



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**CORRELACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS SENSORIALES, TEXTURA
Y COLOR DE PAPAS FRITAS COMERCIALES**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

QUÍMICO DE ALIMENTOS

PRESENTA

FERNANDO RODRÍGUEZ DÍAZ



CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX

2022



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE:	Profesor:	Patricia Severiano Pérez
VOCAL:	Profesor:	Adelina Escamilla Loeza
SECRETARIO:	Profesor:	Ríos Díaz Sandra Teresita
1er. SUPLENTE:	Profesor:	Ana Karina Elías Patiño
2° SUPLENTE:	Profesor:	Isadora Martínez Arellano

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

ANEXO DEL LABORATORIO 4D, LABORATORIO DE EVALUACIÓN SENSORIAL, 4TO PISO EDIFICIO A, FACULTAD DE QUÍMICA, CIUDAD UNIVERSITARIA, CIUDAD DE MÉXICO.

ASESOR DEL TEMA:

DRA. PATRICIA SEVERIANO PÉREZ

SUSTENTANTE:

FERNANDO RODRÍGUEZ DÍAZ

AGRADECIMIENTOS

GRACIAS A ALMA RAMÍREZ TAPIA POR SU APOYO EN LA REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS SENSORIALES E INSTRUMENTALES. POR COMPARTIR SU TRABAJO PARA MOSTRARLO EN ESTA TESIS DE UNA FORMA GENEROSA, SU PARTICIPACIÓN ES INVALUABLE EN ESTA TESIS.

GRACIAS A LAS Y LOS COMPAÑEROS CANDIDATOS POR SU VALIOSO TIEMPO, Y A LAS Y LOS JUECES PARTICIPANTES EN EL PROGRAMA DE SERVICIO SOCIAL “APOYO A PROYECTOS PARA REALIZAR Y DESARROLLAR PRUEBAS DE EVALUACIÓN SENSORIAL”, POR SU INVALUABLE TRABAJO EN EL DESARROLLO DEL PERFIL DESCRIPTIVO.

GRACIAS A LAS PROFESORAS ADELINA ESCAMILLA Y SANDRA RÍOS POR LA REVISIÓN Y COMENTARIOS DEL MANUSCRITO.

ÍNDICE

1. Introducción	6
2. Objetivos	8
3. Hipótesis	8
4. Antecedentes/marco teórico	9
4.1 Producción y consumo de papas fritas en México	9
4.2 Efecto de la fritura en las características sensoriales de la papa	10
4.3 Evaluación Sensorial	12
<i>4.3.1 Análisis descriptivo</i>	15
4.4 Evaluación instrumental	16
<i>4.4.1 Medición instrumental del color</i>	18
<i>4.4.2 Medición instrumental de textura</i>	19
5. Materiales y métodos	22
5.1 Diagrama de flujo	22
5.2 Muestras	22
5.3 Evaluación sensorial	24
<i>5.3.1 Preselección de jueces</i>	25
<i>5.3.2 Selección de jueces</i>	26
<i>5.3.3 Entrenamiento del panel</i>	31
5.4 Evaluación instrumental	35
<i>5.4.1 Colorimetría</i>	35
<i>5.4.2 Medición en texturómetro</i>	35
5.4.2.1 Método de fracturabilidad	36
5.4.2.2 Método de corte o cizallamiento: sonda Kramer	37
5.5 Análisis de los datos	37
6. Resultados y Discusión	40
6.1 Evaluación Sensorial	40
<i>6.1.1 Selección del panel</i>	40
6.1.1.1 Preselección del panel	41

6.1.1.2 Selección del panel	43
6.1.2 Entrenamiento del panel	49
6.1.3 Perfil sensorial	52
6.2 Mediciones instrumentales de textura y color	59
6.2.1 Evaluación instrumental del color	59
6.2.2 Evaluación instrumental de la textura	61
6.3 Correlaciones entre parámetros instrumentales y sensoriales	63
7. Conclusiones	69
8. Referencias	71

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas dos décadas, el aumento de la prevalencia de condiciones metabólicas de salud como la tensión arterial, el sobrepeso, la obesidad y la hiperlipidemia (concentración elevada de grasas en la sangre) se han asociado a la modificación de las dietas en poblaciones de América Latina y el Caribe, y a su vez esto ha provocado que se modifiquen las recomendaciones de organismos de salud sobre la formulación e ingesta de varios tipos de alimentos (Food and Drug Administration, 2021; Organización Panamericana de la Salud, 2019; U.S. Department of Agriculture y U.S. Department of Health and Human Services, 2020), sin embargo y a pesar de esto, se ha observado que en niños y adolescentes el consumo de botanas fritas es alto.

Al ser las papas fritas un producto de alta frecuencia de consumo, en los recientes años se han desarrollado estudios enfocados a evaluar y mejorar las operaciones e ingredientes para su producción. Entre otros se ha investigado: la influencia de combinaciones de aceites vegetales en su capacidad antioxidante y en sus propiedades fisicoquímicas al utilizarse para freír papas (Ramroudi *et al.*, 2022); el empleo de películas proteicas o tratamientos de Pulsos Eléctricos de altos voltajes para disminuir la absorción de grasa en papas fritas (Rostami *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2022); también se ha comparado la presencia de acrilamida (un tóxico generado en el procesamiento por reacciones de Maillard) entre papas fritas y frituras de otros vegetales o entre *chips* de papa hechas por fritura tradicional y al vacío (Oellig *et al.*, 2022; Villacrés-Poveda *et al.*, 2020); así como la relación entre el consumo o preferencia de alimentos calóricos, como éstos, y la salud en población universitaria (Aljefree *et al.*, 2022). Asimismo, investigaciones multidisciplinarias se han dado a la tarea de explorar los impactos medioambientales, como la huella de carbono y sustentabilidad de procesos junto con la calidad nutricional de papas fritas (Fernández-Ríos *et al.*, 2022).

Además, recientemente algunos autores se han enfocado en investigar el efecto de la reducción de sal en papas fritas en la preferencia de consumidores utilizando diversas metodologías (Kongstad y Giacalone, 2020; Nguyen y Wismer, 2022), sin embargo, no existen reportes de los perfiles sensoriales en conjunto con mediciones de textura y color instrumentales de los productos que actualmente se ofrecen en el mercado mexicano, esto resulta importante si se toma en cuenta que los consumidores están familiarizados con las papas fritas y hay características que definen la intención de compra de estos productos con respecto a otros alimentos semejantes.

Por lo anterior, si se desea trabajar en el desarrollo de nuevos productos de esta categoría con menores aportes calóricos y mejorar su calidad nutritiva, se debe conocer el perfil de los productos existentes para definir objetivamente cuáles son las expectativas que pueden tener los consumidores sobre ellos, así como validar métodos instrumentales que permitan asegurar la calidad durante el proceso.

2. OBJETIVOS

- Desarrollar el perfil sensorial de diez marcas comerciales de papas fritas tipo *chips*.
- Obtener mediciones instrumentales de textura y color de los productos comerciales de papas fritas tipo *chips*.
- Determinar las correlaciones existentes entre las medidas sensoriales de textura y color con las instrumentales en estos tipos de productos.

3. HIPÓTESIS

1. Desarrollar los perfiles sensoriales de papas fritas tipo “chips” permitirá encontrar aquellos atributos que diferencian significativamente una marca de otra.
2. Encontrar correlaciones entre mediciones instrumentales y sensoriales de color y/o de textura para algunas marcas de papas tipo “*chips*” permitirá entender mejor y predecir atributos de apariencia y/o textura.

4. ANTECEDENTES/MARCO TEÓRICO

4.1 Producción y consumo de papas fritas en México

El proceso para hacer papas fritas empieza con la cosecha en el campo y la limpieza de papas con una cepilladora. Las papas fritas tipo “chips” envasadas se obtienen después de ser lavadas en un canal de agua; luego son peladas, cortadas y fritas en aceite a más de 170 °C. Después de fritas y escurridas se espolvorean con sal y los ingredientes y aditivos que requiera cada producto (Procuraduría Federal del Consumidor, 2021).

En México el consumo de papas como producto industrializado (principalmente en fritura) ha estado adquiriendo cada vez más importancia y actualmente también se destaca la producción de papas pre-fritas congeladas, papas fritas en hojuelas y productos pre-fritos formulados con puré deshidratado (Sabbagh-Sánchez *et al.*, 2011; Trincherro *et al.*, 2007). El mercado nacional ofrece estos productos con varios ingredientes y denominaciones de sabores: con o sin sal o chile o limón; y según algunas investigaciones de mercado los principales sabores de *chips* consumidas en México son con sabor a sal, con sabor a queso, con sabor a adobo, con sabor a jalapeño y con sabor a limón y chile (generados con la adición de diferentes ingredientes y aditivos alimentarios); en la actualidad, dentro de la categoría de botanas, las papas fritas envasadas tienen una demanda alta, sólo menor a las de base de maíz, y se cree que principalmente son consumidas por antojo y con el fin de socializar o regalar (Cruz, 2018).

Adicionalmente, el alto consumo de papas fritas ha dado origen a la fabricación de otros productos que no contienen papa natural estrictamente como su ingrediente principal, pues están elaborados a base de harina de papa y puestos en empaques que mantienen la integridad y presentación del producto (se presentan en rebanadas enteras y uniformes). Estas papas fritas tipo *chips* reestructuradas son semejantes a papas fritas provenientes de rebanadas enteras,

sin embargo, son elaboradas con mezclas de ingredientes como papa deshidratada, almidones, harina de arroz, y dextrosa.

Algunas organizaciones de salud estiman que las papas fritas, junto con otros alimentos procesados, productos de la ciencia y de la tecnología moderna de los alimentos en países industrializados, son problemáticos para la salud humana por un número de razones: generalmente consideran que tienen una calidad nutricional insuficiente, además de que usualmente tienen una palatabilidad alta (Organización Panamericana de la Salud, 2019). De acuerdo con la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2019, 76.1% de niñas y niños de edades entre 5 y 11 años, 58.6% de adolescentes entre 12 y 19 años y 46.3% de adultos mayores de 19 años consumen botanas, dulces o postres (categoría que incluye frituras de papa), esto en la región de la Ciudad de México (Shamah-Levy *et al.*, 2020).

A nivel internacional, en EE. UU. el mercado de botanas fritas tipo *chips* de maíz y de papa incrementó 8% en 2020, se espera que los consumidores en esta región comiencen a hacer más énfasis en productos alimenticios con mejores cualidades nutrimentales y de salud; los productos que mejoren su posicionamiento en el mercado no se espera que sean necesariamente “saludables” pero sí más beneficiosos que otras opciones de frituras tipo *chips*; esto a la vez que una importante motivación de compra de estos productos, al igual que en México, es que tengan sabores conocidos (Mintel, 2022).

4.2 Efecto de la fritura en las características sensoriales de la papa

En la elaboración de papas fritas se usan aceites vegetales. La aplicación industrial del proceso de fritura presenta amplias ventajas ya que el introducir el alimento en un medio de fritura constituido por una materia grasa calentada a temperaturas entre 170-180°C por breve tiempo modifica rápidamente sus características fisicoquímicas y sensoriales, generando productos con atributos sensoriales únicos que los vuelven atractivos a consumidores, y ayuda a incrementar la vida de anaquel de los productos. A pesar de que usualmente son

productos con alto contenido de grasas saturadas, existen opciones de productos de papas *chips* con contenido de grasa disminuido, entre 20-25%.

Los cambios químicos, físicos y de la microestructura del tejido de la papa, resultado de su procesamiento, son responsables de los atributos atractivos de los sucedáneos de este vegetal, como las papas fritas (tanto las tipo *chips* como las estilo francesas), en específico se sabe que su textura depende en mayor medida del contenido de almidón del tubérculo; otros polisacáridos de la pared celular (que contribuyen también a su contenido de fibra) también son cruciales para determinar la calidad de las mismas (Pedreschi *et al.*, 2016). Cuando se mastican o procesan mecánicamente estos productos, las características del tejido de la papa (tamaño celular, características intrínsecas de la materia péctica, etc.) son de gran importancia en la deformación que se produce. A grandes rasgos, se ha observado que papas con células parenquimatosas pequeñas, irregulares y cercanas entre sí son generalmente duras y cohesivas, a diferencia de aquellas que presentan células más dispersas y grandes, que son relativamente más suaves (Singh *et al.*, 2013); las características del almidón modificado por el tratamiento térmico, además, son factor clave para la liberación de glucosa cuando se digiere.

Del proceso de fritura de la papa cortada se obtiene un alimento de color dorado, sabor agradable y normalmente de textura crujiente, cuyo sabor se realza con la adición de un porcentaje de sal o de aditivos de mejoramiento o adyuvantes de sabor. En este sentido, una de las características más esperadas de estos productos es su alta palatabilidad, generada en parte por la estimulación de áreas cerebrales que producen dopamina, lo cual genera sensaciones de bienestar y saciedad (Olguín Lacunza y Rojas García, 2018).

Las frituras sufren un deterioro fisicoquímico irreversible al que contribuyen diversos factores propios del proceso. El alimento al ser introducido en el baño a la temperatura de fritura, libera parte de su propia humedad, lo que va a favorecer el deterioro hidrolítico. En la industria de procesamiento de papa uno de los retos es

generar productos finales atractivos para los consumidores, reduciendo o evitando si es posible la formación de algunos compuestos que pueden afectar negativamente la salud humana, como la acrilamida.

Además de lo anterior, la cantidad de materia lipídica que puedan adquirir es importante pues se trata de alimentos altos en grasas y grasas saturadas; en una revisión sistemática de artículos recientes se ha visto que existen varios mecanismos a través de los cuales las papas fritas absorben aceite del medio de fritura, y por ello es importante a nivel industrial tener criterios de selección del aceite y estrategias para disminuir este fenómeno (Arslan *et al.*, 2018).

4.3 Evaluación Sensorial

Para obtener, medir, analizar e interpretar las reacciones de la vista, olor, tacto, sabor, audición, temperatura, etc. del ser humano cuando percibe mediante sus sentidos las características de una muestra (que en muchos casos se tratan de alimentos o productos alimenticios) se recurre a la disciplina científica de la Evaluación sensorial (Severiano-Pérez *et al.*, 2016).

La importancia de la evaluación sensorial en la percepción de los alimentos está dada principalmente por el análisis y estudio de éstos y su relación con su consumo. Se utiliza para obtener conocimiento sobre la forma en la que las propiedades sensoriales conllevan al comportamiento o aceptación del consumidor, y para diseñar productos que provean de mejor manera lo que los consumidores quieren. De tal forma que la industria alimentaria ofrezca, en sus productos, características sensoriales aceptables por el consumidor, ya que éste juzga el alimento desde la apariencia y con base en eso toma la decisión de comprarlo o no; es por esto que en los últimos años ha tenido un incremento la actividad en el área de Evaluación sensorial, evidencia de esto es el número de libros, revistas y artículos científicos publicados en ésta área, de tal forma que aunque la seguridad química y microbiológica de los alimentos es de vital importancia, no lo son menos sus características sensoriales (apariencia, aroma, textura, sabor, etc.). Toda vez

que la seguridad e higiene de un alimento está garantizada, lo satisfactorio de sus propiedades sensoriales pasa a ser el criterio más importante, el que determina la elección y, más aún, la fidelidad de un consumidor hacia un producto o marca.

La evaluación sensorial también se desarrolla en forma más fundamental para proveer un entendimiento mucho más completo de los mecanismos subyacentes involucrados tanto en el comportamiento del consumidor como en la percepción sensorial. Los alimentos tienen una complejidad que está determinada no solo por el tipo de sustancias que los forman sino por las interacciones de éstas entre sí. Por esto resulta no conveniente caracterizar un alimento tomando en cuenta solamente un aspecto específico en cuanto a composición o características medibles, incluido atributos sensoriales aislados (cuando no son descritos por jueces, o panelistas, entrenados). Éstos últimos son todo lo que se percibe a través de los sentidos. Dichas percepciones se integran de manera múltiple y comúnmente se dividen de acuerdo con los sentidos por los que son detectados (Meilgaard *et al.*, 2016):

1. Apariencia: se detecta a través de la vista del alimento y/o del envase y comúnmente comprende color, forma y tamaño, textura superficial y brillo.
2. Olor/Aroma/Fragancia: se percibe por medio del sistema olfatorio, cuando los componentes volátiles del alimento entran en la cavidad nasal; también cuando estos componentes volátiles se originan en la cavidad bucal y se perciben por el sistema olfatorio vía las narinas posteriores (olor retronasal).
3. Textura y consistencia: se detecta principalmente por medio el sentido del tacto y son percibidos por sensores táctiles y otros receptores no químicos en la boca; también se percibe por la piel y músculos del cuerpo externos a la boca en varios tipos de productos no alimenticios. Los descriptores de alimentos más comunes son los que se relacionan a sus características mecánicas, geométricas, grasa y humedad (Brandt *et. al*, 1963).
4. Gusto: Se detecta en la cavidad oral, específicamente en la lengua, donde se perciben los 5 gustos básicos. El término sabor no incluye las sensaciones químicas que provienen de la estimulación de las terminaciones nerviosas en

los tejidos suaves de las cavidades nasal y bucal (por ejemplo, astringencia, picante, frescura, sabor metálico, etc.), éstas últimas son englobadas junto con el gusto y el olfato en el término “*flavor*” (Almela *et al.*, 2009, Burba y Cavagnaro, 2018)

5. Sonido: el ruido producido durante la masticación de alimentos o al manipular sus empaques que pueden estar hechos de plástico, papel, tela, etc.; es común evaluar el tono, intensidad o persistencia de estos sonidos.

En general, ésta disciplina científica se divide en dos áreas: analítica y hedónica o afectiva. En pruebas analíticas, los atributos sensoriales de un producto son evaluados después de seleccionar y entrenar un panel de jueces. En pruebas afectivas, se miden las reacciones de consumidores en pruebas sensoriales de productos.

