H.T. Lawless (Ed.), *Quantitative Sensory Analysis* (pp. 282). Nueva Jersey, Estados Unidos: Wiley Blackwell.

- Lee, S., Han, A., Yoon, J. H., & Lee, S. Y. (2022). Growth evaluation of *Escherichia coli* O157: H7, *Salmonella typhimurium*, and *Listeria monocytogenes* in fresh fruit and vegetable juices via predictive modeling. *LWT*, 162, 113485.
- Lee, W. J., & Lucey, J. A. (2006). Impact of gelation conditions and structural breakdown on the physical and sensory properties of stirred yoghurts. *Journal of Dairy Science*, 89(7), 2374–2385.
- Leprevost, A. 1987. Química e Tecnologia da Erva Mate (*Ilex paraguariensis* Saint Hill). Boletín Técnico 53. Instituto de Tecnologia do Paraná 1: 2-18.
- Leroux, J., Langendorff, V., Schick, G., Vaishnav, V., & Mazoyer, J. (2003). Emulsion stabilizing properties of pectin. *Food hydrocolloids*, 17(4), 455-462.
- Li, Z., Yuan, Y., Yao, Y., Wei, X., Yue, T., & Meng, J. (2019). Formation of 5-hydroxymethylfurfural in industrial-scale apple juice concentrate processing. *Food Control*, 102, 56-68. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.03.021>
- Lindqvist, H., Koivisto Hursti, U. K., & Sandell, M. (2023). Sensory quality control as part of food production: A review of current practices and future directions. *Food Quality and Preference*, 104, 104738. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2022.104738>
- Liu, C.; Bhattarai, M.; Mikkonen, K.S.; & Heinonen, M. (2019). Effects of enzymatic hydrolysis of fava bean protein isolate by alcalase on the physical and oxidative stability of oil-in-water emulsions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67, 6625–6632. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b00914>.
- López, G. G., Brousse, M. M., & Linares, A. R. (2023). Kinetic modelling of total phenolic compounds from *Ilex paraguariensis* (St. Hil.) leaves: Conventional and ultrasound assisted extraction. *Food and Bioprocess Processing*, 139, 75-88. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2023.03.003>
- López, P.; Isolabella, S.; Anesini, C.; Ferraro, G.; Filip, R. 2006. Estudio cualicuantitativo por HPLC de los principios activos presentes en los extractos de *Ilex paraguariensis* (yerba mate) en las diferentes etapas del procesamiento industrial. Actas del IV Congreso Sudamericano de Yerba Mate. Argentina, 5-8/11/2006, p. 127-131.
- López-Gómez, A., Fernández, P. S., Palop, A., Periago, P. M., Martínez-López, A., Marín-Iniesta, F., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2009). Food safety engineering: An emergent perspective. *Food Engineering Reviews*, 1(1), 84_104. Available from <https://doi.org/10.1007/s12393-009-9005-5>.
- Lunceford, N., & Gugliucci, A. (2005). *Ilex paraguariensis* extracts inhibit AGE formation more efficiently than green tea. *Fitoterapia*, 76, 419-427.
- Machado, C. A., Oliveira, F. O., De Andrade, M. A., Hodel, K. V., Lepikson, H., & Machado, B. A. (2022). Steam distillation for essential oil extraction: An evaluation of

- technological advances based on an analysis of patent documents. *Sustainability*, 14(12), 7119. <https://doi.org/10.3390/su14127119>
- Mahdinia, E., Liu, S., Demirci, A., Puri, V.M. (2020). Microbial Growth Models. In: Demirci, A., Feng, H., Krishnamurthy, K. (eds) Food Safety Engineering. Food Engineering Series. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42660-6_14
- Majzoobi, M., Mohammadi, M., & Farahnaky, A. (2020). Simultaneous reduction of fat and sugar in cake production; effects of changing sucrose, oil, water, inulin, and Rebaudioside a on cake batter properties. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(10), 1–14.
- Mäkinen, O. E., Wanhalinna, V., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2016). Foods for special dietary needs: Non-dairy plant-based milk substitutes and fermented dairy-type products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(3), 339–349.
- Mandha, J., Shumoy, H., Matemu, A. O., & Raes, K. (2023). Characterization of fruit juices and effect of pasteurization and storage conditions on their microbial, physicochemical, and nutritional quality. *Food Bioscience*, 51, 102335. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102335>
- Mansur, A.R., Lee, H.S., & Lee, C.J. (2023). A review of the efficacy of ultraviolet C irradiation for decontamination of pathogenic and spoilage microorganisms in fruit juices. *Journal of microbiology and biotechnology*, 33(4), 419–429. <https://doi.org/10.4014/jmb.2212.12022>
- Marasini, S., Zhang, A. C., Dean, S. J., Swift, S., & Craig, J. P. (2021). Safety and efficacy of UV application for superficial infections in humans: A systematic review and meta-analysis. *The Ocular Surface*, 21, 331-344. <https://doi.org/10.1016/j.jtos.2021.03.002>
- Martínez, A., Díaz, R.V., Tapia, M.S., (2000). Microbial ecology of spoilage and pathogenic flora associated to fruits and vegetables. En: Minimally Processed Fruits and Vegetables. Fundamental Aspects and Applications. (Eds) Alzamora, S.M., Tapia, M., Lopez-Malo, A. Aspen Publishers Inc., Gaithersburg, pp. 43e62
- Martins, F. C., Alcantara, G. M., Silva, A. F. S., Melchert, W. R., & Rocha, F. R. (2022). The role of 5 hydroxymethylfurfural in food and recent advances in analytical methods. *Food Chemistry*, 395, 133539. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133539>
- Martins, R., Barbosa, A., Advinha, B., Sales, H., Pontes, R., & Nunes, J. (2023). Green extraction techniques of bioactive compounds: A state-of-the-art Review. *Processes*, 11(8), 2255. <https://doi.org/10.3390/pr11082255>
- Mason, T. J., Riera, E., Vercet, A., & Lopez-Buesa, P. (2005). Application of Ultrasound. Emerging Technologies for Food Processing, 323-351. <https://doi.org/10.1016/B978-012676757-5/50015-3>

