

**UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE.
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA.**

GRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS.



**ESTUDIO DEL IMPACTO DE LA ADICIÓN DE HARINA OBTENIDA A PARTIR
DE HIGO CHUMBO EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE YOGUR.**

TRABAJO DE FIN DE GRADO
Septiembre - 2024

Autora: Inmaculada Galiana Villena.

Tutor: Manuel Viuda Martos.



ESTUDIO DEL IMPACTO DE LA ADICIÓN DE HARINA OBTENIDA A PARTIR DE HIGO CHUMBO EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE YOGUR.

RESUMEN:

En este trabajo se aplicó harina obtenida a partir de higo chumbo (*Opuntia -Ficus*), a un lácteo de tipo yogurt a fin de evaluar el efecto de la adición de harinas obtenidas de la piel y la pulpa del higo chumbo, *Opuntia ficus-indica*, sobre las propiedades físicoquímicas y sensoriales de un yogurt elaborado con leche de oveja, obteniendo tres formulaciones diferentes donde variaba el tipo de harina adicionada.

La incorporación de harina obtenida a partir de higo chumbo modificó algunas características del yogurt. A nivel físicoquímico, se observó un acortamiento del tiempo de fermentación, (hasta llegar a pH 4,6) y un cambio en la coloración, predominando tonos rojizos, amarillosos y más oscuros. En la evaluación sensorial, el yogurt con harina de piel destacó por su textura y aroma, mientras que el yogurt control fue valorado también positivamente por su color y sabor, al contrario de la muestra con adición de harina de pulpa de higo chumbo.

El consumo del higo chumbo es más habitual en América del Sur que en España, no obstante, su tratamiento por desecado y molienda, lo convierte en una harina con diversas ventajas tecnológicas, ya que esta puede tener función de sustituyente de grasas, mejora de calidad, textura o viscosidad, gracias a su riqueza en fibra. Asimismo, puede tener función de prebiótico.

A nivel medioambiental, la elaboración de harinas a partir de subproductos de frutas podría fomentar una economía circular, otorgando un nuevo valor a los residuos y minimizando el desperdicio alimentario.

PALABRAS CLAVE: HARINA, SUBPRODUCTOS, FRUTA, HIGO CHUMBO, YOGURT.

ABSTRACT:

In this study we have researched the effect of prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) on sheep milk yogurts. Flour made from the pulp and the peel of the fruit was added to the yogurts, to measure physiochemical and sensorial properties. We obtained three formulations with different flours of the different parts of the fruit.

The incorporation of the prickly pear flour modified some yogurt characteristics. At a physiochemical level, a reduction in the fermentation time - pH 4,6 -, and a change in colour, with a predominance of red, yellow and darker tones, were observed. In the sensory evaluation, the yogurt with peel flour stood out by its scent and texture, while the control yogurt was evaluated positively by its color and taste, quite opposite to the sample with prickly pear pulp.

The prickly pear consumption is more common in South America than in Spain; however, its treatment by dehydration, and milling, transforms it into a flour with great technological advantages. This flour offers functions of fat substitution, and quality, texture and viscosity enhancement, thanks to its richness in fiber, furthermore, it may also have prebiotics functions.

At an environmental level, the elaboration of flour from fruit subproducts can promote the circular economy, giving new value to diverse products and minimizing food waste.

KEYWORDS: FLOUR, POWER, BY-PRODUCTS, FRUIT, PRICKLY PEAR, YOGURT.

INDICE

1	INTRODUCCIÓN	7
1.1	Yogurt	7
1.1.1	Definición de Yogurt	7
1.1.2	Bacterias Del Yogurt.....	7
1.1.3	Composición Nutricional del Yogur	9
1.1.4	Yogur Alimento Funcional.	11
1.1.5	Actualidad de Yogures Funcionales.	15
1.2	Fruto del Higo Chumbo.	16
1.2.1	Historia del Nopal.	16
1.2.2	Composición Nutricional del Fruto.....	17
1.3	Economía Sostenible.	18
1.3.1	Economía Circular y Revalorización del Residuos.....	18
2	OBJETIVOS.....	21
2.1	Objetivos Generales.	21
2.2	Objetivos Específicos.	21
3	MATERIALES Y MÉTODOS.	22
3.1	Materiales.	22
3.1.1	Elaboración de las Harinas.	22
3.1.2	Elaboración del Yogurt.....	23
3.2	Métodos.....	24
3.2.1	Composición Química de las Harinas.	24
3.2.2	Composición Físico Química de las harinas.	25
3.2.3	Propiedades Tecno funcionales de las harinas.	26
3.2.4	Parámetros Fisicoquímicos del yogurt.....	28
3.3	Análisis sensorial.	29
3.4	Análisis Estadístico	29
4	RESULTADOS Y DISCUSION.	30
4.1	Composición Química de las Harinas.	30
4.2	Propiedades fisicoquímicas de las harinas.	31
4.3	Propiedades Tecno funcionales de las harinas.	33
4.4	Parámetros fisicoquímicos del yogurt.	36
4.5	Curva de Coagulación.	39
4.6	Análisis sensorial.	42

5	CONCLUSIONES	45
6	BIBLIOGRAFÍA.	46



1 INTRODUCCIÓN

1.1 Yogurt.

1.1.1 Definición de Yogurt.

El yogur surgió de un proceso natural de fermentación. Se cree que los pueblos nómadas, al transportar leche en sacos de piel de animal, favorecieron la proliferación de bacterias lácticas que transformaron la leche en yogur. Este proceso, acelerado por el calor y el contacto con la piel, dio origen a un alimento que se extendió por diversas regiones, como Turquía, los Balcanes y Asia Central (*Fisberg & Machado, 2015*).

Según la legislación española; El "yogur" o "yoghourt" es un producto lácteo coagulante, resultado de la fermentación láctica llevada a cabo por las bacterias *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*. Este proceso puede iniciarse a partir de leche, leche concentrada, nata, desnatadas o no, o una combinación de estos productos, con la posibilidad de añadir otros ingredientes lácteos. Dichos ingredientes deben haber sido sometidos a un tratamiento térmico, como la pasteurización, o a un proceso equivalente. Para garantizar la calidad del yogur, los microorganismos responsables de la fermentación láctica deben ser viables y estar presentes en la parte láctea del producto final en una concentración mínima de 1×10^7 unidades formadoras de colonias (UFC) por gramo o mililitro (*BOE, 2014*).

1.1.2 Bacterias Del Yogurt.

Las bacterias ácido-lácticas desempeñan un papel muy importante en los procesos de fermentación, son muy utilizadas en la industria alimentaria; acidifican el medio y contribuyen al sabor, aroma, textura y valor nutricional del producto. Todo ello debido a la producción de exopolisacáridos, en parte, y a la actividad metabólica sobre las proteínas, azúcares, lípidos, digestibilidad de los alimentos y conservación (*Khodear et al., 2018*).

El crecimiento y reproducción de estas bacterias depende de las proteasas, peptidasas y del sistema de aminoácidos y péptidos específicos. Además, necesitan aminoácidos y

vitaminas del Grupo B y requieren de carbohidratos fermentables y alcoholes, como fuente de energía para degradar la hexosa en lactato (*Parra Huertas, 2010*).

Por ejemplo, algunos de los metabolitos son: (*Wang et al., 2021*).

- **Ácido láctico:** Producido por los dos microorganismos principales del cultivo iniciador, que forman ácido láctico a partir de la glucosa, porque la galactosa resultante de la hidrólisis, no se metaboliza.
- **Acetaldehído;** Este compuesto es fundamental en el aroma característicos del yogurt. Se sintetiza por los lactobacilos a partir de treonina.
- **Polisacáridos;** como por ejemplo los exopolisacáridos, que desempeñan un papel importante en la consistencia del yogurt.

Se pueden nombrar diferentes bacterias, productoras de estos metabolitos, tales como *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* (*S. thermophilus*), *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* (*L. bulgaricus*), *Lactobacillus acidophilus* (*L. acidophilus*), *Bifidobacterium infantis* y *Bifidobacterium longum* (*B. infantis* y *B. longum*), consideradas como la microbiota del yogurt probiótica. Todas ellas, se pueden clasificar en Homofermentativas si producen solo ácido láctico o en heterofermentativas si producen otras sustancias aparte del ácido láctico. (Acetato, etanol, co₂, formato o succinato) (*Parra Huertas, 2010*).

El término de probiótico hace referencia a los microorganismos que, a concentraciones adecuadas, confieren un beneficio para el anfitrión, equilibrando disfunciones gastrointestinales, basadas en desequilibrios de la microflora *intestinal* (*Zendeboodi et al., 2020*).

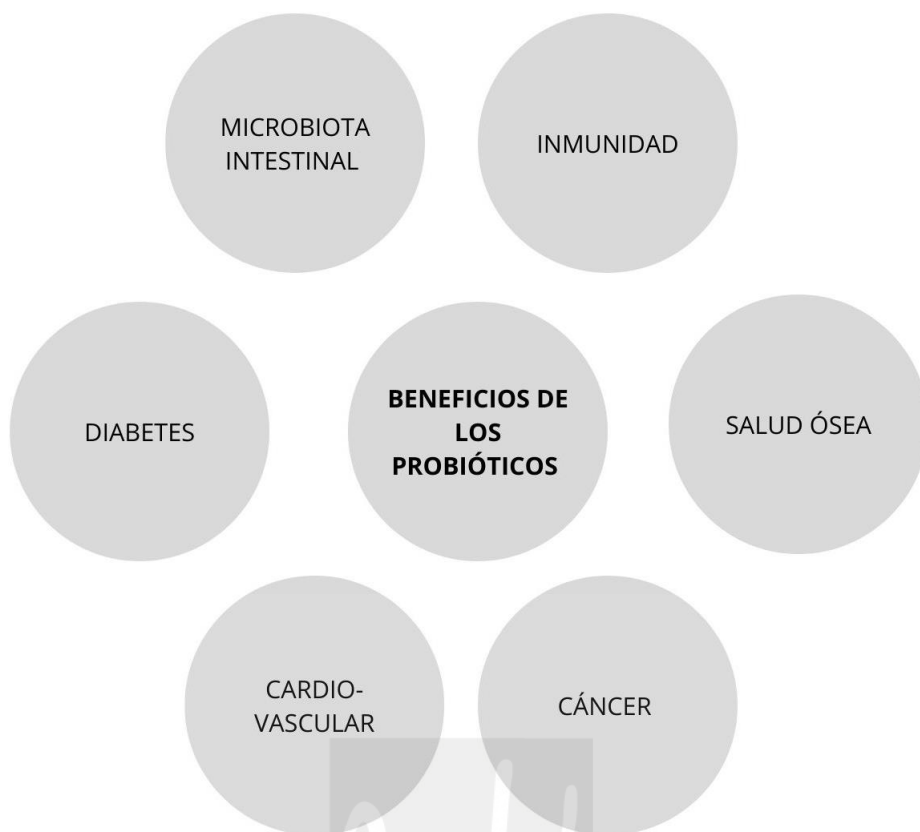


Figura nº1. Beneficios saludables del yogurt (*Hadjimbei et al., 2022*).

1.1.3 Composición Nutricional del Yogur.

El yogurt, forma parte de uno de los alimentos de consumo más frecuente en la dieta mediterránea, formando parte del grupo que lo engloba; lácteos fermentados. Estos son ricos en proteínas, azúcares, sales minerales y lípidos. La leche, como materia originaria de la cual provienen, contiene vitaminas A y D (en la fracción grasa) y minerales como calcio, fósforo, potasio, sodio y magnesio. Los lácteos son recomendados precisamente por su aporte en minerales que contribuyen a una mejora en la composición de los huesos (calcio, fósforo y magnesio) (*Martínez-Álvarez & Martínez-Álvarez, 2023*).

En la Tabla 1, se muestra una tabla de frecuencia de consumo de los diferentes grupos de alimentos.

Tabla n°1. Frecuencia de consumo de diferentes grupos de alimentos.

Grupo de alimentos	Frecuencia de consumo.
Verduras	Diaria, en abundante cantidad, 3 o más porciones al día, crudas y cocidas.
Frutas	Diaria, en abundancia, 2 o más porciones al día.
Aceite de Oliva	Diaria, 3 a 6 cucharadas al día, como fuente principal de grasa.
Cereales; pan y pastas	Diaria, 3 a 4 veces al día en moderada cantidad.
Legumbres	Al menos 3 veces por semana.
Frutos secos	Al menos 3 veces por semana.
Productos lácteos	Diaria, 2 a 4 porciones al día.
Huevos	1 a 4 unidades por semana
Pescados y mariscos	2 a 4 veces por semana
Aves	2 a 4 veces por semana.
Carnes rojas	1 vez por semana.

Fuente de: (Urquiaga et al., 2017).

En relación con los diferentes nutrientes del yogurt, Las proteínas de la leche se pueden dividir en dos grupos; Caseínas y proteínas de suero, estando presentes en una proporción de 8:2 (Sumi et al., 2023).

Las caseínas se dividen en tres tipos; alfa, beta y kappa. Están presentes en la dispersión coloidal formando micelas con el fosfato de calcio (Davoodi et al., 2016). Por otra parte, las proteínas del suero se componen aproximadamente de un 50% beta-lactoglobulina, 20%-25% alfa lactoalbúmina, 25%-30% otras proteínas incluyendo la albúmina sérica, inmunoglobulinas y lactoferrina; estas últimas son solubles en agua (Singh, 2009).

Los productos lácteos, especialmente el yogur, se destacan por su alto valor biológico proteico. La acción proteolítica de las bacterias lácticas en el yogur genera péptidos bioactivos y facilita la digestibilidad de las proteínas, lo que las hace de mayor biodisponibilidad (Gómez-Gallego et al., 2018).