Al realizar el diseño de una prueba o serie de pruebas sensoriales se debe mantener en cuenta cuál es el propósito u objetivos de la prueba, qué tipo de prueba se realizará, qué tipo de persona (juez entrenado o consumidor) participará; si se debe de incluir un entrenamiento previo de jueces, si los evaluadores deben realizar una aceptación por escrito para poder participar (consentimiento informado), entre otros aspectos sobre la muestras a evaluar, las características del ambiente y de los materiales que se utilizarán, etcétera. Esto es para conocer y aislar las variables que entrarán en un estudio sensorial, controlando las demás para que las diferencias encontradas sean debidas a los factores en estudio (las muestras) y poderlas analizar con confiabilidad estadística (Severiano-Pérez, 2019). Todo el diseño experimental, así como la conducción de las pruebas sensoriales y la interpretación adecuada de las mismas es tarea del analista sensorial.

Uno de los objetivos de la Evaluación sensorial de alimentos y otros materiales apunta a describir objetivamente sus características percibidas por los sentidos humanos. A estos tipos de análisis se les denomina “descriptivos” y en términos generales tienen un componente cualitativo (la descripción de las

sensaciones utilizando atributos, o descriptores) y uno cuantitativo (la evaluación de la intensidad de cada atributo), llevados a cabo por un panel de asesores, o de jueces entrenados (International Organization for Standardization [ISO], 2016).

4.3.1 Análisis descriptivo

Dentro de las pruebas analíticas se encuentran las pruebas discriminativas, las cuantitativas y las descriptivas (figura 1). El análisis descriptivo involucra los métodos utilizados para describir objetivamente la naturaleza y magnitud de las características sensoriales. Las pruebas tradicionales descriptivas, que incluyen las que producen perfiles sensoriales convencionales y el Análisis Descriptivo Cuantitativo (QDA®), por mencionar algunas, involucran un panel de jueces entrenados que miden de manera objetiva la calidad y la intensidad de una lista de atributos sensoriales de las muestras, lo cual permite comparar el valor de cada propiedad sensorial entre productos y por tanto, identificar y cuantificar la naturaleza de las diferencias entre productos (Saint-Denis, 2018). El análisis descriptivo además es muy útil en el diseño de productos, donde se puede relacionar con resultados hedónicos de consumidores y datos fisicoquímicos provenientes de mediciones instrumentales (Kemp *et al.*, 2018).

Discriminativas	Cuantitativas	Descriptivas
<ul style="list-style-type: none"> • Pareada • Dúo-Trío • A / no A • Triangular • Ordenamiento • Comparación múltiple • <i>n</i>-AFC <p>Sensibilidad</p> <ul style="list-style-type: none"> • De umbral • Dilución 	<ul style="list-style-type: none"> • Ordinal • De Intervalo • Estimación de magnitud 	<ul style="list-style-type: none"> • Perfil de Sabor • Perfil de Textura • QDA® • Tiempo intensidad • Perfil de sabor cuantitativo • Spectrum™ <p>Rápidas</p> <ul style="list-style-type: none"> • FCP • Perfil Flash

Figura 1. Pruebas analíticas comunes. Adaptado de Neria (2018).

En un perfil sensorial se describen las propiedades sensoriales de una muestra y consiste en los atributos sensoriales, en el orden de percepción, y el valor de intensidad asignado para cada atributo (el término 'descriptor' también es usado como sinónimo de atributo). El tamaño del panel es usualmente pequeño (8-24) pero las y los jueces son seleccionados por sus habilidades y condiciones y son entrenados para llevar a cabo esta tarea, también son monitoreados en su desempeño por el analista sensorial. Esto provoca que el método consuma tiempo y recursos, especialmente requeridos para los pasos en donde se define el vocabulario y en el entrenamiento para que cada uno de las y los panelistas utilice cada atributo y su escala correspondiente de manera similar. Particularmente el método de QDA[®] incluye lo siguiente (Stone, 1992):

- Un listado completo de atributos sensoriales (basado en percepciones).
- El orden en el que se perciben los atributos.
- La medida relativa de intensidad para cada atributo en varias repeticiones.
- El análisis estadístico de las respuestas.

El análisis de los datos de un perfil sensorial puede ser univariado (particularmente con análisis de varianza, o ANOVA, por sus siglas en inglés), si es que todos los jueces utilizaron los mismos atributos. También puede ser analizado por métodos multivariados, de lo que se obtiene un mapa en dos o tres dimensiones donde están posicionadas todas las muestras que se evaluaron.

4.4 Evaluación instrumental

Existen diversas razones por las cuales se pueden utilizar mediciones instrumentales en ausencia de métodos sensoriales validados (esto ocurre principalmente en los sectores de la industria de alimentos y bebidas en sus funciones de control de calidad). Por ejemplo, dificultades logísticas (tiempo y costo) en la preparación, operación y mantenimiento de paneles sensoriales; dificultades para asegurar la cantidad adecuada de panelistas; inestabilidad de resultados de diferentes paneles en largos periodos de tiempo; posibilidad de contaminación de los productos o la necesidad de confirmar constantemente a lo largo del tiempo las

correlaciones entre un parámetro instrumental con una característica sensorial clave, entre otras (Kilcast, 2013). En la **tabla 1** se enlistan algunos estudios recientes que involucran el uso de instrumentos de medición del color o textura en papas fritas tipo *chips*, los cuales se obtuvieron realizando una búsqueda bibliográfica en las bases de datos *Scopus* y *PUBMED*.

Tabla 1. Algunos estudios de color y textura instrumentales realizados en papas fritas.

Año	Análisis realizados	Mediciones relevantes	Referencia
2002	Medición de textura con texturómetro TA.XT2	Prueba de ruptura con sonda esférica (fracturabilidad)	(Garayo y Moreira, 2002)
2005	Medición de textura con texturómetro TA.XT2	Prueba de punción con sonda Kramer (prueba de cortado)	(Pedreschi y Moyano, 2005)
2007	Medición del color	L*, a*, b*	(Pedreschi <i>et al.</i> , 2007)
2009	Medición de textura (texturómetro TA-XT) y propiedades acústicas	Prueba de punción con sonda esférica (fracturabilidad); <i>Crispness</i> sensorial	(Salvador <i>et al.</i> , 2009)

Los estudios con instrumentos como colorímetros, texturómetros y análisis químicos pueden proporcionar buenas correlaciones con los atributos sensoriales individuales asociados al aspecto y color, la textura, y el sabor u olor, respectivamente. Comúnmente, en estos análisis fisicoquímicos cada característica se puede medir de manera aislada porque se presenta independiente de otras señales. A diferencia de las respuestas sensoriales, las cuales son mucho más complejas debido a la naturaleza de la percepción, que integra simultáneamente múltiples señales (que pueden ser apariencia, olor, sabor, textura, sonido, etc.), y que, además, un juez o consumidor es capaz de asociar con su experiencia pasada, con efectos contextuales y con su anticipación a la emisión de su juicio. (Meilgaard *et al.*, 2016).

Con respecto a las metodologías usadas para racionalizar y entender fenómenos sensoriales y examinar las relaciones entre conjuntos de datos sensoriales e instrumentales, es común que los analistas sensoriales utilicen métodos estadísticos multivariados; uno de estos métodos es el análisis de componentes principales (PCA, por sus siglas en inglés). Un PCA de dos dimensiones reduce un amplio número de variables originales por una cantidad reducida de combinaciones lineales (Kilcast, 2013), proyectando un espacio de n -dimensiones en un gráfico bidimensional que presenta dos ejes ortogonales, cada uno con las mayores variaciones identificadas en el conjunto de datos. Los PCAs son ahora procedimientos rutinarios de análisis de datos sensoriales, y cada vez más se utilizan para examinar estructuralmente las relaciones de conjuntos de datos sensoriales e instrumentales combinados, aplicando la matriz de correlaciones para compensar las diferencias en las escalas de medición.

4.4.1 Medición instrumental del color

En la retina del ojo humano existen células receptoras denominadas conos y otras llamadas bastones. Estos fotorreceptores convierten la luz en impulsos nerviosos. Sólo los conos perciben el color y existen tres tipos de conos con pigmentos para luz azul, verde y roja, y el color resultante es una combinación del nivel de intensidad de la estimulación de cada tipo (Severiano-Pérez *et al.*, 2016).

Los instrumentos de medición de color basados en la percepción de color por el ojo humano incluyen una fuente de luz que incide sobre el objeto que refleja ciertas longitudes de onda, las cuales se pueden cuantificar dando como resultado las curvas espectrales de las características de color del objeto. Se han desarrollado muchos sistemas instrumentales de medición de color en los últimos años, los capaces de generar datos cuantitativos que se usan en la industria más comunes son aquellos que pueden medir el color, y dentro de éstos uno de los principales son los que están basados en el sistema CIELAB 1976, que mide el color en términos de tres parámetros (figura 2): L^* (luminosidad), a^* (rojo-verde) y b^* (azul-

amarillo). Este espacio de color grafica cada parámetro ortogonalmente entre sí y las mediciones siempre se hacen con referencia a un estándar blanco (definido por su luminosidad) (Commission Internationale de l'Eclairage [CIE], 2004; Hutchings *et al.*, 2013).

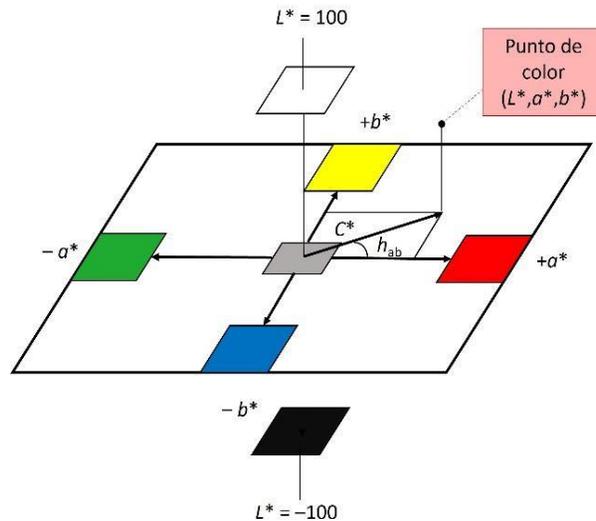


Figura 2. Representación gráfica de las coordenadas L^* , a^* y b^* en el espacio de color CIELAB. Adaptado de Escamilla (2006) con información de CIE (2004).

4.4.2 Medición instrumental de textura

Debido a que la percepción de la textura es compleja, pudiendo generar respuestas sensoriales tanto a los estímulos en boca como al manipular productos con los dedos y manos, e incluso con la textura visual o sonidos liberados al consumir productos (figura 3), se han desarrollado muchos tipos de mediciones instrumentales dependientes del tipo o categoría de alimento que se pretende evaluar. Muchos de estos sistemas instrumentales pueden registrar una gama amplia de características mecánicas de los alimentos, sin embargo, y aunque se

relacionan con la textura, no proveen una visión completa de sus características texturales.

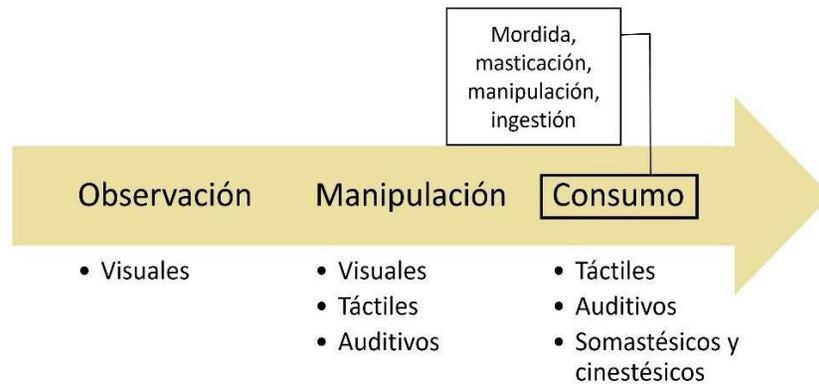


Figura 3. Estímulos en la percepción de textura. Adaptado de Lal Dar y Light (2014).

A pesar de lo último, y de que se reconoce la naturaleza incompleta de las mediciones instrumentales de textura, su uso es extensivo, sobre todo en protocolos de control de calidad en la industria alimentaria. Además, uno de los objetivos más comunes en estos estudios es establecer modelos estadísticos empíricos que relacionen la intensidad de una característica sensorial con un parámetro instrumental medido, y posteriormente relacionar los atributos sensoriales a la preferencia de los consumidores clave (Kilcast, 2013).

Se pueden utilizar métodos sensoriales y/o instrumentales para evaluar la textura de papas fritas tipo *chips*. Salvador y cols. (2009), citan que como medición instrumental de textura se ha utilizado ampliamente a la prueba de punción utilizando un soporte de tres puntos (obteniendo la medición de la fuerza de fractura o fuerza máxima al quiebre); también mencionan que en su propio estudio realizaron mediciones de fuerza-deformación para obtener parámetros de crujiente o *crispness* en papas fritas colocadas sobre un soporte cilíndrico y usando una sonda esférica. Anteriormente se ha descrito al *crispness* como un atributo de textura que es “estimulante para continuar consumiendo”, y que es de textura “relajante y saciante” (Duizer, 2013).

Un atributo que es comúnmente apreciado y que, desde el punto de vista de calidad de un alimento, es indicativo de frescura, es la textura crujiente. Duizer (2013) utiliza los descriptores de textura “crujiente mojado” y “crujiente seco”, y menciona que dentro de los primeros se clasifican usualmente vegetales y frutas crudos o cocidos y en los segundos están la mayoría de los productos manufacturados que posean este atributo, entre ellos los productos fritos en aceite. Entre los parámetros instrumentales comúnmente utilizados para caracterizar los productos crujientes se encuentran la fuerza máxima al quiebre, el número de picos de fuerza, el área bajo la curva (trabajo total) o la pendiente de la línea a la primera deformación (Duizer, 2013; Garayo y Moreira, 2002; Pedreschi y Moyano, 2005, Salvador *et al.*, 2009), todos estos obtenidos de una curva fuerza-deformación (o fuerza-distancia).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Diagrama de flujo

En la figura 4, se presenta el diagrama de la metodología llevada a cabo para la evaluación de las papas fritas.

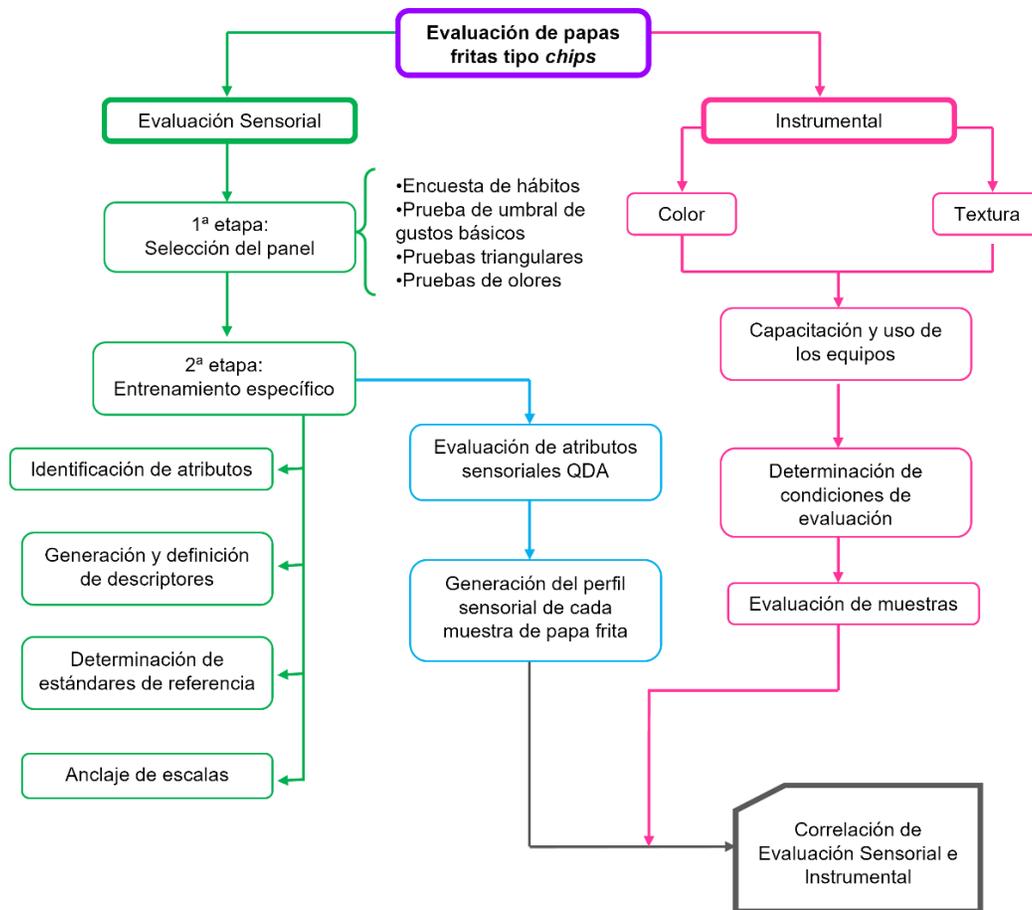


Figura 4. Metodología empleada para la evaluación sensorial e instrumental de papas fritas tipo *chips*.

5.2 Muestras

En el estudio se compararon diez (10) productos preenvasados de papas fritas tipo *chips* disponibles en el mercado mexicano. Se pueden subclasificar las muestra sen dos tipos (**tabla 2**): los elaboradas con hoja de papa o rebanada entera y los productos reconstituidos a base de mezclas de papa deshidratadas. Las muestras se mantuvieron selladas en un lugar fresco y seco y no se expusieron al

ambiente hasta el momento de ser evaluadas; para las réplicas de la evaluación las muestras se almacenaron en bolsas de polipropileno con sello tipo zip (marca Ziploc®) en un lugar limpio, a temperatura ambiente y protegidas de la luz.

Tabla 2. Muestras evaluadas sensorial e instrumentalmente.