- Meilgaard, M., Civille, G. V., & Carr, B. T. (2007). *Sensory Evaluation Techniques* (4th ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b16452>
- Meiselman, H.L. (2015). A review of the current state of emotion research in product development. *Food Research International*, 76, 192-199. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.04.015>
- Mezger, T.G. (2020). *The rheology handbook: For users of rotational and oscillatory rheometers* (5th ed.). Vincentz Network GmbH & Co. KG, Hanover.
- Milovanoff, A., Callaghan, K., Pillow, J., & Shah, B. (2022). (rep.). Comparative Life Cycle Assessment of Sweeteners. Ingredion.
- Mincyt-Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (2015). Plan Argentina innovadora 2020. Agroindustria. Nucleo Socio Productivo Estratégico. Tecnología de Alimentos. Documento de referencia. Disponible en <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/tecnologiaalimentos-doc.pdf>
- Ministerio de Salud de la Nación (2016). Guías Alimentarias para la Población Argentina. [www.](http://www.argentina.gob.ar/salud/alimentacion)
- Mollah, M., Sánchez, C., Barría, K., Ferrán, D., & Vallester, E. (2018). Estudio del comportamiento hidrodinámico de un filtro biológico de flujo ascendente, utilizando mazorcas de maíz como material de soporte. *Revista de Iniciación Científica*, 4(1), 50-54.
- Morales-Contreras, B.E.; Rosas-Flores, W.; Contreras-Esquivel, J.C.; Wicker, L.; & Morales-Castro, J. (2018). Pectin from Husk Tomato (*Physalis ixocarpa* Brot.): Rheological behavior at different extraction conditions. *Carbohydrate Polymers* 179, 282–289.
- Müller-Maatsch, J., Caligiani, A., Tedeschi, T., Elst, K., & Sforza, S. (2014). Simple and validated quantitative ¹H NMR method for the determination of methylation, acetylation, and feruloylation degree of pectin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(37), 9081–9087. <https://doi.org/10.1021/jf502679sACS> [Publications+4](https://doi.org/10.1021/jf502679sACS)
- Munir, N., Hasnain, M., Waqif, H., & Adetuyi, B. O. (2022). Gelling agents, micro and nanogels in food system applications. En A. M. Holban & A. M. Grumezescu (Eds.), *Application of nanotechnology in food science, processing and packaging* (pp. 153–167). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-98820-3_10
- Muñoz, A., Caminiti, I. M., Palgan, I., Pataro, G., Noci, F., Morgan, D. J., & Lyng, J. G. (2013). Effects on *Escherichia coli* inactivation and quality attributes in apple juice treated by combinations of pulsed light and thermosonication. *Food Research International*, 45(1), 299-305.

