

Elaboración y caracterización de yogurt fortificado con harina de insecto (*Acheta domesticus*), sometido a tratamientos térmicos y no térmicos

Arnaud López, Juan Domingo

2022-12-02

<https://hdl.handle.net/20.500.11777/5594>

<http://repositorio.iberopuebla.mx/licencia.pdf>

Elaboración y caracterización de yogurt fortificado con harina de insecto (*Acheta domesticus*), sometido a tratamientos térmicos y no térmicos

Arnaud López Juan Domingo (séptimo semestre en Ingeniería en Biotecnología)¹, Cuateco Hueyopa Ruth Irlanda (séptimo semestre en Ingeniería Química)¹, Ortega Morales Daniel (séptimo semestre en Ingeniería en Biotecnología)¹

Aracen Fuentes Hilda Liliana (profesora asesora)¹, Bernal Cuevas Ramiro Antonino (profesor responsable)¹, Cortés Pichon Oscar Alejandro (profesor asesor)¹, Martínez Lifshitz Martha Eugenia (profesora asesora)¹, Mellado Pumarino Ramzi del Angel (profesora asesora)¹, Morales de la Peña Mariana (profesora asesora)², Pacheco Cabañas Rita Karen (profesora asesora)¹, Ríos Corripio Gabriela (profesora responsable)¹, Rodríguez Hernández Claudia (profesora asesora)¹, Romero de la Vega Gregorio (profesor asesor)¹

Universidad Iberoamericana Puebla, San Andrés Cholula, Puebla, México¹

Edificio de Bioingenierías, Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, Santiago de Querétaro, Querétaro, México²

Resumen

El cuidado de la salud es uno de los motivos principales por el cual las personas realizan actividades físicas, sin embargo, estas acciones son insuficientes sin una dieta adecuada. Debido a ello, la población deportista ha optado por el consumo de suplementos alimenticios que satisfagan sus requerimientos. Por ello, la implementación de alimentos fortificados que empleen innovadores procesos de conservación representa una oportunidad para el desarrollo y comercialización de productos que apoyen el equilibrio de los hábitos alimenticios. Ante ello, el objetivo del proyecto fue la elaboración y caracterización de yogurt fortificado con harina de insecto (*Acheta domesticus*), sometido a tratamientos térmicos (pasteurización VAT) y no térmicos (pulsos eléctricos -PE- y ultratermosonificación -UTS-), pensado para el mercado mexicano. Se inició con pruebas sensoriales para diferentes formulaciones de yogurt. Posteriormente, se efectuaron pruebas bromatológicas y fisicoquímicas para caracterizar el lácteo. Con ello, fue posible someter el yogurt a las técnicas de conservación. Finalmente, se realizaron análisis microbiológicos para determinar la reducción de $\frac{UFC}{mL}$ en cada tratamiento. Los resultados demostraron que la formulación #945 (70.9 $\frac{g_{proteína}}{L}$) tuvo preferencia. Las técnicas de conservación con mejor rendimiento fueron PE1 y UTS1 (#739 y #121). Con ello se espera que a futuro compita en el mercado y así apoye la autosuficiencia de la Casa Hogar IPODERAC. Se concluye que es posible hacer un yogurt fortificado nutricionalmente para apoyar a los deportistas a tener un consumo alimenticio equilibrado. Asimismo, en el aspecto tecnológico, las técnicas de conservación emergentes muestran mayor eficacia que las convencionales para yogurt.

Palabras clave: yogurt, IPODERAC, pulsos eléctricos, ultratermosonificación, ensayos bromatológicos, *Acheta domesticus*, pasteurización.

***Autor Corresponsal:** juandomingo.arnaud@iberopuebla.mx

Introducción

Al realizar ejercicio físico se adquieren beneficios que permiten mejorar la calidad de vida. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), este conjunto de acciones son necesarias para la promoción y preservación de la salud. Asimismo, mejoran la agilidad mental y física, garantizan el buen desarrollo de los sistemas corporales, alientan la formación de neuronas y sus conexiones, amplían el tamaño de los vasos sanguíneos, promueven la interacción social y el bienestar de las comunidades [1].

Actualmente, la participación en actividades físicas de la población mexicana con 18 o más años experimenta un alza. A pesar de las restricciones impuestas a causa de la pandemia por Covid-19, en 2021 el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) registró un aumento en la práctica de ejercicio físico del 0.3% con respecto al año anterior, de los cuales el 73.9% declaró que el motivo principal es la salud, lo cual resulta ser una proporción mayor con respecto a la de 2019 y 2020, con 10.9% y 3.3%, respectivamente (Fig 1) [2]. Hecho que puede traducirse en un aumento de la concientización de la población en el cuidado de la salud.

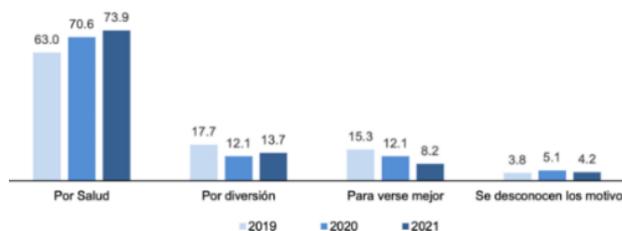


Fig 1. Distribución porcentual de motivos por los que la población de 18 años en adelante realiza ejercicio físico. Tomada de [2].

No obstante, practicar actividad física con frecuencia, resulta insuficiente si no se cumple con los requerimientos nutricionales adecuados [3]. Debido a ello, las personas activas recurren al consumo de suplementos para facilitar: la recuperación post-entrenamiento, mantener o mejorar la salud, aumentar el rendimiento, tratar enfermedades y/o compensar una dieta energéticamente deficiente [4]. Dicha cuestión representa una oportunidad para el desarrollo y comercialización de alimentos fortificados que empleen innovadores procesos de conservación que respeten, en lo posible, sus características originales. Por ello, el objetivo de este proyecto es elaborar un yogurt fortificado con harina de insecto (*Acheta domesticus*) sometido a tratamientos

térmicos y no térmicos, pensado para el mercado mexicano, resulta pertinente para apoyar el cumplimiento de las metas, objetivos y propósitos sociales de la Casa Hogar IPODERAC, ubicada en la Cd. de Atlixco, Puebla.

Yogurt como marcador en la calidad de la dieta.

El yogurt es un alimento perteneciente al grupo de los lácteos con múltiples beneficios. Se sospecha que su origen se debió a los primeros intentos para conservar alimentos en Bulgaria y Turquía, dado que los pastores solían almacenar la leche en odres, mismos que facilitaban la fermentación del lácteo [5-6]. Por lo que el término de yogurt, se les acuña únicamente a aquellos productos que posean microorganismos fermentadores lácticos viables a una concentración cuando menos de $1 \times 10^7 \frac{\text{colonias}}{\text{g o mL}}$ de producto.

En adición, posee una densidad nutricional suficiente para satisfacer los requerimientos de micronutrientes esenciales, ya que representa una fuente de vitaminas, minerales y proteínas de alta calidad. Por lo anterior, se menciona que los consumidores de yogurt demuestran un mejor perfil metabólico, hecho que lo sugiere como un marcador en la calidad de la dieta [7-8].

La composición nutricional del yogurt destaca frente a otros productos lácteos (Tabla 1). Se conoce que cuenta con un elevado contenido de calcio (Ca) e hidratos de carbono; de los cuales la lactosa prevalece sobre los otros azúcares. Esta última característica es la que permite que los microorganismos la seleccionen como sustrato energético y opten por hidrolizarla parcialmente.

Tabla 1. Vitaminas, proteínas y minerales presentes en el yogurt. Elaborada con datos de [7].