La grasa láctea presenta una elevada complejidad, y se caracteriza por una amplia variedad de ácidos grasos, predominando los saturados. Además de su función como vehículo para vitaminas liposolubles, poseen propiedades bioactivas y se distinguen por un menor potencial de acumulación en tejido adiposo en comparación con otras fuentes grasas (Gómez-Gallego et al., 2018).

La leche contiene también lactosa, un azúcar compuesto por glucosa y galactosa. Es el principal carbohidrato y sirve como sustrato para las bacterias que producen yogur y otros lácteos fermentados. Sin embargo, su digestión puede ser difícil para quienes tienen deficiencia de lactasa, la enzima necesaria para descomponerla (*Gómez-Gallego et al., 2018*).

Los productos lácteos constituyen una fuente significativa de micronutrientes. Son particularmente ricos en vitaminas liposolubles (calciferol, retinol y tocoferoles) y en vitaminas hidrosolubles del complejo B (riboflavina, niacina y cobalamina). Asimismo, estos aportan una variedad de minerales, incluyendo calcio, fósforo, magnesio, zinc, sodio y potasio (*Pereira, 2014*).

1.1.4 Yogur Alimento Funcional.

Existen diferentes tipos de yogures; líquidos, batidos, sin azúcares añadidos, con trozos de fruta, altos en proteínas, griegos, bifidos, descremados, de sabores, naturales, de frutas, fortificados, entre otros (*Oliveira et al., 2022*).

La adición de frutas a los yogures mejora su perfil nutricional, incrementa la viabilidad de los probióticos y modifica favorablemente sus características físicas y sensoriales. Además, enriquece el producto en compuestos bioactivos, ácidos grasos y folatos gracias a la fermentación. Las frutas pueden incorporarse como polvos obtenidos por diversos métodos de secado, tales como secado por atomización o liofilización (*Oliveira et al., 2022*).

Esta incorporación, al mismo tiempo, conlleva una adición de galactooligosacáridos (GOS), fructooligosacáridos (FOS) e inulina, proporcionando beneficios funcionales, que pueden actuar como estabilizantes, mejorando la textura y contribuyendo al crecimiento del microbiota intestinal (*Oliveira et al., 2022*).

Detallando ejemplos de los tres diferentes usos tecnológicos; en relación con su uso como sustituto de grasa, para evitar la alteración de la unión de los glóbulos de grasa de la red, se puede utilizar fibra de piel de naranja a concentraciones de 0,1% según *Zhao et al., (2023)* o inulina. Esta última mejora significativamente la cremosidad y la sensación en boca (*Arcia et al., 2011*).

Según el estudio de *Guven et al., (2005)*, la adición de un 1% de inulina a yogures bajos en grasa optimiza el crecimiento bacteriano, incrementando la producción de ácido láctico y, por ende, la acidez del producto. La inulina mejora la retención de agua al unirse a la caseína, reforzando así la red proteica.

La adición de un 1-2% de inulina a la leche desnatada dio como resultado un yogur con datos comparables a la leche entera de vaca en el estudio de, *Khodear et al., (2018)*, sobre la adición de inulina como sustituto de la grasa en las características de un yogurt de leche desnatada y leche entera.

Respecto al uso de prebióticos para la mejora de calidad, textura y viscosidad, se puede usar la pectina, que según el estudio de *Khodear et al., (2018)*, el valor de viscosidad aumenta con la agregación de un 0,6% de pectina. La pectina tiene la peculiaridad de que tiene una buena capacidad de retención de agua debido a que esta puede colarse en la red tridimensional del gel, absorbiendo el agua del medio, incrementando la viscosidad del producto. En concreto, este carbohidrato es absorbido por la superficie de las micelas de caseína, aportando estabilidad a los agregados (*Arioui et al., 2017*).

Por otro lado, *Costa et al (2019)* estudio el impacto de los prebióticos GOS, FOS e inulina en las características del yogurt. Este autor menciona que la adición de GOS, crea un incremento en la viscosidad del yogurt griego. Posiblemente la presencia de GOS, contribuye a la formación de una red proteica más fuerte, resultando de un gel, más resistentes. Se hipotetiza que el incremento de viscosidad puede deberse al tamaño de partícula de los GOS, respecto al de la inulina y a los FOS. Además, GOS tiene mayor capacidad de absorción de agua, resultando en la disminución de la movilidad de las proteínas de la matriz y por ende un aumento de viscosidad (*Costa et al 2019*). En contraste, el mismo artículo afirma, que la adición de FOS, crea un impacto negativo en los parámetros reológicos, confiriendo una consistencia, una elasticidad y una firmeza débil.

Por otro lado, según *Esmailnejad et al., (2019)*, la inulina es más preferible para la su adición en la elaboración de yogures, en relación con otros prebióticos tales como los FOS, dado su solubilidad en agua y su ausencia de olor y sabor.

Por último, en cuanto a la viabilidad probiótica, tenemos, los GOS y los FOS, la lactulosa y los betaglucanos.

Sobre los GOS y FOS, Según el estudio de *Delgado-Fernández et al., (2019)*, la suplementación de yogures con GOS y FOS a dos concentraciones diferentes (2% y 4%) no afectaron ni a la acidificación, ni la población de bacterias *S. thermophilus* y *L. delbrueckii ssp. bulgaricus*, ni al consumo de lactosa ni la producción de ácidos orgánico durante la fermentación. Esto nos dice, que los GOS y FOS no son metabolizados por los cultivos iniciadores del yogurt.

Para el uso de lactulosa, según el estudio del mismo autor, *Delgado-Fernández et al., (2019)*, la suplementación de lactulosa al 2% y 4% afecta a la velocidad de fermentación (incrementado el tiempo de 4h a 6h) y a la viabilidad de los cultivos iniciadores. La adición de 4% de lactulosa, incrementa significativamente la población de *L. delbrueckii ssp. bulgaricus*, al mismo tiempo que disminuye la concentración de lactulosa durante la fermentación y el posterior almacenamiento. Esto se puede deber a la estimulación de la actividad Beta-galactosidasa, que puede ser la responsable de escindir la lactulosa en galactosa y fructosa.

Por último, en relación a los betaglucanos, según los resultados del estudio de; *Basyigit & Akpinar, (2016)*, esta muestra que la adición de beta-glucano en concentraciones adecuadas, promueve la viabilidad de los lactobacilos, mejorando también el defecto de la sinéresis.

Todos estos, son algunos de los compuestos prebióticos, no obstante, existen otros que no están basados en carbohidratos, de los cuales también existen evidencias de potencial prebiótico, como, por ejemplo: Compuestos fenólicos, carotenoides, ácidos grasos poliinsaturados como omega-3 y omega-6 y vitamina K y algunas del grupo B. Todos ellos, son compuestos bioactivos que pueden estar presente en los alimentos funcionales y que tiene la capacidad de modular el ecosistema intestinal (*Rosa et al., 2021*).

Haciendo hincapié en los prebióticos basados en carbohidratos, estos pueden proceder de diferentes tipos de frutas o coproductos. Así, *Vidanelage et al., (2019)* analizó la adición de fibra de cítrico a un yogurt bebible a concentraciones de 0,1%- 0,3% como estabilizador en sustitución de gelatina y carragenina. Preservando las propiedades fisicoquímicas y sensoriales deseables.

García-Pérez et al., (2006), adiciona fibra de naranja a concentraciones del 1%, lo que resulta de una reducción de la sinéresis y un incremento de la firmeza, en comparación al

yogurt normal. Y, por último, el estudio de *Analianasari & Apriyani, (2018)*, sobre la adición de extracto de piel del fruto del dragón, a concentraciones de 0-45%, a yogures congelados, muestra un incremento en el valor nutricional. Afirman que la concentración más alta mejora la capacidad antioxidante, la cantidad de fibra y la acidez del producto final.

La adición de estos hace del yogur, un alimento funcional, en este caso, con fibra. En la Tabla 2, se muestra la clasificación de los tipos de fibra según su grado de fermentabilidad.

Los prebióticos son ingredientes fermentables que crean cambios específicos en la composición y actividad de la microflora gastrointestinal, confiriendo beneficios para la salud. Esto hace referencia a sustancias orgánicas capaces de facilitar el crecimiento de la flora microbiana actuando como sustrato. Para que un compuesto sea prebiótico han de cumplir diferentes características, tales como; No poder ser hidrolizados ni absorbidos por el tracto gastrointestinal, ha de ser un sustrato específico para una o varias bacterias del colon, como lactobacilos o bifidobacterias y han de ser capaces de cambiar la flora microbiana, positivamente, del hospedador (*Zuppa et al., 2016*).

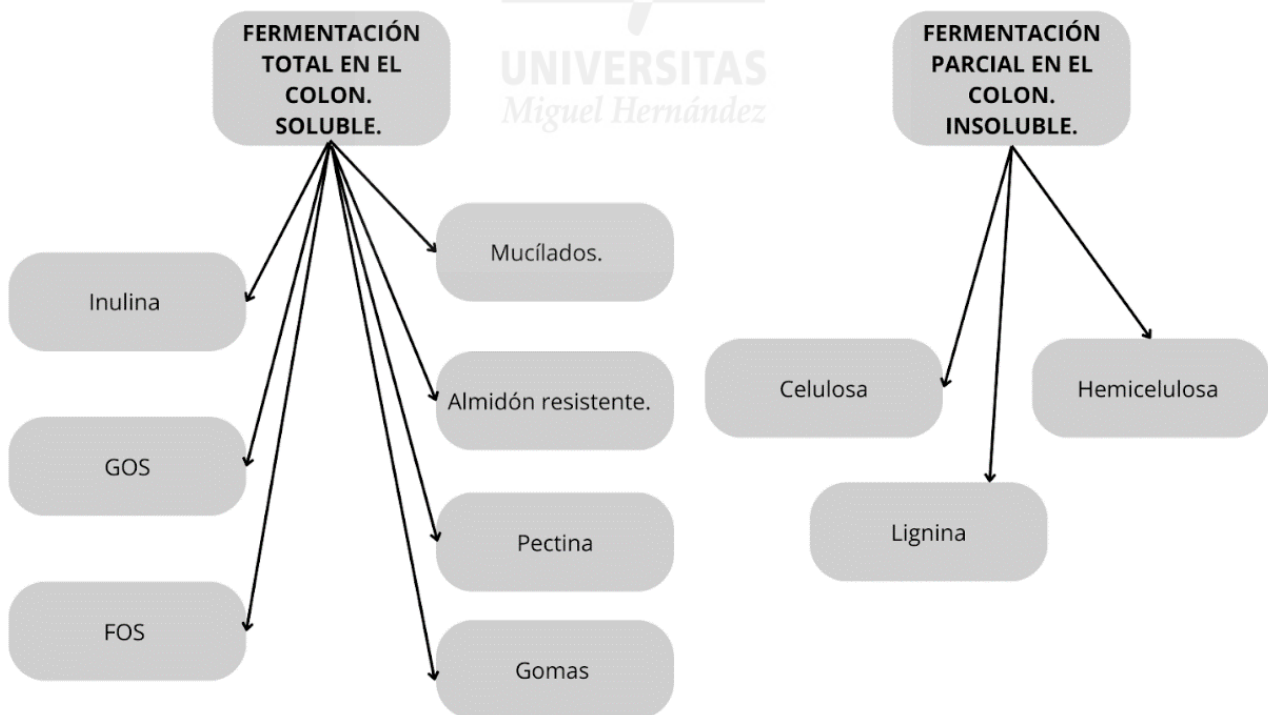


Figura n°2. Clasificación de la fibra según el grado de fermentabilidad

1.1.5 Actualidad de Yogures Funcionales.

En la actualidad, el mercado español tenemos varios tipos de yogurt funcionales o prebióticos. En la Tabla 2 se muestran algunos ejemplos.

Tabla nº2. Ejemplos de productos con prebióticos del mercado español.

N.º	YOGURT	INGREDIENTES.
1		<p>Leche pasteurizada parcialmente desnatada, agua, azúcar, leche en polvo desnatada, sólidos lácteos, almidón modificado de maíz, aromas espesantes, concentrado de zanahoria, <i>lactobacillus paracasei</i>, B6 y conservador,</p>
2		<p>Leche desnatada rehidratada, leche semidesnatada, azúcar, glucosa, sólidos lácteos, fermentos lácticos (fermentos del yogur y <i>lactobacillus casei</i>) Vitamina D y B9 y sales minerales (hierro y Zinc).</p>
3		<p>Leche pasteurizada, leche desnatada concentrada y leche en polvo desnatada parcialmente rehidratadas, azúcar, fructosa, jarabe de oligofructosa, nata pasteurizada, avena integral (1,9%), nueces (0,6%), bifidobacterias y fermentos lácticos, aromas y colorante (caramelo natural). Origen de la leche: España. Puede contener trazas de otros cereales con gluten y frutos de cáscara.</p>
4		<p>Agua, Crema de coco*(28%)(coco*(72%), agua), almidón*, fibra alimentaria: inulina*, espesante: agar-agar*, bifidobacterias, fermentos veganos.</p>

La búsqueda de nuevos alimentos prebióticos y funcionales, que promuevan la salud intestinal nos lleva a ingredientes novedosos, como la harina de higo chumbo. Este nuevo ingrediente se ha aplicado en una amplia variedad de alimentos, desde productos cárnicos hasta productos de panadería. En el caso del yogurt, no solo aporta color, y sabor, sino que también aporta textura y un alto potencial antioxidante gracias a los compuestos fenólicos y betalainas, que presenta (*El-Beltagi et al., 2023*).

1.2 Fruto del Higo Chumbo.

1.2.1 Historia del Nopal.

El nopal, planta de origen Mesoamericano, está relacionada con la historia y la identidad mexicana. Su presencia en el escudo nacional, heredada de la ancestral Tenochtitlán, simboliza el lugar donde un águila devoraba una serpiente sobre un nopal, señal profética que guio a los Aztecas a fundar su gran imperio, siendo hoy un cultivo histórico con una antigüedad de más de siete mil años, originando trazas históricas de los primeros poblados mexicanos donde se hallan semillas fosilizadas, cáscaras de tuna y fibras de pencas de nopal (*De Servicios et al., 2006*).