Código	Ingredientes	Proceso de elaboración
No QS	Papa natural, aceite vegetal, sal yodada	Freído
QSC	Papa natural, aceite vegetal, sal yodada	Freído
QSL	Papa natural, aceite vegetal, sal yodada	Freído
QCh	Papa natural, aceite vegetal, sal yodada, cloruro de potasio, extracto de levadura, inosinato y guanilato de sodio, maltodextrina, ácido glutámico, aceite vegetal parcialmente hidrogenado, dióxido de silicio, saborizante idéntico al natural, ácido cítrico y antioxidante TBHQ.	Freído
QDC	Papa, aceite vegetal comestible, sal yodada	Freído
QOK	Papa, aceite vegetal comestible	Freído
QP	Papas deshidratadas, aceite vegetal, harina de maíz, almidón de maíz, harina de arroz, maltodextrina, mono y diglicéridos de ácidos grasos, sal, almidón de trigo.	Extrusión y freído*
QPL	Papas deshidratadas, Olestra, maltodextrina, harina de arroz, almidón de trigo, sal, dextrosa, mono y diglicéridos de ácidos grasos, antioxidantes.	Extrusión y freído
QL	Papas deshidratadas, aceite vegetal, almidón de papa, harina de arroz, mono y diglicéridos de ácidos grasos, sal, azúcar, dextrosa, lecitina de soya.	Extrusión y freído
QC	No declara información de ingredientes	Freído

*Los productos que incluyen la operación de extruido son *chips* reconstituidas.

5.3 Evaluación sensorial

El ensayo se realizó en el Laboratorio de Evaluación Sensorial (LES) de la Facultad de Química - UNAM, el cual cuenta con cabinas separadas y la infraestructura necesaria como lo especifica el estándar ISO 8589 (2007) La prueba sensorial que se llevó a cabo fue un perfil descriptivo convencional (Lawless y Heymann, 2010; Villavicencio, 2021) e involucró además la realización de pruebas de selección, entrenamiento, monitoreo y evaluación del desempeño del entrenamiento específico para papas fritas de un panel de jueces constituido por estudiantes de la misma institución.

El diseño de experimentos en la Evaluación sensorial está definido por el tipo de prueba que se realiza y el evaluador que participa y esto está recogido en los estándares internacionales de la ISO (**tabla 3**). En esta investigación, se trabajó con un diseño de bloques completos en el que las y los panelistas evaluaron todas las muestras, el mismo número de veces a lo largo de seis sesiones de evaluación.

Tabla 3. Resumen de las normas ISO de evaluación sensorial.

Norma	Descripción
ISO 6658:2017	Guías generales.
ISO 8589:2007	Requerimientos generales para el diseño de laboratorios de prueba.
ISO 13299:2016	Guía general para establecer un perfil sensorial.
ISO 8586:2012	Guías generales para la selección, entrenamiento y monitoreo de consumidores seleccionados y jueces sensoriales expertos.
ISO 11132:2021	Guías para la evaluación del desempeño de un panel sensorial descriptivo cuantitativo.

Además de la cantidad de panelistas que participen, la calidad de los resultados de un panel es función de su habilidad para describir sus sensaciones.

Mantener en un nivel óptimo estas habilidades sensoriales es parte del trabajo que se realiza en un laboratorio de evaluación sensorial. En esta investigación, las y los panelistas recibieron entrenamiento extensivo para evaluar papas fritas, pero también fueron seleccionados con base a su sensibilidad antes y después de su familiarización o entrenamiento inicial. La metodología de entrenamiento utilizada se realiza con el objeto de que las y los jueces desarrollen la capacidad de producir evaluaciones consistentes y repetibles (Väkeväinen *et al.*, 2020).

5.3.1 Preselección de jueces

Se convocó a participar en el proyecto a toda la comunidad estudiantil de la Facultad de Química UNAM; a las personas interesadas (21) se les aplicó inicialmente un cuestionario para conocer a) su estado de salud y b) sus hábitos alimenticios, así como su disponibilidad de tiempo e interés en el proyecto una vez que les fue explicado.

Adicionalmente, se realizaron pruebas sensoriales en el LES para determinar la capacidad discriminativa de los candidatos y para realizar un tamizaje basado en la forma en la que usan los sentidos como herramientas para reconocer un estímulo y su habilidad para expresar de manera cualitativa y/o cuantitativa dichas percepciones. Las pruebas realizadas incluyeron:

- Pruebas de umbrales de gustos dulce, ácido, amargo y salado.
- Pruebas triangulares con distintos productos líquidos y sólidos.
- Pruebas de reconocimiento, identificación, memoria y umbral de olores desarrolladas en el LES (García Vera, 2007).

En la primera sesión de la selección se aplicó un Cuestionario de hábitos alimenticios y de consumo a las personas interesadas, en participar, los criterios de exclusión que se evaluaron en este cuestionario fueron ser fumador, personas embarazadas, personas con alergias a algún alimento y si no eran consumidores frecuentes de botanas.

5.3.2 Selección de jueces

Una vez evaluados los resultados del cuestionario y posterior a confirmar que todos los interesados eran candidatos para participar en las pruebas de selección se dio paso a la selección, iniciando con las pruebas de los gustos básicos. Se realizó una prueba de umbral de gusto básico en diferentes días. De cada gusto básico se le proporcionó a cada candidato soluciones con diferentes concentraciones de los siguientes estándares: sacarosa, ácido cítrico, cafeína y cloruro de sodio para evaluar los umbrales de gustos dulce, ácido, amargo y salado, respectivamente (**tabla 4**). Se les indicó que las muestras se evaluarían de izquierda a derecha a lo largo de una fila y cada fila separada de arriba hacia abajo, formando una “z” en la bandeja de servicio (figura 5). Todas las disoluciones se hicieron utilizando material analítico calibrado tipo “A”.

Tabla 4. Disoluciones para pruebas de umbral a candidatos.

Gusto básico	Compuesto	Rango de concentración (%)
Dulce	Sacarosa	0 – 1
Salado	Cloruro de sodio	0 – 0.1
Ácido	Ácido cítrico	0 – 0.26
Amargo	Cafeína	0 – 0.45

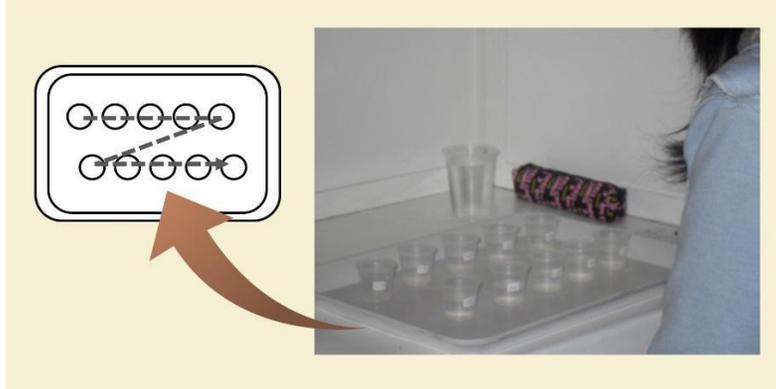


Figura 5. Pruebas de umbral: presentación y orden de evaluación de muestras. Fuente: elaboración propia con fotografía tomada de Martínez (2013).

En una sesión posterior, se determinó la capacidad discriminativa de las y los candidatos utilizando series de seis diferentes categorías de alimentos (**tabla 5**) mediante pruebas triangulares. Para ello se usaron diferentes productos comerciales, a cada candidato se le presentaron dos tipos de producto: sólidos y líquidos, cada tipo se presentó en triadas de dos muestras iguales y una diferente, con el objetivo de probar si reconoció la muestra diferente (ISO 4120, 2021), se presentaron tres triadas y por tanto cada evaluación de producto la hicieron por triplicado ($n = 3$). Adicionalmente se les presentaron dos triadas ($n = 2$) de productos de yogurt y dos triadas de queso panela.

Tabla 5. Productos utilizados en las pruebas discriminativas de selección de jueces.

Categoría	Marca de producto
Chicharrón de cerdo	Barcel [®] Sabritas [®]
Queso tipo panela	Los Volcanes [®] Nochebuena [®]
Yogurt natural	Yoplait [®] Lala [®]
Salchichas	Fud [®] Ibero [®]
Refresco sabor cola	Coca- Cola [®] Big Cola [®]
Refresco sabor manzana	Lulú [®] Manzanita Sol [®]
Leche sabor chocolate	Lala [®] Hersey's [®]
Jugo sabor mango	Jumex [®] Del Valle [®]
Jugo sabor uva	Jumex [®] Del Valle [®]
Jugo sabor arándano	Jumex [®] Ocean Spray [®]

Las muestras de la prueba triangular se codificaron con números de tres dígitos y su orden se aleatorizó en la bandeja de servicio, con el fin de evitar predisposiciones entre los candidatos (figura 6). Se almacenaron las frecuencias de discriminaciones correctas por candidato por tipo de muestra y se calculó el valor de CHI-cuadrada y si cada candidato podía discriminar significativamente cada muestra (Severiano-Pérez *et al.*, 2016).

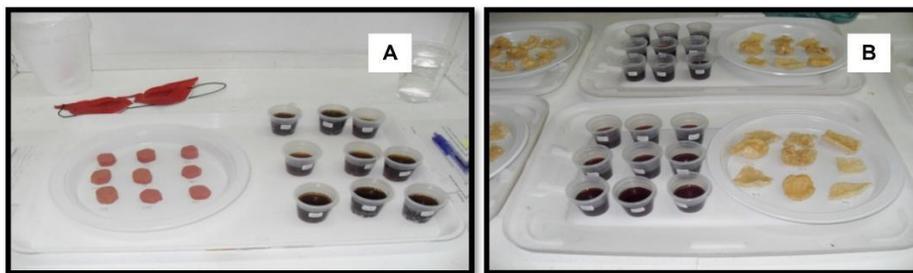


Figura 6. Presentación de las triadas para la evaluación de las pruebas triangulares. A: refresco de cola y salchichas. B: jugo y chicharrones. Adaptado de Martínez (2013).

En la siguiente sesión se realizaron pruebas de olores y de memoria olfativa; todas las pruebas tuvieron como objetivo conocer si los candidatos fueron capaces de identificar olores simples y distinguir olores familiares o previamente definidos. Para la primera prueba de identificación y reconocimiento se les presentó a los candidatos un tubo con un olor específico (**tabla 6**) y su respuesta se almacenó, una respuesta correcta era la identificación acertada del olor.

Para las pruebas de discriminación de olores se le presentó a cada candidato dos distintas tríadas con olores, realizando la evaluación tres veces. Las triadas se hicieron con diluciones de esencias (**tabla 6**). Las primeras tríadas se formaron con olores diferentes entre sí (guayaba y hierbabuena) y las segundas tríadas con olores similares entre sí (nardo y jazmín). Cada triada se le presentó consecutivamente a cada candidato y sus respuestas correctas a la pregunta “¿cuál tubo contiene un olor diferente?” se almacenaron.

La prueba de umbral de olor se evaluó con aroma a café; se presentaron una serie de tubos con diluciones crecientes hasta llegar al último tubo de olor con la concentración máxima (**tabla 6**); las evaluaciones correctas se almacenaron y se usaron para calcular el umbral grupal de reconocimiento de olor a café.

Finalmente, la prueba de memoria olfativa consistió en un solo tubo de ensaye con olor a nardo (**tabla 6**), el cual se les dio en tres sesiones separadas. Al

primer contacto con el estímulo se les pidió a los candidatos que identificaran el olor, además se les solicitó que realizaran una asociación libre del olor con algo o alguien familiar; una vez finalizada la sesión se les informó del olor que contuvo el tubo. En la segunda y tercera sesiones se les proporcionó un tubo con el mismo olor y se evaluó la capacidad para recordar y nombrar el olor previamente aprendido.

Tabla 6. Diluciones de esencias para pruebas de identificación y discriminación de olores.

Olor	Concentración
Identificación y reconocimiento	
Naranja	1×10^{-2}
Limón	1×10^{-2}
Rosas	1×10^{-4}
Canela	3×10^{-5}
Discriminativas	
Guayaba*	1×10^{-2}
Hierbabuena*	1×10^{-2}
Nardo**	1×10^{-2}
Jazmín**	1×10^{-2}
Umbral	
Café	1×10^{-8}
	3×10^{-5}
Memoria	
Nardo	1×10^{-2}

*Tríada no. 1, olores diferentes entre sí.

**Tríada no. 2, olores semejantes entre sí.

Una vez terminada esta fase, la selección de los jueces se realizó con base en los siguientes criterios:

- I. Uso adecuado de los sentidos.
- II. Buena memoria olfativa y gustativa (porcentaje de aciertos igual o mayor a 75%).
- III. Buena capacidad discriminante (porcentaje de aciertos en pruebas triangulares igual o mayor a 55%).
- IV. Capacidad para expresar los estímulos percibidos.

- V. Disponibilidad de asistir a todas las sesiones de entrenamiento (evaluado con la asistencia del 95% a las sesiones de selección).
- VI. Poseer un buen estado de salud.
- VII. Gusto por la categoría de las muestras a evaluar, determinado por las respuestas en el cuestionario de hábitos de alimentación.

5.3.3 Entrenamiento del panel

El entrenamiento tuvo como objetivos:

- Familiarizar a los candidatos seleccionados con el proceso y la metodología de la Evaluación sensorial de acuerdo con las pruebas que les involucraron.
- Mejorar la habilidad individual de los jueces para reconocer, identificar y cuantificar los atributos sensoriales.
- Lograr una alta sensibilidad de los jueces y desarrollar la capacidad para memorizar los atributos comunes a la evaluación sensorial de alimentos y bebidas (desarrollo de vocabulario)
- Obtener juicios precisos y reproducibles entre todo el panel.
- Homogenizar las respuestas del panel.

La metodología del perfil descriptivo convencional (Villavicencio, 2021) les fue enseñada a los jueces y el panel se entrenó en la generación de atributos de las papas fritas comerciales tipo *chips* para posteriormente desarrollar el perfil sensorial completo de las muestras.

En una primera sesión individual, a los jueces se le puso en contacto con los productos a evaluar con el fin de que identificaran los atributos perceptibles para ellos, permitiendo al analista listar la posible gama de atributos a evaluar y escalas a utilizar. En sesiones grupales se refinó el lenguaje usado por las y los panelistas, es decir, se homogenizaron sinónimos, antónimos (dicotomía de las escalas), terminología ambigua y descriptores que no aplicaba a las muestras evaluadas. De esta forma se definieron los atributos que formaron parte de la gama de

descriptores, la forma en que se serían evaluados y las escalas para el perfil sensorial de las papas fritas *chips* (tabla 7).

Tabla 7. Descriptores generados para evaluar las muestras de papas fritas tipo *chips*.

Atributo	Definición	Forma de evaluación	Escala de intensidad
Apariencia			
Dorado	Color dorado de la papa.	Evaluar la orilla de la papa frita comparando con la referencia	Poco a mucho
Color amarillo	De acuerdo con los colores de la escala Pantone anclados a cada valor.	Evaluar el color amarillo percibido en la muestra	1 Pantone 5 Pantone 7 Pantone 9 Pantone
Grosor	Altura que tiene la rebanada de la papa frita.	Se coloca la superficie plana de la papa frente a los ojos y se ve desde el frente.	Delgado a grueso
Brillante	Cantidad de luz reflejada por la muestra (se evalúa la luminosidad)	Se coloca la papa al frente y se gira la papa 45° hacia arriba y hacia abajo	Opaco a brillante
Apariencia grasa	Cantidad de grasa contenida en la papa frita	Se coloca un pequeño cuadro de papel en la papa y se presiona contra la muestra y se evalúa el nivel de impregnación	Poca a mucha (mitad de la escala: 50%; nueve puntos: 100%)
Homogénea	Se dice que el color de la muestra es homogéneo si podemos percibir el mismo color y en la misma tonalidad en las diferentes zonas de la muestra. La muestra es heterogénea cuando el color varía de acuerdo con la zona de la papa frita	Se evalúa el color de las papas fritas comparando con la referencia	Homogénea a heterogénea
Contenido de hoyos	Cantidad de burbujas presentes en la muestra	Contar hoyos presentes en las papas	Pocos a muchos
Olor			
Papa	Olor a papa percibido comparado con un estándar de papa cruda	Se huele la papa natural cruda y se compara con el estándar	Poco a mucho

Tabla 7. Descriptores generados para evaluar las muestras de papas fritas tipo *chips*.

Atributo	Definición	Forma de evaluación	Escala de intensidad
Aceite	Olor a aceite del freído de las papas	Se huele la referencia de aceite y se compara con el estándar	Poco a mucho
Rancio	Nota de rancidez de los lípidos presentes en las papas fritas	Se utilizan las referencias de cacahuates establecidas.	Poco a mucho
Sonido			
Crunch	Sonido percibido al morder las papas por los molares	Se coloca la papa en los molares y se mide la intensidad del sonido generado	Bajo a intenso
Textura			
Contenido de cristales de sal	Cristales de sal percibidos por los dedos en la superficie de las papas	Se pasa el dedo índice por la superficie de la papa y se compara con las referencias establecidas	Poco a mucho
Fracturabilidad	Cantidad de pedazos en que se despedaza la papa al dar la primera mordida	Se coloca la papa en los dientes incisivos y se fractura la papa. Si se rompe en muchos pedazos se da el 9, en uno o dos pedazos es poco fracturable	Poco a mucho
Dureza	Fuerza necesaria para quebrar la papa al morder con los incisivos	Se coloca la papa frita en los incisivos y se muerde	Baja a alta
Masticabilidad	Número de mordidas que se necesitan para deglutir	Colocar la papa en molares y comenzar la masticación	Baja a alta
Cohesividad	Dificultad para separar el bolo formado en la boca durante la masticación	Intentar la separación del bolo durante la masticación	Baja a alta
Sabor			
Salado	Percepción del gusto salado al introducir la papa a la boca y durante la masticación	Introducir la papa frita a la boca y comenzar la masticación	Poco a mucho
Papa	Nota a papa cocida durante la masticación	Comparar con la referencia de papa cocida	Poco a mucho

Tabla 7. Descriptores generados para evaluar las muestras de papas fritas tipo *chips*.