- NACMCF. (2006). Requisite Scientific Parameters for Establishing the Equivalence of Alternative Methods of Pasteurization. *Journal of Food Protection*, Vol. 69, No. 5, 2006, Pages 1190–1216
- Najman, K., Rajewski, R., Sadowska, A., Hallmann, E., & Buczak, K. (2024). Changes in the Physicochemical and Bioactive Properties of Yerba Mate Depending on the Brewing Conditions. *Molecules*, 29(11), 2590. <https://doi.org/10.3390/molecules29112590>
- Nascimento, H. M., Do Prado-Silva, L., Brandão, L. R., Brexó, R. P., Câmara, A. A., Rosa, C. A., & Sant'Ana, A. S. (2022). Large scale survey of yeasts in frozen concentrated orange juice (FCOJ): Occurrence, diversity, and resistance to peracetic acid. *International Journal of Food Microbiology*, 367, 109589. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109589>
- Nepovinnikh, N., Kliukina, O., Ptichkina, N., & Bostan, A. (2019). Hydrogel based dessert of low calorie content. *Food Hydrocolloids*, 86, 184-192. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.03.036>
- Nip, WK. (2006). Sweeteners. In: Bakery products. Science and technology. Hui YH, editor. Blackwell Publishing. p 137–59
- Noreen, A., Nazli, Z., Akram, J., Rasul, I., Mansha, A., Yaqoob, N., Iqbal, R., Tabasum, S., Zuber, M., & Zia, K. M. (2017). Pectins functionalized biomaterials; a new viable approach for biomedical applications: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 101, 254-272. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.03.029>
- Ochoa-Velasco, C. E., Díaz-Lima, M. C., Ávila-Sosa, R., Ruiz-López, I. I., Corona-Jiménez, E., Hernández-Carranza, P., & Guerrero-Beltrán, J. A. (2018). Effect of UV-C light on *Lactobacillus rhamnosus*, *Salmonella Typhimurium*, and *Saccharomyces cerevisiae* kinetics in inoculated coconut water: Survival and residual effect. *Journal of Food Engineering*, 223, 255-261.
- Oliveira, E. P., Burini, R. C., & Jeukendrup, A. (2014). Gastrointestinal complaints during exercise: prevalence, etiology, and nutritional recommendations. *Sports Medicine*, S79–S85. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0153-2>
- Olivos, O.C.; Cuevas, M.A.; Álvarez, V.V.; & Jorquera, A.C. (2012). Nutrición para el entrenamiento y la competición. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 23(3): 253-261.
- Oral, R., Dogan, M., Sarioglu, K. & Toker, Ö. (2012). 5-hydroxymethyl furfural formation and reaction kinetics of different pekmez samples: effect of temperature and storage. *International Journal of Food Engineering*, 8(4). <https://doi.org/10.1515/1556-3758.2560>
- Oteiza, J. M., Giannuzzi, L., & Zaritzky, N. (2010). Ultraviolet treatment of orange juice to inactivate *E. coli* O157:H7 as affected by native microflora. *Food and Bioprocess Technology*, 3(4), 603-614.

- Ozturk, S., Kong, F., & Singh, R. K. (2020). Evaluation of *Enterococcus faecium* NRRL B-2354 as a potential surrogate of Salmonella in packaged paprika, white pepper and cumin powder during radio frequency heating. *Food Control*, 108, 106833.
- Pagal, G. A., & Gabriel, A. A. (2020). Individual and combined mild heat and UV-C processes for orange juice against *Escherichia coli* O157:H7. *LWT - Food Science and Technology*, 126, 109295. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109295>
- Pagliosa, C. M., Vieira, M. A., Podestá, R., Maraschin, M., Zeni, A. L., Amante, E. R., & Amboni, R. D. (2010). Methylxanthines, phenolic composition, and antioxidant activity of bark from residues from mate tree harvesting (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.). *Food Chemistry*, 122(1), 173–178. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.02.040>
- Pala, Ç. U., & Toklucu, A. K. (2013). Microbial, physicochemical and sensory properties of UV-C processed orange juice and its microbial stability during refrigerated storage. *LWT-Food Science and Technology*, 50(2), 426
- Pan Y, Cheng JH, & Sun DW. (2019). Cold plasma-mediated treatments for shelf life extension of fresh produce: A review of recent research developments. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 18(5):1312-1326. doi: 10.1111/1541-4337.12474. PMID: 33336905.
- Paravisini, L., & Peterson, D.G. (2016). Characterization of browning formation in Orange Juice during storage. En: *Browned Flavors: Analysis, Formation, and Physiology*, (Ed) M. Granvogl, D. Peterson and P. Schieberle, American Chemical Society.55–65. DOI:10.1021/bk-2016-1237.ch005
- Peleg, M., y Cole, M. B. (1998). Reinterpretation of microbial survival curves. *Critical Reviews in Food Science*, 38, 353-380.
- Pellicanò, T.M., Sicari, V., Liozzo, M., Leporini, M., Falco, T. & Poiana, M. (2020). Optimizing the supercritical fluid extraction process of bioactive compounds from processed tomato skin by-products. *Food science and technology*, 40 (3), 692-697, <https://doi.org/10.1590/fst.16619>
- Perrier, J. D., Mihalov, J. J., & Carlson, S. J. (2018). FDA regulatory approach to steviol glycosides. *Food and Chemical Toxicology*, 122, 132–142. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.09.062>
- Petrus, R. R., Churey, J. J., & Worobo, R. W. (2020). Challenging a range of high pressure processing parameters to inactivate pathogens in orange juice. *High Pressure Research*, 40(4), 537-542.
- Petruzzi, L., Campaniello, D., Speranza, B., Corbo, M. R., Sinigaglia, M., & Bevilacqua, A. (2017). Thermal Treatments for Fruit and Vegetable Juices and Beverages: A