Figura n° 3. Escudo de México (*Escudo Nacional, Biodiversidad Enaltecida | Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales | Gobierno | Gob.Mx.*)

Se ha planteado la hipótesis de que esta especie, de nopal, fue transportada a Europa por Cristóbal Colón en su viaje de regreso de las Américas en 1493 y luego se dispersó y

naturalizó en el área mediterránea; Sevilla y Cádiz, ya que estos eran los puntos de llegada de los viajes a las Indias (*De Servicios et al., 2006*).

Al mismo tiempo difundiéndose, por el norte de África y, finalmente, en otras regiones áridas y semiáridas del mundo (*Cota-Sánchez, 2016*).



Figura n°4. Mapa distribución *Opuntia spp.* (*De Servicios et al.,2006*).

Esta planta se ha ido adaptando a los diferentes climas y entornos, según el terreno, contribuyendo a la gran variabilidad de la especie, en forma silvestre o cultivada.

1.2.2 Composición Nutricional del Fruto.

En lo que respecta a la composición nutritiva del higo chumbo fresco, cabe destacar que presenta elevadas cantidades de fibra dietética, en las semillas y en la piel, y un importante contenido de compuestos bioactivos; Fenólicos, flavonoides, carotenoides, betaxantinas, betacianinas y ácido ascórbic (*Loukili et al., 2024*).

Debido a la presencia de estos componentes, este fruto se puede reconocer como un alimento con efectos positivos para la salud; contribuyendo al buen funcionamiento del colon, a la actividad microbiana, al control glucémico, al efecto hipolipidémico y a la actividad anti proliferativa y antimicrobiana. (*Manzur-Valdespino et al., 2022*).

Además, el que tenga cantidades razonables de fibra, puede prevenir trastornos gastrointestinales, hipertensión, obesidad y diabetes (*Hashim et al., 2013*).

Tabla n°3. Composición química de la pulpa, piel y semillas, del fruto fresco.

Compuesto/Partes fruto	Pulpa	Piel	Semillas
Proteínas	5.13 ± 0.29	8.30 ± 0.90	11.8 ± 1.17
Grasas	0.97 ± 0.06	2.43 ± 0.32	6.77 ± 0.51
Fibras totales	20.5 ± 0.94	40.8 ± 1.32	54.2 ± 1.06
Cenizas	8.50 ± 0.82	12.1 ± 1.46	5.90 ± 1.25
Almidón	4.55 ± 0.24	7.12 ± 0.60	5.35 ± 1.14

Fuente: (Cota-Sánchez, 2016).

Tabla n°4. Composición de fibra en la pulpa, piel y semillas, del fruto fresco de Higo Chumbo.

	Pulpa	Piel	Semilla
Hemicelulosa	15.5 ± 0.45	20.8 ± 0.55	9.95 ± 0.58
Celulosa	14.2 ± 1.07	71.4 ± 1.99	83.2 ± 0.25
Pectina	70.3 ± 1.30	7.71 ± 1.45	6.69 ± 0.46
Lignina	0.01 ± 0.01	0.06 ± 0.01	0.19 ± 0.04

Fuente: (El Kossori et al., 1998).

En relación con los minerales; los más abundantes, en el fruto fresco, son; Potasio, Magnesio, fósforo, Calcio, Hierro y Sodio, según (De Servicios et al., 2006).

En conclusión, los frutos son una fuente interesante de fibra, betalainas, carotenoides y minerales, sobre todo, calcio y potasio.

1.3 Economía Sostenible.

1.3.1 Economía Circular y Revalorización del Residuos.

En el sector agroalimentario se agrupa una gran variedad de subsectores de procesos industriales que engloban diferentes operaciones de acondicionamiento, conservación y elaboración de todo tipo de alimentos donde la mayor producción de residuos se concreta

a las elevadas cantidades de aguas residuales con alta carga orgánica, nutrientes y sólidos en suspensión.

Aparte de estos, también tenemos la generación de residuos sólidos, en su mayoría biodegradables, donde muchas veces pueden ser considerados subproductos susceptibles de aprovechamiento en otros sectores industriales (*INE-Dirección general de la industria alimentaria, 2022*).

Según datos de la FAO en Europa, un 12% de los alimentos se pierden o se desperdician en la etapa de manipulación y almacenamiento previa a la transformación, un 5% en la etapa de procesamiento y un 9% en la etapa de distribución y comercialización. (*INE, 2020*).

Además, según últimos datos del INE, en el sector de actividad de agricultura, ganadería y pesca, se produjeron un total de 6.330,7 toneladas de residuos en 2020 y 16.450,5 toneladas en el sector industrial (*INE.2020*).

Es uno de estos objetivos por el que se implanta la Agenda 2030, hacia una estrategia de desarrollo sostenible a través de 17 objetivos, entre los cuales el número 12; Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles son los relevantes en este caso (*INE, 2020*).

Este en concreto busca promover la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales, reducir la generación de residuos y el desperdicio de alimentos. Asimismo, aspira a estimular la implementación de prácticas sostenibles en empresas (*INE, 2020*).

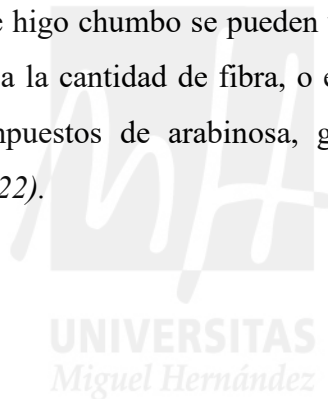
Las frutas y verduras representan el 45% del desperdicio de alimentos que se genera a nivel mundial (*Dias et al., 2020*).

Los desechos de frutas son ricos en fibra dietética, vitaminas y minerales, por lo que en muchos casos estos subproductos son valorizables por su riqueza nutritiva como alimento para el ganado o piscifactorías, como fertilizantes agrícolas o como subproductos para obtener otros productos comercializables, así como: *Solano-Doblado et al., (2018)*.

- Recubrimientos, películas comestibles a base de cáscaras de frutas y verduras: finas capas aplicadas sobre la superficie del alimento para prolongar su vida útil, mantener las propiedades, características y funcionalidad de los alimentos con un costo mínimo.

- Probióticos fortificados con cáscaras de frutas y verduras: compuestos bioactivos; antioxidantes, fibra y oligosacáridos como prebióticos.
- Nanopartículas metálicas de cáscaras de frutas y verduras; Moléculas bioactivas beneficiosas: alcaloides, aminoácidos, enzimas, fenólicos, proteínas, polisacáridos, taninos, saponinas, vitaminas y terpenoides actúan como agentes reductores en la síntesis de nanopartículas metálicas.
- Puntos de carbono derivados de la cáscara de frutas y verduras.
- Medios microbiológicos a base de cáscaras de frutas y verduras; Sustitutos del agar para medios de cultivo.
- Biocarbón derivado de frutas y hortalizas.
- Biosorbentes derivados de cáscaras de frutas y verduras.

Y en concreto, las cáscaras de higo chumbo se pueden utilizar como; Colorante natural, agente de viscosidad, debido a la cantidad de fibra, o edulcorante dada la presencia de polisacáridos complejos compuestos de arabinosa, galactosa y ácido galacturónico (Manzur-Valdespino *et al.*, 2022).



2 OBJETIVOS.

2.1 Objetivos Generales.

- El objetivo general del presente trabajo fin de grado es evaluar el efecto de la adición de harinas obtenidas de la piel y la pulpa del higo chumbo, *Opuntia ficus-indica*, sobre las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de un yogur elaborado con leche de oveja.

2.2 Objetivos Específicos.

Para conseguir este objetivo general, se plantea los siguientes objetivos particulares:

- Caracterizar la composición química de las harinas obtenidas de la piel y la pulpa del higo chumbo
- Determinar las propiedades fisico-químicas (pH, Actividad de agua y color)
- Estudiar las propiedades tecno-funcionales (Capacidad de retención de agua y capacidad de retención de aceite, capacidad de hinchamiento y capacidad emulsionante.) de las distintas harinas obtenidas a partir de la piel y la pulpa higo chumbo.
- Determinar las propiedades fisico-químicas de los yogures adicionados con distintas harinas obtenidas a partir de la piel y la pulpa higo chumbo.
- Determinar la aceptación sensorial de distintos tipos de yogur adicionados con distintas harinas obtenidas a partir de la piel y la pulpa higo chumbo.

3 MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1 Materiales.

Se utilizaron higos Chumbos, como materia prima, recolectados del Campus de la Escuela Politécnica Superior de Orihuela de la Universidad Miguel Hernández de Elche.

La leche, para la elaboración del yogur, fue leche de oveja, adquirida un supermercado, de Orihuela, Alicante. En la Figura 5 se muestra una imagen de la etiqueta del envase de la leche de oveja, que se utilizó.



Figura nº5. Etiqueta del envase de leche de Oveja.

3.1.1 Elaboración de las Harinas.

Se comienza eliminando las espinas que recubren la fruta. A continuación, se peló el higo chumbo separando la pulpa de la piel. Tanto la piel como la pulpa se colocaron en bandejas de horno y se deshidrataron a una temperatura de 55 °C durante 24 horas, con circulación de aire para asegurar un secado uniforme. Una vez deshidratadas, tanto la piel (HP) como la pulpa (HS), se molió por separado hasta obtener un polvo fino. Finalmente, se tamizó el polvo para obtener una harina homogénea, de tamaño $\varnothing < 0,210$ mm.

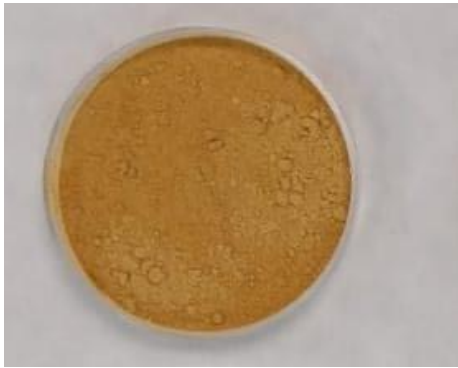
A**B**

Figura n°6. Harina de Piel de piel de Higo Chumbo (A) y pulpa de higo chumbo(B).

3.1.2 Elaboración del Yogurt.

Para la elaboración de yogurt, inicialmente, se procedió a calentar la leche de oveja, a una temperatura de 43 °C. A continuación, se incorporaron las harinas, a concentración del 1 g/ 100 mL y se homogeneizó la mezcla durante dos minutos. Posteriormente, se añadió el fermento láctico a la concentración recomendada por el fabricante, es decir, entre 10 y 20 DCU (cultivo de Danisco, mezcla de cultivos, de bacterias ácido lácticas mesófitas y termófilas.) por cada 100 litros de leche. Una vez homogeneizada la mezcla, se repartió en los recipientes correspondientes y se introdujo en el lacto fermentador, manteniendo una temperatura constante de 43°C hasta alcanzar un pH de 4,6.

Con el objetivo de estudiar la evolución del pH durante la fermentación, se realizaron extracciones de muestras cada 30 minutos a lo largo de 6 horas. Los valores de pH obtenidos se representaron gráficamente, utilizando el tiempo en minutos como variable independiente y el pH como variable dependiente, Figura9.

Para la elaboración de yogurt, se hicieron tres formulaciones:

Tabla n°5. Tabla de las diferentes formulaciones.

Nombre de la muestra	Muestra	Composición de la muestra
YC	Control	0% Pulpa y 0% Piel.
YP	Yogurt con harina obtenida a partir de pulpa de Higo Chumbo.	1% Pulpa
YS	Yogurt con harina obtenida a partir de harina de piel de higo chumbo.	1% Piel

3.2 Métodos.

3.2.1 Composición Química de las Harinas.

3.2.1.1 Proteínas.

Para la determinación del contenido en proteínas, cuyo resultado se expresó en g de proteína/ 100 g de muestra, se realizó según el método AOAC 24.007 (AOAC, 2000). Utilizando el digestor Büch iDigestion Unit modelo 426 y el destilador Büchi Destillation Unit modelo B-316 (Büchi, Suiza). Todas las determinaciones se realizaron por triplicado y el factor que se usó fue de 6,25 para convertir el porcentaje de nitrógeno en porcentaje en proteína, el cual fue proporcionado directamente por el programa.

3.2.1.2 Grasas

La determinación del contenido lipídico se realizó de acuerdo con el método oficial de la AOAC 24.005 (AOAC, 2000), utilizando el extractor Soxhlet J.O, Selecta Mo.6003286 (J.O Selecta S.A., Abrera, Barcelona, España). Los resultados se expresaron en g grasa/100 g de muestra. Las muestras se analizaron por duplicado.

3.2.1.3 Contenido de Humedad.

El contenido de humedad en las muestras se evaluó siguiendo el método AOAC 24.003 (AOAC, 2000). Para ello, se utilizó una estufa modelo P. selecta. Los resultados obtenidos

se expresaron en gramos de agua por gramos de muestra. Cada análisis se repitió por triplicado.

3.2.1.4 Cenizas.

El contenido de cenizas se determinó según el método de la AOAC 24.009 (AOAC, 2000), las determinaciones se realizaron por triplicado y el resultado fue expresado g cenizas/ 100 g muestra. Para su determinación se utilizó una mufla Habersal modelo 12-PR1300 PAD (Habersal S.A., Caldes de Montibui, Barcelona, España). Las muestras se pusieron a una temperatura de 550 °C hasta conseguir cenizas de color blanco. Finalmente, este resultado se determina por una diferencia de peso.

3.2.2 Composición Físico Química de las harinas.

3.2.2.1 pH.

