



EVALUACIÓN SENSORIAL Y METODOLOGÍAS PARA SU ANÁLISIS

García Judith. Mina Jorge. Torres Freddy.

Burbano Marco. Yambay Wilman .



EVALUACIÓN SENSORIAL METODOLOGÍAS PARA SU ANÁLISIS

Universidad Politécnica Estatal del Carchi

Dr. Hugo Ruiz Enríquez

Rector

Autores:

Judith García

Jorge Mina

Freddy Torres.

Marco Burbano.

Wilman Yambay.

Validadores:

Dr. Luis Parra (Docente de la Universidad de Guanaguato)

Dra. Itala Paredes (Docente de la Universidad Técnica del Norte)

Colaboración:

Clara Evelyn Ramirez

ISBN: 978-9942-914-43-9

Primera Edición

Diciembre 2017

Tulcán, Carchi, Ecuador

Editorial: Universidad Politécnica Estatal del Carchi.

Tiraje: 300 ejemplares.

CP.UPEC.05.054.0542.2017.05

Diseño y Diagramación:

Lcdo. Felipe Martínez

Comisión de Publicaciones - UPEC



Impresión:

Queda prohibida la reproducción de la obra o partes de la misma por cualquier medio sin la respectiva autorización.

INDICE

Prefacio.....	6
Capítulo 1 Evaluación sensorial.....	8
1.1 Introducción.....	8
1.2 Metodologías para la evaluación sensorial.....	14
Capítulo 2 Metodologías sensoriales más utilizadas en empresas de consumo.....	20
2.1- Diferentes tipos de pruebas sensoriales.....	20
2.2 - Características principales de cada prueba sensorial.....	24
2.2.1 Pruebas objetivas.....	24
2.2.1.1 Análisis discriminativos.....	24
2.2.1.2. Análisis descriptivos.....	41
2.2.2- Pruebas no objetivas.....	57
2.3.- Tipos de jueces sensoriales.....	62
2.3.1.- Juez afectivo o consumidor.....	63
2.3.2.- Juez analítico.....	66
2.4- Selección de jueces sensoriales analíticos.....	67
2.4.1.- Reclutamiento.....	68
2.4.2.- Selección.....	70
2.4.3.- Entrenamiento.....	90
Capítulo 3 Metodologías no paramétricas usadas en el análisis sensorial.....	96
3.1.- Pruebas aplicadas a muestras simples.....	96
3.1.1.- Distribución Ji Cuadrada de bondad de ajuste.....	96
3.1.2.- Prueba binomial.....	101
3.2.- Pruebas aplicadas a dos muestras relacionadas.....	108
3.2.1.- Prueba de los signos.....	108
3.2.2.- Prueba de rangos asignados de Wilcoxon.....	115
3.3.- Pruebas aplicadas a k muestras relacionadas.....	121
3.3.1.- Prueba Q de Cochran.....	121
3.3.2.- Análisis por rangos de Friedman.....	125
3.3.3.- Prueba de Page para alternativas ordenadas.....	140

3.4.- Pruebas de asociación.....	145
3.4.1.- Coeficiente C de Cramer.....	145
3.4.2.- Coeficiente de concordancia W de Kendall.....	150
3.4.3.- Coeficiente de correlación r_s de Spearman para rangos ordenados.....	158

Capítulo 4 Metodologías paramétricas usadas en el análisis

sensorial.....	166
4.1.- Pruebas aplicadas a dos muestras.....	166
4.1.1.- Prueba t para observaciones pareadas.....	166
4.2.- Pruebas aplicadas a k muestras.....	171
4.2.1.- Análisis de varianza una vía para k muestras independientes: Diseño Completamente Aleatorizado.....	173
4.2.2.- Análisis de varianza a dos vías para k muestras relacionadas: Diseño en Bloques al Azar.....	184
4.3.- Prueba de asociación: Análisis de correlación de Pearson....	191

Capítulo 5 Selección y uso de pruebas estadísticas

en la evaluación sensorial de productos.....	196
5.1.- Importancia de los supuestos para la aplicación de una prueba estadística.....	201
5.2.- Secuencia de las pruebas sensoriales.....	215

Capítulo 6 Propiedades sensoriales de un alimento desde un

enfoque basado en su perfil de textura.....	220
6.1 Relación multidisciplinaria entre variables sensoriales, fisiológicas y reológicas.....	224
6.2 Análisis de perfil de textura.....	225
6.3 Caso práctico de análisis sensorial de un alimento.....	226
6.4 Recomendaciones Finales.....	239

Prefacio

El material que abarca este libro comprende la caracterización y el desarrollo del análisis estadístico de datos obtenidos del análisis sensorial para la selección de las pruebas estadísticas según el tipo de datos sensoriales y el propósito del análisis.