- Literature Overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(4), 668-691.
- Pineau, N., Schlich, P., & Martin, N. (2022). Multi-attribute temporal descriptive methods in sensory analysis: A systematic scoping review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(1), 1–25. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13294>
- Piyasena, P., Mohareb, E., y McKellar, R. (2003). Inactivation of microbes using ultrasound. A review. *International Journal of Food Microbiology*, 87, 207-216.
- Platkiewicz, J., Okołowicz, D., Frankowski, R., & Grześkowiak, T. (2024). Antioxidant capacity, phenolic compounds, and other constituents of cold and hot Yerba Mate (*Ilex paraguariensis*) infusions. *Antioxidants*, 13(12), 1467. <https://doi.org/10.3390/antiox13121467>
- Prakash, I., Markosyan, A., & Bunders, C. (2014). Development of Next Generation Stevia Sweetener: Rebaudioside M. *Foods*, 3(1), 162–175. <https://doi.org/10.3390/foods3010162>
- Proserpio, C., Fia, G., Bucalossi, G., Zandoni, B., Spinelli, S., Dinnella, C., Monteleone, E., & Pagliarini, E. (2020). Winemaking byproducts as source of antioxidant components: Consumers' acceptance and expectations of phenol-enriched plant-based food. *Antioxidants*, 9(8), 661. <https://doi.org/10.3390/antiox9080661>
- Putnik, P., Pavlič, B., Šojić, B., Zavadlav, S., Žuntar, I., Kao, L., Kitonić, D., & Kovačević, D.B. (2020). Innovative hurdle technologies for the preservation of functional fruit juices. *Foods*, 9, 699. <https://doi.org/10.3390/foods9060699>
- Quash, C. (2024). Five key snack trends to track in 2024–2025. Euromonitor International. <https://www.euromonitor.com/article/five-key-snack-trends-to-track-in-2024-2025>
- Quinn, G., & Keough, M. (2002). Generalized linear models and logistic Regression. En: G. Quinn y M. Keough, M. *Experimental design and data analysis for biologists*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, pp. 359-380.
- Quintero Quiroz, J., Duran, A.M., Garcia, M.S., Gomez, G.L. & Camargo J.J. (2019). Ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds from annatto seeds, evaluation of their antimicrobial and antioxidant activity, and identification of main compounds by LC/ESI-MS analysis. *International Journal of Food Science*, 3721828. doi: 10.1155/2019/3721828
- Quinzio, C., Ayunta, C., Alancay, M., López de Mishima, B., & Iturriaga, L. (2018). Physicochemical and rheological properties of mucilage extracted from *Opuntia ficus indica* (L. Miller). Comparative study with guar gum and xanthan gum. *Food Measure* 12, 459–470 <https://doi.org/10.1007/s11694-017-9659-2>

- Raizel, R., Coqueiro, A. Y., Bonvini, A., & Tirapegui, J. (2019). Sports and Energy Drinks: Aspects to Consider. *Sports and Energy Drinks*, 1-37. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815851-7.00001-2>
- Ramírez - Navas, J.S. (2006). Introducción a la Reología de los Alimentos. Ed. J. Ramirez-Navas. ReCiTeLA. Valle, Colombia.
- Rao, M.A. (2007). Rheological Behavior of Processed Fluid and Semisolid Foods. In: Rheology of Fluid and Semisolid Foods. Food Engineering Series. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-0-387-70930-7_5
- Razi, S. M., Motamedzadegan, A., Shahidi, A., & Rashidinejad, A. (2018). The effect of basil seed gum (BSG) on the rheological and physicochemical properties of heat-induced egg albumin gels. *Food Hydrocolloids*, 82, 268–277.
- Rejeb , I. B., Dhen, N., Kassebi, S., & Gargouri, M. (2020). Quality Evaluation and Functional Properties of Reduced Sugar Jellies Formulated from Citrus Fruits. *Journal of Chemistry*, 2020(1), 5476872. <https://doi.org/10.1155/2020/5476872>
- Rhan, R. (1997). Potassium iodide as a chemical actinometer for 254 nm radiation, use of iodate as an electron scavenger. *Photochemistry & Photobiology*, 66, 450–455.
- Riachi, L. G., & De Maria, C. A. B. (2017). Yerba mate: An overview of physiological effects in humans. *Journal of Functional Foods*, 38, 308-320. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.09.020>
- Riedel, R., Böhme, B., & Rohm, H. (2015). Development of formulations for reduced-sugar and sugar-free agar-based fruit jellies. *International Journal of Food Science & Technology*, 50(6), 1338–1344.
- Riganakos, K. A., Karabagias, I. K., Gertzou, I., & Stahl, M. (2017). Comparison of UV-C and thermal treatments for the preservation of carrot juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 42, 165-172.
- Rios-Romero, E. A., Ochoa-Martínez, L. A., Bello-Pérez, L. A., Morales-Castro, J., Quintero-Ramos, A., & Gallegos-Infante, J. A. (2021). Effect of ultrasound and steam treatments on bioaccessibility of β -carotene and physicochemical parameters in orange-fleshed sweet potato juice. *Heliyon*, 7(4), e06632. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06632>
- Rivero, R., Archaina, D., Sosa, N., Leiva, G., Coronel, B. B., & Schebor, C. (2020). Development of healthy gummy jellies containing honey and propolis. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(3), 1030-1037. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10107>
- Rocha, D. S., Casagrande, L., Model, J. F. A., Dos Santos, J. T., Hoefel, A. L., & Kucharski, L. C. (2018). Effect of yerba mate (*Ilex paraguariensis*) extract on the metabolism of