Para la determinación del pH, se disolvió 1 gramo de muestra en 10 mL de agua destilada y desionizada. Se determinó el pH de la suspensión mediante un pH-metro GLP 21 Crison (Eutech Instruments Pte Ltd., Singapur). Realizando cada ensayo por triplicado.

3.2.2.2 Actividad de Agua.

La medida de la actividad de agua se realizó por triplicado, utilizando un equipo Novasina Thermoconstanter Srpint TH-500 (Pfäffikon, Suiza). A una temperatura de 25±1 °C. Las muestras se introducían en unas cápsulas de plástico, llamadas cápsulas de Novasina y tras la estabilización se tomó directamente la medida.

3.2.2.3 Color.

El color fue estudiado en las coordenadas CIELAB*, en las cuales la coordenada L* proporciona resultados de la luminosidad de las muestras, a* hace referencia a la coordenada verde-rojo y el parámetro b* a la coordenada amarilla-azul. Se consideró de interés calcular y presentar valores de las magnitudes psicofísicas como el croma (C*) y tono (h*), cuyo cálculo se realizó mediante las siguientes expresiones

$$C^* = \sqrt{a^{2*} + b^{2*}}$$

Ecuacion n°1.

$$h^* = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right)$$

Ecuación n°2.

Para su determinación se utilizó un colorímetro Minolta CM-2600d (Minolta Camera Co, Osaka, Japón) Utilizando el observador 10° y el iluminante D65. Para las mismas, se usaron cristales de baja reflectancia entre las muestras y el equipo, del tipo CR-A51/1829-752 (Minolta Camera Co. Osaka, Japón). Se realizaron 9 medidas por cada muestra según las recomendaciones de la American Meat Science Association (2012).

3.2.3 Propiedades Tecno funcionales de las harinas.

3.2.3.1 Capacidad de Retención de Agua. (CRA)

Para llevar a cabo esta determinación, primero se pesaron los tubos de vidrio vacíos (MT), se tararon y se les adicionó aproximadamente 0,5 gramos de muestra (ME). A cada uno de los tubos que contenían la fibra, se les adicionó 10 mL de agua, se agitó en un vortex unos 30 segundos aproximadamente, y se dejaron las muestras a temperatura ambiente durante toda la noche. Al siguiente día, las muestras se centrifugaron durante 20 minutos a una velocidad de 3.000 r.p.m. en una centrífuga NahitaModel 2690. Tras la centrifugación, se eliminó el sobrenadante con una micropipeta de 5 mL. Se procedió a pesar el tubo (MTP) tras eliminar todo el sobrenadante en la medida de lo posible. Realizándose por triplicado esta determinación.

$$CRA = \frac{g \text{ agua}}{g \text{ muestra}} = \frac{MTP - MT - ME}{ME}$$

Ecuación n°3

Sabiendo que: MTP : Masa de tubo y precipitado (g); MT : Masa de tubo (g); ME: Masa de fibra (g)

3.2.3.2 Capacidad de Retención de Aceite. (CRO)

Para la determinación de la CRO, inicialmente se pesaron los tubos de ensayo vacíos (MT), se tararon y se les adicionó aproximadamente 0,5 g de muestra (ME). Tras esto se les añadió 5 mL de aceite de girasol a cada tubo, se agitaron con ayuda de un vortex unos 30 segundos a velocidad media y se dejaron reposar toda la noche a temperatura ambiente. Al siguiente día, las muestras se centrifugaron durante 20 minutos a una velocidad de 3.000 r.p.m. en una centrífuga Nahita Model 2690. Tras la centrifugación, se eliminó el sobrenadante con una micropipeta de 5 mL a cada tubo. Se procedió a pesar dichos tubos (MTP) tras eliminar todo el sobrenadante en la medida de lo posible. Esta determinación se realizó por triplicado. La CRO se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$CRO = \frac{g \text{ aceite}}{g \text{ muestra}} = \frac{MTP - MT - ME}{ME} \quad \text{Ecuación n}^{\circ}4.$$

Sabiendo que; MTP: Masa de tubo y precipitado (g), MT: Masa del tubo (g), ME: Masa de fibra (g).

3.2.3.3 Capacidad de Hinchamiento. (SW)

El procedimiento para determinar la SWC fue, en tubos de 10 mL graduados se adicionó aproximadamente 0,2 g de muestra, se midió el volumen que ocupaba cada muestra (V_0) y se anotó junto al peso exacto de fibra añadida. Posteriormente se adicionaron 5 mL de agua destilada, se agitó durante 1 minuto con ayuda de un vortex y se dejaron reposar durante 24 horas a temperatura ambiente. Trascurridas las 24 horas, se midió el volumen final de las muestras (V_1). Esta determinación se realizó por triplicado.

La capacidad de hinchamiento (mL/g) se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$SWC = \frac{V_1 - V_0}{P_{\text{muestra}}} \quad \text{Ecuación n}^{\circ}5.$$

Siendo V_0 : El volumen inicial (ml), V_1 : El volumen final (ml) y P_m : el peso de la muestra (g)

3.2.3.4 Capacidad Emulsionante (CE).

Se pesó en un vaso de precipitado de 150 mL, aproximadamente 1 gramo de muestra y se le adicionaron 50 mL de agua destilada. Esta mezcla se homogeneizó con un ultraturrax a 8.000 r.p.m durante 2 minutos. A continuación, a la suspensión anterior se le añadieron 50 mL de aceite de girasol, se volvió a homogeneizar durante 1 minutos a 8.000 r.p.m. Se pasó a tubos de centrífuga graduados 10 mL de esta mezcla homogeneizada y se centrifugó a 1.500 r.p.m durante 5 minutos. Transcurrido este tiempo, se midió el volumen de emulsión formada. Esta determinación se realizó por triplicado

La capacidad emulsificante se calculó mediante la siguiente ecuación.

$$AE = \frac{V_{\text{capa de emulsion}}}{V_{\text{Total}}} * 100$$

Ecuación nº6.

3.2.4 Parámetros Fisicoquímicos del yogurt.

3.2.4.1 pH.

El pH de cada yogurt se determinó siguiendo el procedimiento detallado en el apartado 9.2.2.1.

3.2.4.2 Acidez.

Para la acidez del yogurt, se utilizó hidróxido de sodio N/9 (NaOH N/9 - solución Dornic) como solución titulante para determinar el grado Dornic del yogurt. Cada 0,01 mL utilizado para neutralizar 1 mL de yogurt corresponde a 1° D (un grado Dornic). Para la detección del punto de viraje, se añadió una gota de solución indicadora de fenolftaleína, que inicialmente apareció como una solución clara y, después del cambio de pH, se volvió de color rosa claro, indicando el cambio de pH. Posteriormente, se leyó el volumen de titulante consumido.

3.2.4.3 Actividad de Agua.

La Actividad de Agua de cada yogurt se determinó de acuerdo con el procedimiento detallado en el apartado 9.2.2.2.

3.2.4.4 Color.

El color de cada yogurt se determinó de acuerdo con el procedimiento detallado en el apartado 9.2.2.3.

3.3 Análisis sensorial.

Para dicha evaluación sensoria, se realizó una prueba hedónica a 35 jueces no entrenados, formando parte de ella mayoritariamente estudiantes y algunos docentes. Dicha evaluación sensorial se realizó en el Laboratorio Sensorial de la UMH en la Escuela politécnica Superior de Orihuela, de acuerdo con los estándares (ASTM 1986, ISO 1988). Entre todo ellos, un 62,85% eran Hombres, un 31,42% mujeres y el 5,71% restante, prefirieron no contestar. Los atributos que se sometieron a evaluación fueron; Aspecto general, color de las diversas muestras, aroma, firmeza, sabor y acidez. Para la evaluación de cada uno de estos parámetros se utilizó una escala hedónica de 9 puntos (1: me disgusta extremadamente a 9: me gusta extremadamente) mediante un formulario de Google. Al final de dicho formulario se realizó una encuesta de datos demográficos, frecuencias de consumo y opinión general, así como la indicación de la muestra que gustó más y la que gustó menos.

3.4 Análisis Estadístico

La estadística de los datos fue evaluada mediante análisis de varianza unifactorial (ANOVA) y la prueba post-hoc de Tukey se realizó con un nivel de significación del 95% utilizando el Software SPSS (versión 24.0, SPSS Inc. Chicago, EE. UU.) Las medias y las desviaciones estándar de los datos se muestran en cada una de las tablas y figuras, respectivamente.

4 RESULTADOS Y DISCUSION.

4.1 Composición Química de las Harinas.

En la Tabla 6, se presenta la composición química (proteínas, humedad, cenizas y grasas) de las harinas obtenidas de la piel y de la pulpa del higo chumbo.

Se destaca que los valores de proteínas, grasas y humedad son superiores en la muestra de la harina de pulpa de higo chumbo, existiendo diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$) respecto a la muestra de harina obtenida de la piel de higo chumbo. En cambio, la cantidad de cenizas es superior en la muestra de harina de piel de higo chumbo, existiendo diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$) con respecto a la muestra de harina de pulpa de higo chumbo.

Tabla n°6. Composición química de pulpa y cáscara de higo chumbo.

	Proteínas	Grasas	Humedad	Cenizas
HP	$7,37 \pm 0,06^a$	$2,74 \pm 0,23^a$	$11,01 \pm 0,10^a$	$7,17 \pm 0,39^b$
HS	$4,51 \pm 0,06^b$	$1,33 \pm 0,17^b$	$8,66 \pm 0,23^b$	$10,59 \pm 0,06^a$

Para cada parámetro, los resultados seguidos por la misma letra, y misma columna, no son significativamente diferentes según la prueba post-hoc HST de Tukey ($p > 0,05$). Los datos presentan como media \pm desviación estándar y están expresados en g/100g de muestra. HP: Harina obtenida de la pulpa del Higo Chumbo. HS: Harina obtenida de la piel de Higo Chumbo.

El hecho de que las semillas no fueran separadas de la pulpa en la operación de desecado y molienda para la obtención de la harina, podría ser la causa de que el contenido de proteínas, grasas y humedad pueda ser superior respecto a la harina de piel obtenida de higo chumbo.

En cuanto a las cenizas, estas miden los componentes inorgánicos, como pueden ser los minerales. Esta concentración es superior en la harina de piel de higo chumbo. Igualmente, el contenido mineral de los alimentos vegetales tiende a ser variable debido a la influencia de diversos factores, como el tipo de suelo, las condiciones de cultivo y las prácticas agrícolas (Harris & Marshall, 2017).

Continuando con el estudio de la composición química de las harinas, según el estudio de *El Kossori et al., (1998)*, en el que se analizó la composición química de pulpa, piel y semillas del fruto de tuna (*Opuntia ficus indica* sp.), respecto a la composición de carbohidratos, es mayoritaria, la pectina en la pulpa, la hemicelulosa en la piel y la celulosa en la semilla.

Los carbohidratos y las proteínas son los macronutrientes que más van a influir en la capacidad de retención de agua, la capacidad de retención de hinchamiento, la capacidad emulsionante, la capacidad gelificante y la viscosidad del producto, debido a sus propiedades. Por lo que, posteriormente, una vez adicionadas al yogurt, podrían producir modificaciones.

4.2 Propiedades fisicoquímicas de las harinas.

Se muestran, en la Tabla 7, las propiedades fisicoquímicas; Actividad de Agua, pH y parámetros de color, de la harina obtenida a partir de cáscara y pulpa de higo chumbo.

Tabla n^o7. Propiedades fisico-química de la harina obtenida a partir de pulpa y de piel de higo chumbo.

		Parámetros de Color					
	Aw	pH	L*	a*	b*	C*	h*
HP	0,481±0,002 ^a	5,31±0,025 ^b	59,77 ± 2,66 ^b	12,11 ± 0,56 ^a	37,25 ± 2,22 ^a	39,18 ± 2,26 ^a	71,98 ± 0,52 ^a
HS	0,442±0,000 ^b	5,37±0,015 ^a	63,11 ± 1,85 ^a	11,41 ± 0,19 ^b	32,95 ± 1,03 ^b	34,87 ± 0,98 ^b	70,89 ± 0,62 ^b

Para cada parámetro, los resultados seguidos por la misma letra, en la misma columna, no son significativamente diferentes según la prueba post-hoc HST de Tukey ($p > 0,05$). Los datos presentan como media ± desviación estándar. HP: Harina obtenida de la pulpa del Higo Chumbo. HS: Harina obtenida de la piel de Higo Chumbo, Aw: Actividad de Agua.

El valor de, actividad de agua, de la harina de pulpa de higo chumbo (0,481) y harina de piel de higo chumbo (0,442), es similar, no obstante, sí que presentan diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$). Esta nos proporciona información sobre el agua disponible del que se correlaciona con la disponibilidad de agua para reacciones

biológicas o químicas. A menor actividad de agua, menor probabilidad de proliferación microbiana y mejor para su almacenamiento (Arias et al., 2018).

Con relación al pH, sí que existen diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$) entre la harina obtenida de la pulpa de higo chumbo (5,31) y la harina obtenida de la piel de higo chumbo (5,37), pero igualmente, ambas se mantienen en el rango ácido.

En cuanto al color (Tabla 7), la harina de pulpa de higo chumbo presenta valores más altos de L^* , b^* , C^* , h^* , que la harina de piel de higo chumbo. Al contrario, esta misma harina, presenta valores inferiores de L^* . Existiendo diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$) entre la harina obtenida de la piel de higo chumbo y la harina obtenida de la pulpa de higo chumbo, tanto para el parámetro de luminosidad como para los valores de a^* , b^* , C^* , h^* . Todo ello se interpreta en que la harina de piel de higo chumbo gira en torno a colores amarillos, más luminosos y la harina de pulpa de higo chumbo, presenta colores más oscuros de tonos rojizos-amarillentos. Lo que hace prever modificaciones en el color del futuro yogur.