Atributo	Definición	Forma de evaluación	Escala de intensidad
Aceite	Sensación grasa en la boca durante la masticación	Comparar con la referencia de aceite	Poco a mucho
Rancio	Nota a rancidez de lípidos generado durante la masticación	Introducir la muestra a la boca y comenzar la masticación, percibir las notas rancia y comparar con la referencia	Poco a mucho

Posteriormente, para anclar las escalas de evaluación, es decir, que las y los jueces reconocieran y cuantificaran los atributos en escalas de intensidad, se presentaron referencias ancladas a ciertos valores de las escalas. Esto tuvo como objetivos que los valores de intensidad determinados por cada integrante del panel fueran homogéneos y disminuir el coeficiente de varianza entre repeticiones por debajo del 30%. Para ello se les distribuyó a las y los jueces charolas con las referencias y sus valores asignados dentro de las escalas.

El periodo de entrenamiento con el uso de referencias finalizó hasta que las y los jueces se familiarizaron con las muestras de papas fritas, así como con la metodología del análisis descriptivo y el uso de las escalas. Se registraron continuamente las evaluaciones de las y los jueces y cuando los resultados de alguno se desviaban de la evaluación grupal a ese juez o jueza se le proporcionó entrenamiento adicional específico. Para la cuantificación de los atributos se utilizó una escala estructurada con estándares de 9 puntos siendo 1 la intensidad más baja, 5 la intermedia y 9 la más alta.

Luego de la generación de descriptores y de verificar que el coeficiente de variación fuera menor al 30% y que en el ANOVA a dos vías ya no se encontró diferencia significativa entre jueces para todos los atributos, se comenzó con la evaluación de las muestras utilizando los estándares y las escalas ya definidas, evaluando 10 muestras de papas fritas. La evaluación se llevó a cabo en seis

sesiones, en un laboratorio que cumple con el estándar internacional pertinente (ISO 8589, 2007) en las sesiones se generó el perfil sensorial de cada una de las muestras comerciales. Los cuestionarios de las sesiones del perfil descriptivo se programaron con el software FIZZ (BIOSYSTEMES, ver. 2.30c, Courtenon, Francia).

5.4 Evaluación instrumental

5.4.1 Colorimetría

Las muestras de papas fritas se cubrieron individualmente con una capa de KleenPack perfectamente estirada. Se utilizó un colorímetro CM-3600d (Konica Minolta, Nueva Jersey, E.U.A.) con las condiciones de trabajo reportadas en la **tabla 8**, usando el sistema de reporte de color *CIE 1976 (L*a*b*)*. Se reportaron los valores promedio de 13 réplicas por cada muestra y se realizó un análisis de varianza a una vía por cada medición, las diferencias entre muestras se encontraron aplicando la prueba de diferencia mínima significativa (LSD, por sus siglas en inglés) con un nivel de significancia $\alpha = 5\%$.

Tabla 8. Condiciones de evaluación colorimétrica de papas fritas tipo *chips* comerciales.

Disparos o flashes (por medición).	1
Estándar	Nulo
Energía UV	Incluida
Componente especular	Excluido
Área de visión	Pequeña (<i>Small</i>)
Detector	10°
Iluminante	S _{D65} (luz de día, 6504 K)
Espacio de color	CIE <i>L*a*b*</i>

5.4.2 Medición en texturómetro

Los parámetros evaluados instrumentalmente de textura fueron la fracturabilidad y el atributo crujiente, de acuerdo con metodología previamente reportada (Salvador *et al.*, 2009), y la metodología para medir el atributo crujiente

(*crispness*) se basa en lo reportado por Castro (2007). Las mediciones se llevaron a cabo utilizando un texturómetro TA.XT2 (Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido). En ambos casos se reportaron los valores promedio de todas las réplicas por cada muestra y se realizó un análisis de varianza a una vía por cada medición, las muestras significativamente diferentes entre sí ($p < 0.05$) se encontraron aplicando la prueba de Duncan.

5.4.2.1 Método de fracturabilidad

Se obtuvieron en negocios locales paquetes de estos productos de papa para reunir aproximadamente 50 g de cada una de las muestras. Se seleccionaron 10 *chips* representativas en cada muestra. Las condiciones utilizadas fueron descritas por Salvador *et al.* (2009): 5 g de muestra; 1 mm/s de velocidad de ensayo; 3 mm/s de distancia de recorrido de la sonda; empleando la sonda esférica de $\frac{1}{4}$ de pulgada de diámetro se evaluaron 10 réplicas. Por réplica se tomó una *chip* de papa frita y se colocó en el soporte cilíndrico para llevar a cabo el ensayo de fracturabilidad (figura 7). Se determinaron las mediciones de fuerza máxima a la ruptura y el tiempo que tarda en producirse esta ruptura. La fuerza de ruptura está relacionada con el nivel de crujido de una papa frita.

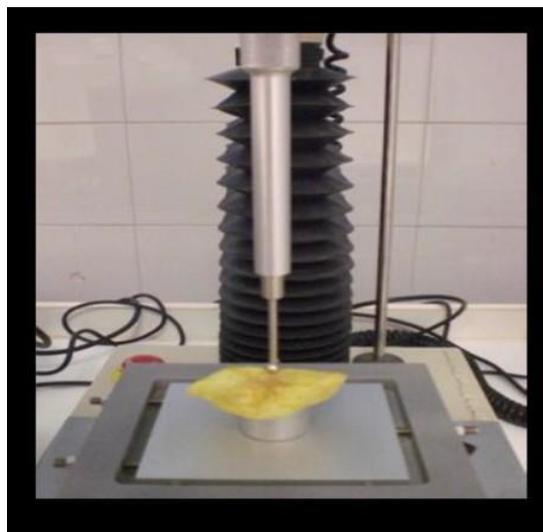


Figura 7. Vista lateral del sistema de medición de textura TA.XT2 en el método de fracturabilidad (*Fracturability*) utilizando sonda esférica de $\frac{1}{4}$ con la muestra en un soporte cilíndrico. Autor: Ramírez Tapia.

5.4.2.2 Método de corte o cizallamiento: sonda Kramer

Las condiciones utilizadas para este método fueron las descritas por Mendoza (2007) y son las siguientes: velocidad de ensayo: 1 mm/s; distancia de recorrido de la sonda: 2.5 mm/s; empleando la sonda Kramer de 5 cuchillas se realizaron 5 réplicas. Se colocaron 10 g de cada muestra de papas fritas al interior de la base y se midió la fuerza para realizar el corte con las cuchillas (definido en la bibliografía como *crispness*) de las papas fritas (figura 8).



Figura 8. Vista lateral del sistema de medición de textura TA.XT2 en el método de corte (*iCrispness*) utilizando sonda Kramer. Autor: Ramírez Tapia.

5.5 Análisis de los datos

Para las pruebas de umbral se realizó una regresión lineal de los datos graficados de percepción contra concentraciones de cada gusto básico y se calculó el umbral de reconocimiento que es aquel donde el 50% de los candidatos reconoce e identifica el gusto básico del que se trata (Severiano-Pérez, et al. 2016).

Para las pruebas triangulares se consideró que la probabilidad de escoger la muestra correcta en un ensayo únicamente por azar es de 33%. Debido a que en esta prueba la decisión es forzada y la respuesta es única el comportamiento de la distribución normal es de una sola cola para la región de significancia, encontrándose los valores críticos en tablas a $\alpha = 5\%$, se compararon con su estadístico CHI-cuadrada calculado, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$(CHI)^2 = \frac{(|x_1 - np| - 0.5)^2}{np(1 - p)}$$

donde:

x_1 es el número de aciertos

n es el número de evaluaciones

p es la probabilidad de aciertos al azar (1/3)

En la cuantificación de las respuestas de intensidad se utilizaron descriptores con estándares anclados en escalas de 9 puntos. Los resultados sensoriales se analizaron por ANOVAs a dos vías para cada atributo (muestras y jueces) con un criterio de significancia del 5%. Se aplicó la prueba LSD para determinar las muestras que fueron significativamente diferentes entre sí ($p < 0.05$) por atributo debido a la muestra.

El análisis estadístico multivariado de los datos provenientes del perfil descriptivo, al igual que el de los datos sensoriales vs instrumentales de color y textura se llevaron a cabo con el método análisis de componentes principales (ACP, o PCA por sus siglas en inglés) para visualizar las posiciones sensoriales relativas de atributos/mediciones y muestras. En el caso de las matrices de correlaciones de Pearson, los valores de significancia se obtuvieron ingresando la matriz de promedios de las mediciones instrumentales y sensoriales correspondientes de las

diez muestras evaluadas. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software XLSTAT para MS Excel (ver. 2020.2.2, Addinsoft, París, Francia).

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Evaluación Sensorial

6.1.1 Selección del panel

La selección de jueces tuvo como objetivos específicos familiarizar a los candidatos con los métodos de la disciplina de la evaluación sensorial y también con los materiales que se emplearon en las pruebas. La preselección de jueces se basó en los datos obtenidos en los cuestionarios “Cuestionario de salud y hábitos alimenticios” y la selección se basó en las pruebas sensoriales descritas en la sección 5.2.1. El trabajo de selección del panel se comenzó reclutando inicialmente a 21 personas, cuyos datos aparecen en la **tabla 9**. Todos los participantes firmaron un consentimiento informado donde aceptaron participar en este estudio.

Tabla 9. Candidatos para integrar el panel.

No. de candidato(a)	Nombre
1	Camacho Castañeda Sandra
2	Casanueva Tejeda Ana Alicia
3	Castañeda Pérez Adrián
4	Castañeda Yerena Rafael
5	Chavéz Ramírez Roxana
6	Díaz Díaz Giovany Said
7	Domínguez Armando
8	González Cruz Karen
9	Hernández Diego Frank
10	Macías Hidalgo Víctor Francisco
11	Martínez Borja Griselda
12	Meza Sánchez Fabiola
13	Murillo Casillas Diana
14	Nava Calixto Massiel
15	Navarro Talavera Jesica
16	Pradal Velázquez María
17	Ramírez Martínez Surya Anaid
18	Rivas Hilario Catalina
19	Rosas García Carlos Omar
20	Santamaría Flores Alma Delia
21	Venegas Castro Evelia María del Carmen

6.1.1.1 Preselección del panel

Como se mencionó en la sección de metodología, a los interesados en formar parte del panel se les realizó una encuesta basada en sus hábitos alimenticios y salud. En la figura 9 se muestran los resultados obtenidos. La primera parte del gráfico muestra que ningún participante padece enfermedades que les impidan formar parte del panel. Sólo una persona contestó que padece rinitis alérgica en época de frío. La segunda parte muestra que ningún candidato utiliza dentadura postiza total ni parcial. Por último, en el mismo gráfico se muestra que algunos participantes (tanto hombres como mujeres) padecen algún tipo de alergia o intolerancia. Las alergias a alimentos fueron principalmente a mariscos. Las alergias manifestadas solamente incluyeron alergia al polvo y alergia al polen. En cuanto a intolerancias, algunas mujeres declararon intolerancia a la lactosa.

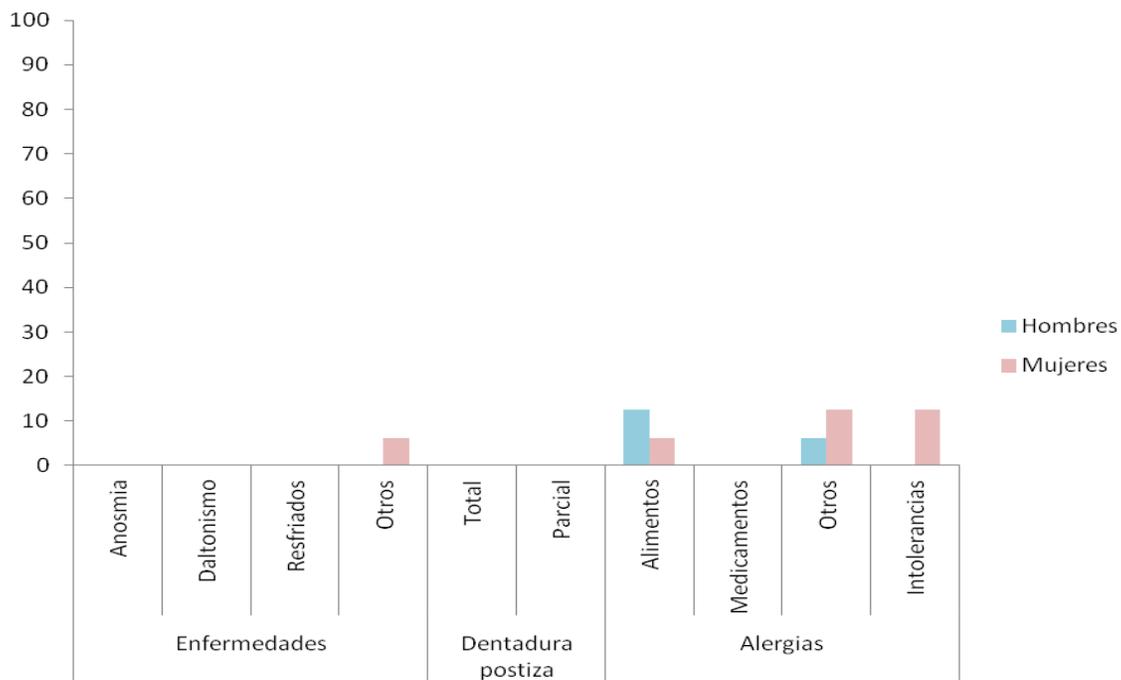


Figura 9. Frecuencia de condiciones de salud entre los candidatos ($n = 21$).

En la figura 10 se muestran los resultados de los horarios habituales de consumo de alimentos. Como podemos observar la mayoría desayuna entre las 6:00 hrs. y las 10:00 hrs., su comida se encuentra en los horarios entre las 14:00

hrs. y las 17:00 hrs. y su cena está dentro de las 20:00 hrs. y las 22:00 hrs. La dispersión en los horarios se debe principalmente a que es común que los estudiantes de la Facultad de Química recorran largas distancias, y por tanto inviertan mucho tiempo en los traslados de su universidad a su hogar.

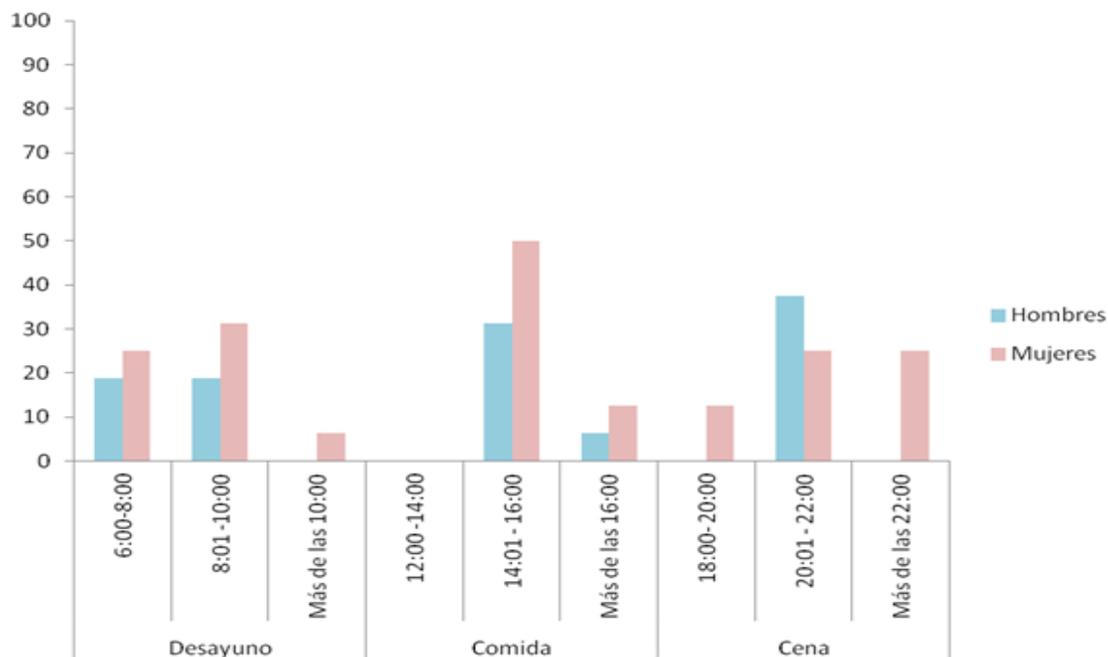


Figura 10. Frecuencia de horarios de consumo de alimentos de los candidatos ($n = 21$).

En la figura 11 se muestran los resultados de la parte de hábitos personales. Se puede observar que los participantes son consumidores frecuentes de alimentos procesados. Casi la mitad de ellos usan frecuentemente fragancia o colonia. La mayoría de los interesados no fuman, aquellos que contestaron afirmativamente indicaron que consumen de 1 a 2 cigarrillos al día. El que los candidatos fumaran, tuvieran alergias o disgusto por las muestras del proyecto fueron criterios de exclusión del participante para el estudio.

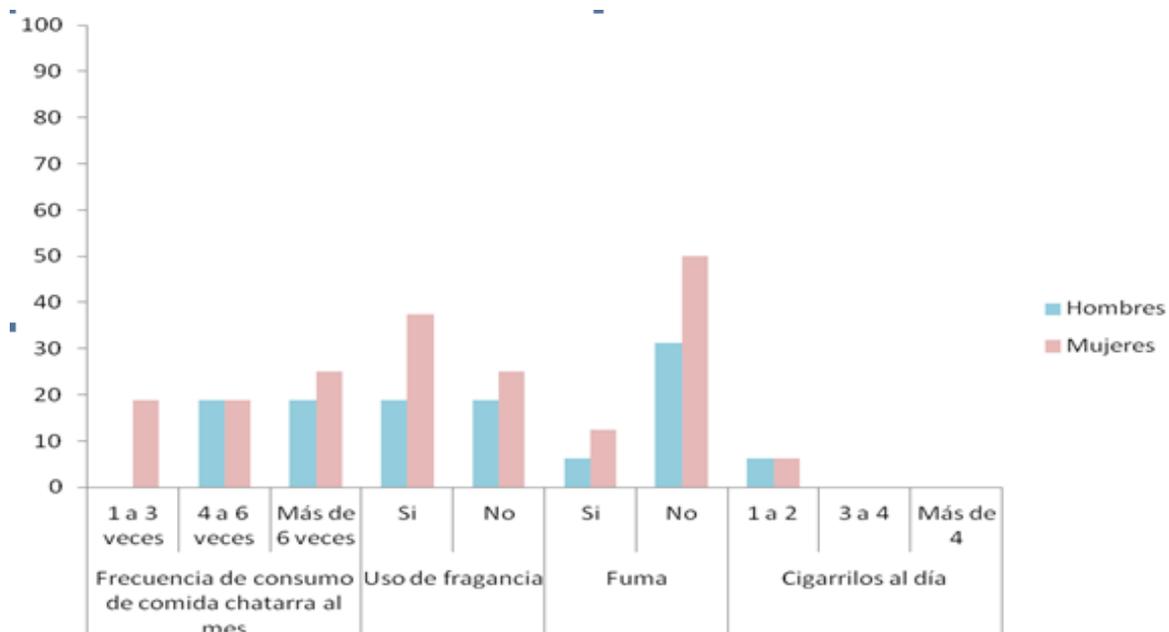


Figura 11. Frecuencia de hábitos personales de los candidatos ($n = 21$).