- diabetic rats. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 105, 370-376. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.05.132>
- Roobab, U., Shabbir, M. A., Khan, A. W., Arshad, R. N., Bekhit, A. E. D., Zeng, X., Inam-Ur-Raheem, M., & Aadil, R. M. (2021). High-pressure treatments for better quality clean-label juices and beverages: Overview and advances. *LWT-Food Science and Technology*, 149, 111828. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111828>
- Roselló-Soto, E., Koubaa, M., Moubarik, A., Lopes, R. P., Saraiva, J. A., Boussetta, N., Grimi, N., & Barba, F. J. (2015). Emerging opportunities for the effective valorization of wastes and by-products generated during olive oil production process: Non-conventional methods for the recovery of high-added value compounds. *Trends in Food Science & Technology*, 45(2), 296-310. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.07.003>
- Rosenthal, A. J. (2010). Texture profile analysis. How important are the parameters? *Journal of Texture Studies*, 41: 672–684. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2010.00248.x>
- Ros-Polski, V.; Popović, V.; Koutchma, T. (2016). Effect of ultraviolet-C light treatment on hydroxymethylfurfural (5-HMF) content in 930 high fructose corn syrup (HFCS) and model syrups. *Journal of Food Engineering*, 179, 78-87. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.01.027>
- Rowan, N. J., Valdramidis, V. P., & Gómez-López, V. M. (2015). A review of quantitative methods to describe efficacy of pulsed light generated inactivation data that embraces the occurrence of viable but non culturable state microorganisms. *Trends in Food Science & Technology*, 44(1), 79-92. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.03.006>
- Saha, D., & Bhattacharya, S. (2010). Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: a critical review. *Journal of Food Science and Technology*, 47(6), 587–597. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0162-6>
- Salomão, B. D. C. M. (2018). Pathogens and spoilage microorganisms in fruit juice: an overview. *Fruit juices*, 291-308.
- Saraiva, A., Carrascosa, C., Raheem, D., Ramos, F., & Raposo, A. (2020). Natural sweeteners: the relevance of food naturalness for consumers, food security aspects, sustainability and health impacts. *International journal of environmental research and public health*, 17(17), 6285. <https://doi.org/10.3390/ijerph17176285>
- Saraiva, B. R., Vital, A. C., Anjo, F. A., Ribas, J. C., & Matumoto Pinto, P. T. (2019). Effect of yerba mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) addition on the functional and technological characteristics of fresh cheese. *Journal of food science and technology*, 56(3), 1256–1265. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03589-w>

- Sarmiento-Santos, J., Souza, M. B., Araujo, L. S., Pion, J. M., Carvalho, R. A., & Vanin, F. M. (2022). Consumers' understanding of ultra-processed foods. *Foods*, 11(9), 1359. <https://doi.org/10.3390/foods11091359>
- Sauceda Gálvez, J.N., Tió-Coma, M., Martínez-García, M., Hernández-Herrero, M.M., Gervilla, R., Roig-Sagués, A.X., (2020). Effect of single and combined UV-C and ultra-high pressure homogenisation treatments on inactivation of *alicyclobacillus acidoterrestris* spores in apple juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 60, 102299.
- Sauer, A., & Moraru, C.I. (2009). Inactivation of *Escherichia coli* ATCC 25922 and *Escherichia coli* O157:H7 in apple juice and apple cider, using pulsed light treatment. *Journal of Food Protection*, 72, 937-944.
- Schenk, M., Ferrario, M., Schmalko, M., Rivero, R., Taravini, I., & Guerrero, S. (2021). Development of extracts obtained from yerba mate leaves with different industrial processing steps: Antimicrobial capacity, antioxidant properties, and induced damage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(6), e15482. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15482>
- Schlich, P. (2017). Temporal Dominance of Sensations (TDS): A new deal for temporal sensory analysis. *Current Opinion in Food Science*, 15, 38-42. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2017.05.003>
- Schmalko, M. E. 2005. Estudio y modelado del procesamiento primario de la yerba mate. Tesis de doctorado de la Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.
- Schmalko, M. E; Ramallo, L; Herrera, J; Valdez, E; Paredes, A; Morawicki, R; Grosso, S; Smorczewski, M; Benitez Britez, S.; Escalada, A. 1995. Programa Eco Mate. Reconocimiento de calidad. Análisis de composición general, minerales y vitaminas en yerba mate. Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales. Universidad Nacional de Misiones. Inédito.
- Schrimpf, M., Helge Warmeling, J. E., Färber, T., Behr, A., & Vorholt, A. J. (2021). Taylor Couette reactor: Principles, design, and application. *Aiche Journal*, 67, e17228. Available from <https://doi.org/10.1002/aic.17228>
- Schultze, D. M., Couto, R., Temelli, F., McMullen, L. M., & Gänzle, M. (2020). Lethality of high-pressure carbon dioxide on Shiga toxin-producing *Escherichia coli*, *Salmonella* and surrogate organisms on beef jerky. *International Journal of Food Microbiology*, 321, 108550
- Sepúlveda, C. T., & Zapata, J. E. (2019). Effect of temperature, pH and solids content on phenolic compounds and antioxidant activity of *Bixa orellana* L. extract. *Información tecnológica*, 30(5), 57-66. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000500057>