Con el fin de sistematizar el proceso de selección de la metodología estadística adecuada para el análisis sensorial, se consideró como primera etapa describir la logística sensorial que permite dar respuesta a los objetivos planteados en empresas de alimentos y familiarizar al usuario con las metodologías sensoriales más aplicadas en la industria. Los posibles usuarios de este libro serían los investigadores, industriales y estudiantes.

Como el instrumento de medición sensorial, representado por los jueces sensoriales, es un factor importante y crítico para obtener datos fiables y reproducibles; se describen los tipos de jueces que necesitan las diferentes pruebas sensoriales y se describe el proceso de selección para los jueces analíticos.

Luego se explica la aplicabilidad de las pruebas estadísticas en cuanto a los requisitos mínimos de nivel de medición y otras suposiciones requeridas por algunas pruebas tales como normalidad, homogeneidad de varianzas, entre otras; así como también las metodologías estadísticas tanto paramétricas como no paramétricas usadas en el análisis sensorial. Se presentan las pruebas no paramétricas y las paramétricas que actualmente se utilizan para el análisis de datos sensoriales y se indica cual conviene aplicar y como debe aplicarse.

La categorización de las metodologías paramétricas y no paramétricas de acuerdo a su esquema de aplicación se resume en una

tabla donde se establecen las pruebas estadísticas que se pueden aplicar a las evaluaciones sensoriales objetivas y afectivas, considerando la potencia de la prueba estadística. Finalmente se expone un caso práctico de análisis de atributos de un alimento, en la investigación intitulada: Evaluación de atributos sensoriales de un pan con formulaciones basadas en tubérculos andinos realizado en la Universidad Politécnica Estatal del Carchi en 2017.

Capítulo 1

Evaluación sensorial

1.1 Introducción

Es evidente que a lo largo de la historia el hombre siempre ha buscado desarrollar sus gustos, definirlos, expresarlos y describirlos. Ello ha dado nacimiento, de forma natural, a lo que se llama actualmente degustación, examen organoléptico o análisis sensorial.

La degustación es una acción física que permite al hombre, por mediación de los órganos de los sentidos, definir un conjunto de impresiones y sensaciones; a nivel del tacto, de la vista, del olfato y del gusto, es una operación más subjetiva que objetiva, y por ello deben marcarse unas reglas que permitan traducir las apreciaciones sensoriales en valores y cantidades comparables.

Entre las múltiples aplicaciones que presenta el análisis sensorial se pueden mencionar:

- Determinación de las diferencias sensoriales entre un producto y su competidor.
- Determinación de la incidencia sensorial de la utilización de nuevos ingredientes y diferentes tecnologías.
- Realización y comparación de los perfiles sensoriales de uno o más productos.
- Determinación de las preferencias del consumidor medio entre uno o más productos, e investigación del grado de aceptación ante un producto novedoso.

- La verificación del desarrollo del producto.

La evaluación de la calidad sensorial de los alimentos cada día cobra más importancia en la industria alimentaria, dado las exigencias del mercado competitivo actual y su repercusión en el desarrollo de cualquier empresa o entidad productora. Numerosos grupos la consideran imprescindible para controlar la calidad de sus productos o enfocar correctamente la producción en función del gusto del consumidor.