En resumen, la Encuesta de salud y hábitos alimenticios permitió conocer el estado de salud general de los individuos de acuerdo con sus respuestas manifestadas y descartar enfermedades que pudieran alterar los sentidos, lo cual impediría a la persona participar en el entrenamiento y colaborar con el panel. Así como descartar que los hábitos del individuo no limitaran su capacidad discriminante.

6.1.1.2 Selección del panel

Se realizaron las pruebas de umbral grupal de reconocimiento para gusto salado y amargo. En la figura 12 se muestran los resultados obtenidos para la prueba de umbral de gusto salado, una vez obtenido el porcentaje de aciertos se obtuvo el umbral de identificación grupal mediante una regresión lineal e interpolando al 50% de aciertos. El umbral para el gusto salado fue de 0.046% m/V de NaCl; como se puede observar en la figura 12, la tendencia es que los aciertos incrementan conforme las concentraciones de cloruro de sodio aumentan, se observa que a la concentración de 0.08% se presentó el mayor porcentaje de aciertos. Por otro lado, se observa que algunos jueces presentaron un error por

anticipación en la primera concentración de la prueba puesto que debería ser nula, pero debido a la expectativa previa creada no lo fue, sin embargo, debido a que fueron menos del 10% de los participantes y el umbral se pudo calcular satisfactoriamente. Se realizó el mismo procedimiento y se observaron tendencias en el comportamiento de la recta muy similares para los umbrales de dulce, ácido y amargo.

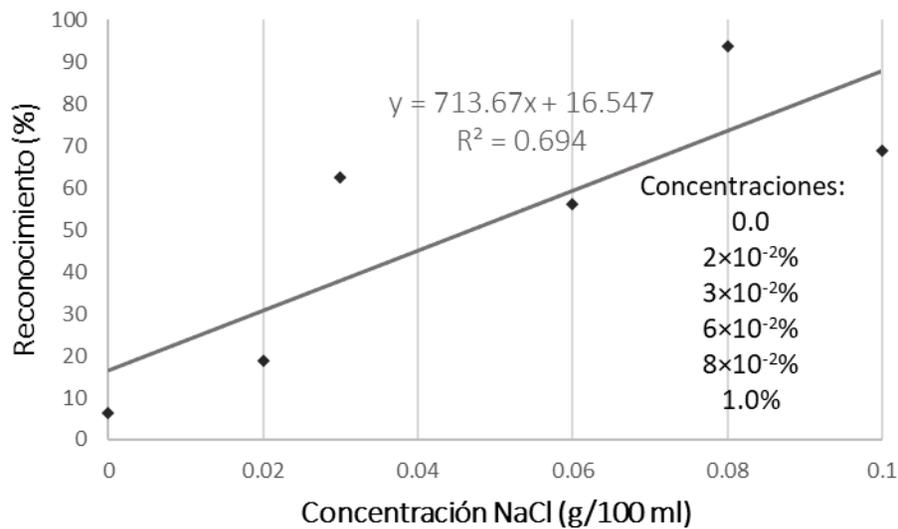


Figura 12. Concentración de NaCl contra frecuencia de reconocimiento. Representación gráfica del umbral de gusto salado y su regresión lineal.

En la **tabla 10** se muestran los umbrales de los cuatro gustos básicos, así como los valores obtenidos para paneles diferentes al que participó en este estudio. Hay que tomar en cuenta que un umbral no se trata de una constante para una sustancia dada, sino de un punto en el continuo sensorial cuando pasa de no perceptible a fácilmente perceptible o identificable. Los umbrales son sujetos a cambio con los estados de ánimo, el tiempo del biorritmo, los estados de hambre o saciedad, y sobre todo son diferentes entre individuos; los hábitos alimenticios son factor para que los umbrales cambien (Meilgaard *et al.*, 2016), por ejemplo, las notas

amargas fuertes del humo de cigarro y del café, que los candidatos no consumen con frecuencia (sección 6.1.1.1) pueden influir en esto.

Al comparar los umbrales grupales con paneles previos se observa que en general los candidatos se mantienen en el nivel de otros paneles, lo cual es aceptable y deseable como punto de partida para continuar con la selección, por tanto, su uso fue satisfactorio, pero sólo en conjunto con el resto de las pruebas sensoriales y actividades de tamizaje y selección.

Tabla 10. Umbrales grupales de los candidatos del presente y anteriores estudios.

Gusto básico	Umbral de reconocimiento	Utrera (2007)	Escobedo (2010)	Villavicencio (2021)
<i>n</i> *	21	16	27	57
Salado	0.046	0.045	0.030	0.030
Amargo	0.012	0.008	0.015	0.030
Dulce	0.240	0.254	0.422	0.510
Ácido	0.030	0.014	0.020	0.020

* n: número de candidatos.

Los porcentajes de aciertos en la evaluación de los alimentos en las pruebas triangulares se muestran en la **tabla 11**. En ella se puede observar que, en el caso de las muestras sólidas (se eligieron queso y salchicha), el promedio de aciertos fue del 73%, es decir, más de la mitad de los candidatos fueron capaces de discriminar las muestras. Las demás triadas que se entregaron a los candidatos arrojaron resultados similares, por lo que por un lado se constató que los productos elegidos son significativamente diferentes, y por otro que el grupo en general demostró un buen nivel de discriminación de estos productos.

Debido a que para estas pruebas se eligieron alimentos muy similares en sus características sensoriales y se realizó por triplicado las evaluaciones, considerándose que un porcentaje de aciertos mayor a 65% indica una buena capacidad discriminante de los candidatos.

Tabla 11. Porcentajes de discriminación acertada en las pruebas triangulares durante la selección de jueces.

No. candidato	Muestras sólidas		Muestras líquidas	
	Queso panela ó salchicha ó chicharrones	Refresco cola ó refresco de manzana ó jugos de: mango, uva, arándano ó leche saborizada	Queso / yogurt	
1	0	0	0	
2	66.6	100	100	
3	100	66.6	100	
4	66.6	50	100	
5	66.6	100	100	
6	100	100	50	
7	100	33.3	50	
8	66.6	100	100	
9	66.6	33.3	100	
10	100	100	100	
11	100	83.3	100	
12	33.3	66.6	100	
13	100	83.3	100	
14	100	66.6	100	
15	66.6	100	100	
16	66.6	66.6	100	
17	66.6	66.6	100	
18	66.6	66.6	100	
19	33.3	100	50	
20	100	50	100	
21	66.6	100	100	
Promedio grupal	73.02	75.4	88.1	

Los resultados de las pruebas olfatorias se muestran en la **tabla 12**, en ella se puede observar que, en las pruebas de identificación, los resultados obtenidos en general estuvieron por arriba del 70%, es decir, que los candidatos fueron capaces de identificar más de la mitad de los olores presentados sin necesidad de una imagen que los ayudara a relacionar el olor.

En cuanto a las pruebas discriminativas, en la triada 1 (olores fácilmente diferenciables) se encontró un mayor porcentaje de aciertos, los candidatos fueron capaces de discriminar olores con perfiles diferentes. La triada 2 implica una agudeza olfativa mayor, ya que los olores que se presentan muestran perfiles

similares y los candidatos fueron menos discriminativos con estas muestras. En la **tabla 12** se observa que el porcentaje de aciertos fue menor para cada candidato o candidata y en general que lo observado para las segundas triadas.

Por otro lado, se encontraron valores de CHI-cuadrada calculadas de 95.16 y 39.44 para las triadas no. 1 y no. 2, respectivamente, lo que indica que existe diferencia significativa con $\alpha = 0.05$, esto se comprobó con el valor crítico del estadístico con 20 grados de libertad, que es de 28.40, siendo un valor menor al número de aciertos en cada triada en las que se obtuvieron 58 y 45 aciertos respectivamente.

En la prueba de umbral el 76.7% de los candidatos identificaron el aroma a café, como juicio de selección se determinó seleccionar a los candidatos que obtuvieran un porcentaje por arriba del promedio general.

El promedio de los resultados de tres evaluaciones para evaluar la memoria olfativa se muestra en la **tabla 12**. La prueba de memoria produjo resultados acertados entre el 33% y el 100% de las ocasiones, en la primera sesión pocos jueces fueron capaces de reconocer el olor a nardo, siendo este un resultado esperado, ya que se ha observado que este olor no es familiar a la población mexicana (Severiano-Pérez *et al.*, 2012), en las sesiones siguientes el 71% de los jueces fue capaz de memorizar dicho olor.

Tabla 12. Porcentajes de aciertos para las pruebas de olores.

No. candidato	Identificación	Discriminativas		Umbral	Memoria
		Triada 1	Triada 2		
1	91.67	100	33.33	77.78	66.67
2	66.67	66.67	33.33	66.67	33.33
3	50	66.67	100	72.22	100
4	100	100	100	100	66.67
5	91.67	100	66.67	88.89	100
6	66.67	100	100	94.44	66.67
7	91.67	100	66.67	94.44	100
8	50	100	100	72.22	33.33
9	83.33	100	66.67	61.11	66.67
10	91.67	100	66.67	88.89	33.33
11	75	100	100	72.22	100
12	91.67	66.67	66.67	44.44	66.67
13	75	66.67	100	100	100
14	91.67	100	66.67	100	66.67
15	75	100	66.67	72.22	66.67
16	41.67	100	33.33	100	100
17	33.33	100	66.67	22.22	100
18	33.33	100	33.33	72.22	33.33
19	58.33	66.67	66.67	50	66.67
20	33.33	100	100	61.11	66.67
21	83.33	100	66.67	100	66.67
Promedio grupal	70.24	92.06	71.43	76.72	71.43

Como parte del criterio para la selección, se eligieron aquellos jueces que obtuvieran porcentajes de aciertos arriba del promedio general para cada una de las pruebas. Finalmente, con base en los resultados de las pruebas de umbral, pruebas triangulares y prueba de olores y memoria olfativa se seleccionaron a las y los jueces que prosiguieron con la etapa de entrenamiento, quienes presentaron:

- Buen estado de salud.
- Disponibilidad de horarios.
- Concentración igual o menor al umbral del grupo en las pruebas de identificación de gustos básicos u olores

- Porcentajes de aciertos mayores o iguales a 55% en las pruebas triangulares y 75% en la identificación de olores.

6.1.2 Entrenamiento del panel

Finalizada la selección se eligieron 13 miembros para conformar el panel (**tabla 13**), 69% mujeres y 31% hombres, entre 21 a 23 años pertenecientes a la Facultad de Química, UNAM.

Tabla 13. Jueces seleccionados para integrar el panel.

No. de Juez(a)	Nombre
1	Casanueva Tejeda Ana Alicia
2	Castañeda Pérez Adrián
3	Castañeda Yerena Rafael
4	Chávez Ramírez Roxana
5	González Cruz Karen
6	Hernández Diego Frank
7	Martínez Borja Griselda
8	Murillo Casillas Diana
9	Nava Calixto Massiel
10	Navarro Talavera Jesica
11	Pradal Velázquez María
12	Ramírez Martínez Surya Anaid
13	Rosas García Carlos Omar

Desde las primeras etapas de entrenamiento se utilizaron estándares para anclar las escalas, a pesar de ello, en las primeras tres sesiones se observó que las evaluaciones presentaron altos coeficientes de variación mayores a 30%, independientemente del atributo y el tipo de papa evaluada (**tabla 14**). El atributo homogeneidad para la muestra 3, presentó un porcentaje de casi 100% de variación, mientras que en la misma muestra el atributo de brillo se encuentra por debajo del 30%, desde el principio de las evaluaciones lo que nos indica que las y los jueces tenían bien definida la forma de evaluación de este último atributo, así como de algunos otros en donde el coeficiente de variación ya se encontraba

cercano al 30%. Una posible explicación de la dispersión observada en algunos atributos (dorado, color amarillo, homogeneidad, brillante, apariencia grasa) para todas las muestras pudo deberse a que algunas muestras de papas fritas no muestran homogeneidad entre ellas, mientras que otras presentaron mayor homogeneidad.

En cuanto a los atributos de olor y sonido podemos decir, que el olor a rancio fue el descriptor más difícil de evaluar (**tabla 14**, primeras tres sesiones de evaluación), mientras en una muestra las y los jueces tienen porcentajes de coeficientes de variación casi en 100% en otra muestra se encuentran por debajo del 50%, mientras que en el caso del sonido *crunch* evaluado para las papas fritas, se observa que fue el atributo que mostró menos dispersión de tal forma que las muestras 2 y 3 se encontraban por debajo del 50% mientras que la muestra 1 tuvo coeficientes de variación menores a 30%.

Con respecto a la textura, podemos observar que los atributos de textura evaluados mostraron mucha dispersión presentando todos CV mayores a 30%, esto indica que cada juez evaluó de forma diferente y por tanto requerían estándares a lo largo de toda la escala para anclar las intensidades de los atributos y así generar datos más homogéneos, de igual forma podemos decir que la muestra dos es a la que se le debía poner más atención al momento de las evaluaciones ya que presenta los resultados mayores superiores al 30% de coeficiente de variación en comparación con la muestra 1 y la 3.

En cuanto al sabor, los atributos que presentaron mayor dispersión al ser evaluados en todas las muestras fue el sabor rancio, así como el sabor a aceite, pues mientras en una muestra como la papa 1 el sabor a aceite se encuentra cercano al 30%, en papas como la muestra 2 se encuentra casi en 60%; los resultados para sabor salado y a papa se observan con mayor homogeneidad, entre las evaluaciones por las y los jueces, pues arrojan coeficientes de variación entre 40% y 50%.

Con estos resultados se pudieron observar los atributos que requerían cambiar de estándares y utilizarlos por un periodo más amplio, además de una evaluación más particular, es decir, acercarse con las y los jueces para dar una asesoría o establecer un diálogo de manera que ellos fueran capaces de manifestar sus dificultades al evaluar ciertos parámetros y así lograr el anclaje de las escalas para tener los resultados esperados en cuanto a los coeficientes de variación menores a 30%, y con ello iniciar con la evaluación del perfil sensorial de las 10 muestras comerciales.

Una vez que las y los jueces no mostraron diferencia significativa en cada uno de los atributos evaluados, se llevó a cabo una prueba de comprobación, con tres de las muestras comerciales, encontrándose que los coeficientes de variación estaban en niveles iguales o menores al 30%, no observándose diferencia significativa en un análisis de ANOVA a dos vías ($\alpha = 0.05$), cumpliendo así el objetivo que se buscaba con el entrenamiento del panel con lo cual demostramos que las y los jueces tienen un buen manejo de la escala establecida para la evaluación de los atributos en cada una de las muestras (**tabla 14**, últimas tres sesiones de evaluación).

Tabla 14. Promedios de porcentajes de variación de todo el panel al inicio del entrenamiento y en las primeras sesiones del perfil descriptivo convencional (%CV de tres evaluaciones por juez).

Atributo	Primeras sesiones de evaluación			Últimas sesiones de evaluación		
	1	2	3	1	2	3
Dorado	52.84	76.23	48.98	25.86	30.4	29.18
Color amarillo	68.75	51.01	46.25	25.49	24.1	33.2
Grosor	59.94	56.92	41.01	24.16	30.9	27.51
Brillante	43.05	55.38	28.78	28.67	22.15	20.08
Apariencia grasa	36.87	78.36	70.77	21.45	25.18	34.25
Homogéneo	48.41	46.32	102.2	23.02	16.86	20.44
Contenido de hoyos	59.25	75.73	69.59	26.43	30.1	23.66
Papa	60.01	54.56	32.87	16.56	27.83	24.46
Aceite	30.19	56.85	39.17	23.17	24.82	30.97
Rancio	89.97	57.73	106.8	29.04	33.92	27.71
Crunch	19.18	44.91	42.14	16.32	26.25	27.51
Cristales de sal	63.48	45.35	70.73	20.86	27.15	26.24
Fracturabilidad	56.4	71.87	57.47	28.18	26.77	34.64
Dureza	47.02	52.91	52.18	17.19	17.54	19.08
Masticabilidad	44.82	63.42	55.59	30.02	25.32	21.55
Cohesividad	56.38	61.79	55.64	29.56	30.94	27.16
Salado	41.75	53.33	43.97	26.98	21.47	29.27
Papa	41.69	45.12	38.18	27.89	25.36	21.23
Aceite	31.59	61.82	54.77	27.56	30.82	24.88
Rancio	66.61	42.52	69.86	22.1	16.75	20.26

6.1.3 Perfil sensorial

Una vez verificado que el panel generara evaluaciones con coeficientes de variación menores a 30%, se establecieron los perfiles sensoriales de los diez productos de papas fritas tipo *chips*. En la **tabla 15** se presentan los promedios de intensidad de los 20 atributos de las papas tipo *chips* evaluadas. En estos experimentos, ningún atributo presentó diferencia significativa por factor de juez ($\alpha = 5\%$), lo cual, de acuerdo con la ISO 8586 (2012) es un estadístico que describe la validación del panel descriptivo.