De acuerdo, con el estudio publicado de Alkarkhi et al., (2011) , donde se comparan las propiedades fisicoquímicas de la pulpa de plátano con la de harinas de cascara de plátanos verdes y plátanos maduros; estas harinas, también resultan de un cambio de color que podría deberse a la reacción de Maillard, no enzimática. Pero, de forma general, la principal causa de pardeamiento en las frutas y verduras frescas es la reacción enzimática, debido a reacciones oxidativas catalizadas por enzimas que generan quinonas y forman pigmentos de color marrón (Kathuria et al., 2023).

Los datos de luminosidad de la harina de pulpa de higo chumbo y harina de piel de higo chumbo son similares a los reportados por Borchani et al., (2022) , en su estudio sobre las propiedades físico-químicas, térmicas y reológicas de harinas y fibras de cáscaras de tuna, observándose más discrepancias en el resto de los parámetros de color (a^* , b^*), al igual que respecto al segundo autor; Bouazizi et al., (2020) en su estudio sobre los efectos de la harina de cáscara de tuna (*Opuntia ficus-indica* L.) como ingrediente innovador en la formulación de galletas.

Se comparan, los datos de color, de la harina de piel y pulpa de higo chumbo, con los de Kallel et al., (2024), L^* , a^* , b^* , respectivamente; de dos variedades de higo chumbo, roja y verde; 72,38, (- 6,75), 45,00 y 63,11, (- 2,30), 21,74 . Se puede constatar que la

coordinada a*, tiende más hacia el verde, y la b*, es más amarillenta en la harina obtenida del higo chumbo verde, que en la obtenida de la harina de higo chumbo rojo. El color característico de la variedad verde se mantiene en la harina, a diferencia del rojo, cuyo color en la harina no es el tampoco el mismo que el del zumo hecho con la variedad roja de higo chumbo. La misma autora justifica estas diferencias mediante la posible degradación de los pigmentos rojos, durante el secado del proceso de la harina. Comparando los datos de color de la Tabla 7, a los del estudio de *Kallel et al., (2024)*, se destaca que las muestras harina de pulpa de higo chumbo y harina de piel, son más rojizas que los de bibliografía.

4.3 Propiedades Tecno-funcionales de las harinas.

En la Tabla 8, se muestran los datos de la capacidad de retención de agua, capacidad de retención de aceite, capacidad de hinchamiento y capacidad emulsionante, de la harina obtenida mediante pulpa y piel de higo chumbo.

Tabla n°8. Propiedades tecno funcionales de la harina de cáscara y piel de higo chumbo.

	HP	HS
CRO	1,275 ± 0,09 ^a	1,221 ± 0,016 ^a
CRA	3,398 ± 0, 33 ^a	3.773 ± 0,04 ^a
SW	9,785 ± 1,028 ^a	6,601± 0,235 ^b
CE	11,172± 6,090 ^a	5,055± 2, 352 ^a

Para cada parámetro, los resultados seguidos por la misma letra, en la misma fila, no son significativamente diferentes según la prueba post-hoc HST de Tukey ($p > 0,05$). Los datos presentan como media ± desviación estándar. HP: Harina obtenida de la pulpa del Higo Chumbo. HS: Harina obtenida de la piel de Higo Chumbo, CRO: Capacidad de retención de aceite, CRA: Capacidad de retención de Agua, SW: Capacidad de Hinchamiento, CE: Capacidad emulsificante.

En cuanto a la CRA y CRO, no se muestran diferencias estadísticamente significativas entre la harina obtenida a partir de piel de higo chumbo y de pulpa. ($P > 0,05$).

Un estudio sobre, las propiedades químicas y tecno-funcionales de harinas y cáscaras obtenidas a partir de coproductos de la fruta de la Pitahaya (*Hylocereus ocamponis*) de; *Prior Pinto Oliveira et al., (2024)* obtuvo una CRA de piel de pitaya de 15.69 g/g y de pulpa de 1.83 g/g. Este justifica estas discrepancias por la posible presencia variable de componentes hidrofílicos, la concentración de fibra insoluble, el tamaño de partícula y las variaciones del método de preparación de harinas. En cuanto a la CRO, se obtuvo 4.17 g/g para la harina de piel de pitaya y 0.31 g/g para la harina de pulpa. Estas diferencias podrían deberse a la estructura de polisacáridos, tanto química como física, a la conformación de la proteína y a la superficie hidrófoba, así como también a las variaciones del método de preparación de las harinas.

Según otro estudio de revisión de *Manzur-Valdespino et al., (2022)* sobre las aplicaciones y propiedades farmacológicas de la cáscara de nopal (*Opuntia spp.*), la CRA vario de 3,20 a 4,60 g/g y la CRO de 1,73 a 1,90 g/g. Los datos de la harina de pulpa y piel de higo chumbo se alinean con los datos de CRA de este autor, pero difieren de los de CRO.

Según *Kallel et al., (2024)*, la CRA de la harina procedente de la variedad roja de higo chumbo, fue de 6.37 g/g y para la de la variedad verde de, 5.37 g/g. Este autor justifica la diferencia entre estos datos debido a que la harina de higo chumbo de la variedad roja, es de partículas más pequeñas, lo que permite que esta absorba más agua que la de la variedad verde. En lo que respecta a la CRO, se obtuvieron unos datos de 1.03 g/100g muestra para la variedad roja, y 0.91g/100g muestra, para la variedad verde. Los datos de la CRA de la Harina de pulpa de higo chumbo y Harina de piel de higo chumbo se alejan de los bibliográficos, no obstante, sí que se asemejan a los de CRO.

En cuanto a la capacidad de hinchamiento (Tabla 8) es superior en la harina de pulpa de higo chumbo, presentando diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$), respecto a la harina obtenida de la piel de higo chumbo.

La SW de la harina obtenida de la pulpa de higo chumbo es de 9,78ml/g y de 6,60ml/g en la harina obtenida de la piel de higo chumbo, similares a los datos del estudio sobre las propiedades químicas y tecno-funcionales de harinas y cáscaras obtenidas a partir de coproductos de la fruta de la Pitahaya (*Hylocereus ocamponis*) de *Prior Pinto Oliveira et al., (2024)* de la harina de pulpa (5.44 ml/g), de fruta del dragón. Según este autor, estas variaciones podrían deberse al tamaño de partícula, tipo de variedad y técnicas de procesado de la harina.

Según otro estudio sobre las aplicaciones y propiedades farmacológicas de la cáscara de nopal (*Opuntia spp.*), del; *Manzur-Valdespino et al., (2022)* , la SW, varía de 9,82 a 12,33 ml/g. Por lo que, los datos de las harinas de pulpa de higo chumbo y harina de piel de higo chumbo concuerdan con los de este autor.

Según *Kallel et al., (2024)* la SW de la harina con higo chumbo rojo es de 4.00 ml/g y para el higo chumbo verde es de, 2.50 ml/g, siendo estos inferiores a los resultados de capacidad de hinchamiento de las harinas tanto de piel como de pulpa obtenidas del higo chumbo.

La Capacidad Emulsionante, (CE), es mayor en harina de pulpa de higo chumbo (11,17ml/g) que en harina de piel de higo chumbo (5,09 ml/g), no habiendo diferencias estadísticamente significativas ($P > 0,05$). Según el estudio de *Badia-Olmos et al., (2023)* sobre las propiedades tecno-funcionales y reológicas de harinas alternativas de origen vegetal, esta diferencia se podría explicar por el contenido de proteínas, en este caso siendo mayor la de la Harina de pulpa de higo chumbo (7,37 g/100g) respecto a la harina de piel de higo chumbo (4,51g/100g).

La proteína, puede hacer el papel de emulsionante proteico y aparte tiene numerosas funciones como estabilizador de grasa, surfactante y humectante. Sus propiedades moleculares determinan la capacidad de las proteínas para absorberse en la interfaz, reducir la tensión interfacial y formar pequeñas gotas estables. El tamaño de las gotas, a su vez, influye en las propiedades generales de la emulsión, como su estabilidad, apariencia, textura y sabor (*Kim et al., 2020*).

De todas formas, las propiedades tecno-funcionales se van a ver afectadas por las etapas previas de preparación de la harina tales como el Secado y la Molienda. El secado o deshidratación de vegetales a ciertas temperaturas afecta las propiedades organolépticas del producto y su valor nutricional; durante esta operación pueden cambiar la textura, el color, la densidad, la porosidad y las características de adsorción e hidratación (*Adolfo et al., 2010*).

Afectado a la porosidad, al tamaño del grano, existiendo una degradación de pigmentos o una intensificación del color, según el estudio de *Ismail & Göğüş, (2023)* , además de modificaciones en el perfil de fibra dietética.

4.4 Parámetros fisicoquímicos del yogurt.

En la Tabla 9 se muestran los parámetros fisicoquímicos de las diferentes muestras de yogurt sometidas a estudio; Yogur con harina obtenida a partir de pulpa de higo chumbo, yogurt con harina obtenida de cascara de higo chumbo y la muestra control.

Tabla n°9. Propiedades fisicoquímicas del Yogurt control (YC), Yogurt con harina de piel de higo chumbo (YS) y yogurt con harina de pulpa de higo chumbo (YP).

	pH (final)	Aw	L*	Color			
				a*	b*	C*	h*
YC	5,05 ±	0,964 ±	81,90 ±	(-2,44) ±	6,50 ±	6,94 ±	110,61 ±
	0,07 ^a	0,075 ^a	0,26 ^b	0,06 ^b	0,20 ^c	0,17 ^c	0,96 ^a
YP	4,97 ±	0,966 ±	72,83 ±	1,11 ± 0,	12,24 ±	12,30 ±	84,92 ±
	0,01 ^a	0,0015 ^a	6,01 ^a	54 ^a	0,45 ^a	0,49 ^a	2,32 ^b
YS	4,92 ±	0,964 ±	78,24 ±	0,93 ± 0,	11,36 ±	11,40 ±	85,34
	0,02 ^a	0,001 ^a	0,34 ^a	21 ^a	0,52 ^b	0,53 ^b	±0,94 ^b

Para cada parámetro, los resultados seguidos por la misma letra, en la misma columna, no son significativamente diferentes según la prueba post-hoc HST de Tukey ($p > 0,05$). Los datos presentan como media ± desviación estándar. YC: Yogurt control, YP: Yogurt con harina obtenida a partir de la pulpa del higo chumbo, YS: Yogurt con harina obtenida a partir de la piel de la higo chumbo.

Acerca del pH, las muestras de yogurt, tanto con harina de pulpa como con harina piel de higo chumbo y el yogurt control, no muestran diferencias estadísticamente significativas. ($P > 0,05$). El pH se mantiene ácido en las tres muestras, concordando con los datos de, *Azeez Khalid Albayati et al., (2024)* donde se evaluó un yogurt con adición de pulpa de higo chumbo.

Sobre la actividad de agua, la adición de harinas al yogurt, obtenidas de la piel y de la pulpa del higo chumbo no provocó variación significativa en este parámetro ya que no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas ($P > 0,05$) entre los yogures adicionados con harinas y el yogurt control.

Según el artículo de *Marlapati et al., (2024)*, donde se compara la composición y los atributos físicos entre yogures lácteos y de origen vegetal, en el análisis de la actividad

de agua, se obtienen unos resultados comprendidos entre 0,97 y 0,99. La actividad de agua del yogurt control y de los dos yogures adicionados con harina de higo chumbo se alinean con este estudio bibliográfico.

En relación a los datos de color, el valor L^* de Luminosidad es superior en la muestra de yogurt control e inferior en la muestra de yogur con adición de harina de pulpa de higo chumbo. El valor a^* es inferior en la muestra del yogurt control, incrementándose al agregar la harina. En relación al valor de b^* y de C^* , el resultado más bajo es el del yogurt control, y el más alto el del yogurt con adición de harina obtenida de la piel de higo chumbo. Para el valor de h^* , el valor de la muestra control resulta ser el más alto y de la muestra de yogurt con piel de higo chumbo, el más bajo. A pesar de ello, si que existen diferencias estadísticamente significativas entre las muestras con harina, tanto la de piel de higo chumbo como la de pulpa, respecto a la muestra control comparando los parámetros L^* , a^* y h^* . ($P < 0,05$). Respecto a b^* y C^* , existen diferencias significativas ($P < 0,05$) entre las tres muestras; tanto el control, la muestra con harina de pulpa y la muestra con harina de piel. En la Figura 7, se presenta; la muestra control, la muestra de yogurt con pulpa y la muestra de yogurt con piel de higo chumbo, antes de la incubación, y en la Figura 8, se presentan después de la fermentación.

Según el artículo, de *Azeez Khalid Albayati et al., (2024)*, donde se compran otras dos harinas obtenidas a partir de higo chumbo y se agregan a un yogurt; el parámetro de luminosidad se parece al del yogurt control y al del yogurt con adición de harina de piel de higo chumbo. Pero los valores de a^* y de b^* se quedan distantes, igualmente manteniéndose en los tonos amarillo-rojo. Además, el mismo autor, *Azeez Khalid Albayati et al., (2024)* también afirma que los valores de a^* y b^* aumentan conforme a la adición de pulpa, en especial, el valor de b^* . Esto se le atribuye al color rojizo-amarillento-anaranjado inducido por la maduración de las frutas, debido al pigmento de la betacianina (amarillo), responsable de este color. Así se podría explicar también la diferencia del valor de b^* en la muestra de Yogurt con pulpa de higo chumbo y yogurt con piel de higo chumbo.