Minerales	Vitaminas	Proteínas
Calcio	Vitamina A	Caseínas:
Sodio	Vitamina D	α
Fósforo	Complejo B:	κ
Magnesio	Vitamina B2	β
Zinc	Vitamina B3	γ
Yodo	Vitamina B12	Proteínas de lactosuero:
Potasio		α -lactoalbúmina
		β -lactoglobulina
		Albumina sérica
		Proteasas-peptonas
		Inmunoglobulinas
		Enzimas:
		Lipasas
		Proteasas
		Fosfatasas
		Metaloproteínas:
		Transferrina
		Ceruloplasmina
		Lactoferrina

En consecuencia, la digestión de esta lactosa se ve facilitada a comparación del resto de los productos lácteos. En cambio, los lípidos presentes son ácidos grasos de cadena corta y media que resultan ser de fácil absorción. Estos se han asociado a múltiples beneficios como: apoyo para prevenir la diabetes mellitus tipo II, el síndrome metabólico, aminorar la ganancia de peso, entre otros factores de riesgo

cardiovascular. Además, las proteínas del yogurt permiten cubrir un amplio espectro de aminoácidos esenciales, que aunado a la acción proteolítica microbiana se favorece la liberación de péptidos y aminoácidos con potencial antihipertensivo, antimicrobiano, inmunomodulador e hipolipemiente [7,9].

Grillos como alimento.

El consumo de insectos con fines alimenticios es habitual para ciertos grupos étnicos. Esta costumbre también conocida como entomofagia, caracteriza a algunas etnias distribuidas en: Asia, África y América Latina; de las cuales destacan las pertenecientes a: México, Colombia y Perú, por lo que se estima que hasta 2000 millones de personas experimentan la entomofagia. Asimismo, esta práctica ha tomado popularidad dada la diversa cantidad de presentaciones y maneras de obtención, las cuales abarcan desde restaurantes hasta medios digitales [10-12]. Sin embargo, en la actualidad no existen normas que regulen la distribución con fines alimenticios [13].

El insecto *Acheta domesticus* (*A. domesticus*) es un recurso con alto potencial alimenticio. Esta especie de grillo cosmopolita originario de Asia, el sur de Europa y el norte africano, se ha extendido invasivamente a todo el mundo. Por sus habilidades de adaptación y fácil reproducción es común hallarlos en cocinas, sótanos, cobertizos y viviendas [14]. Al destinarlo como alimento, se permite la obtención de fuentes importantes en proteínas y ácidos grasos fundamentales en la dieta humana. Lo anterior se debe a que cada individuo de *A. domesticus* posee una cantidad de proteínas “que rondan hasta el 64%, la cantidad de grasa de un 22,8%, un 19,10% de fibra y un contenido en cenizas del 5,10%” [14]. La composición a detalle se muestra en la (Tabla 2).

Tabla 2. Composición detallada de *A. domesticus*. Adaptada de [14]. MS: Materia Seca

Análisis	Unidades	Media	Min	Max
Materia seca	% alimenticio	28.4	22.9	33.2
Proteína bruta	%MS	63.3	55	67.2
FND	%MS	18.3	15.7	22.1
FAD	%MS	10	9.6	10.4
Extracto etéreo	%MS	17.3	9.8	22.8
Cenizas	%MS	5.6	3.6	9.1
Calcio	g/kg [MS]	10.1	2.1	13.2
Fósforo	g/kg [MS]	7.9	7.8	7.9
Manganeso	g/kg [MS]	40	30	53
Zinc	g/kg [MS]	215	159	297
Cobre	g/kg [MS]	15	9	22
Hierro	g/kg [MS]	116	63	197
Arginina	%proteína	6.1	6.1	6.1
Cistina	%proteína	0.8	0.8	0.8
Lisina	%proteína	5.4	5.4	5.4
Metionina	%proteína	1.4	1.3	1.5
Tronina	%proteína	3.6	3.6	3.6
Triptófano	%proteína	0.6	0.5	0.6
Ácido mirístico C14:00	% ácidos grasos	0.7	0.6	0.7
Ácido palmítico C16:0	% ácidos grasos	23.4	21.9	24.9
Ácido palmitoleico C16:1	% ácidos grasos	1.3	1.1	1.4
Ácido esteárico C18:1	% ácidos grasos	9.8	9.3	10.4
Ácido oleico C18:1	% ácidos grasos	23.8	23	24.6
Ácido linoleico C18:2	% ácidos grasos	38	36.5	39.5
Ácido linoleico C18:3	% ácidos grasos	1.2	1	1.4

Tratamientos de conservación térmicos y no térmicos.

Los métodos de conservación no térmicos permiten plantear procesos más sostenibles e inocuos en la industria alimentaria. Dentro de estos, la tecnología de PE consiste en la aplicación intermitente de campos eléctricos ($0.5-30 \frac{kV}{cm \cdot \mu s}$) a un alimento líquido. Dicho aspecto provoca una electroporación en las membranas y paredes celulares, que: inactiva microorganismos, reduce la actividad enzimática, favorece la transferencia de masa, conserva los antioxidantes y preserva las cualidades organolépticas. En contraparte, dentro de los procesos térmicos se encuentra la pasteurización VAT (PVAT), la cual destaca por su efectividad para reducir los microorganismos presentes debido a la lisis membranal a causa del calor suministrado. Este proceso comienza con el calentamiento del alimento líquido a 63 °C durante 30 min y posteriormente se permite un enfriamiento lento hasta los 4-6 °C, lo cual provoca latencias significativas en el procesamiento [15]. Por ello este último carece de las virtudes de los PE, puesto que al ser

un tratamiento con temperaturas inferiores a las requeridas en PVAT, disminuye los efectos de: impacto ambiental, altos costos energéticos, pérdida en las propiedades sensoriales y nutritivas de los alimentos [16-17].

Por otro lado, la ultrasonificación (US) es un método no térmico que aplica ondas con frecuencias entre 16 KHz y 20 MHz, mismas que al aplicarse en gases pueden alcanzar los 5 MHz y hasta 500 MHz en líquidos y sólidos [18-20]. Dicha tecnología permite evaluar la textura, composición y viscosidad de los alimentos, así como destruir paredes y membranas biológicas, hecho que le permite inactivar significativamente microorganismos al ser acompañada con otras tecnologías de conservación. Debido a sus variados rangos de frecuencia, este proceso se clasifica como baja intensidad y alta intensidad (Tabla 3). Sin embargo, los mecanismos de acción para ambos casos se catalogan en térmicos y no térmicos (Tabla 4), los cuáles permiten tener beneficios equiparables a los de electroporación [21-27].

Tabla 3. Clasificación de las técnicas de US. Adaptada de [14].

Ultrasonido		
Frecuencia	<i>Alta intensidad</i>	<i>Baja intensidad</i>
	18-100 kHz	<100 kHz
Aplicaciones primarias	Procesamiento Estabilización de alimentos	Diagnóstico Control de calidad Fenómenos de relajación.
Aplicaciones secundarias	Rompimiento celular Permeabilización de la membrana celular Cambios estructurales y fisicoquímicos Homogenización de emulsiones	

Tabla 4. Posibles mecanismos de acción de US. Tomada de [14].

Teoría	Mecanismo	Aplicación
Cavitación	Remoción mecánica por irrupción o atrapamiento de la bacteria, a través de burbujas localizadas con altas temperaturas (5500°C) y presiones (500MPa).	Procesos de desinfección, lisis celular e inactivación enzimática.
Formación de radicales libres	Sonólisis del agua puede producir iones (OH ⁻) y (H ⁺) y peróxido de hidrógeno.	Inactivación microbiana y enzimática.
Choques micro-mecánicos	Disrupción de las células y disminución del grosor de paredes celulares.	Lisis celular, inactivación enzimática y efecto antimicrobiano.
Generación de energía calórica y mecánica	Propagación de la onda; decrece con la distancia al ser aplicado en material atenuante. Esta porción que es absorbida se traduce en calor.	Inactivación microbiana.
Fuerza de radiación	Movimiento o vibración local de un tejido por fuerza de radiación acústica.	Análisis clínicos.
Compresión y rarefacción	Microcorriente acústica.	Inactivación microbiana y enzimática.

Metodología

Diseño Experimental

El planteamiento metodológico se llevó a cabo bajo distintos análisis y periodos, puesto que se requirió demostrar el incremento proteico del producto antes y después de adicionar la harina de insecto (HI), así como sus propiedades anteriores y posteriores de aplicar las técnicas de conservación respectivas.