Se observa para los atributos de apariencia dorada, color amarillo, grosor aparente y brillo que la muestra QC muestra los mayores valores. En cuanto a la homogeneidad, contenido de hoyos y apariencia grasosa, las muestras QP y QC son las de mayor intensidad. Las papas QOK presentan los menores intensidades de amarillo, grosor y, junto con QPL, el menor brillo; por otro lado, las muestras QS y QP son las menos gruesas. La apariencia grasa es un atributo que se puede ver afectado por el proceso de elaboración de las papas fritas, esto se refleja en que QL y QPL son las muestras que presentan menor grado de apariencia grasosa lo que resulta coherente para el caso de las papas con reducción de grasa o que se ven modificadas en este atributo por las condiciones de elaboración al ser un producto horneado y no freído con aceite (QL). Las papas caseras QC son las que presentan mayor apariencia grasa y de brillo, lo cual se puede deber en parte a que durante su elaboración estas se hacen con mayor cantidad de aceite, de ahí que absorba más cantidad de este componente.

En lo que concierne a los atributos de olor se observa poca variación con los descriptores de olor a papa y a aceite, en cuyos casos sólo la muestra QC fue menor a las demás en su olor a papa. El olor u aroma es detectado inicialmente por las terminaciones nerviosas en las narinas que reciben y transducen las señales producidas por diferentes moléculas de compuestos volátiles. En investigaciones previas se ha demostrado la importancia de compuestos orgánicos volátiles de las familias pirazina y piridina sustituidas los que aportan en gran medida estos olores y *flavors* característicos (Buttery *et al.*, 1971; McKenzie y Corrigan, 2016) que también son característicos del atributo de sabor a aceite y papa.

En el caso del olores y sabores a rancio, éste puede deberse a los procesos de descomposición de grasa, toda vez que existen compuestos lipídicos en el tejido del tubérculo y además se utiliza aceite vegetal en la fritura. Estos procesos son acelerados por las altas temperaturas y bajas actividades acuosas generadas en la fabricación de las papas fritas. De acuerdo con McKenzie y Corrigan (2016), algunos de los compuestos que se asocian a olores rancios en papa y productos de papa

son principalmente aldehídos alifáticos; alcoholes de cadena corta, algunos furanos y compuestos azufrados también se han reportado con atributos de rancidez.

Los atributos relacionados con el sonido (*crunch*) y textura (contenido de cristales de sal, fracturabilidad, dureza, masticabilidad y cohesividad) están relacionados. El *crunch* (evaluado con el sonido) presenta las intensidades más altas en las muestras QP, QSC, QOK, lo cual es muy destacable pues este atributo influye mucho en la preferencia de los consumidores.

Por lo que se refiere al contenido de sal (textura al tacto), se presenta diferencia entre muestras; las papas QC, QCh, QSL y QDC se encuentran en puntajes bajos al no contener cristales de sal que sean percibidos por el tacto, mientras que QP, QSC y QOK se evaluaron con mayor sensación a cristales de sal en la superficie de las *chips*, esto se debe a la forma (tamaño de cristal) y cantidad de sal añadida a la formulación. Esto se relaciona también con el sabor salado pues las muestras QC y QCh, y las papas QP y QOK se evaluaron como con menor y mayor sabores salados, respectivamente.

Tabla 15. Valores de intensidad promedio ($n = 13$) de cada atributo para las marcas de papas fritas tipo *chips* evaluadas por un panel entrenado en metodología QDA.

Atributo	Muestras comerciales									
	QC	QP	QCh	QSL	QDC	QS	QPL	QL	QSC	QOK
<i>Apariencia</i>										
Dorada	6.695 e	5.795 de	5.425 cd	5.123 cd	4.870 cd	4.745 c	4.515 bc	4.515 bc	3.622 b	1.953 a
Amarillo	6.194 e	4.680 cd	4.216 bc	5.324 de	5.317 de	3.538 b	4.321 bc	4.321 bc	3.496 b	1.842 a
Grosor	5.836 e	3.496 ab	4.752 cd	4.562 cd	4.812 d	2.843 a	3.891 bc	3.891 bc	4.078 bcd	3.943 bcd
Brillante	5.082 d	4.860 cd	4.645 cd	3.981 bc	4.725 cd	3.510 b	2.570 a	4.725 cd	4.133 bc	2.570 a
Ap. Grasa	5.525 c	5.795 c	4.385 b	3.542 b	3.542 b	3.843 b	1.681 a	1.681 a	3.738 b	3.542 b
Homogéneo	5.242 d	5.134 cd	3.278 ab	4.125 bc	4.166 bc	3.375 ab	2.878 a	2.878 a	3.828 ab	4.064 b
Cont. Hoyos	3.308 c	4.209 d	3.597 c	2.315 b	2.315 b	1.971 ab	1.421 a	1.421 a	2.174 b	2.315 b
<i>Olor</i>										
Olor Papa	4.222 a	5.229 b	4.538 ab	4.914 ab	4.977 ab	4.530 ab	4.765 ab	4.765 ab	4.604 ab	4.914 ab
Olor Aceite	4.991 a	5.435 a	4.425 a	4.712 a	4.502 a	4.715 a	4.528 a	4.528 a	4.712 a	4.712 a
Olor Rancio	5.258 d	4.800 d	3.617 c	2.224 b	2.765 b	2.560 b	1.207 a	1.207 a	2.224 b	2.224 b
<i>Sonido</i>										
Crunch	4.862 ab	7.048 c	4.862 ab	5.407 b	4.472 ab	5.159 b	4.038 a	4.038 a	6.743 c	6.743 c
<i>Textura</i>										
Cont crist. Sal	2.239 ab	2.943 c	2.239 ab	2.124 a	2.124 a	3.874 d	4.065 d	4.065 d	2.848 bc	2.943 c
Fracturabilidad	3.458 a	4.585 b	3.458 a	5.643 c	5.643 c	5.227 bc	4.452 b	4.452 b	4.785 bc	4.893 bc
Dureza	5.055 d	3.114 a	5.055 d	4.204 c	4.204 c	4.010 bc	3.609 abc	3.609 abc	3.912 abc	3.263 ab
Masticabilidad	4.812 b	4.950 b	4.812 b	3.333 a	3.333 a	4.135 ab	3.637 a	3.637 a	3.787 a	3.478 a
Cohesividad	4.661 c	4.621 c	4.661 c	3.321 b	3.321 b	3.462 b	2.394 a	2.394 a	3.462 b	2.934 ab
<i>Sabor</i>										
Sab. Salado	1.178 a	4.548 e	1.178 a	3.086 c	3.086 c	3.881 de	3.995 e	4.209 e	2.088 b	3.183 cd
Sab. Aceite	3.315 a	5.229 cd	3.315 a	3.309 a	3.309 a	5.272 cd	5.813 d	3.977 ab	4.978 cd	4.595 bc
Sab. Papa	5.515 d	5.435 d	5.515 d	4.111 c	4.111 c	4.150 c	3.515 abc	2.999 ab	3.688 bc	2.785 a
Sab. Rancio	4.972 d	4.800 d	4.972 d	1.952 b	1.952 b	2.846 c	1.911 b	1.087 a	2.859 c	0.837 a

a-e: Valores en la misma fila con diferente letra son significativamente diferentes por prueba DMS ($p < 0.05$).

En la figura 13 se muestran los resultados del PCA de los atributos sensoriales de las papas fritas, en ella se puede observar que el primer componente (F1) explica el 51.1% de la variabilidad de las muestras, mientras que el segundo componente (F2) explica el 20.36% de la variabilidad de las muestras, ambos componentes explican 71.37% de la variabilidad de total las muestras. En el PCA se puede observar que correlacionada positivamente a los F1 y F2 se encuentra la muestra QP y está caracterizada por los atributos de apariencia grasa, homogeneidad, contenido de hoyos y apariencia brillante, por el atributo de olor rancio, por la textura crujiente, masticable y cohesiva y por su sabor rancio. Las muestras QCh y QC se caracterizan principalmente por los atributos de apariencia dorada, color amarillo y grosor, así como por textura dura. Las papas fritas QSL, QS y QOK presentan la mayor intensidad en los atributos de olor a papa, fracturabilidad, contenido de cristales de sal y sabor salado y a papa. Por otro lado, las muestras QPL, QL, QSL y QDC presentaron en menor intensidad los atributos que caracterizaron a las muestras QP.

Se observa en el mapa sensorial que el atributo crunch o sonido crujiente que se percibe al masticar las muestras es una característica frecuentes en este tipo de productos, . La muestra QP es un producto reconstituido con harina de papa y otros ingredientes en polvo mezclados y extruídos. Como producto manufacturado es muy probable que esta característica esté bajo el control del productor y por tanto posea un proceso y materia prima tales que en el producto final se realce esta característica, pues es la muestra que más se caracteriza por su *crunch*.

Por otro lado, las muestras QL y QPL que en principio también son elaboradas como papas fritas reconstituidas, poseen el atributo de *crunch* en baja intensidad. De acuerdo con Duizer (2013), en general, los productos crujientes poseen en celdas de aire en el interior de su estructura; es posible que los productores puedan controlar esta estructura (y por tanto la característica sensorial asociada) para adaptar un producto a diferentes mercados con consumidores que prefieren otras

características en las papas fritas, esto lo pueden lograr con la modificación de las características de la materia utilizada como ingredientes y el proceso que utilizan.

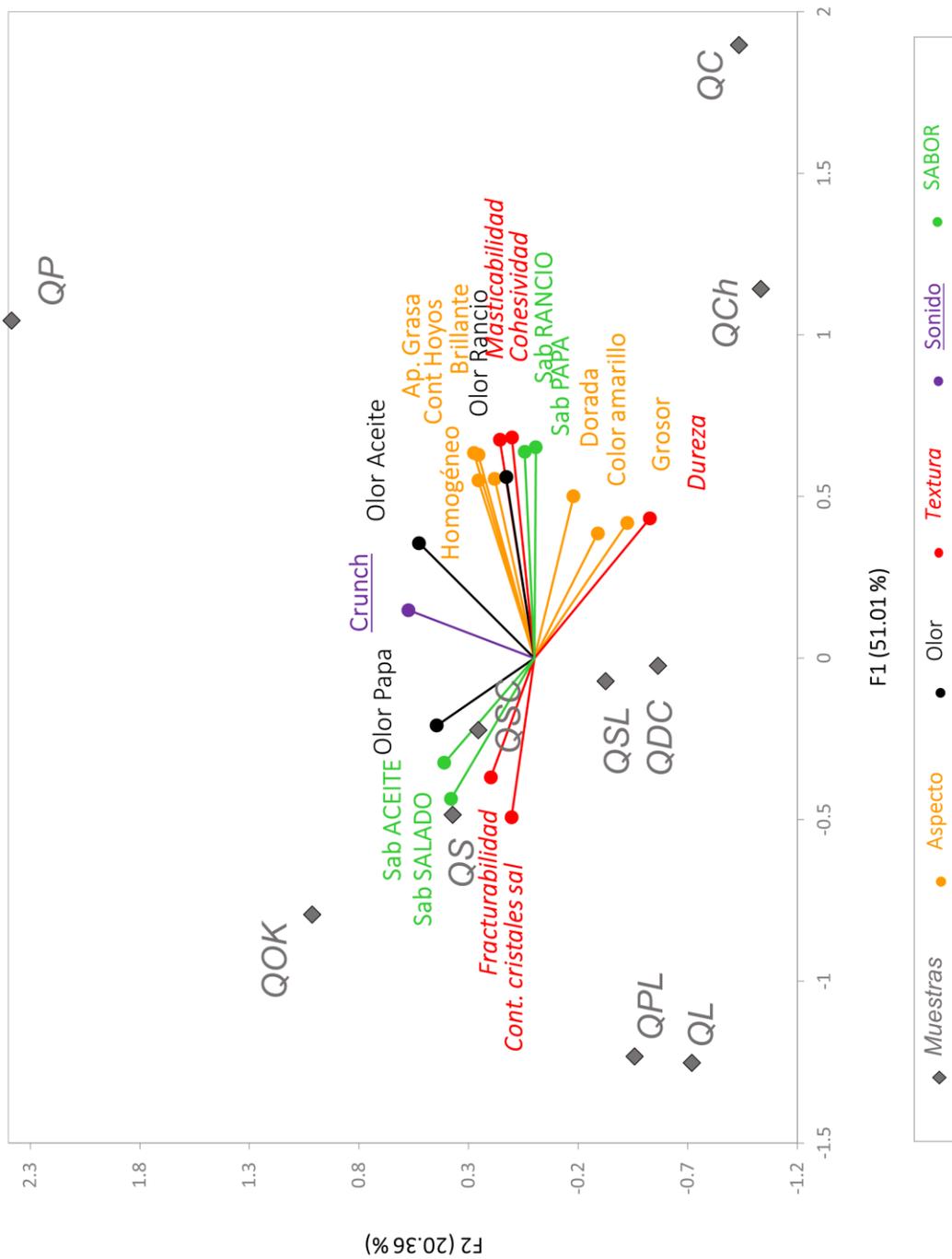


Figura 13. Análisis de componentes principales de los resultados del panel entrenado (mapa sensorial). Se observan los atributos evaluados y las muestras de papas fritas *chips* comerciales.

6.2 Mediciones instrumentales de textura y color

6.2.1 Evaluación instrumental del color

Los resultados de la evaluación de color se muestran en la **tabla 16**. El color es un factor importante en la calidad de proceso de papas fritas. El color café en estos productos es formado por la reacción entre azúcares reductores y aminoácidos, así como por la pirólisis de compuestos favorecida por las altas temperaturas del freído.

Las mediciones obtenidas del parámetro L^* se encuentran dentro del intervalo de valores que Pedreschi *et al.* (2007) reportan para papas fritas caseras (aproximadamente entre 50 y 80), de acuerdo con ellos la disminución de intensidad de luminosidad está relacionada con el aumento del tiempo y/o temperatura de freído, debido a reacciones de pardeamiento no enzimático. Tal coordenada es la secuencia de gradientes entre $L^*=0$ (negro) y $L^*=100$ (blanco), donde además un valor mayor a 60 indica que el color es “claro” y un valor por debajo de este número indica que el color evaluado es “oscuro” (Escamilla, 2006). El valor L^* es el índice más claramente relacionado con las variaciones visuales del consumidor relacionadas directamente con la luminosidad de las papas fritas.

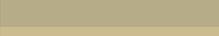
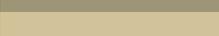
En la **tabla 16** se puede observar también que, de acuerdo con el análisis de varianza, hay diferencia entre las muestras analizadas para el parámetro L^* ; al realizar la prueba de mínimos cuadrados de Duncan con un α de 5% se encontró que las papas QCh y QC son las más oscuras (mayor cantidad de luz absorbida), mientras que las muestras QL, QP y QPL son las más claras de acuerdo con este parámetro y su análisis estadístico. Además, QP presenta el atributo sensorial de brillante con mayor intensidad (sección 6.1.3), lo que corrobora la medición instrumental de esta muestra.

Con respecto a los parámetros colorimétricos a^* y b^* , a mayores valores las muestras tienden a un color más rojo y amarillo, respectivamente; de la misma

manera que lo opuesto produce colores más verdes y azules. Con ello podemos interpretar que la muestra QL es la más roja, mientras que la muestras que poseen el color más amarillo son QL y QPL.

Es interesante que sean las muestras que provienen de una elaboración con sucedáneos de papa mediante extrusión las que tienen los colores rojo y amarillo más intensos, así como las mayores luminosidades de entre todas las evaluadas; esto puede ser importante si se desea evaluar en línea la calidad de estos productos utilizando un método rápido como lo es el espectrofotométrico. Por otro lado, los valores obtenidos de las mediciones colorimétricas de papas frita de rebanadas enteras pueden deberse también a la variedad de papa utilizada en el proceso de fritura.

Tabla 16. Mediciones instrumentales de color de diez muestras de papas fritas *chips* comerciales, promedio de 13 réplicas.

Muestra	L*	a*	b*	Aproximación de color*
QL	78.56 ^{df}	1.51 ^{def}	24.68 ^g	
QDC	67.67 ^c	0.69 ^{bc}	19.03 ^{bc}	
QC	58.53 ^a	0.44 ^{ab}	15.95 ^a	
QSC	70.65 ^d	-0.05 ^a	20.26 ^{cde}	
QP	76.47 ^{df}	1.35 ^{de}	25.10 ^f	
QS	70.92 ^d	0.34 ^{ab}	21.51 ^{def}	
QOK	70.66 ^d	1.48 ^{de}	21.88 ^{def}	
QCh	61.49 ^a	0.35 ^{ab}	17.31 ^{ab}	
QPL	79.03 ^{dfe}	1.15 ^{cd}	22.89 ^{gh}	
QSL	69.13 ^{cd}	0.37 ^{ab}	20.66 ^{cd}	

^{a-g}: Distinta letra en misma columna indica que existe diferencia significativa entre muestras ($\alpha = 0.05$).

*Nota: la aproximación de color se realizó transformando las coordenadas al sistema RGB, sólo como referencia.

En general se puede decir, tomando en cuenta los parámetros cuantificados, que las papas fritas con las que se trabajó tienden a colores naranjas y marrones, por las regiones del espacio de color en que se encuentran las coordenadas L^* , a^*

y b^* de las mismas y que cada una de ellas tiene un color que la diferencia de las otras.

Visto que la evaluación colorimétrica resulta útil y conveniente en estos productos, conviene resaltar las ventajas que tendría en el desarrollo de nuevos productos de papas fritas que partan de materia prima con otros colores (por ejemplo, las papas de colores morados y rojos) y que muestren potencial por su contenido de antioxidantes, dado que los consumidores pueden interesarse cada vez más en estos alimentos por su beneficio a la salud.

Finalmente recordemos además que el color desarrollado como consecuencia de las reacciones de carbohidratos es influenciado por la cantidad de azúcares reductores generados (liberados del almidón) durante el almacenamiento (Pedreschi *et al.*, 2016) lo cual vuelve a estas evaluaciones una consideración importante para el aseguramiento de la calidad en la industria de papas fritas.