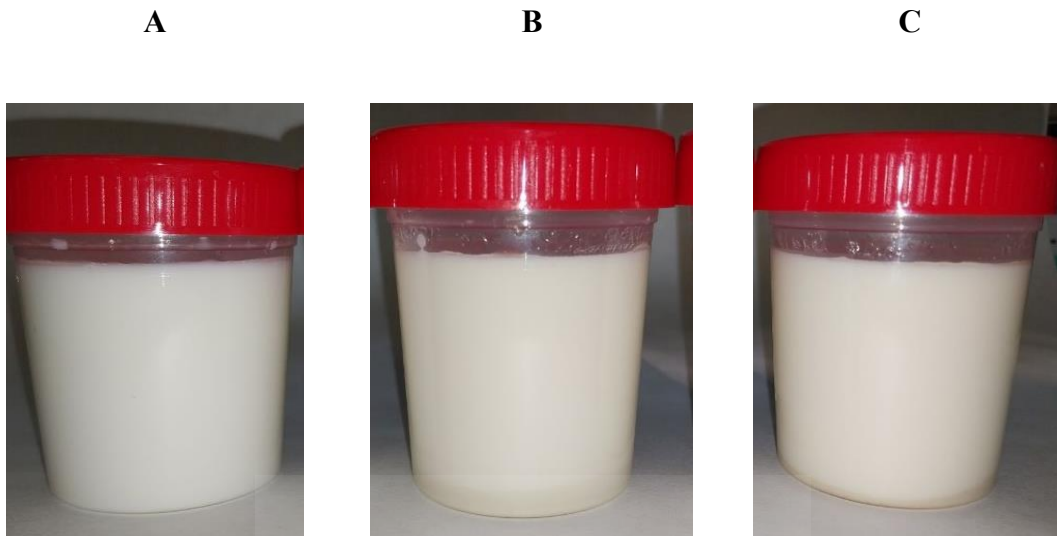


Figura n°7. Color de las muestras antes de la incubación.
Control (A), piel (B) y pulpa (C).

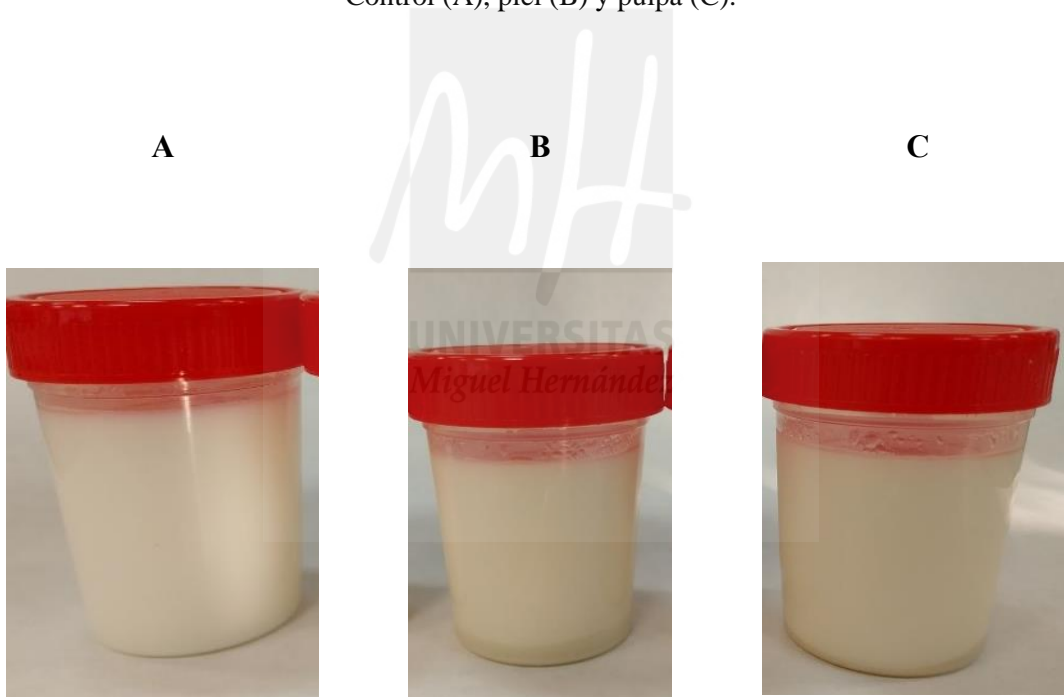


Figura n°8. Color de las muestras, después de la fermentación.
Control (A), piel (B) y pulpa (C).

En referencia a la acidez, la muestra de yogurt con harina de pulpa de higo chumbo y la muestra de yogurt con harina de piel de higo chumbo no presentan diferencias significativas ($P > 0,05$), aunque el valor de la muestra con piel de higo chumbo es ligeramente superior. Para la muestra control, esta presenta valores mas bajos, existiendo

diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$) entre las muestras de yogurt con adición de harina.

En la Figura 9, se presenta un gráfico con la acidez, expresada en °Dornic, de los diferentes yogures; yogurt control, yogurt con harina obtenida a partir de pulpa de higo chumbo, yogurt con harina obtenida a partir de piel de higo chumbo.

La diferencia de acidez entre la muestra con harina y la muestra control, indica que la presencia de pulpa y piel en el yogurt estimuló el crecimiento y la actividad de los cultivos iniciadores *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*, lo que se tradujo en una mayor producción de ácido láctico (Ayivi & Ibrahim, 2022).

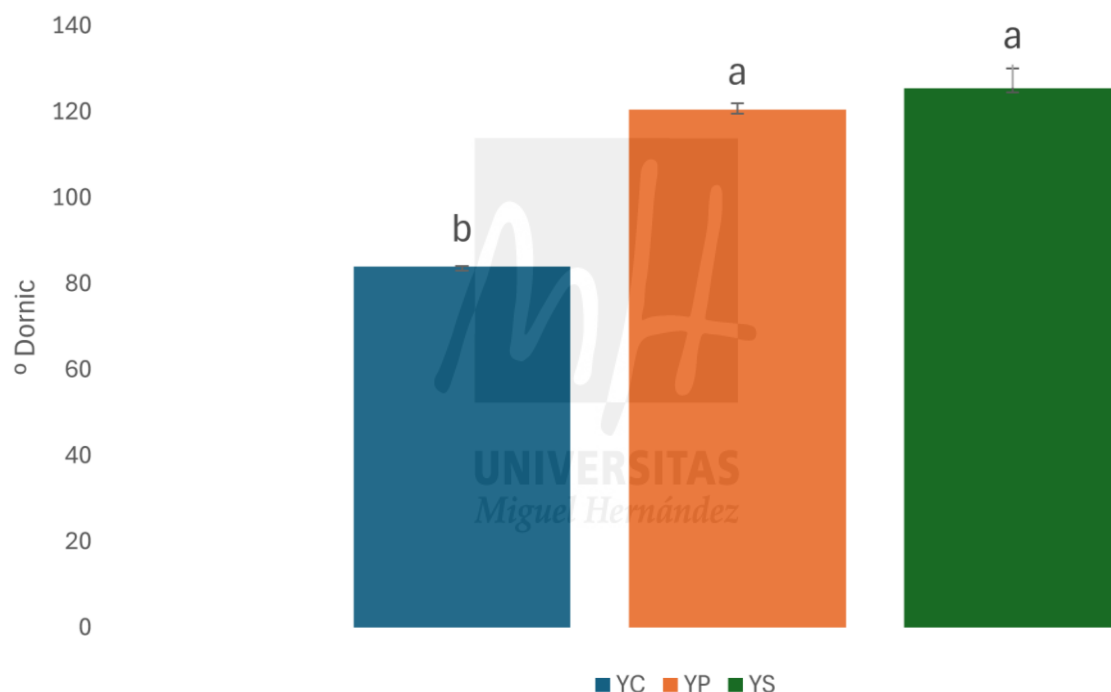


Figura n°9. Resultados de la acidez de las diferentes muestras, en °Dornic.

YC: Yogurt control, YP: Yogurt con harina obtenida a partir de la pulpa del higo chumbo, YS: Yogurt con harina obtenida a partir de la piel de higo chumbo.

4.5 Curva de Coagulación.

En la curva de coagulación se muestra la evolución del tiempo del pH en función del tiempo de fermentación, en horas. (Figura 10). Se destaca que el pH inicial de las muestras; de yogur con harina de piel y pulpa de higo chumbo y el yogur control, son ligeramente diferentes. Esto se podría deber a la previa acidificación inicial de la leche por la adición de harina obtenida de la piel y de la pulpa del higo chumbo, ya que esta tiene pH de origen ácido.

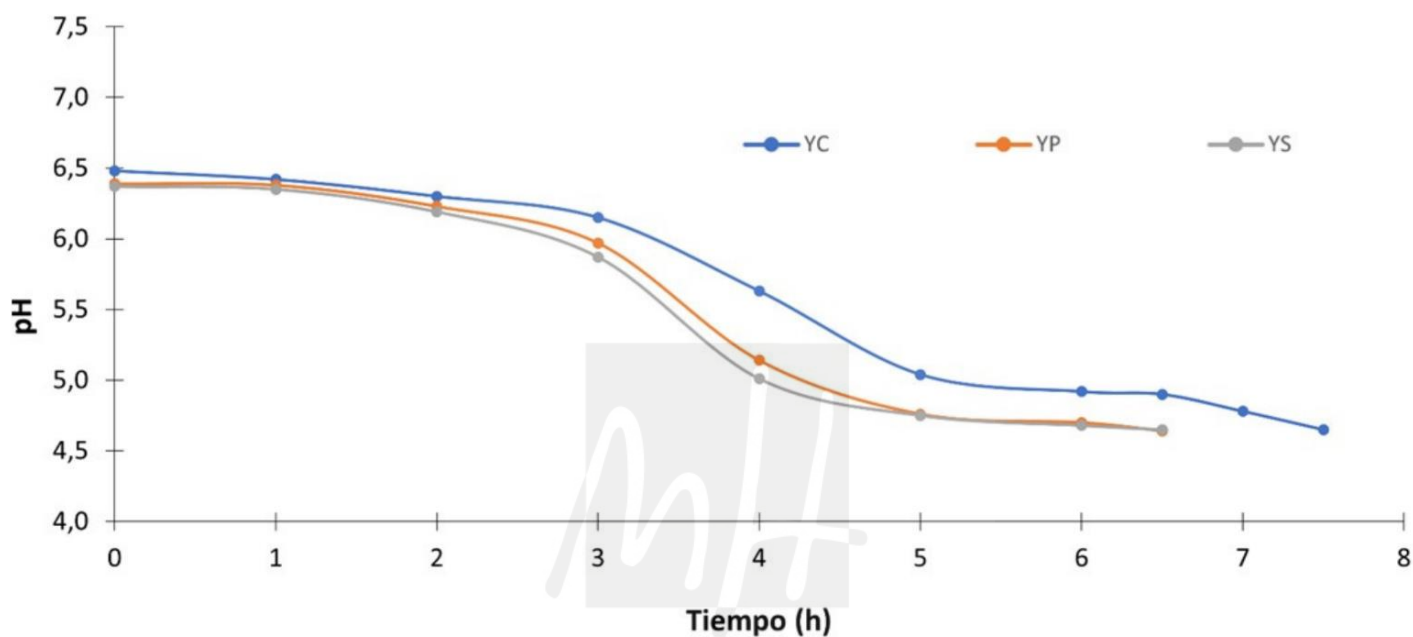


Figura n°10. Evolución del pH en función del tiempo de fermentación

YC: Yogurt control, YP: Yogurt con harina obtenida a partir de la pulpa del higo chumbo, YS: Yogurt con harina obtenida a partir de la piel de higo chumbo.

Según *Larrosa & Otero, (2021)*, se le podría atribuir la diferencia de pH inicial del yogurt, a la adición de harina elaborada a partir de subproductos de fruta que puede haber provocado una disminución del pH, antes de la inoculación de los cultivos iniciadores, posiblemente debido a los componentes ácidos del producto fibroso, o a degradaciones resultantes de otros compuestos. Por consiguiente, esta pre-acidificación, puede afectar a la solubilización del fosfato de calcio (CCP) insoluble en agua, pero sí en ácido (*Larrosa & Otero, 2021*). Una pre-acidificación de la leche aumenta la pérdida de CCP produciendo geles más débiles, que finalmente influirá en las características sensoriales del producto (*Peng et al., 2009*).

Además de esto, en la curva, Figura 10, también se evidencia una diferencia en el tiempo de coagulación durante la fermentación. Lo que, según los autores *Fernández-García & McGregor, (1997)* hipotetizan, es que la variación en el tiempo de fermentación podría atribuirse a la adición de ciertas fibras como nutrientes o estimulantes del crecimiento para el cultivo iniciador, lo que acelera también el proceso de acidificación. Como consecuencia, esta aceleración del proceso provoca la liberación temprana de fosfatos de calcio coloidales, responsable de mantener la integridad de la micela. Al producirse a un ritmo más rápido, esta liberación induce la separación prematura de caseínas individuales de las micelas, facilitando así el desarrollo temprano de la red de caseína. Consecuentemente, se observa una rápida agregación de proteínas que resulta en la formación de un menor número de enlaces proteína-proteína y una extensa reorganización de las partículas/grupos. Esto, a su vez, conduce de nuevo a la formación de un gel débil con poros grandes y una mayor separación del suero (*Sah et al., 2016*).

En la curva de coagulación (Figura 10) se ve que el Yogurt Control tarda 7h30 en alcanzar el pH de 4,5, y las formulaciones con harina; tales como el yogurt con harina de piel de higo chumbo y el yogurt con harina de pulpa de higo chumbo, 6h30.

Salaiün et al., (2005), en su estudio sobre la capacidad tamponante de los productos lácteos, obtiene un pH de 4,6-4,7 en 2 h 45 min, 3 h 15 min y 5 h 30 min con leche de cabra, vaca y oveja, respectivamente. Este autor justifica estos resultados debido a que la acidificación de la leche de oveja es más lenta en comparación con la de la leche de vaca o cabra, debido a que la leche de oveja tiene un alto contenido de proteínas. La ralentización de la acidificación durante su fabricación se debe a la presencia de urea en la leche, que se degrada por la ureasa en CO₂ y NH₃. La producción de CO₂ (en equilibrio ácido-base con carbonato y bicarbonato), da lugar a un aumento de la capacidad tampón alrededor de pH 6,5 y, en consecuencia, disminuye la velocidad de acidificación.