Formulación de los Yogures

Base:

Para la elaboración de la base (yogurt natural), se calentó 1 L de leche entera (Alpura pasteurizada), hasta llegar a los 85°C, momento en el cual la fuente de calor fue suspendida. Se permitió una disminución de la temperatura en agitación constante hasta los 60±5 °C, para adicionar 200 mL de yogurt (Alpura natural). Posteriormente, se dejó enfriar hasta los 40±5 °C, momento en el cual fue vertido en otro recipiente y tapado con manta cielo cruda de doble capa e inmovilizado con plástico autoadherible. Más adelante se dejó reposar por ocho horas a temperatura ambiente (22 °C), para permitir la fermentación. Luego se filtró con la misma manta de algodón hasta desueroarlo, y se dejó reposar en refrigeración a 4 °C, tapado con plástico autoadherible hasta su posterior uso.

Formulación:

Con la formulación base se elaboraron distintos yogures con HI (Insect Nutrition) y mermelada de fresa sin azúcar (Smuckers) (Tabla 5).

Tabla 5. YG: Yogurt, M: Mermelada y HI: Harina de Insecto. Cantidades en gramos y mililitros empleadas en cada formulación.

Ingrediente	Muestras				
	Base (#129)	#385	#537	#945	#791
YG (mL)	300	300	300	300	300
M (g)	0	10.4	20.8	41.6	62.5
HI (g)	0	1.5	3	6	9

Nota: Elaboración propia.

Análisis Sensorial Inicial

Para determinar la formulación con mejor calidad para los deportistas, se realizó un examen organoléptico de 5 puntos (“me gusta mucho, me gusta, me es indiferente, no me gusta y me disgusta totalmente”) con 8 variables definidas a continuación (Tabla 6), en 32 sujetos:

Tabla 6. Variables analizadas en la evaluación sensorial.

Textura:	Consistencia en cuanto a la viscosidad.
Acidez:	Comparativa entre yogures comerciales.
Color:	Evaluación de la escala cromática.
Olor:	Evaluación olfativa.
Creosidad:	Consistencia en cuanto a la espesura.
Resabio:	Sabor adquirido y mantenido después del consumo.
Sólidos	
Suspendidos:	Materia orgánica sobrenadante.
Mercado:	Si el aplicante lo compraría.

Nota: Elaboración propia.

Análisis Bromatológicos

Análisis de Ácidos Grasos

Harina:

Se colocaron 3 vasos Goldfish en un horno a 90 °C durante 12 h; para dejarlos a peso contante. Luego, se pesaron 2 g de HI por dedal Goldfish y 60 mL de hexano en cada vaso. Posteriormente, se abrieron las corrientes de recirculación de agua y se activaron las parrillas. Al cabo de 5 horas las grasas pasaron a través de los dedales y se detuvo el calentamiento. A continuación, se cambiaron los dedales por cartuchos de vidrio y se reactivó el proceso para la destilación y recolección del hexano durante 6 horas. Finalmente, se apagó el equipo y se colocaron los vasos en una estufa durante 8 h a 100 °C, para pesarlas posteriormente.

Base y formulación:

Para efectuar el método de Rose Glotief, 6 vasos de precipitado y 6 vasos Goldfish se pusieron a peso constante por 24 h a 90 °C. Posteriormente se dejaron enfriar a temperatura ambiente por 24 h; dentro de un desecador. Los pesos fueron registrados al día siguiente. A los 6 vasos de precipitado se les añadió 10 g de la muestra respectiva, a razón de tener triplicados de cada una. Se agregó 5 mL de HCl concentrado a cada uno y se mantuvieron en baño maría hasta la completa digestión de la muestra. Una vez templadas, se colocaron en un embudo de decantación y se les añadieron los siguientes reactivos en el orden de aparición (Tabla 7):

Tabla 7. Solventes utilizados en la primera decantación.

Reactivos	Cantidad por Muestra (mL)
Etanol al 70%	15
Éter Etilico	25
Éter de Petróleo	25

Nota: Elaboración propia.

Al terminar la adición de cada componente, se agitó la ampollita y se liberaron los gases generados. Una vez decantada la muestra se drenó la capa inferior y se preservó la fase orgánica. Nuevamente se les añadió solventes en el orden de aparición (Tabla 8):

Tabla 8. Solventes utilizados en la segunda decantación.

Reactivos	Cantidad por Muestra (mL)
Etanol al 70%	15
Agua Destilada	3
Éter Etilico	15
Éter de Petróleo	15

Nota: Elaboración propia.

Al terminar la adición, se agitó nuevamente. Una vez decantada la muestra se drenó la fase acuosa. Posteriormente la fase orgánica se colocó en los vasos Goldfish y se evaporó el solvente restante con ayuda de una parrilla de calentamiento y dentro de una campana de extracción. Dicho procedimiento se mantuvo hasta obtener una sustancia amarillenta, grasosa, viscosa y poco inolora. Finalmente, los vasos se colocaron en un desecador por 24 h y pasado el tiempo se pesaron nuevamente.

Análisis de Azúcares Reductores

Preparación de la curva de calibración

Se preparó la solución patrón de glucosa bajo distintas concentraciones (0; 0.25, 0.07, 0.1; 0.15; 0.17; 0.2; 0.25; 0.3 [g/L]). Se añadieron 0.25 mL de cada solución y 0.25 mL de reactivo DNS en tubos Falcon recubiertos con papel aluminio. Dichos tubos fueron llevados a baño María a 92 °C por 5 min. La reacción se detuvo con el trasvase de los tubos a cubetas con hielo por 5 min, y después se agregaron 5.5 mL de agua destilada a cada uno. Los tubos se agitaron en un vortex previo a agregar la muestra en las celdas del espectrofotómetro. Finalmente, el software Simple Reads se ajustó a 540 nm, con un blanco de agua destilada y los datos fueron almacenados.

HI, base y formulación

En tubos Falcon de 15 mL se añadieron las siguientes proporciones (Tabla 9) por triplicado:

Tabla 9. Diluciones para determinación de azúcares reductores.

Reactivos	Cantidad por Muestra
Muestra (g)	1
Agua Destilada (mL)	10

Nota: Elaboración propia.

Posteriormente se agitaron en vórtex hasta la homogeneidad y se centrifugó a 5500 rpm durante 10 min. Con una micropipeta se retiraron 0.5 mL de sobrenadante y se colocaron en un tubo eppendorf recubierto con papel aluminio. A este se le adicionó 0.5 mL de reactivo DNS y se dejó incubar en baño maría por 5 minutos. La reacción se detuvo usando hielo y agua. Posteriormente, se reconstituyó la mezcla con 5mL de agua destilada en un nuevo tubo Falcon de 15 mL forrado con aluminio, se agitó por vórtex y se determinó la absorbancia con espectrofotómetro de luz UV-vis (marca Agilent) a una longitud de 540 nm y con agua destilada como blanco.

Análisis de Humedad

Para los tres tipos de mezclas, se hizo uso de una termobalanza (Ohaus), añadiendo 1 g de cada muestra por platillo y operando a 125 °C. Se encendió el equipo y cada uno de los porcentajes de humedad fueron almacenados.

Análisis de Minerales

Para los tres tipos de mezclas, los crisoles fueron colocados en horno a 90 °C durante 12 h; para ponerlos a peso contante. Se pesaron 4 g de HI y yogurt, divididos por crisol. Posteriormente, se colocaron en una parrilla de calentamiento a 100 °C, mientras uno de ellos fue colocado en flama encima de un tripie. Se esperó a que las muestras no desprendieran humo. Contiguo a ello, cada crisol se transportó en un desecador hasta la mufla, y las muestras fueron depositadas por 5-8 h hasta su calcinación. Finalmente se pesaron.