- Shah, N. N. A. K., Shamsuddin, R., Rahman, R. A., & Adzahan, N. M. (2016). Furan development In Dean vortex UVC treated Pummelo (*Citrus grandis* L. Osbeck) fruit juice. *International Food Research Journal*, 23.
- Shalaby, E., & Shanab, S. M. M. (2013). Comparison of DPPH and ABTS assays for determining antioxidant potential of water and methanol extracts of *Spirulina platensis*. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 42(5), 556–564.
- Shamsudin, R., Mohd Adzahan, N., Pui Yee, Y., & Mansor, A. (2014). Effect of repetitive ultraviolet irradiation on the physico-chemical properties and microbial stability of pineapple juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 23, 114-120. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.02.005>
- Shankar, V., Mahboob, S., Al-Ghanim, K. A., Ahmed, Z., Al-Mulhm, N., & Govindarajan, M. (2021). A review on microbial degradation of drinks and infectious diseases: A perspective of human well-being and capabilities. *Journal of King Saud University-Science*, 33(2), 101293.
- Shinwari, K. J., & Rao, P. S. (2018). Stability of bioactive compounds in fruit jam and jelly during processing and storage: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 75, 181-193. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.02.002>
- Silva, F., & Gibbs, P. (2001). *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores in fruit products and design of pasteurization processes. *Trends in Food Science and Technology*, 12, 68-74.
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *MéTodos en Enzimología*, 299, 152-178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- Soquetta, M. B., Terra, L. de M., & Bastos, C. P. (2018). Green technologies for the extraction of bioactive compounds in fruits and vegetables. *CyTA - Journal of Food*, 16(1), 400–412. <https://doi.org/10.1080/19476337.2017.1411978>
- Sourri, P., Tassou, C. C., Nychas, G. J., & Panagou, E. Z. (2022). Fruit juice spoilage by *Alicyclobacillus*: Detection and control methods—A Comprehensive Review. *Foods*, 11(5), 747. <https://doi.org/10.3390/foods11050747>
- Sousa, M. V., Simões, H. G., Oshiiwa, M., Rogero, M. M., & Tirapegui, J. (2007). Effects of acute carbohydrate supplementation during sessions of high-intensity intermittent exercise. *European journal of applied physiology*, 99(1), 57–63. <https://doi.org/10.1007/s00421-006-0317-3>
- Spinelli, S., & Monteleone, E. (2018). Emotional Responses to Products. *Methods in Consumer Research, Volume 1*, 261-296. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102089-0.00011-X>

- Spinelli, S., Dinnella, C., Ares, G., Abbà, S., Zoboli, G., & Monteleone, E. (2019). Global profile: Going beyond liking to better understand product experience. *Food Research International*, 121, 205-216. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.03.013>
- Spinelli, S., Masi, C., Dinnella, C., Zoboli, G. P., & Monteleone, E. (2014). How does it make you feel? A new approach to measuring emotions in food product experience. *Food Quality and Preference*, 37, 109-122. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2013.11.009>
- Spinelli, S., Masi, C., Zoboli, G., Prescott, J., & Monteleone, E. (2015). Emotional responses to branded and unbranded foods. *Food Quality and Preference*, 42, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.12.009>
- Srisuvor, N., Chinprahast, N., Prakitchaiwattana, C., & Subhimaros, S. (2013). Effects of inulin and polydextrose on physicochemical and sensory properties of low-fat set yoghurt with probiotic-cultured banana purée. *LWT-Food Science and Technology*, 51(1), 30–36.
- Stavropoulou, E., & Bezirtzoglou, E. (2019). Predictive modeling of microbial behavior in food. *Foods*, 8(12), 654.
- Stone, H. , Bleibaum, R. & Thomas, H. (2012). Sensory Evaluation Practices. 4th Edition, Food Science and Technology Food Science and Technology, ISBN: 9780128101025
- Tabilo-Munizaga, G., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2005). Rheology for the food industry. *Journal of Food Engineering*, 67(1-2), 147-156. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.05.062>
- Taiwo, O. R., Onyeaka, H., Oladipo, E. K., Oloke, J. K., & Chukwugozie, D. C. (2024). Advancements in predictive microbiology: Integrating new technologies for efficient food safety models. *International Journal of Microbiology*, 2024(1), 6612162. <https://doi.org/10.1155/2024/6612162>
- Tao, H., Wang, B., Wen, H., Cui, B., Zhang, Z., Kong, X., & Wang, Y. (2021). Improvement of the textural characteristics of curdlan gel by the formation of hydrogen bonds with erythritol. *Food Hydrocolloids*, 117, 106648.
- Tarlak, F. (2023). The use of predictive microbiology for the prediction of the shelf life of food products. *Foods*, 12(24), 4461. <https://doi.org/10.3390/foods12244461>
- Taze, B. H., Akgun, M. P., Yildiz, S., Kaya, Z., & Unluturk, S. (2021). UV processing and storage of liquid and solid foods: Quality, microbial, enzymatic, nutritional, organoleptic, composition and properties effects. *Innovative Food Processing Technologies*, 277-305. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22938-7>
- Taze, B. H., Unluturk, S., Buzrul, S., & Alpas, H. (2015). The impact of UV-C irradiation on spoilage microorganisms and colour of orange juice. *Journal of food science and technology*, 52(2), 1000-1007.