Otro estudio que compara la curva de acidificación de la leche de cabra con la de búfalo, *Bezerra et al., (2012)*, observa que la acidificación es más rápida en la leche de búfalo antes que en leche de cabra. Esto lo atribuye a que, cuanto menor es el contenido de sólidos, menor es la capacidad tamponante de la leche, y que a menor capacidad tamponante, más rápido se acidifica. La capacidad tampón es indispensable para la acidificación de la leche, y está influenciada por sus constituyentes, especialmente ácidos

orgánicos, sales y proteínas. Estos parámetros varían según el tipo de leche (*Bezerra et al., 2012*).

Otro factor importante, que afecta a la capacidad buffer de la leche y por lo tanto al tiempo de fermentación, es la temperatura. Esta afecta de forma directa a las interacciones proteicas a causa del calcio y a la formación y estructura de la red de proteínas (*Katrine Laursen et al., 2023*).

Asimismo, la cinética de acidificación también depende de la leche de diferentes rumiantes, la composición de la leche, el nivel de sólidos totales y la interacción entre los componentes de la leche según dice *Deshwal et al., (2021)*, en su estudio de Revisión sobre los factores que afectan y control de la post-acidificación en yogur.

4.6 Análisis sensorial.

En la Figura 11 se muestra el análisis sensorial de los yogures adicionados con harinas obtenidas de la piel y la pulpa del higo chumbo. Para todos los atributos analizados, no existen diferencias estadísticamente significativas entre las tres muestras ($P > 0,05$), a excepción del color y de la fimeza ($P < 0,05$).

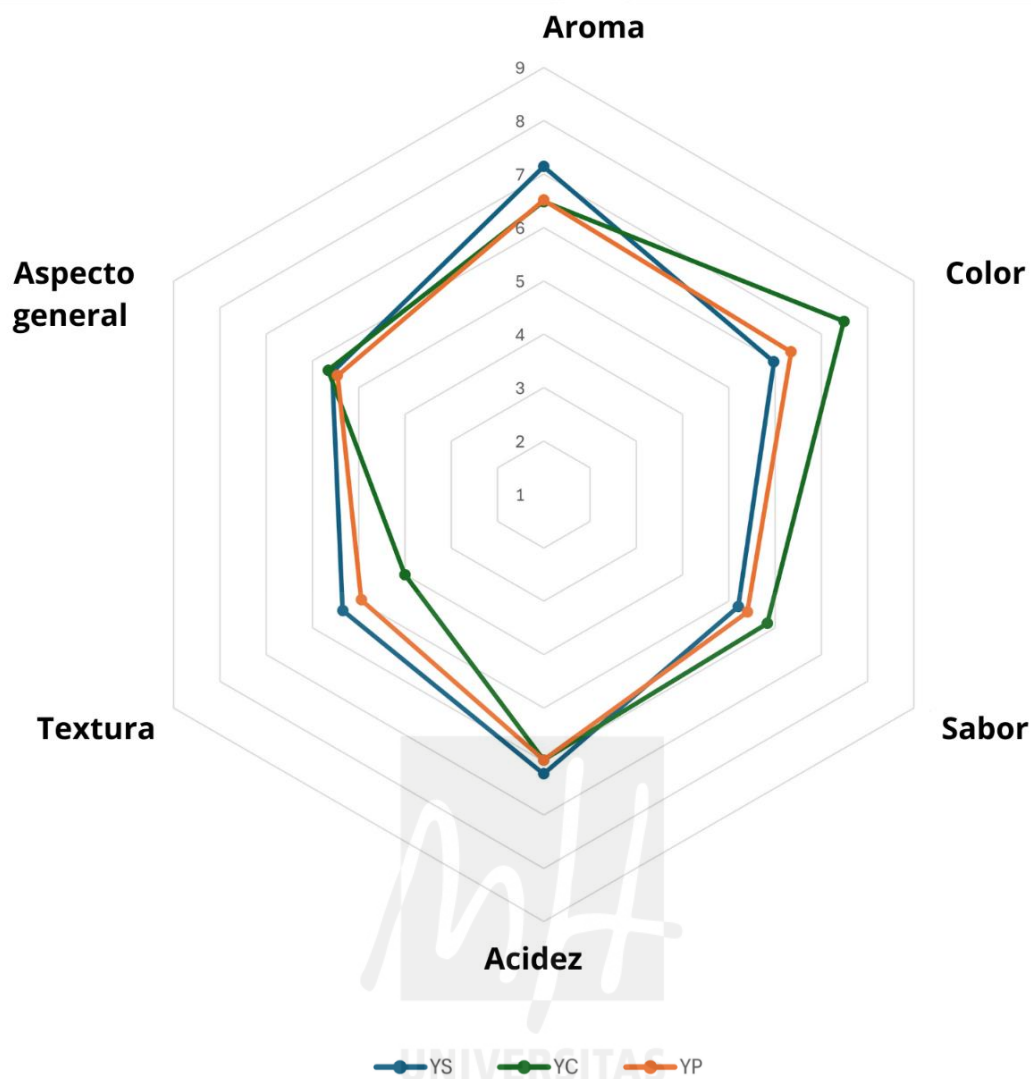


Figura n°11. Aceptabilidad general de los yogures con harina de Higo Chumbo.

YC: Yogurt control, YP: Yogurt con harina obtenida a partir de la pulpa del higo chumbo, YS: Yogurt con harina obtenida a partir de la piel de higo chumbo.

En relación con el color, sí que existen diferencias estadísticamente significativas, entre la formulación control y, las formulaciones con adición de harina tanto de pulpa como de piel de higo chumbo. ($P < 0,05$).

Según *Rahman et al., (2024)* la muestra de yogurt, del estudio que realizó sobre la fortificación de yogures con harina de cáscara de limón como co-producto, la adición de un 0,50 % de harina, al yogurt, tuvo más aceptabilidad en los consumidores, que las muestras que contenían un 0,25% y un 0,75%. y 0,75 % de harina. El atributo general y la acidez fueron evaluados con la misma puntuación en las tres muestras de yogurt, tanto las de harina como el control, por lo que, no se mostraron diferencias.

La acidez, a nivel sensorial, del yogur no se vio afectada significativamente por la adición de fibra debido a la adición de sabor, según afirma *Hashim et al., (2013)* en el estudio donde se analizó un yogur con adición de fibra de dátil.

Solo se observa una mejora en el aroma de la muestra de yogur con piel obtenida de higo chumbo, mientras que la aceptación del atributo de la firmeza, mejora tanto en yogur con adición de pulpa de harina de higo chumbo como yogur con piel de harina de higo chumbo. La firmeza está vinculada a las propiedades tecno funcionales de la harina, atribuible al incremento de la fibra, lo que resulta en un aumento de la capacidad de retención de agua (CRA) por lo que, disminución de la sinéresis. Aparte, la textura y la estabilidad del yogur se pueden mejorar gracias a la producción de exopolisacáridos (EPS), por las bacterias ácido-lácticas (*Ahmed et al., 2023*).

La desmejora del atributo del aroma de la muestra de Yogurt con harina de pulpa de higo chumbo puede ser debido a los olores desagradables a pescado, por la degradación por calor durante el secado, de los aminoácidos sulfurados, presentes en las semillas, creando así rechazo al consumidor. Debido a que, según el estudio sobre el valor nutritivo y la composición química de semillas de higo chumbo de *Saleh AbdelFattah et al., (2020)* ,las semillas del fruto del higo chumbo contienen por naturaleza aceites omega tres, tales como; alfa linolénico, ácido eicosapentaenoico y ácido docosahexaenoico, que contribuyen a este olor a pescado.

5 CONCLUSIONES

- La harina de pulpa de higo chumbo se caracteriza por un contenido en proteínas, grasas y humedad superior al de la harina de piel de higo chumbo, mientras que la harina de piel de higo chumbo se caracteriza por un contenido de cenizas superior.
- En relación con las propiedades físico-químicas; la actividad de agua es superior en harina obtenida de pulpa de higo chumbo. Para el color, la harina de pulpa tiene uno parámetros de color a^* , b^* C^* y h^* superiores a los de la harina de piel de higo chumbo. Al contrario, la harina de piel de higo chumbo tiene mayor luminosidad que la harina de pulpa de higo chumbo.
- Respecto a las propiedades tecno-funcionales; la harina de pulpa de higo chumbo presenta mayor capacidad de retención de aceite, capacidad de hinchamiento y capacidad emulsificante. Por su parte, la harina de piel de higo chumbo presenta mayor capacidad de retención de agua y menor capacidad de retención de aceite, capacidad de hinchamiento y capacidad emulsificante.
- En las propiedades físico-químicas de los diferentes yogures, se refleja una variación de color hacia tonos amarillos, debido a la adición de harina de pulpa y piel de higo chumbo.
- Finalmente, hubo diferencias notorias en la puntuación de los atributos de la evaluación sensorial, siendo los más relevantes; la textura, el aroma y el color.

6 BIBLIOGRAFÍA.

- Adolfo, G., Llanos, H., Omaña Yañez, M., Augusto, C., Arias Gómez, Z., & María Vélez Acosta, L. (2010). Efecto de la temperatura de secado sobre las propiedades funcionales de la fibra dietética presente en la citropulpa. *Revista Lasallista de Investigación*, 7(2), 85–93. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-44492010000200009&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Ahmed, J., Barua, S., & Roy, S. (2023). Rheology and microstructure of yogurt. *Advances in Food Rheology and Its Applications: Development in Food Rheology, Second Edition*, 335–363. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823983-4.00020-0>
- Alkarkhi, A. F. M., Ramli, S. Bin, Yong, Y. S., & Easa, A. M. (2011). Comparing physicochemical properties of banana pulp and peel flours prepared from green and ripe fruits. *Food Chemistry*, 129(2), 312–318. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2011.04.060>
- Analianasari, & Apriyani, M. (2018). Characteristics of frozen yoghurt enriched with red dragon fruit skin extracts (*Hylocereus polyrhizus*). *Journal of Physics: Conference Series*, 953(1), 012036. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/953/1/012036>
- Arcia, P. L., Costell, E., & Tárrega, A. (2011). Inulin blend as prebiotic and fat replacer in dairy desserts: Optimization by response surface methodology. *Journal of Dairy Science*, 94(5), 2192–2200. <https://doi.org/10.3168/JDS.2010-3873>
- Arias, A., Valentina, L., Souza Silva, de, de Oliveira, A., Luna Valentina Angulo Arias, F., Grande Dorados, U., & Surcolombiana, U. (2018). Characterization of citric agro-industrial by-products: orange and passion fruit *Ingeniería y Región*. <https://doi.org/10.25054/22161325.1916>
- Arioui, F., Ait Saada, D., & Cheriguene, A. (2017). Physicochemical and sensory quality of yogurt incorporated with pectin from peel of *Citrus sinensis*. *Food Science & Nutrition*, 5(2), 358. <https://doi.org/10.1002/FSN3.400>
- Ayivi, R. D., & Ibrahim, S. A. (2022). Lactic acid bacteria: an essential probiotic and starter culture for the production of yoghurt. *International Journal of Food Science & Technology*, 57(11), 7008–7025. <https://doi.org/10.1111/IJFS.16076>
- Azeez Khalid Albayati, A., Ağçam, E., Karaca, O. B., & Ozogul, F. (2024). Effects of prickly pear supplementation on physico-chemical, textural, microbiological and sensory characteristics of probiotic set yoghurts. *Food Bioscience*, 60, 104513. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2024.104513>
- Badia-Olmos, C., Laguna, L., Haros, C. M., & Tárrega, A. (2023). Techno-functional and rheological properties of alternative plant-based flours. *Foods* 2023, 12(7),1411. <https://doi.org/10.3390/foods12071411>

- Basyigit Kilic, G., & Akpinar Kankaya, D. (2016). Assessment of technological characteristics of non-fat yoghurt manufactured with prebiotics and probiotic strains. *Journal of Food Science and Technology*, 53(1), 864–871. <https://doi.org/10.1007/S13197-015-2055-1>
- Beatriz Prior Pinto Oliveira, M., Reyes-García, V., Botella-Martínez, C., Juárez-Trujillo, N., Muñoz-Tébar, N., & Viuda-Martos, M. (2024). molecules Pitahaya (*Hylocereus ocamponis*)-Peel and-flesh flour obtained from fruit co-products-assessment of chemical, techno-functional and in vitro antioxidant properties. *Molecules* 2024. 29 (10), 2241. <https://doi.org/10.3390/molecules29102241>
- Bezerra, M. F., Souza, D. F. S., & Correia, P. R. T. (2012). Acidification kinetics, physicochemical properties and sensory attributes of yoghurts prepared from mixtures of goat and buffalo milks. *International Journal of Dairy Technology*, 65(3), 437–443. <https://doi.org/10.1111/J.1471-0307.2012.00845.X>
- BOE. (2014). *Disposición 4515 del BOE núm. 102 de 2014*.
- Borchani, M., Masmoudi, M., Ben Amira, A., Besbes, S., Blecker, C., & Attia, H. (2022). Physicochemical, thermal and rheological properties of prickly pear peel flours and fibers. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 16(5), 3557–3567. <https://doi.org/10.1007/S11694-022-01467-2>
- Bouazizi, S., Montevecchi, G., Antonelli, A., & Hamdi, M. (2020). Effects of prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L.) peel flour as an innovative ingredient in biscuits formulation. *LWT*, 124, 109155. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2020.109155>
- Costa, M. F., Pimentel, T. C., Guimaraes, J. T., Balthazar, C. F., Rocha, R. S., Cavalcanti, R. N., Esmerino, E. A., Freitas, M. Q., Raices, R. S. L., Silva, M. C., & Cruz, A. G. (2019). Impact of prebiotics on the rheological characteristics and volatile compounds of Greek yogurt. *LWT*, 105, 371–376. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2019.02.007>
- Cota-Sánchez, J. H. (2016). Nutritional Composition of the Prickly Pear (*Opuntia ficus-indica*) Fruit. *Nutritional Composition of Fruit Cultivars*, 691–712. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-408117-8.00028-3>
- Davoodi, S. H., Shahbazi, R., Esmaeili, S., Sohrabvandi, S., Mortazavian, A. M., Jazayeri, S., & Taslimi, A. (2016). Health-Related Aspects of Milk Proteins. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research: IJPR*, 15(3), 573.
- De Servicios, B., De, A., & Fao, L. A. (2006). *Utilización agroindustrial del nopal*. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/120301/Utilizacion-agroindustrial-del-nopal.pdf?sequence=1>
- Delgado-Fernández, P., Corzo, N., Olano, A., Hernández-Hernández, O., & Moreno, F. J. (2019). Effect of selected prebiotics on the growth of lactic acid bacteria and physicochemical properties of yoghurts. *International Dairy Journal*, 89, 77–85. <https://doi.org/10.1016/J.IDAIRYJ.2018.09.003>