6.2.2 Evaluación instrumental de la textura

Los resultados de la evaluación de fracturabilidad y *crispness* utilizando el texturómetro TA.XT2 (Stable Micro Systems), se presentan en la **tabla 17**, el promedio de las mediciones y sus coeficientes de variación se analizaron mediante ANOVAs y se determinaron las diferencias significativas (Duncan) al 5% para determinar los agrupamientos de las muestras según estas mediciones.

Se advierte que la muestra que presenta mayor grado de fuerza para poder ser fracturada fueron las papas QC, la cual comparándola con las demás, tiene una gran diferencia de fracturabilidad instrumental (*iFracturability* como se ha decidido llamar a esta variable) con el resto de las muestra. Por otro lado, son las muestras QP y QOK las menos fracturables.

El contenido de ingredientes y el proceso de elaboración afectan la fracturabilidad de las papas, de igual forma existe diferencia entre las muestras extruidas, es decir, la presentación y proceso de los ingredientes puede ser el responsable en parte de estas diferencias, ya que las muestras QC (e incluso las que les siguen en fuerza, QCh) son elaboradas a base de papa natural y con un proceso más artesanal, que probablemente no tiene muy estandarizado la operación de rebanado, es decir, generan mayor desviación en el grosor de las rebanadas, creándose mayor cantidad de papas gruesas.

Entre las muestras con sodio o grasa reducidos y sus contrapartes sin modificación (QP vs. QPL; QS vs. QSL) por el contrario, no existe una diferencia estadísticamente significativa de su *iFracturability* pues reportan el mismo contenido de ingredientes y el mismo proceso de elaboración.

En lo que refiere a *iCrispness* (crujido instrumental) la muestra casera QC, QDC y QOK son las que presentan mayores fuerzas de cizallamiento o corte, al encontrarse por arriba de los 1100 Kgs⁻¹ y ser estadísticamente diferentes a las demás; de igual forma podemos observar que existen muestras que indican que no existe diferencia estadísticamente significativa entre ellas como es el caso de las papas QL y QS, así como QCh y QSL.

En general, se observa que, tomando como referencia los promedios de *iCrispness*, los diferentes productos varían menos y se agruparon más entre ellos que tomando como referencia mediciones de *iFracturability*. Tal semejanza de *iCrispiness* entre muestras puede deberse a que entre aquellas que son reconstituidas a base de harinas y las que son fritas en rebanadas enteras de papa el crujido es un atributo que se busca ser emulado, puesto que se sabe que es uno de las motivaciones (*drivers*) de compra de esta categoría de productos y que junto con el sabor y la textura influye mucho para que sean preferidos por los consumidores. Hay que recordar, sin embargo, que el crujido (*crispness*) se suele manifestar por estímulos de más de una modalidad sensorial, que incluye

componentes auditivos y de textura en boca, por lo que la evaluación instrumental de fuerza por sí sola puede predecir de manera limitada la percepción del producto al ser consumido.

Tabla 17. Mediciones instrumentales de textura de diez muestras de papas fritas *chips* comerciales.

Muestra	iFracturability* (sonda esférica de 1/4) (Kg s ⁻¹)	iCrispness** (sonda Kramer) (Kg s ⁻¹)
QL	646.45 ^{jkm}	1024.20 ^{abc}
QDC	530.77 ^{hij}	1351.0 ^{cdfg}
QC	910.14 ⁿ	1564.20 ^{fg}
QSC	583.16 ^{ikl}	1010.0 ^{abcd}
QP	222.87 ^{ade}	670.60 ^a
QS	362.15 ^{cefg}	1065.60 ^{abc}
QOK	221.80 ^{abc}	1182.40 ^{bcdef}
QCh	731.91 ^{lm}	1076.0 ^{abce}
QPL	228.03 ^{bdf}	770.80 ^{ab}
QSL	394.65 ^{gh}	1078.0 ^{abce}

^{a-m}: Distinta letra en misma columna indica que existe diferencia significativa entre muestras ($\alpha = 0.05$).

* = promedio de 10 réplicas.

** = promedio de 5 réplicas.

6.3 Correlaciones entre parámetros instrumentales y sensoriales

En las **tablas 18 y 19**, se presentan todos los valores de correlaciones de Pearson de los promedios de diez muestras de papas fritas comerciales para la intensidad de atributos (evaluación sensorial) con respecto a las medidas instrumentales de color y textura, respectivamente. De acuerdo con estos resultados y su análisis estadístico, las mediciones instrumentales del parámetro L^* se correlacionan significativamente ($\alpha = 5\%$) con el atributo sensorial de brillo; mientras que las mediciones hechas con texturómetro (esto es, *crispness* y fracturabilidad instrumental) se correlacionan significativamente con el atributo sensorial de dureza.

En el caso del parámetro colorimétrico L^* , la correlación es negativa, es decir, a mayor intensidad del atributo brillo, el valor que toma la medición instrumental es

menor. En principio esto es contradictorio, pues la escala sensorial se construye de acuerdo con la intensidad de la luz reflejada en la superficie de la papa frita y también se puede definir como un cambio continuo en el contraste del color de las muestras, pero esto es dado un ángulo de iluminación y de visión. Puesto que se sabe que la cantidad de luz reflejada depende directamente de la intensidad y color de la luz incidente en las muestras y que el contraste del color (opacidad) es influenciado por la textura aparente superficial de las mismas (Kilcast, 2013), esta correlación se puede deber a que las condiciones no fueron equivalentes entre el ensayo instrumental y sensorial de color.

El atributo de color amarillo, contrario a lo que inicialmente se esperaba, no se correlacionó positivamente con ningún parámetro medido mediante colorimetría (**tabla 18**), al menos no de manera aislada. Esto puede deberse a que, en el caso del espectrofotómetro, las mediciones se realizan con referencia a un estándar blanco, mientras que en la evaluación sensorial del color la calificación se hizo tomando como referencia varios colores de la escala Pantone anclados a la escala de intensidad. Por otro lado, es importante recordar que el espacio de color que utiliza el sistema colorimétrico es altamente lineal y sólo tiene sentido dentro de sí mismo, es decir, se deben considerar los tres parámetros L^* , a^* y b^* para especificar un color.

Tabla 18. Matriz de correlaciones de Pearson de Atributos sensoriales de aspecto vs. Mediciones instrumentales de color en 10 muestras de papas fritas comerciales (los valores en negrita son significativamente diferentes con $p < 0.05$)

	Amarillo	Brillante	L^*	a^*	b^*
Amarillo	1				
Brillante	0.144	1			
L^*	-0.334	-0.703	1		
a^*	-0.261	-0.249	0.616	1	
b^*	-0.370	-0.544	0.951	0.692	1

Nota: Los valores en negrita son significativamente diferentes a cero ($p < 0.05$).

En el caso de la textura, unos de los parámetros con mayor correlación positiva entre sí fueron la dureza con la fracturabilidad instrumental. Como se discutió en la sección 6.2.2, las muestras con mayor fuerza para ser fracturadas son aquellas que tienen un proceso más artesanal y con mayores grosores de rebanadas, lo cual se puede traducir en mayor dureza puesto que además se tiene evidencia de que una mayor oscuridad de estas muestras (observada en el método colorimétrico) se puede deber a operaciones de freído más intensas, lo cual también genera mayor deshidratación y cohesividad en los productos evaluados que son gruesos (figura 8).

Tabla 19. Matriz de correlaciones de Pearson de Atributos sensoriales de textura vs. Mediciones instrumentales de textura en 10 muestras de papas fritas comerciales.

	Crunch	Fracturabilidad	Dureza	Masticabilidad	Cohesividad	iCrispness	iFracturability
Crunch	1						
Fracturabilidad	0.154	1					
Dureza	-0.428	-0.456	1				
Masticabilidad	0.184	-0.733	0.347	1			
Cohesividad	0.329	-0.489	0.521	0.857	1		
iCrispness	-0.246	-0.111	0.642	-0.061	0.196	1	
iFracturability	-0.373	-0.570	0.817	0.342	0.410	0.664	1

Nota: Los valores en negrita son significativamente diferentes a cero ($p < 0.05$).

En la gráfica de análisis PCA (figura 14), se observa que la suma de los dos primeros componentes explica el 79.67% de variabilidad entre muestras para las características de color instrumental (L^* , a^* y b^*) y sensorial (color amarillo y brillante). Se puede observar que las muestras QPL, QL, QS y QP se correlacionaron con las características de color evaluadas instrumentalmente mientras que las muestras QSL, QC, QDC, QCh y QSC se correlacionaron con el color amarillo y el aspecto brillante; en general, las *chips* que se producen por extrusión se separaron de aquellas que no siguen este proceso. Esto puede deberse a que el proceso de las primeras requiere la mezcla de los ingredientes y por tanto

la masa que se somete a fritura es más homogénea en cuanto a composición y con ello se diferenciaron en color al ser evaluadas mediante colorimetría.

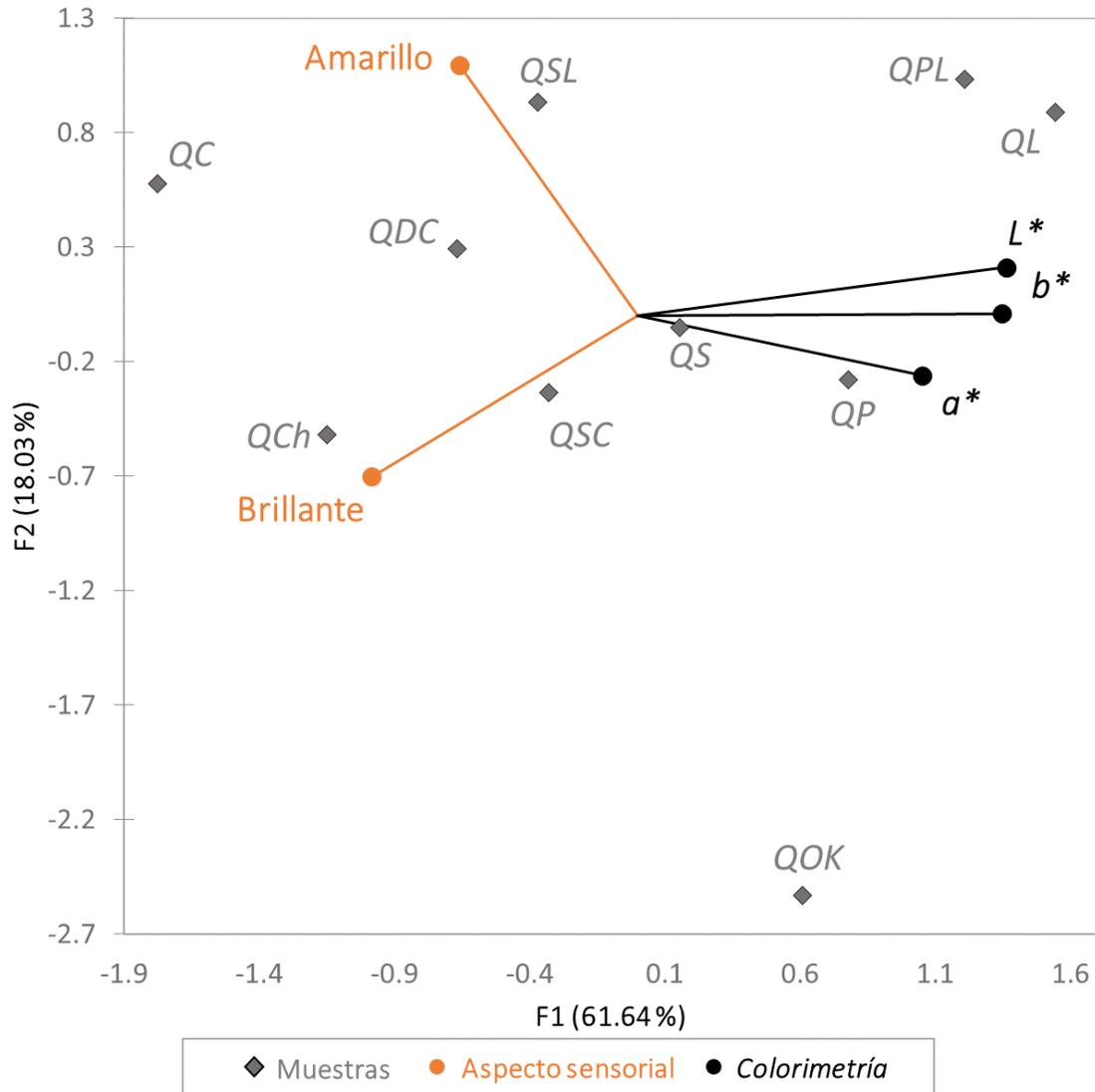


Figura 14. PCA de correlaciones entre mediciones instrumentales de color obtenidas con colorímetro Minolta CM-3600d y atributos sensoriales relacionados

Con respecto a la textura medida tanto por evaluación sensorial como por las pruebas del texturómetro, se observa en la figura 15 y en la **tabla 19** que a grandes rasgos hay una separación entre las muestras que son más duras, cohesivas,

masticables, gruesas y con mayores fuerzas de resistencia a la fractura y al corte; y aquellas muestras que son muy fracturables al morder (que se rompen en más pedazos) y que presentan mayor *crunch*.

Se sabe que la fracturabilidad en boca se percibe mejor como la cantidad de pedazos en que se desbarata una muestra porque es una experiencia esperada al morder algo delgado y crujiente. Es por esto que no se correlacionó este atributo con la facturabilidad medida con texturómetro (esto es, la fuerza al quiebre) pero ésta última sí se correlacionó con la dureza y el grosor, y aún más, dicha diferencia permitió agrupar más claramente muestras de papas fritas que por esta naturaleza pueden clasificarse como “caseras” como en su publicidad lo resaltan (QC, QDC, QCh) y diferenciarlas de aquellas que se perciben más industrializadas.

La fuerza de fractura instrumental parece ser un buen predictor de los atributos sensoriales de masticabilidad, cohesividad y dureza, algo que Salvador et al. (2009) también encontró. El atributo de grosor, a pesar de que se evaluó únicamente con el aspecto, se correlacionó también con la medida instrumental de *crispness*, esto tiene sentido puesto que la resistencia de la muestra a la punción o al corte aumenta mientras mayor sea el grosor de la papa frita, y las muestras que más presentan estos atributos, las muestras QCh y QC, y en menor medida QDC, se evaluaron también más duras y masticables; por lo anterior podríamos decir que una forma que pueden tener los productores de papas fritas tipo *chips* de modificar la dureza y la masticabilidad y cohesividad de sus productos es modificando el grosor del corte de la papa, esto, claramente, también tomando en cuenta el perfil del consumidor al que se dirigen.

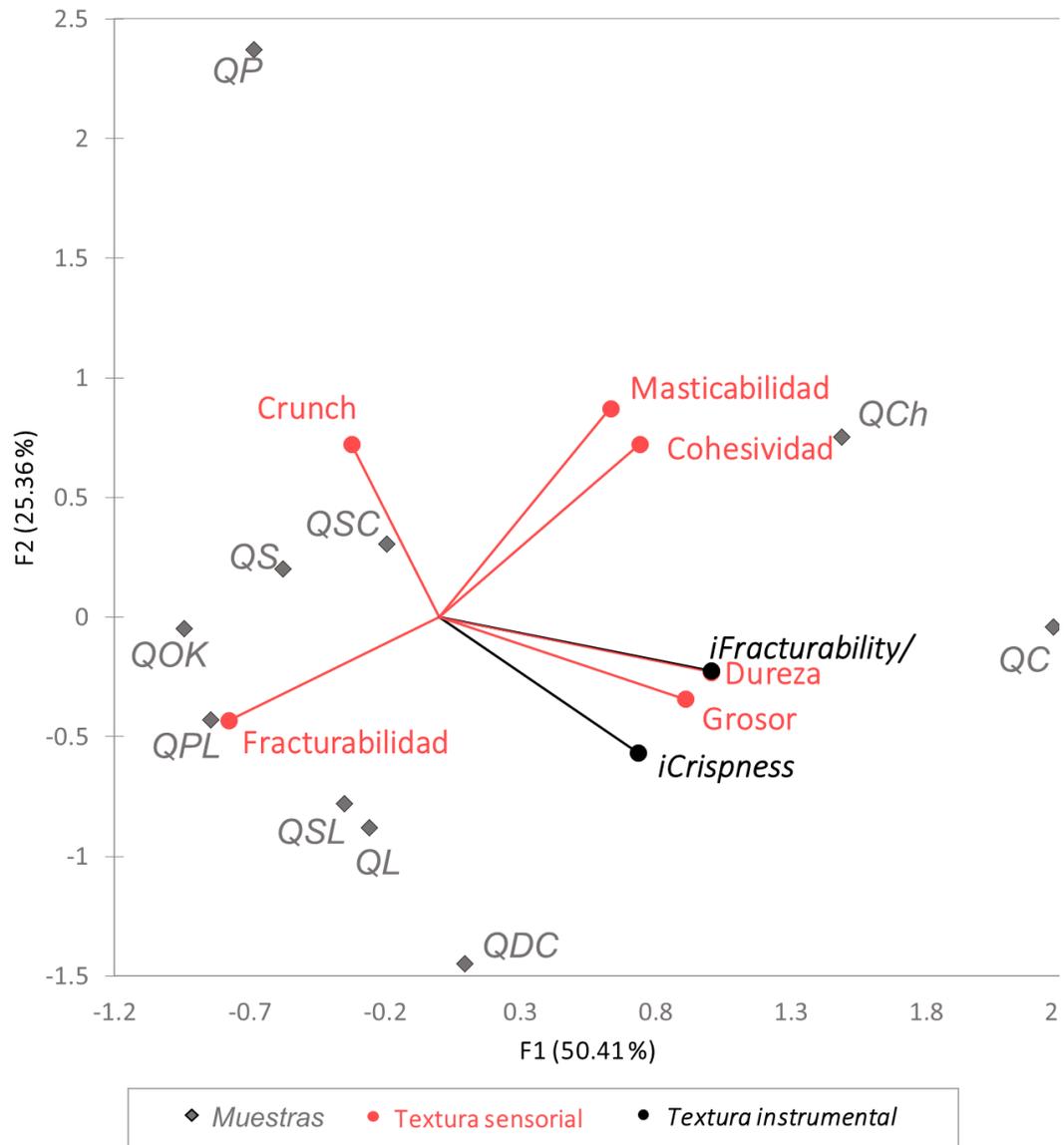


Figura 15. PCA de correlaciones entre mediciones instrumentales de textura obtenidas con texturómetro Stable Micro Systems TA.XT2 y atributos sensoriales relacionados.