Análisis de Proteínas

Se pesó 1 g de cada muestra por triplicado. Estas se pasaron a un matraz Kjeldahl junto con 2 g de sulfato de cobre, 10 g

de sulfato de sodio anhidro, 25 mL de ácido sulfúrico y 10 g de perlas de vidrio por cada uno. Se colocó el matraz en el digestor hasta que la tonalidad de la mezcla se tornara verde esmeralda. A continuación, se enfriaron los matraces y en campana de extracción se añadieron 450 mL de agua destilada junto con 4 gránulos de zinc y 50 mL de hidróxido de sodio al 50%. Después, se pasó al sistema de destilación, donde, previamente fueron colocados matraces Erlenmeyer de 500 mL con 50 mL de ácido bórico y 10 gotas de indicador Shiro Tashiro, en la salida del equipo. Al alcanzar 300-350 mL de destilado, los matraces fueron retirados para titularlos con ácido clorhídrico 0.1 N.

Tratamientos de Conservación de Alimentos

PVAT

Este tratamiento consistió en el calentamiento constante y controlado de 1000 mL de la muestra #945 a 60°C durante 30 min. Pasado el proceso se dejó enfriar el producto hasta los 4 °C y se guardó en esterilidad para su análisis microbiológico y sensorial.

PE

Para este tratamiento se hizo uso de un equipo de pulsos eléctricos marca Energy Pulse Systems proporcionado por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), campus Querétaro, donde, se manipularon 600 mL de la muestra #945 por cada procedimiento.

Para cada método se propusieron los siguientes parámetros (donde; d: distancia entre los electrodos, v: voltaje, E: campo eléctrico, f: frecuencia, a: anchura de pulso, n: número de pulsos y t: tiempo del tratamiento) (Tabla 10):

Tabla 10. Parámetros propuestos para PE.

	Parámetros Tratamiento 1	Parámetros Tratamiento 2
d (cm) =	4.5	1.5
v (V) =	10000	10000
E (Kv/cm) =	2.2	6.6
f (hz) =	150	150
a (µs) =	8	8
n (pulsos) =	200	200
t (µs) =	1600	1600

Nota: Elaboración propia.

UTS

Para este tratamiento se hizo uso de un equipo de sonicación marca Qsonica Sonicators proporcionado por el ITESM, donde, se manipularon 600 mL de la muestra #945 por cada método.

Para cada procedimiento se propusieron los siguientes parámetros (donde; A: amplitud de onda porcentual y t: tiempo) (Tabla 11):

Tabla 11. Parámetros propuestos para la UTS:

	Parámetros Tratamiento 1	Parámetros Tratamiento 2
A (%) =	50	90
T (min) =	30	30

Nota: Elaboración propia.

Análisis Microbiológico

Se prepararon 800 mL de Man, Rogosa y Sharpe (MRS) y Medio Estándar (ME). repartido en 2 matraces Erlenmeyer de 1000 mL, que fueron esterilizados. Se tomó una muestra de yogurt y se realizaron diluciones seriadas con agua destilada estéril hasta alcanzar una dilución de 1×10^{-6} , de cada una de las técnicas de conservación (Tabla 12). Estas diluciones fueron sembradas en placas Petri estériles con los medios anteriores. A continuación, se dejaron en incubación a 37 °C durante 48 h. Finalmente, se efectuó el conteo de $\frac{UFC}{mL}$.

Tabla 12. Muestras analizadas post-tratamientos de conservación.

Técnica Empleada	
#945	Ninguna (Base Formulada)
#121	UTS (Tratamiento 1)
#327	UTS (Tratamiento 2)
#531	PEF (Tratamiento 2)
#643	PVAT
#739	PEF (Tratamiento 1)

Nota: Elaboración propia.

Análisis Sensoriales de Técnicas de Conservación

Para determinar la formulación con mejores características de textura para el consumidor, se realizó un examen organoléptico de selección, enumerando a 1 como la muestra de mayor preferencia y 5 a la de menor agrado.

Análisis fisicoquímicos

Color

Se utilizó la aplicación “Color Analysis” para las mediciones de color en escala de Lab (L: luminosidad [negro a blanco], a: a* va [rojo a verde] y b: b* va [azul a amarillo]) por triplicado y en mismas condiciones.

Grados Brix

Se utilizó un refractómetro Atago para las mediciones de °Brix. Usando como blanco agua destilada, antes de utilizar el equipo.

Potencial de Hidrógeno

Se utilizó un potenciómetro de mesa Conductronic, modelo PH120 para las mediciones de pH. Calibrando el equipo con soluciones buffer (4 y 7).

Viscosidad Cinemática

Se utilizó un viscosímetro Fungilab Premium para las mediciones de viscosidad. Se tomaron 600 mL de la base y formulado, así como 50 mL de las muestras post-tratadas, así se inició con el proceso bajo las siguientes condiciones (Tabla 13):

Tabla 13. Parámetros contemplados en la medición de viscosidad.

Parámetros	Primer método	Segundo método
Aguja	R4	R3
RPM	70 rpm	250 rpm
Temperatura	10 °C	10 °C
Rendimiento	55% - 60%	55% - 60%

Nota: Elaboración propia.

En seguida se procedió a calcular las densidades de cada muestra, haciendo uso de picnómetros previamente establecidos a peso constante en desecador por 24 horas. Finalmente se calculó la viscosidad cinemática con:

$$v = \frac{\mu}{\rho}$$

Donde:

- v = viscosidad cinemática.
- μ = viscosidad dinámica.
- ρ = densidad.

Resultados y Discusión

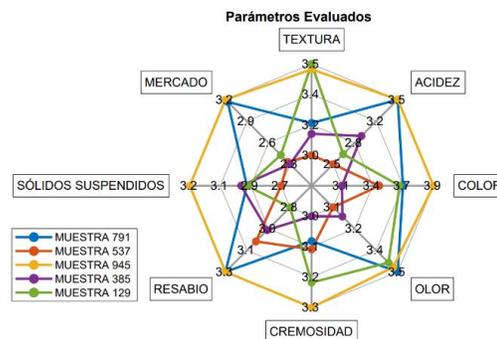


Fig 2. Evaluación sensorial de las formulaciones. Nota: Elaboración propia.

Análisis Sensorial Inicial

La (Fig 2) concentra los datos de la evaluación sensorial, sobre las formulaciones propuestas a distintas concentraciones de HI y mermelada de fresa.

Dicho lo anterior, se observó que la muestra base (#129) fue la menos palatable con respecto a las demás, lo que refleja una mejora significativa en todas las formulaciones. Cabe destacar que la #945 lideró todos los aspectos, a excepción de la textura y el olor. El aspecto mejor evaluado fue el color con 3.9 puntos, seguido del olor, acidez y textura con 3.5 puntos, cremosidad y resabio con 3.3 puntos y por último mercado y sólidos suspendidos con 3.2 puntos, por lo cual fue seleccionada. La popularidad de las formulaciones se presenta en la (Fig 3), misma donde se observa que un 53.12% de los deportistas eligió la #945, y la #385 y #537 fueron las menos satisfactorias.

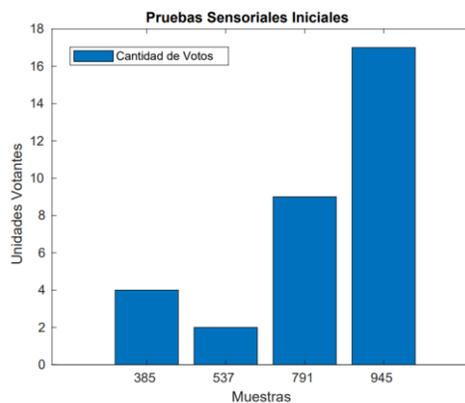


Fig 3. Popularidad de las formulaciones para 32 deportistas. Nota: Elaboración propia.

Tratamientos de Conservación de Alimentos

Al aplicar los distintos tratamientos de conservación, se logró modificar la cantidad de $\frac{UFC}{mL}$ dentro de las formulaciones, las propiedades fisicoquímicas, así como las organolépticas de cada fórmula. Dichas variaciones se presentan detalladamente en (Fig 5-9) y (Tabla 14-20). A diferencia de PE, en UTS se generó una curva que describe el calentamiento de la muestra con respecto a los parámetros aplicados, demostrando que a mayor amplitud de onda mayor será el calor ganado (Fig 4).