- Deshwal, G. K., Tiwari, S., Kumar, A., Raman, R. K., & Kadyan, S. (2021). Review on factors affecting and control of post-acidification in yoghurt and related products. *Trends in Food Science & Technology*, 109, 499–512. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2021.01.057>
- Dias, P. G. I., Sajiwanie, J. W. A., & Rathnayaka, R. M. U. S. K. (2020). Chemical Composition, Physicochemical and Technological Properties of Selected Fruit Peels as a Potential Food Source. *International Journal of Fruit Science*, 20(S2), S240–S251. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1717402>
- El Kossori, R. L., Villaume, C., El Boustani, E., Sauvaire, Y., & Méjean, L. (1998). Composition of pulp, skin and seeds of prickly pears fruit (*Opuntia ficus indica* sp.). *Plant Foods for Human Nutrition*, 52(3), 263–270. <https://doi.org/10.1023/A:1008000232406/METRICS>
- El-Beltagi, H. S., Ahmed, A. R., Mohamed, H. I., Al-Otaibi, H. H., Ramadan, K. M. A., & Elkatry, H. O. (2023). Utilization of prickly pear peels flour as a natural source of minerals, dietary fiber and antioxidants: effect on cakes production. *Agronomy* 2023, Vol. 13, Page 439, 13(2), 439. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY13020439>
- Escudo nacional, biodiversidad enaltecida | Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales | Gobierno | gob.mx*. Retrieved September 11, 2024, from <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/escudo-nacional-biodiversidad-enaltecida>
- Esmailnejad Moghadam, B., Keivaninahr, F., Fouladi, M., Rezaei Mokarram, R., & Nazemi, A. (2019). Inulin addition to yoghurt: Prebiotic activity, health effects and sensory properties. *International Journal of Dairy Technology*, 72(2), 183–198. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12579>
- Fernández-García, E., & McGregor, J. U. (1997). Fortification of sweetened plain yogurt with insoluble dietary fiber. *European Food Research and Technology*, 204(6), 433–437. <https://doi.org/10.1007/S002170050108/METRICS>
- Fisberg, M., & Machado, R. (2015). History of yogurt and current patterns of consumption. *Nutrition Reviews*, 73(suppl_1), 4–7. <https://doi.org/10.1093/NUTRIT/NUV020>
- García-Pérez, F. J., Sendra, E., Lario, Y., Fernández-López, J., Sayas-Barberá, E., & Pérez-Alvarez, J. A. (2006). Rheology of orange fiber enriched yogurt. *Milchwissenschaft*, 61(1), 55–59.
- Gómez-Gallego, C., Gueimonde, M., & Salminen, S. (2018). The role of yogurt in food-based dietary guidelines. *Nutrition Reviews*, 76, 29–39. <https://doi.org/10.1093/NUTRIT/NUY059>
- Güven, M., Yasar, K., Karaca, O. B., & Hayaloglu, A. A. (2005). The effect of inulin as a fat replacer on the quality of set-type low-fat yogurt manufacture. *International Journal of Dairy Technology*, 58(3), 180–184. <https://doi.org/10.1111/J.1471-0307.2005.00210.X>

- Hadjimbei, E., Botsaris, G., & Chrysostomou, S. (2022). Beneficial effects of yoghurts and probiotic fermented milks and their functional food potential. *Foods*, *11*(17). <https://doi.org/10.3390/FOODS11172691>
- Harris, G. K., & Marshall, M. R. (2017). Ash Analysis. *16*(1), 287–297. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45776-5_16
- Hashim, I. B., Khalil, A. H., & Afifi, H. S. (2013). Yogurt fortified with date fiber. *Handbook of Food Fortification and Health*, *2*, 87–93. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7110-3_7/TABLES/3
- INE-Instituto Nacional de Estadística. *Informe del desperdicio alimentario en la industria y la distribución* (2020). Con acceso el 7 de septiembre. https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/desperdicio/1informe_del_desperdicio_alimentario_en_la_industria_y_la_distribucion_en_tcm30-623641.pdf
- Ismail, M., & Göğüş, F. (2024). The effect of drying on the physical and chemical properties of fruits. Retrieved September 9, 2024, from www.izdas.org/topkapi
- Kallel, F., Chaieb, Z., Belghith Fendri, L., Ellouz Chaabouni, S., & Neifar, M. (2024). By-product of prickly pear juice industry: a novel ingredient to improve the physicochemical, texture and sensory properties of cake. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *18*(9), 7656–7668. <https://doi.org/10.1007/S11694-024-02756-8/TABLES/6>
- Kathuria, D., Hamid, Gautam, S., & Thakur, A. (2023). Maillard reaction in different food products: Effect on product quality, human health and mitigation strategies. *Food Control*, *153*, 109911. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2023.109911>
- Katrine Laursen, A., Bue Dyrnø, S., Steven Mikkelsen, K., Pawel Czaja, T., Albert Maria Rovers, T., Ipsen, R., & Ahrné, L. (2023). Effect of coagulation temperature on cooking integrity of heat and acid-induced milk gels. *Food Research International*, *169*, 112846. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2023.112846>
- Khodear, M. M., Abeer, ;, Zayan, F., Tammam, ; A A, & Mohran, M. A. (2018). Influence of adding inulin as a fat replacer on the characteristics of yoghurt. *J. Food and Dairy Sci., Mansoura Univ*, *9*(1), 13–17.
- Kim, W., Wang, Y., & Selomulya, C. (2020). Dairy and plant proteins as natural food emulsifiers. *Trends in Food Science & Technology*, *105*, 261–272. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2020.09.012>
- Larrosa, A. P. Q., & Otero, D. M. (2021). Flour made from fruit by-products: Characteristics, processing conditions, and applications. *Journal of Food Processing and Preservation*, *45*(5), e15398. <https://doi.org/10.1111/JFPP.15398>
- Loukili, E. H., Merzouki, M., Taibi, M., Elbouzidi, A., Hammouti, B., Kumar Yadav, K., Khalid, M., Addi, M., Ramdani, M., Kumar, P., & Ryeol Choi, J. (2024). Phytochemical, biological, and nutritional properties of the prickly pear, *Opuntia dillenii*. *Saudi Pharmaceutical Journal*, *32*(10), 102167. <https://doi.org/10.1016/J.JSPS.2024.102167>

- Manzur-Valdespino, S., Arias-Rico, J., Ramírez-Moreno, E., Sánchez-Mata, M. de C., Jaramillo-Morales, O. A., Angel-García, J., Zafra-Rojas, Q. Y., Barrera-Gálvez, R., & Cruz-Cansino, N. D. S. (2022). Applications and Pharmacological Properties of Cactus Pear (*Opuntia* spp.) Peel . *Life* 2022, Vol. 12, Page 1903, 12(11), 1903. <https://doi.org/10.3390/LIFE12111903>
- Marlapati, L., Basha, R. F. S., Navarre, A., Kinchla, A. J., & Nolden, A. A. (2024). Comparison of physical and compositional attributes between commercial plant-based and dairy yogurts. *Foods*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/FOODS13070984/S1>
- Martínez-Álvarez, J. R., & Martínez-Álvarez, J. R. (2023). La dieta mediterránea, una herramienta esencial para la promoción de la salud. *Enfermería Nefrológica*, 26(2), 103–104. <https://doi.org/10.37551/S2254-28842023010>
- Oliveira, F. L. de, Arruda, T. Y. P., Morzelle, M. C., Pereira, A. P. A., & Casarotti, S. N. (2022). Fruit by-products as potential prebiotics and promising functional ingredients to produce fermented milk. *Food Research International*, 161, 111841. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2022.111841>
- Parra Huertas, R. A. (2010). Bacterias ácido-lácticas: papel funcional en los alimentos. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial* 8(1), 93–105. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6117902&info=resumen&idioma=SPA>
- Peng, Y., Horne, D. S., & Lucey, J. A. (2009). Impact of preacidification of milk and fermentation time on the properties of yogurt. *Journal of Dairy Science*, 92(7), 2977–2990. <https://doi.org/10.3168/JDS.2008-1221>
- Pereira, P. C. (2014). Milk nutritional composition and its role in human health. *Nutrition*, 30(6), 619–627. <https://doi.org/10.1016/J.NUT.2013.10.011>
- Rahman, M. N., Islam, M. N., Mia, M. M., Hossen, S., Dewan, M. F., & Mahomud, M. S. (2024). Fortification of set yoghurts with lemon peel powders: An approach to improve physicochemical, microbiological, textural and sensory properties. *Applied Food Research*, 4(1), 100386. <https://doi.org/10.1016/J.AFRES.2023.100386>
- Rosa, M. C., Carmo, M. R. S., Balthazar, C. F., Guimarães, J. T., Esmerino, E. A., Freitas, M. Q., Silva, M. C., Pimentel, T. C., & Cruz, A. G. (2021). Dairy products with prebiotics: An overview of the health benefits, technological and sensory properties. *International Dairy Journal*, 117, 105009. <https://doi.org/10.1016/J.IDAIRYJ.2021.105009>
- Sah, B. N. P., Vasiljevic, T., McKechnie, S., & Donkor, O. N. (2016). Physicochemical, textural and rheological properties of probiotic yogurt fortified with fiber-rich pineapple peel powder during refrigerated storage. *LWT*, 65, 978–986. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2015.09.027>
- Salaün, F., Mietton, B., & Gaucheron, F. (2005). Buffering capacity of dairy products. *International Dairy Journal*, 15(2), 95–109. <https://doi.org/10.1016/J.IDAIRYJ.2004.06.007>

- Saleh AbdelFattah, M., A Badr, S. E., & Salah Elsaid, A. (2020). Nutritive value and chemical composition of prickly pear seeds (*Opuntia ficus indica* L.) growing in Egypt. *International Journal of Agricultural Policy and Research*, 8(1), 1–10. <https://doi.org/10.15739/IJAPR.20.001i>
- Singh, H. (2009). Protein interactions and functionality of milk protein products. *Dairy-Derived Ingredients: Food and Nutraceutical Uses*, 644–674. <https://doi.org/10.1533/9781845697198.3.644>
- Solano-Doblado, L. G., Alamilla-Beltrán, L., Jiménez-Martínez, C., Solano-Doblado, L. G., Alamilla-Beltrán, L., & Jiménez-Martínez, C. (2018). Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. *TIP. Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 21, 30. <https://doi.org/10.22201/FESZ.23958723E.2018.0.153>
- Sumi, K., Tagawa, R., Yamazaki, K., Nakayama, K., Ichimura, T., Sanbongi, C., & Nakazato, K. (2023). Nutritional Value of Yogurt as a Protein Source: Digestibility/Absorbability and Effects on Skeletal Muscle. *Nutrients*, 15(20). <https://doi.org/10.3390/NU15204366>
- Urquiaga, I., Echeverría, G., Dussailant, C., & Rigotti, A. (2017). Origen, componentes y posibles mecanismos de acción de la dieta mediterránea. *Revista Médica de Chile*, 145(1), 85–95. <https://doi.org/10.4067/S0034-98872017000100012>
- Vidanelage, S., Srimali, H., Vidanelage Viraj, W., Weerasingha, R., Arachchige, W., & Nayananjalie, D. (2024). Development of drinking yogurt using citrus fiber as a stabilizer. *Annals. Food Science and Technology*. 20 (3). Retrieved September 6, 2024, from www.afst.valahia.ro
- Wang, Y., Wu, J., Lv, M., Shao, Z., Hungwe, M., Wang, J., Bai, X., Xie, J., Wang, Y., & Geng, W. (2021). Metabolism Characteristics of Lactic Acid Bacteria and the Expanding Applications in Food Industry. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9, 612285. <https://doi.org/10.3389/FBIOE.2021.612285>
- Zendeboodi, F., Khorshidian, N., Mortazavian, A. M., & da Cruz, A. G. (2020). Probiotic: conceptualization from a new approach. *Current Opinion in Food Science*, 32, 103–123. <https://doi.org/10.1016/J.COFS.2020.03.009>
- Zhao, Y., Khalesi, H., He, J., & Fang, Y. (2023). Application of different hydrocolloids as fat replacer in low-fat dairy products: Ice cream, yogurt and cheese. *Food Hydrocolloids*, 138, 108493. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2023.108493>
- Zuppa, A. A., Alighieri, G., Scorrano, A., & Catenazzi, P. (2016). Prebiotics and Probiotics in Infant Nutrition. *Probiotics, Prebiotics, and Synbiotics: Bioactive Foods in Health Promotion*, 101–134. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802189-7.00008-3>