- Tchuenchieu, A., Ngang, J. E., Servais, M., Dermience, M., Kamdem, S. S., Etoa, X., & Sindic, M. (2018). Effect of low thermal pasteurization in combination with carvacrol on color, antioxidant capacity, phenolic and vitamin C contents of fruit juices. *Food Science & Nutrition*, 6(4), 736-746. <https://doi.org/10.1002/fsn3.611>
- Thakker, M.R., Parikh, J.K., Desai, M.A. (2018). Ultrasound assisted hydrotropic extraction: a greener approach for the isolation of geraniol from leaves of *Cymbopogon martinii*. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 6, 3215-3224 DOI:[10.1021/acssuschemeng.7b03374](https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b03374)
- Theocharidou, A., Ahmad, M., Petridis, D., Vasiliadou, C., Chen, J., & Ritzoulis, C. (2021). Sensory perception of guar gum-induced thickening: Correlations with rheological analysis. *Food Hydrocolloids*, 111, 106246. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106246>
- Torlak, E. (2014). Efficacy of ozone against *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores in apple juice. *International Journal of Food Microbiology*, 172, 1-4.
- Torres-Rodriguez, A., Darvishzadeh, R., Skidmore, A. K., Fränzel-Luiten, E., Knaken, B., & Schuur, B. (2024). High-throughput Soxhlet extraction method applied for analysis of leaf lignocellulose and non-structural substances. *MethodsX*, 12, 102644.
- Tremarin, A., Brandão, T. R., & Silva, C. L. (2017a). Application of ultraviolet radiation and ultrasound treatments for *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores inactivation in apple juice. *Lwt- Food Science and Technology*, 78, 138-142.
- Tremarin, A., Brandão, T. R., & Silva, C. L. (2017b). Inactivation kinetics of *Alicyclobacillus acidoterrestris* in apple juice submitted to ultraviolet radiation. *Food Control*, 73, 18-23.
- Türkmen, F.U.; & Takci, H.A. (2018). Ultraviolet-C and ultraviolet-B lights effect on black carrot (*Daucus carota* ssp. *sativus*) juice. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12, 1038–1046. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9719-2>.
- U.S. Food and Drug Administration. (2021). Guidance for Industry: Questions and Answers on Juice HACCP Regulation. <https://www.fda.gov/regulatory-information/search-fda-guidance-documents/guidance-industry-questions-and-answers-juice-haccp-regulation>
- Varela Ferreira, T., Mizuta, A.G., de Menezes, J.L., Dutra, T.V., Bonin, E., Castro, J.C., & de Abreu Filho, B.A. (2020). Effect of ultraviolet treatment (UV-C) combined with nisin on industrialized orange juice in *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores. *LWT- Food Science and Technology*, 133, 109911.
- Vásquez-Mazo, P., Loredó, A. G., Ferrario, M., & Guerrero, S. (2019). Development of a Novel Milk Processing to Produce Yogurt with Improved Quality. *Food and Bioprocess Technology*, 12(6), 964-975.

- Vaz Rezende, E., Carielo Lima, G., & Veloso Naves, M. (2021). Dietary fibers as beneficial microbiota modulators: A proposed classification by prebiotic categories. *Nutrition*, 89, 111217.
- Vega, G. (2022). Snacks saludables y deliciosos para satisfacer el balance que buscan los consumidores. *The Food Tech*. <https://thefoodtech.com/tendencias-de-consumo/snacks-saludables-y-deliciosos-para-satisfacer-el-balance-que-buscan-los-consumidores/>
- Vercammen, A., Vivijis, B., Lurquin, I., y Michiels, C. (2012). Germination and inactivation of *Bacillus coagulans* and *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores by 284 high hydrostatic pressure treatment in buffer and tomato sauce. *Internantional Journal of Food Microbiology*, 152, 162-167.
- Vidal, L., Ares, G., Hedderley, D., Meyners, M., & Jaeger, S. (2018). Comparison of rate-all-that-apply (RATA) and check-all-that- apply (CATA) questions across seven consumer studies. *Food Quality and Preference*, 67, 49–58.
- Vojvodić Cebin, A., Bunić, M., Mandura Jarić, A., Šeremet, D. & Komes, D. (2024). Physicochemical and sensory stability evaluation of gummy candies fortified with mountain germander extract and prebiotics. *Polymers*, 16 (2), 259. <https://doi.org/10.3390/polym16020259>
- Vorobiev, E., & Lebovka, N.I. (2008). Electrotechnologies for extraction from food plants and biomaterials. ISBN: 978-0-387-79373-3
- Wahia, H., Zhou, C., Fakayode, O. A., Amanor-Atiemoh, R., Zhang, L., Mustapha, A. T., & Ma, H. (2021). Quality attributes optimization of orange juice subjected to multi-frequency thermosonication: *Alicyclobacillus acidoterrestris* spore inactivation and applied spectroscopy ROS characterization. *Food Chemistry*, 361, 130108
- Walton, C. M., Saito, E. R., Warren, C. E., Larsen, J. G., Remund, N. P., Reynolds, P. R., Hansen, J. M., & Bikman, B. T. (2023). Yerba Maté (*Ilex paraguariensis*) supplement exerts beneficial, tissue-specific effects on mitochondrial efficiency and redox status in healthy adult mice. *Nutrients*, 15(20), 4454. <https://doi.org/10.3390/nu15204454>
- Wan, L., Wang, H., Zhu, Y., Pan, S., Cai, R., Liu, F., & Pan, S. (2019). Comparative study on gelling properties of low methoxyl pectin prepared by high hydrostatic pressure-assisted enzymatic, atmospheric enzymatic, and alkaline de-esterification. *Carbohydrate Polymers*, 226, 115285.
- Wan, L., Yang, Z., Cai, R., Pan, S., Liu, F., & Pan, S. (2021). Calcium-induced-gel properties for low methoxyl pectin in the presence of different sugar alcohols. *Food Hydrocolloids*, 112, 106252.