7. CONCLUSIONES

El panel entrenado generó el perfil sensorial de diez muestras de papas fritas tipo *chips* que se comercializan en la Ciudad de México. Las y los panelistas lograron distinguir 20 (veinte) atributos. Cada tipo de *chips* evaluada presentó características distintivas, pero las muestras QP, QOK, QC, QCh, QS y QSC se caracterizaron por la mayor cantidad de atributos correlacionados.

Los atributos comunes a las diez muestras de papas fritas tipo *chips* comerciales fueron:

Apariencia: dorado, color amarillo, grosor, brillante, apariencia grasa, homogéneo, cantidad de hoyos.

Olor: a papa, a aceite, a rancio.

Sonido: *crunch*.

Textura en boca: Contenido de cristales de sal, fracturabilidad, dureza, masticabilidad, cohesividad.

Sabor: salado, aceite, papa, rancio.

Se obtuvo evidencia para respaldar que, en los productos de papas fritas tipo *chips*, realizar mediciones instrumentales de textura pueden ser útiles para predecir o constatar la presencia de algunos atributos de textura y color que se perciben sensorialmente. Se halló correlación significativa entre las mediciones instrumentales *iCrispiness* y *iFracturability* con la Dureza medida sensorialmente.

Al evaluar color en los productos de estos estudios, se encontró que los parámetros de luminosidad (L^*), así como las coordenadas a^* y b^* medidos por colorimetría tendieron a ser mayores en las muestras que se elaboran mediante operaciones de extrusión y freído, y con ingredientes diferentes a aquellas producidas mediante el corte de rebanadas de papas enteras.

Las relaciones entre parámetros instrumentales y sensoriales de textura permitieron diferenciar claramente grupos de muestras que se caracterizan por mayores grosores, fuerzas de quiebre o corte, dureza, masticabilidad y cohesividad, de aquellas que son más bien fracturables en boca y generan un *crunch* de alta intensidad.

Finalmente, las relaciones entre parámetros instrumentales de color medidos por colorimetría y los atributos de apariencia de color y brillo guardan mayor variabilidad en este tipo de muestras que no son perfectamente opacas, lisas, uniformes en color y planas, lo cual hace que la medición instrumental tradicional del color debe hacerse con especial énfasis en estos alimentos para evitar errores (diferencias o inconsistencias entre los parámetros instrumentales y la efectiva diferencia visual dada por un juez humano). Sin embargo, esto también es evidencia de que con la implementación y validación de métodos adecuados, las mediciones instrumentales pueden corroborar e incluso predecir ciertos atributos sensoriales de manera efectiva.

8. REFERENCIAS

- Aljefree, N. M., Shatwan, I. M. y Almoraie, N. M. (2022). Impact of the intake of snacks and lifestyle behaviors on obesity among university students living in jeddah, Saudi Arabia. *Healthcare (Switzerland)*, 10(2). <https://doi.org/10.3390/healthcare10020400>
- Almela, E., Jordán, M. J., Martínez, C., Sotomayor, J. A., Bedia, M. y Bañón, S. (2009). El flavor de la carne cocinada de cordero. *Eurocarne*, 178. <https://eurocarne.com/articulos-ficha/codigo/15642>
- Arslan, M., Xiaobo, Z., Shi, J., Rakha, A., Hu, X., Zareef, M., Zhai, X. y Basheer, S. (2018). Oil Uptake by Potato Chips or French Fries: A Review. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 120:1800058. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201800058>
- Brandt, M. A., Skinner, E. Z., y Coleman, J. A. (1963). Texture Profile Method. *Journal of Food Science*, 28(4), 404–409. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1963.tb00218.x>
- Burba, J. L. y Cavagnaro, P. (2018). Sabor, Flavor, gusto, resabio, retrogusto, regusto y pos-gusto en el ajo. Parecidos pero no iguales. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria; Serie Documentos Institucionales; 126; 8-2018; 1-8
- Buttery, R., Seifert, R., Guadagni, D. y Ling, L. (1971). Characterization of Volatile Pyrazine and Pyridine Components of Potato Chips. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 19(5), 969-971. <https://doi.org/10.1021/jf60177a020>
- Commission Internationale de l'Eclairage [CIE]. (2004). *Technical Report: Colorimetry (CIE 15:2004)*. International Commission on Illumination.
- Cruz, M. (2018, 12 de marzo). *Día de la papa frita: Descubre si eres un fan*. Kantar Worldpanel. <https://www.kantarworldpanel.com/mx/Noticias-/Da-de-la-papa-frita-Descubre-si-eres-un-fan>
- Duizer, L. M. (2013). Measurement of the texture of dry crisp products. En D. Kilcast (Ed.), *Instrumental assessment of food sensory quality. A practical guide* (pp. 403-419). Woodhead.
- Escamilla M., M. V. (2006). *Evaluación instrumental de color en alimentos mexicanos tradicionales y de alto consumo* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. https://tesiunam.dgb.unam.mx/F/1UQKHAS79KIN62N757B2DQA96LR4RDJBN743Y4CTG4ECQG4M2Y-52331?func=full-set-set&set_number=611526&set_entry=000001&format=999

- Escobedo G, I. H. (2010). *Percepción gustativa salina provocada por NaCl y otras sales en bebidas no alcohólicas y queso panela* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. https://tesiunam.dgb.unam.mx/F/KNB9UA5IC8618H1NT1QXM1A8VSQVEN58XMNJ44BSM54V2VKKHB-18741?func=full-set-set&set_number=607924&set_entry=000002&format=999
- Fernández-Ríos, A., Laso, J., Amo-Setién, F.J., Abajas-Bustillo, R., Ortego-Mate, C., Fullana-i-Palmer, P., Bala, A., Batlle-Bayer, L., Balcells, M., Puig, R., Aldaco, R. y Margallo, M. (2022). Water–Energy–Food Nexus and Life Cycle Thinking: A New Approach to Environmental and Nutritional Assessment of Potato Chips. *Foods* 11(7):1018. <https://doi.org/10.3390/foods11071018>
- Food and Drug Administration. (2021). *Voluntary Sodium Reduction Goals: Target Mean and Upper Bound Concentrations for Sodium in Commercially Processed, Packaged, and Prepared Foods: Guidance for Industry*. <https://www.fda.gov/regulatory-information/search-fda-guidance-documents/guidance-industry-voluntary-sodium-reduction-goals>
- Garayo, J. y Moreira, R. (2002). Vacuum frying of potato chips. *Journal of Food Engineering*, 55(2), 181–191. [https://doi.org/10.1016/s0260-8774\(02\)00062-6](https://doi.org/10.1016/s0260-8774(02)00062-6)
- García Vera, A. (2007). *Desarrollo de la metodología de evaluación de procesos olfativos* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. https://tesiunam.dgb.unam.mx/F/LGQDXT65943LRMLCRINBTL4Q3TQ2QPBD8M163D7678IQUXA939-35417?func=full-set-set&set_number=396340&set_entry=000001&format=999
- Hutchings, J. B., Ronnier Luo, M. y Ji, W. (2013). Food appearance quality assessment and specification. En D. Kilcast (Ed.), *Instrumental assessment of food sensory quality. A practical guide* (pp. 26-52). Woodhead.
- International Organization for Standardization [ISO]. (2021, marzo). *4120:2021 Sensory analysis — Methodology — Triangle test*. <https://www.iso.org/standard/76666.html>
- ISO. (2012, diciembre). *8586:2012 Sensory analysis — General guidelines for the selection, training and monitoring of selected assessors and expert sensory assessors*. <https://www.iso.org/standard/45352.html>
- ISO. (2007, diciembre). *8589:2007 Sensory analysis – General guidance for the design of test rooms*. <https://www.iso.org/standard/36385.html>

- ISO. (2016, marzo). *13299:2016 Sensory analysis – Methodology – General guidance for establishing a sensory profile*. <https://www.iso.org/standard/58042.html>
- Kemp, S. E., Hollowood, T. y Hort, J. (2018). Introduction to Descriptive Analysis. En S. E. Kemp, J. Hort y T. Hollowood (Eds.), *Descriptive Analysis in Sensory Evaluation* (pp. 3-39). Wiley.
- Kilcast, D. (2013). Measurement of the sensory quality of food: an introduction. En D. Kilcast (Ed.), *Instrumental assessment of food sensory quality. A practical guide* (pp. 1-26). Woodhead.
- Kongstad, S. y Giacalone, D. (2020). Consumer perception of salt-reduced potato chips: Sensory strategies, effect of labeling and individual health orientation. *Food Quality and Preference*, *81*:103856. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.103856>.
- Lal Dar, Y. y Light, J. (2014). Introduction. En Y. Lal Dar y J. Light (Eds.), *Food Texture Design and Optimization* (pp. 1-18). Wiley.
- Lawless, H. y Heymann, H. (2010). Descriptive Analysis. En *Sensory Evaluation of Food*. (2a ed., pp. 227-257) Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6488-5_10
- Castro, S. M., Loey, A. Van, Alexandre Saraiva, J., Smout, C. y Hendrickx, M. (2007). Effect of temperature, pressure and calcium soaking pre-treatments and pressure shift freezing on the texture and texture evolution of frozen green bell peppers (*Capsicum annuum*). *European Food Research and Technology*, *226*, 33-43. <https://doi.org/10.1007/s00217-006-0505-8>
- Martínez A., I. (2013, junio). *Identificación de posibles marcadores proteínicos asociados a las características sensoriales de la carne de ovino* [Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma Metropolitana]. Bindani. <http://bindani.izt.uam.mx/concern/tesiuams/k0698770z>
- McKenzie, M. y Corrigan, V. (2016). Potato Flavor. En S. Jaspreet y L. Kaur (Eds.), *Advances in Potato Chemistry and Technology* (2a ed., pp. 339-368). Elsevier
- Meilgaard, M., Civille, G. V. y Carr, B. T. (2016). *Sensory Evaluation Techniques*. (5a ed). Taylor & Francis.
- Mintel. (2022). *US Potato and Tortilla Chips Market Report 2022*. <https://store.mintel.com/report/us-potato-and-tortilla-chips-market-report>
- Neria V., G. A. (2018). *Aplicación de metodologías sensoriales en la caracterización de un suplemento de origen vegetal* [Tesis de Licenciatura, Universidad

Nacional Autónoma de México].
https://tesiuam.dgb.unam.mx/F/BTHAF3PAE3U41QQPLKSN13R9CEJY5H4GBVE853PN72665ISUTD-07994?func=full-set-set&set_number=658715&set_entry=000001&format=999

Nguyen, H. y Wismer W. V. Temporal Sensory Profiles of Regular and Sodium-Reduced Foods Elicited by Temporal Dominance of Sensations (TDS) and Temporal Check-All-That-Apply (TCATA). (2022). *Foods*, 11(3):457. <https://doi.org/10.3390/foods11030457>

Oellig, C., Gottstein, E. y Granvogl, M. (2022). Analysis of acrylamide in vegetable chips after derivatization with 2-mercaptobenzoic acid by liquid chromatography–mass spectrometry. *European Food Research and Technology*, 248(4), 937-946. <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03898-5>

Olguín Lacunza, M. y Rojas García, D. (2018, 23 de enero). *¿Por qué nos gusta la comida chatarra?* <https://unamglobal.unam.mx/por-que-nos-gusta-la-comida-chatarra/?fbclid=IwAR0780tfrHBzKkjcOPrGraviVbu1YBMT4kL0NnS1OdXi471prFZP7uXo8I>

Organización Panamericana de la Salud. (2019). *Alimentos y bebidas ultraprocesados en América Latina: ventas, fuentes, perfiles de nutrientes e implicaciones*. OPS. <https://doi.org/10.37774/9789275320327>

Pedreschi, F., León, J., Mery, D., Moyano, P., Pedreschi, R., Kaack, K. y Granby, K. (2007). Color development and acrylamide content of pre-dried potato chips. *Journal of Food Engineering*, 79, 786-793. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.03.001>

Pedreschi, F. y Moyano, P. (2005). Effect of pre-drying on texture and oil uptake of potato chips. *LWT - Food Science and Technology*, 38(6), 599–604. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.08.008>

Pedreschi, F., Salomé Mariotti, M. y Cortés, P. (2016). Fried and Dehydrated Potato Products. En S. Jaspreet y L. Kaur (Eds.), *Advances in Potato Chemistry and Technology* (2a ed., pp. 459-471). Elsevier.

Procuraduría Federal del Consumidor. (2021). Papas fritas. Estudios de calidad. *Revista del Consumidor*, 528. <https://issuu.com/profeco/docs/revistadelconsumidor528febrero2021>

Ramroudi, F., Yasini Ardakani, S. A., Dehghani-Tafti, A. y Khalili Sadrabad, E. (2022). Investigation of the physicochemical properties of vegetable oils blended with sesame oil and their oxidative stability during frying. *International Journal of Food Science*, 3165512. <https://doi.org/10.1155/2022/3165512>

- Rostami, Z., Haghghat, M. y Khoshakhlagh, K. (2022). Effects of lean peanut flour coating on oil absorption and organoleptic characteristics of potato chips. *Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology*, 16(4), 87-96.
- Sabbagh-Sánchez, A., García-Salazar, J. A., Matus-Gardea, J. A., Jiménez-Sánchez, L. y Hernández Juárez, M. (2011). Comportamiento del consumo de papa (*Solanum tuberosum* L.) fresca en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(4), 559-572. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342011000400007&lng=es&tlng=es
- Saint-Denis, C. Y. (2018). *Consumer and Sensory Evaluation Techniques. How to Sense Successful Products*. Wiley.
- Salvador, A., Varela, P., Sanz, S. M. y Fiszman. (2009). Understanding potato chips crispy texture by simultaneous fracture and acoustic measurements, and sensory analysis. *LWT – Food Science and Technology*, 42, 761-767. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.09.016>
- Severiano-Pérez, P. (2019). ¿Qué es y cómo se utiliza la evaluación sensorial? *Interdisciplina*, 7(19), 47-68. <http://dx.doi.org/10.22201/ceiich.24485705e.2019.19.70287>
- Severiano-Pérez, P., Cadena-Aguilar, A. A., Vargas-Chanes, D. y Guevara-Guzmán, R. (2012). Questionnaire on Mexicans' Familiarity with Odor Names. *Journal of Sensory Studies*, 27(4), 277-285. <http://doi.org/10.1111/j.1745-459x.2012.00390.x>
- Severiano-Pérez, P., Gómez Andrade, D. M., Méndez Gallardo, C. I., Pedrero Fuehrer, D. L., Gómez Corona, C., Ríos Díaz, S.T., Escamilla Loeza, A. y Utrera Andrade, M. (2016). *Manual de Evaluación Sensorial*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Shamah-Levy, T., Vielma-Orozco, E., Heredia-Hernández, O., Romero-Martínez, M., Mojica-Cuevas, J., Cuevas-Nasu, L., Santaella-Castell, J. A. y Rivera-Dommarco, J. (2020). *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018-19: Resultados Nacionales*. Instituto Nacional de Salud Pública. <https://www.insp.mx/produccion-editorial/novedades-editoriales/ensanut-2018-nacionales>
- Singh, J., Kaur, L. y Singh, H. (2013). Food Microstructure and Starch Digestion. En J. Henry (Ed.), *Advances in Food and Nutrition Research*, Vol. 70 (pp. 137-179). Elsevier.

- Stone, H. (1992). Quantitative Descriptive Analysis (QDA). En R. C. Hootman (Ed.), *Manual on descriptive analysis testing for sensory evaluation* (pp. 15-21). American Society for Testing and Materials.
- Trincherro, J., Monti, M. y Ceroli, P. (2007). Características sensoriales de papas fritas en bastones. *Revista Latinoamericana de la Papa*, 14(1): 33-40.
- U.S. Department of Agriculture and U.S. Department of Health and Human Services. (2020). *Dietary Guidelines for Americans, 2020-2025*. (9a ed.). <https://www.dietaryguidelines.gov/resources/2020-2025-dietary-guidelines-online-materials>
- Utrera A, M. (2007). *Queso Cotija auténtico: estudio de la relación de sus características sensoriales, texturales y de color*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. https://tesiunam.dgb.unam.mx/F/L5M1F8K4I4Y5K66TLRS9XLIY5KF7THITSSK5XADNXMQ1EHCVTY-14398?func=full-set-set&set_number=607004&set_entry=000001&format=999
- Väkeväinen, K., Hernández, J., Simontaival, A.-I., Severiano-Pérez, P., Díaz-Ruiz, G., Wright, A. von, Wachter-Rodarte, C. y Plumed-Ferrer, C. (2020). Effect of different starter cultures on the sensory properties and microbiological quality of Atole agrio, a fermented maize product. *Food Control*, 109, 106907. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106907>
- Villacrés-Poveda, E., Zurita-Sorrosa, G., Samaniego-Maigua, I. y Angós-Iturgaiz, J. (2020). Evaluación del contenido de acrilamida en chips de papa (*Solanum tuberosum* L.) elaborados por fritura convencional y al vacío. *Revista Latinoamericana De La Papa*, 24(1), 34-49. <https://doi.org/10.37066/ralap.v24i1.388>
- Villavicencio C, E. A. (2021). *Entrenamiento de panel y análisis descriptivo convencional de tostadas de maíz criollo de Oaxaca* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. https://tesiunam.dgb.unam.mx/F/KNB9UA5IC8618H1NT1QXM1A8VSQVEN58XMNJ44BSM54V2VKKHB-18933?func=full-set-set&set_number=607945&set_entry=000001&format=999
- Zhang, C., Ye, J., Lyu, X., Zhao, W., Mao, J. y Yang, R. (2022). Effects of pulse electric field pretreatment on the frying quality and pore characteristics of potato chips. *Food Chemistry*, 369:130516. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130516>