Como se considera que el aparato sensorial humano muestra variación de sensibilidad de persona a persona; que cada cúmulo individual de sensaciones es muy diferente dependiendo del nivel de desarrollo, y que la sensibilidad puede ser influenciada fácilmente por circunstancias externas o del medio, uno de los mayores problemas asociados al análisis sensorial de los alimentos es conseguir que la respuesta humana sea precisa y reproducible. El control de las condiciones tanto del entorno y de las muestras a analizar como de los sujetos participantes en las pruebas sensoriales facilitará la obtención de resultados objetivos. La metodología estadística también debe estar definida, ya que si el procedimiento de análisis no es adecuado los resultados tampoco lo serán.

Una adecuada planificación experimental debe ser adaptada a las necesidades planteadas de cada empresa, y los resultados obtenidos interpretados por métodos estadísticos. Por eso, es necesario conocer las normas de calificación para expresar el valor sensorial del producto a partir de las sensaciones personales del degustador.

El análisis sensorial permite estudiar las características sensoriales de los productos, de una manera que hace del hombre un verdadero “instrumento de medición” (CTCOR-Subervin, 2015). El análisis

sensorial ha demostrado ser un instrumento de suma eficacia para el control de calidad y aceptabilidad de un alimento, ya que cuando ese alimento se quiere comercializar debe cumplir los requisitos mínimos de higiene, inocuidad y calidad del producto, para que éste sea aceptado por el consumidor. (Rodríguez, 2013).

Según el Aula de Productos Lácteos Galicia, España, 2005; la fiabilidad y neutralidad de los resultados obtenidos por los jueces de cata vienen garantizados por:

1. Una adecuada planificación adaptada a las necesidades planteadas por cada empresa.
2. El desconocimiento de los miembros del panel del objetivo final de la prueba, así como de las marcas a probar, eliminando el sesgo que produce la evaluación subjetiva por parte de los propios jueces.
3. El tratamiento e interpretación estadística de los resultados.

Los datos obtenidos de las mediciones sensoriales son respuestas de las conductas de los jueces sensoriales hacia un determinado producto, por lo tanto, estos datos culminan en escalas nominales u ordinales. En las ciencias de la conducta se llevan a cabo investigaciones con el propósito de probar hipótesis que se derivan de las teorías de la conducta. Para lograr una decisión objetiva acerca de si la hipótesis particular es confirmada por un conjunto de datos, se debe tener un procedimiento objetivo para rechazar o no la hipótesis. Este procedimiento objetivo debe estar basado en la información de los datos que se obtienen de la investigación y el riesgo a que se dispone cuando la hipótesis es incorrecta.

Los casos estadísticos que se pueden presentar con los datos de las pruebas sensoriales son los siguientes:

- Para muestras simples: Permiten establecer si una muestra particular proviene de alguna población especificada.
- Para dos muestras: Los estadísticos que se utilizan permiten al investigador establecer si dos tratamientos son diferentes o si un tratamiento es mejor que otro. Para muestras relacionadas es necesario igualar o relacionar las dos muestras estudiadas. Esta igualación se obtiene utilizando a cada sujeto como su propio control (el sujeto es expuesto a dos condiciones en diferentes tiempos) o pareando a los sujetos (seleccionando pares de sujetos que sean lo más semejante posible en lo que respecta a cualquier variable extraña que pueda influir en el resultado de la investigación).
- Para k muestras: Estos análisis se utilizan cuando tres o más muestras van a ser comparadas simultáneamente. Evalúan la hipótesis nula de que k (tres o más) muestras han sido extraídas de la misma población o de poblaciones idénticas. Para la comparación de k muestras relacionadas, cada uno de los N individuos o también n grupos igualados, pueden ser medidos bajo las k condiciones.
- Para análisis de correlación: Es importante determinar si alguna asociación observada en muestras de puntuaciones, indica que las variables en estudio están o no asociadas en la población de la cual se extrajo la muestra. La correlación observada por sí misma representa un estimador del grado de asociación lineal entre las variables.

Entre algunas de las investigaciones recientes se pueden mencionar:

En la publicación denominada “Aplicación del Análisis Sensorial en la cocina y en la industria alimentaria” de Cordero (2013) afirma que un analista sensorial funciona como un instrumento científico de medida. Un catador entrenado debe ser capaz de identificar sabores, cuantificarlos con respecto a sus umbrales, y determinar objetivamente su conveniencia en un alimento o bebida en particular. Cabe señalar, sin embargo, que con una buena formación en materia de análisis sensorial mejorará las habilidades, pero no siempre se puede garantizar que cualquier persona se convierta en un “supercatador.”