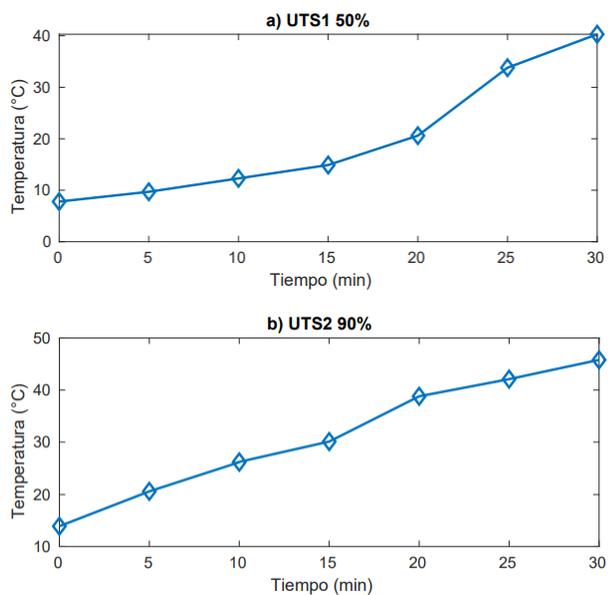


Fig 4. A: Aumento de la temperatura con UTS1. B: Aumento de la temperatura en UTS2. Nota: Elaboración propia.

Análisis Microbiológico

Al realizar la parte microbiológica, se observó en un inicio que se contaba con la cantidad requerida de $\frac{UFC}{mL}$ según [28] quien establece como mínimo la presencia de $1 \times 10^6 \frac{UFC}{mL}$. Asimismo, se presentó que la técnica PVAT eliminó completamente las UFC de mesófilos aéreos (AMB) y bacterias ácido-lácticas (LAB) (Fig. 5). Sin embargo, la UTS1 y PE2 con respecto a los AMB y la UTS1, PE1 y PE2 para el caso de los LAB, redujeron aproximadamente 1 ciclo logarítmico. Si comparamos las técnicas de conservación entre sí, tanto los pulsos eléctricos con $6.6 \frac{kV}{cm}$ como la ultratermosonificación con 50% de amplitud de onda, son los efectivos para la reducción de UFC en los alimentos. A pesar de que los pulsos eléctricos fueron de baja intensidad, permitieron inactivación bacteriana. Por otro lado, en el UTS2 ocurrió un fenómeno inesperado, donde, a baja amplitud de onda, se presentó mayor reducción a comparación con UTS1.

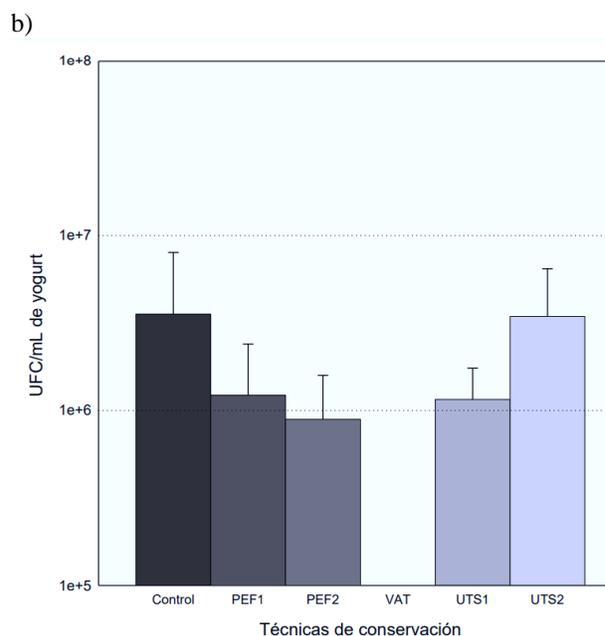
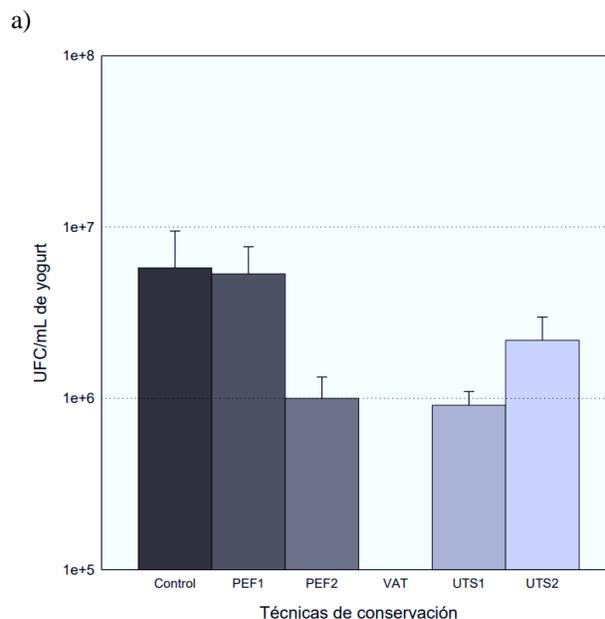


Fig 5. Conteo de UFC por cada técnica de conservación. A: Mesófilos Aerobios (AMB) y B: Bacterias Ácido-Lácticas (LAB). Nota: Elaboración propia.

Análisis Bromatológicos y Fisicoquímicos

Azúcares Reductores

En la (Fig 6) se plasmó la curva de calibración de glucosa cuantificada por el espectrofotómetro UV-vis. Con ello se divisó que la HI contiene $0.04 \pm 0.005 \frac{g}{kg}$ de glucosa, la base $0.24 \pm 0.05 \frac{g}{L}$ y la formulación $0.285 \pm 0.05 \frac{g}{L}$ (Fig 7).

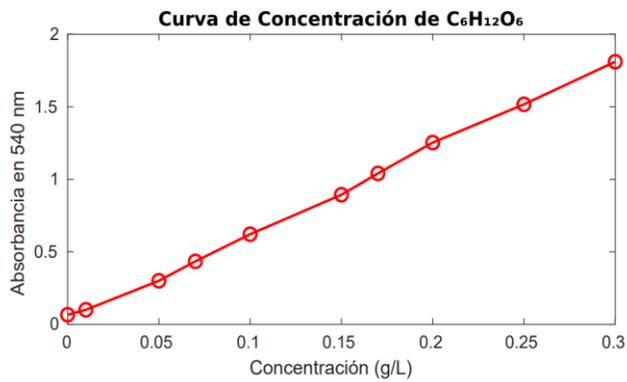


Fig 6. Curva de calibración de la glucosa. Nota: Elaboración propia.

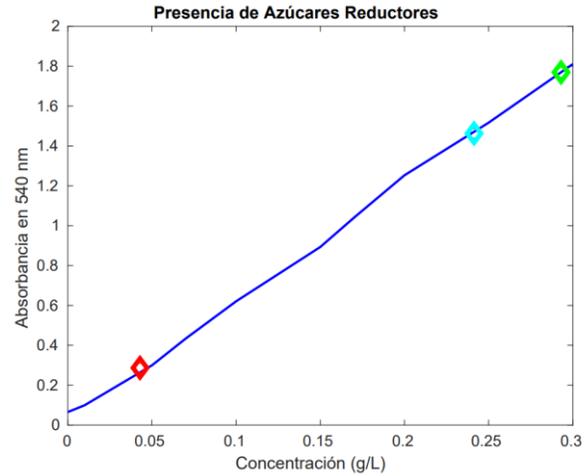


Fig 7. Azúcares reductores presentes en la HI (rombo rojo), la base (rombo cian) y la formulación (rombo verde). Nota: Elaboración propia.