- Wang, J., & Wu, Z. (2023). Minimal processing of produce using a combination of UVC irradiation and ultrasound-assisted washing. *LWT*, 182, 114901. Available from <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114901>.
- Wen, G., Deng, X., Wan, Q., Xu, X., & Huang, T. (2019). Photoreactivation of fungal spores in water following UV disinfection and their control using UV-based advanced oxidation processes. *Water research*, 148, 1-9
- Whaley, J.K., Templeton, C., & Anvari, M. (2019). Rheological testing for semisolid foods: traditional rheometry. In: Joyner, H. (eds) *Rheology of semisolid foods*. Food Engineering Series. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-27134-3_3
- Whiting, R. C. (1995). Microbial modeling in foods. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 35(6), 467-494.
- Wickham, K. A., & Spriet, L. L. (2018). Administration of caffeine in alternate forms. *Sports Medicine*, 48(1), 79–91. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0848-2>
- Williams, P., & Phillips, G. (2009). Introduction to food hydrocolloids. *Handbook of Hydrocolloids* (Second Edition), 1-22. <https://doi.org/10.1533/9781845695873.1>
- Woll, B., Cvetkova, S., Gräf, V., & Stahl, M. R. (2024). Systematic investigation of the influence of suspended particles on UV-C inactivation of *Saccharomyces cerevisiae* in liquid food systems. *Journal of Food Process Engineering*, 47(1), e14520. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14520>
- Wu, W., Xiao, G., Yu, Y., Xu, Y., Wu, J., Peng, J., & Li, L. (2021). Effects of high pressure and thermal processing on quality properties and volatile compounds of pineapple fruit juice. *Food Control*, 130, 108293–108304. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108293>
- Xie, F., Gu, B., Saunders, S. R., & Ganjyal, G. M. (2021). High methoxyl pectin enhances the expansion characteristics of the cornstarch relative to the low methoxyl pectin. *Food Hydrocolloids*, 110, 106131. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106131>
- Xu, L., Zhub, C., Liu, T., Karrar, E., Ouyang, Y., & Li, D. (2022). Effect of microwave heating on lipid composition, chemical properties and antioxidant activity of oils from *Trichosanthes kirilowii* seed. *Food Research International*, 159, 111643. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111643>
- Yannam, S.K., Patras, A., Pendyala, B., Ramasamy M., Vipul Sudhir, V. & Sasges, M. (2020). Effect of UV-C irradiation on the inactivation kinetics of oxidative enzymes, essential amino acids and sensory properties of coconut water. *Journal of Food Science and Technology*, 57, 3564–3572 <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04388-4>

- Yemmireddy, V.; Adhikari, A.; & Moreira, J. (2022). Effect of ultraviolet light treatment on microbiological safety and quality of fresh produce: An Overview. *Frontiers in Nutrition*, 9, 871243.
- Zafra-Rojas, Q. Y., Cruz-Cansino, N., Ramírez-Moreno, E., Delgado-Olivares, L., Villanueva-Sánchez, J., & Alanís-García, E. (2013). Effects of ultrasound treatment in purple cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) juice. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20(5), 1283-1288. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2013.01.021>
- Zhai, Y., Tian, J., Ping, R., Xiu, H., Xiang, Q., Shen, R., & Wang, Z. (2020). Effects of ultraviolet-C light-emitting diodes at 275 nm on inactivation of *Alicyclobacillus acidoterrestris* vegetative cells and its spores as well as the quality attributes of orange juice. *Food Science and Technology International*, 1082013220957529.
- Zhang, L.L., Kong, Y., Yang, X., Zhang, Y.Y., Sun, B.G., Chen, H.T., & Sun, Y., (2019). Kinetics of 5-hydroxymethylfurfural formation in the sugar-amino acid model of Maillard reaction. *Journal of the Science of Food and Agriculture*.99 (5), 2340–2347
- Zhang, W., Li, Y., Jiang, Y., Hu, X., & Yi, J. (2023). A Novel Strategy to Improve Cloud Stability of Orange-Based Juice: Combination of Natural Pectin Methylsterase Inhibitor and High-Pressure Processing. *Foods*, 12(3), 581. <https://doi.org/10.3390/foods12030581>
- Zhang, Z., Wang, L., Zeng, X., Han, Z., & Brennan, C. S. (2018). Non-thermal technologies and its current and future application in the food industry: A review. *International Journal of Food Science and Technology*, 54(1), 1-13. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13903>