Tabla 14. Pruebas Bromatológicas y Fisicoquímicas del yogurt

	pH	°Brix	Humedad (%)	Proteínas (%)	Grasas (%)	Minerales (%)
Base	5.15 ± 0.006	8.03 ± 0.1155	77.33 ± 0	6.14 ± 0.74	4.15 ± 0.33	0.875 ± 0.25
#945	4.41 ± 0.006	11.867 ± 0.153	68 ± 0.03			
#121	4.34 ± 0.02	10.8 ± 0.36	79.63 ± 0.01			
#327	4.31 ± 0.053	11.067 ± 0.058	78.67 ± 0.01	7.094 ± 0.42	5.51 ± 0.55	0.897 ± 0.03
#531	4.26 ± 0.006	10.6 ± 0.954	77.67 ± 0.006			
#643	4.38 ± 0.07	11.767 ± 0.153	71.33 ± 0.02			
#739	4.21 ± 0.03	11.167 ± 0.473	74.77 ± 0.039			

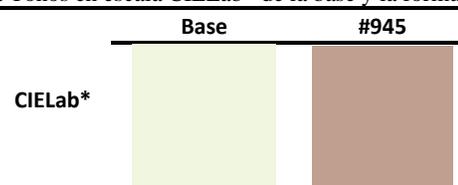
Nota: Elaboración propia.

Tabla 15. Pruebas Fisicoquímicas de la HI

Humedad	3
(%)	± 0.006
Proteína	62.7
(%)	± 3.94
Grasas	72
(%)	± 9.27
Minerales	6.3
(%)	± 0.505

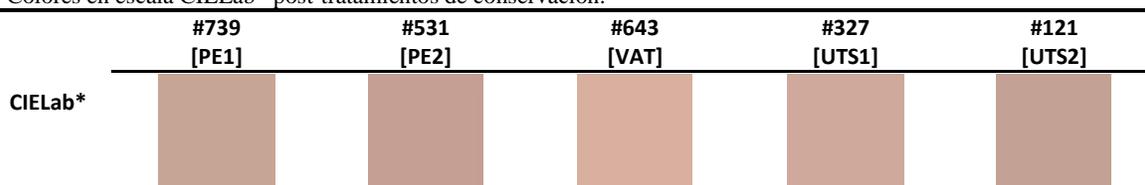
Nota: Elaboración propia.

Tabla 16. Tonos en escala CIELab* de la base y la formulación.



Nota: Elaboración propia.

Tabla 17. Colores en escala CIELab* post-tratamientos de conservación.



Nota: Elaboración propia.

Tabla 18. Valores de la escala CIELab*, diferencia total de color (ΔE), chroma [saturación de color] (C) y tono o hue [ángulo de color] (H°)

Característica	Control	PE		UTS		Pasteurización	
		kV/cm		(%)			
		2.2	6.6	50	90		
L	68.17 ± 1.16	70.17 ± 0.58	68.83 ± 0.58	68.87 ± 1.1	72.40 ± 0	74.83 ± 1.1	
a	9.90 ± 1.2	9.70 ± 1.21	12.57 ± 1.27	10.70 ± 0.7	11.00 ± 0	12.60 ± 1.21	
b	11.83 ± 2.14	13.23 ± 0.81	11.37 ± 0.81	11.37 ± 1.62	12.10 ± 0	14.03 ± 1.15	
H°	0.39	0.21	0.79	0.56	0.51	0.49	
C	15.43	16.41	16.94	15.61	16.35	18.86	
ΔE	98.84	100.39	99.55	99.35	101.95	104.12	

Nota: Elaboración propia.

Potencial de Hidrógeno

En todos los casos los yogures formulados demostraron un pH ácido, cuestión que caracteriza a estos productos y les permite competir el mercado. Ningún pH traspasó el rango entre 4.2 y 4.4, a excepción de la base con 5.15 ± 0.006 . Lo cual, permite inferir que la adición de la HI y la mermelada permiten este efecto positivo. Asimismo, estos datos reflejan que los tratamientos de PVAT, UTS y PE no alteran esta propiedad (Tabla 14).

Grados °Brix

Se observó una gran similitud en los °Brix de todas las formulaciones, sin embargo, la #121 y #531 sufrieron una reducción en los azúcares de 1.076 y 1.276 °Brix respectivamente, con respecto a la #945 (Tabla 14). Tomando en cuenta los estudios de [29-30] que resaltan que la UTS carameliza los azúcares presentes en los fluidos, debido a la reacción de Maillard que es frecuente en el procesamiento o cocción de los alimentos, y que toma lugar en los grupos amino de los que se componen los aminoácidos, péptidos, proteínas y grupos carbonilos. A pesar de ello, se pudo haber extraído una fracción exigua para esta cuestión, dado que #327 no reflejó una reducción superior. Si se compara con lo obtenido en PE1 y PE2, se observa una reducción de azúcares con respecto al aumento del campo eléctrico aplicado. A pesar de ello, todos los tratamientos no afectaron significativamente los °Brix de los yogures. Por otro lado, al contrastar dichos valores con los de la base, se denota una brecha considerable como consecuencia de la adición de mermelada de fresa.

Análisis de Humedad

La cantidad de agua dispersa en el medio al igual que el pH y los grados Brix, no influyeron en grandes proporciones a las propiedades del yogurt. Todos se mantuvieron entre un rango de 68 y 79 % de humedad, no obstante, el aumento de la humedad en algunas muestras con respecto a la formulación (Tablas 14-15) puede tratarse debido a la diferencia de presiones atmosféricas entre las entidades en donde se hicieron las técnicas de conservación y donde se hicieron las pruebas físicas, dado que, Santiago de Querétaro está a 1820 msnm y Puebla a 2135 msnm, lo que les dio oportunidad a las muestras de absorber humedad en la estadia en Querétaro, antes de regresar a San Andrés Cholula. Si hacemos referencia con [31] sabremos que: “Por

encima de 2500 msnm, la atmósfera se vuelve más seca, el aire tiene menos oxígeno y la humedad se evapora con rapidez.”, por lo que, si bajamos a un menor nivel ocurrirá un efecto a la inversa. Además, también deben considerarse los cambios violentos que existieron en cuanto al ambiente en el que estuvieron inmersos, dado que, se mantuvieron en refrigeración por más de 48 horas después de los tratamientos, lo que les dio oportunidad de absorber humedad del refrigerador industrial.

Color

Al analizar los colores expresados en los yogures, se apreció que PVAT obtuvo el puntaje más alto de luminosidad, seguido de los tratamientos PE y por último los UTS (Tabla 16-18). Cabe señalar que los valores mostraron tendencia por números cercanos al 100, como era esperado, dado que en el producto predominaron las tonalidades blanquecinas [32-33] (Tabla 16). Por otro lado, los valores de a^* indicaron que las formulaciones cuentan con tonalidades rojizas de baja concentración, debido a la mezcla de base y mermelada de fresa, por consiguiente, son colores cercanos al rosado (Tabla 17). En este caso, PVAT lideró la concentración de dicha tonalidad, seguido de PE2, UTS1, UTS2 y PE1 (Tabla 18). Asimismo, b^* mostró una predilección por el color amarillo, lo cual pudo deberse a los tonos naturales del yogurt, así como mezcla con la HI. En este ámbito PVAT aumentó en 2.2 unidades de concentración, frente a los otros tratamientos. Con respecto al hue, se presentaron rangos de 0.21 a 0.79 unidades para todos los tratamientos. Estos valores se encuentran en el espacio de color de 0 a 90° (amarillo a rojo); por lo tanto, se respalda que todas las muestras demostraron una tonalidad rojiza. En cuanto al chroma (pureza y saturación del calor), solo hubo cambios significativos entre el control y el VAT en 6.66 unidades. Asimismo, se observaron cambios mínimos en la diferencia de color, los cuales se rigen por ΔE . Si se tiene un valor de ΔE mayor a 3, existen colores distintos que pueden ser observados a simple vista [30], cuestión que puede ser observada si se comparan las (Tablas 16-17), donde se encuentran la base, la formulación y las muestras postratamiento.

Análisis de viscosidad cinemática

Los datos obtenidos demostraron que los yogures postratamiento variaron significativamente su viscosidad

con respecto a la #945 (Tabla 19). Dicho aspecto se relacionó con el aumento de la densidad en el yogurt tratado con PVAT y la disminución de esta en los otros tratamientos. Asimismo, fue posible notar que la implementación de la mermelada y la HI, provocaron un decremento en la viscosidad de la #945 con respecto a la base.

Tabla 19. Viscosidad cinemática calculada.

Aguja y condiciones	Muestra	μ (Cp)
R4 y 70 RPM (600 mL)	Base	1676.41
	Formulación	1316.91
	Formulación	313.62
R3 y 250 RPM (50 mL)	T1 PE	190.46
	T2 PE	187.24
	PVAT	355.30
	T1 UTS	224.00
	T2 UTS	221.67

Nota: Elaboración propia.

Análisis de grasas, proteínas y minerales

Los análisis determinaron que aumentó un 0.954% la cantidad de proteínas dentro de la formulación, 1.36% las grasas y 0.022% los minerales (Tabla 20). Dichos aspectos resultan convenientes y de vital importancia, para la venta de los productos bajo una tarjeta nutricional. En adición, los yogures cuentan con una regulación según [34] que plantea los aspectos mínimos que deben contener este tipo de productos, verbigracia, debe contar con al menos un 0.7% de minerales, 2.7% de proteínas y 2.5% de grasas, para considerarse como yogurt natural. A partir de ello, sabemos que el producto generado cumplirá con las especificaciones antes mostradas. Cabe destacar que el Calcio, Sodio y Fibras se obtuvieron con la diferencia del 100% y los valores de proteínas, grasas, azúcares y minerales.

Tabla 20. Tarjeta nutricional expresada en porcentaje.

Proteínas	7.09%
Grasas Totales	5.51%
Hidratos de Carbono	0.03%
Minerales	0.90%
Calcio, Sodio y Fibras	86.47%

Nota: Elaboración propia.

Análisis sensorial de técnicas de conservación

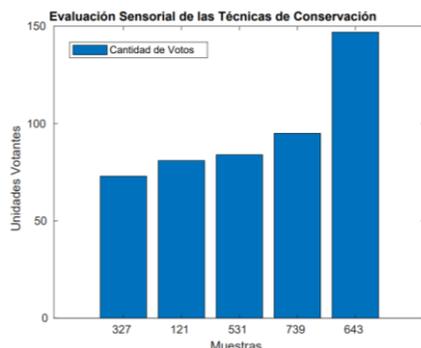


Fig 8. Evaluación sensorial de los yogures bajo distintas técnicas de conservación (la menor cantidad de votos implica que esa fue la primera opción elegida por el jurado). Nota: Elaboración propia.

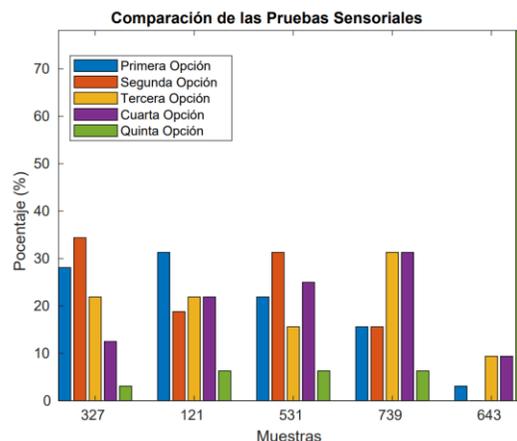


Fig 9. Índice porcentual de escalamiento de la prueba sensorial de las técnicas de conservación. Nota: Elaboración propia.

En este análisis se demostró que UTS2 fue el yogurt más popular, seguido por UTS1, PE2, PE1 y finalmente PVAT (Fig 8). Los resultados adquiridos denotan que PVAT pierde diversas cualidades organolépticas durante el procedimiento de conservación. En adición, como lo menciona [35] al pasteurizarlo, este ya no es considerado como yogurt, dado que se eliminan las bacterias ácido-lácticas y se altera la estructura irreversiblemente, o en sus palabras: “El yogurt pasteurizado tiene las mismas características nutritivas que el yogur habitual, pero carece de estas bacterias que han sido destruidas en el proceso de su fabricación.” En cambio, la #327 obtuvo el 28.1% de aprobación como primera opción, el 34.4% como segunda opción, el 21.9% como tercera opción y el 12.5% y 3.1% como cuarta y quinta opción, respectivamente (Fig 9).

Conclusiones, perspectivas y recomendaciones

Es posible elaborar un yogurt fortificado con HI (*A. domesticus*) palatable para un público deportista. La metodología permitió la obtención de un yogurt adicionado con mermelada de fresa y HI, para así apoyar el equilibrio alimenticio en la población mexicana deportista; mediante el incremento de las propiedades nutricionales del lácteo, alcanzando hasta $70.9 \frac{g_{proteína}}{L}$, lo que lo hace un alimento atractivo para el mercado al estar equilibrado entre tasas bajas y altas de productos enriquecidos con proteína. La formulación #945 resultó predilecta dentro de los deportistas. Los aspectos más destacados del yogurt fueron: la acidez (3.5), el color (3.9) y la cremosidad (3.3). En adición, la microbiota presente en este lácteo previo a las técnicas de conservación se conforma por 5.78×10^6 AMB y 3.56×10^6 LAB, por lo que utilizar métodos de conservación innovadores, como PE y UTA, que respeten sus características fielmente, resulta intrínsecamente necesario. La aplicación de dichas tecnologías a la muestra #945 mostraron potencial para inactivar microorganismos, sin embargo, al comparar los resultados de [32] se concluye que a mayor intensidad de campo eléctrico (para el caso de PE), se reduce mayor número de ciclos logarítmicos. En adición, estos métodos no repercutieron gravemente en las cualidades fisicoquímicas y sensoriales, caso contrario a lo obtenido con PVAT, mismo que modificó significativamente la

composición, propiedades organolépticas y logró la inactivación completa de microorganismos AMB y LAB, lo cual impide que el producto continúe dentro del concepto de yogurt [28]. Por ello, se concluye que las técnicas de conservación con mejor rendimiento fueron PE1 y UTS1. Se espera que a futuro este producto sea capaz de competir dentro del mercado mexicano con la finalidad de apoyar con la autosuficiencia de IPODERAC. Asimismo, se incentiva a

continuar el presente proyecto, con la finalidad de obtener un producto que contemple las Normas Oficiales Mexicanas, dentro de las que se debe de contemplar la adición de una mayor carga bacteriana, que abarque cuando menos 1×10^7 *colonias* *g o mL*. Por ello, se recomienda a la Universidad Iberoamericana Puebla la adquisición de un equipo de PE dado que es un área de investigación emergente.

Bibliografía

- [1] O. Cintra Cala y Y. Balboa Navarro, «La actividad física: un aporte para la salud,» agosto 2011. [En línea]. Available: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwipq5Htko77AhWQBUQIHjYjdCl0QFnoECAoQAQ&url=https%3A%2F%2Fdiagonalnet.unirioja.es%2Fdescarga%2Farticulo%2F4684607.pdf&usq=AOvVaw00o0mQiZli4F0cmY1Xuyoo>. [Último acceso: 2 noviembre 2022].
- [2] Instituto Nacional de Estadística y Geografía, «Módulo de Práctica Deportiva y Ejercicio Físico 2021,» 26 enero 2022. [En línea]. Available: <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2022/moprade/moprade2021.pdf>. [Último acceso: 2 noviembre 2022].
- [3] A. Lizarraga Dallo, J. R. Barbany Cairó, V. Pons Salas, E. Pasabán Lizarribar y L. Capdevila Auguets, «Sochob,» Intituto Tomás Pascual Sanz, s.f. [En línea]. Available: https://www.sochob.cl/pdf/libros/Libro_Alimentacion_Deporte.pdf. [Último acceso: 2 noviembre 2022].
- [4] J. Rabassa Blanco y I. Palma Linares, «SciELO,» Revista Española de Nutrición Humana y Dietética, marzo 2017. [En línea]. Available: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2174-51452017000100008#B3. [Último acceso: 2 noviembre 2022].
- [5] N. Shah, “YOGURT | The Product and its Manufacture,» Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition, pp. 6252–6259, 2003, doi: 10.1016/b0-12-227055-x/01305-5.
- [6] R. A. Parra Huertas, «Repositorio Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia,» 2012. [En línea]. Available: <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/4076/1/2950.pdf>. [Último acceso: 4 octubre 2022].
- [7] N. Babio, G. Mena Sánchez y J. Salas Salvadó, «SciELO,» Nutrición Hospitalaria, 2017. [En línea]. Available: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112017001000006. [Último acceso: 4 octubre 2022].
- [8] S. Panahi, M. A. Fernandez, A. Marette, and A. Tremblay, “Yogurt, diet quality and lifestyle factors,» European Journal of Clinical Nutrition, vol. 71, no. 5, pp. 573–579, Nov. 2016, doi: 10.1038/ejcn.2016.214.
- [9] I. Ricci-Cabello, M. Olalla Herrera, and R. Artacho, “Possible role of milk-derived bioactive peptides in the treatment and prevention of metabolic syndrome,» Nutrition Reviews, vol. 70, no. 4, pp. 241–255, Mar. 2012, doi: 10.1111/j.1753-4887.2011.00448.x.
- [10] C. Wilkerson, «Aprovechar el potencial de los insectos para la alimentación animal,» Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 14 mayo 2014. [En línea]. Available: <https://www.fao.org/news/story/es/item/231855/icode/>. [Último acceso: 4 noviembre 2022].
- [11] L. Apolo Arévalo y J. Iannacone, «Revistas Universidad Ricardo Palma,» Scientia, 2015. [En línea]. Available: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiRxPH6p5P7AhVIMEQIHS2ABh4QFnoECBEQAQ&url=https%3A%2F%2Frevistas.urp.edu.pe%2Findex.php%2FScientia%2Farticle%2Fview%2F389&usq=AOvVaw0yX3tyLyO4WA2Os2jqr7wH>. [Último acceso: 4 octubre 2022].
- [12] R. M. Medina Milian, «Portal de Revistas UES,» Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, febrero 2020. [En línea]. Available: <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/21254/1/13101718.pdf>. [Último acceso: 4 octubre 2022].
- [13] E. J. Ramos, J. M. Pino y M. Conconi, «Ausencia de una reglamentación y normalización de la explotación y comercialización de insectos comestibles en México,» Folia Entomológica Mexicana, vol. 45, n° 3, pp. 291-318, 2006.
- [14] P. B. Morán Vargas y C. L. Quintuña Quintuña, «Portal de Revistas Científicas de la Universidad de Guayaquil,» marzo 2021. [En línea]. Available: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/54405/1/BINGQ-GS-21P55.pdf>. [Último acceso: 4 octubre 2022].
- [15] M. L. Tipán Quise y D. A. Flores Santos, «Diseño y construcción de un prototipo de pasteurizadora para el procesamiento de 50 litros de leche/hora,» Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, febrero 2018. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15180/4/UPS-KT01484.pdf>. [Último acceso: 2022 noviembre 16].

- [16] Circe y U. d. Zaragoza, «Circe,» Field Food, 2017. [En línea]. Available: <https://www.fcirce.es/economia-circular-es/tecnologia-de-pulsos-electricos-para-mejorar-la-conservacion-de-los-alimentos>. [Último acceso: 2 noviembre 2022].
- [17] D. Vivanco, P. Ardiles, D. Castillo y L. Puente, «SciELO,» Revista chilena de nutrición, agosto 2021. [En línea]. Available: https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-75182021000400609&script=sci_arttext. [Último acceso: 2 noviembre 2022].
- [18] D. Bermúdez-Aguirre and G. V. Barbosa-Cánovas, “Study of butter fat content in milk on the inactivation of *Listeria innocua* ATCC 51742 by thermo-sonication,” *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, vol. 9, no. 2, pp. 176–185, Apr. 2008, doi: 10.1016/j.ifset.2007.07.008.
- [19] C. Arroyo, G. Cebrián, R. Pagán, and S. Condón, “Inactivation of *Cronobacter sakazakii* by ultrasonic waves under pressure in buffer and foods,” *International Journal of Food Microbiology*, vol. 144, no. 3, pp. 446–454, Jan. 2011, doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2010.10.033.
- [20] A. R. Jambrak, T. J. Mason, V. Lelas, Z. Herceg, and I. L. Herceg, “Effect of ultrasound treatment on solubility and foaming properties of whey protein suspensions,” *Journal of Food Engineering*, vol. 86, no. 2, pp. 281–287, May 2008, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2007.10.004.
- [21] T. Brown, S. J. James, and G. L. Purnell, “Cutting forces in foods: experimental measurements,” *Journal of Food Engineering*, vol. 70, no. 2, pp. 165–170, Sep. 2005, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2004.09.022.
- [22] T. Demirdöven, A. y baysal, “The Use of Ultrasound and Combined Technologies in Food Preservation,” *Food Reviews International*, vol. 25, pp. 1–11, 2009.
- [23] J. N. Coupland, “low intensity ultrasound,” *Food Research International*, vol. 37, pp. 537–543, 2004.
- [24] S. L. RODGERS and E. T. RYSER, “Reduction of Microbial Pathogens during Apple Cider Production Using Sodium Hypochlorite, Copper Ion, and Sonication,” *Journal of Food Protection*, vol. 67, no. 4, pp. 766–771, Apr. 2004, doi: 10.4315/0362-028x-67.4.766.
- [25] E. Ugarte-Romero, H. Feng, S. E. Martin, K. R. Cadwallader, and S. J. Robinson, “Inactivation of *Escherichia coli* with Power Ultrasound in Apple Cider,” *Journal of Food Science*, vol. 71, no. 2, pp. E102–E108, May 2006, doi: 10.1111/j.1365-2621.2006.tb08890.x.
- [26] A. M. Herrero and M. D. Herrero de Avila, “Innovaciones en el procesado de alimentos: Tecnologías no térmicas,” *Revista de Medicina de la Universidad de Navarra*, pp. 71–74, Oct. 2016, doi: 10.15581/021.50.7633.
- [27] J. O. Delgado, “Aplicación del Ultrasonido en la Industria de los Alimentos,” *Publicaciones e Investigación*, vol. 6, p. 141, Jun. 2012, doi: 10.22490/25394088.1098.
- [28] H. T. C. School of Public Health. "Yogurt". The Nutrition Source. <https://www.hsph.harvard.edu/nutritionsource/food-features/yogurt/> (accedido el 18 de noviembre de 2022).
- [29] M. Corzo-Martínez, A. Montilla, R. Megías-Pérez, A. Olano, F. J. Moreno, and M. Villamiel, “Impact of high-intensity ultrasound on the formation of lactulose and Maillard reaction glycoconjugates,” *Food Chemistry*, vol. 157, pp. 186–192, Aug. 2014, doi: 10.1016/j.foodchem.2014.01.072.
- [30] P. A. Rodríguez-Salinas et al., “Efecto de termosonicación y pasteurización sobre propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y nutraceuticas en bebidas de maíz,” *Biotecnia*, vol. 23, no. 1, pp. 92–101, Jan. 2021, doi: 10.18633/biotecnia.v23i1.1204.
- [31] M. Chavarrías. Altitud y cocción de alimentos. Marzo, 2015. EROSKI Consumer.
- [32] G. Rios-Corripio, M. M. la Peña, J. Welti-Chanes, and J. Á. Guerrero-Beltrán, “Pulsed electric field processing of a pomegranate (*Punica granatum* L.) fermented beverage,” *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, vol. 79, p. 103045, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.ifset.2022.103045.
- [33] T. Erkaya, M. Başlar, M. Şengül, and M. F. Ertugay, “Effect of thermosonication on physicochemical, microbiological and sensorial characteristics of ayran during storage,” *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 23, pp. 406–412, Mar. 2015, doi: 10.1016/j.ultsonch.2014.08.009.
- [34] N. C. Jumbo Benitez et. al.” Caracterización bromatológica y microbiológica de yogurt con diferentes dosificaciones de edulcorante natural estevia (*Stevia rebaudiana bertonii*)” Universidad Nacional de la Lonja 2015. <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/11441>
- [35] Anónimo Yogur Pasteurizado Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. s/f http://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/6/6726/Yogur_pasteurizado.pdf