En la investigación de Silva (2009) titulada Formulación de una goma de mascar con ingredientes funcionales se planteó como objetivo principal la formulación de una goma de mascar con ingredientes funcionales. A partir del estudio realizado sobre los beneficios y características de diferentes ingredientes se realizó la formulación de dos prototipos de goma de mascar con los características antioxidante y energizante; añadiendo como ingredientes funcionales el té verde y la L-Carnitina respectivamente. A nivel de laboratorio se realizaron ajustes de dosis y de combinaciones de diferentes sabores; resultando seleccionados los sabores pera con hierbabuena y frutos amarillos con menta, para las características antioxidante y energizante respectivamente.

Se escogieron tres formulaciones para cada goma de mascar y se realizó un análisis sensorial para determinar la preferencia entre las mismas. Las formulaciones preferidas se caracterizaron mediante los análisis señalados en la Norma Covenin. Los resultados obtenidos en esta fase se encontraron cercanos entre sí y dentro del rango permitido según la norma y ambos productos se caracterizaron como “libre en grasas y calorías”. Posteriormente se realizó un análisis sensorial de aceptación con una escala hedónica de siete puntos donde ambas formulaciones fueron aceptadas con valores superiores a 5. Finalmente

se llevó a cabo una prueba de estabilidad durante ocho semanas, con una escala hedónica de diferencia de (5) puntos y un análisis instrumental de perfil de textura. En la prueba sensorial los panelistas apreciaron que existía una diferencia moderada en cuanto a la intensidad de los sabores encapsulados de menta y hierbabuena, y en el análisis instrumental de textura los parámetros no presentaron diferencias significativas para ambos conceptos. Finalmente se demostró la factibilidad de desarrollar una goma de mascar con ingredientes funcionales.

En la investigación “Evaluación sensorial en productos innovativos, obtenidos de subproductos de arroz, utilizando una metodología de extrusión” (Salinas et al, 2014) manifiestan como objetivo de la investigación: determinar las características sensoriales en arroces saborizados y con adición de fibra obtenidos mediante extrusión, empleando subproductos del arroz. Se desea precisar tiempo de cocción, hinchamiento del grano (absorción de agua), calidad y aceptabilidad de arroces con sabores (churrasco, ajo, cebolla) y adición de fibra. Efectúan pruebas de cocción para definir tiempo y relación arroz-agua, análisis de humedad y absorción de agua y, entrenamiento de un panel. La evaluación sensorial estableció la calidad con 14 personas entrenadas; la aceptabilidad con 50 personas y focus groups con 1182 personas en tres regiones del país. El estudio definió un tiempo de cocción en 10 minutos, la mejor relación de arroz-agua fue 1:2; en calidad y aceptabilidad, el producto con sabor churrasco tuvo mayor calificación.

Triviño y Garzón (2014) realizaron un estudio de aceptación sensorial de productos comestibles, elaborados a partir de semillas de pepepan (*Artocarpus camansi Blanco*), árbol frutal cultivado en Tumaco-Nariño, al suroccidente de Colombia para evaluar sus posibilidades de comercialización. El estudio contó con una muestra de 50 consumidores no entrenados, entre 17 y 50 años, de los cuales 20 eran hombres y 30 mujeres de Bogotá y Zipaquirá, quienes evaluaron cinco presentaciones

diferentes: pepepan con sal (LI20), pepepan tostado (LI40), pepepan con miel (LA73) Pepepan cubierto con chocolate (MI31) y una natilla a base de pepepan (MI82). Se evaluaron atributos como color, olor, sabor, textura y apariencia global mediante una escala hedónica del 1 al 5. Como resultado del estudio, las muestras MI82 y MI31 fueron las preferidas por los consumidores.

1.2 Metodologías para la evaluación sensorial

La evaluación sensorial comprende una metodología de pasos lógicos para el desarrollo de un análisis sensorial en sus distintas fases. La metodología establece (Pedrero y Pangborn, 1989):

1. ¿Qué se quiere saber acerca del producto?: Por principio todo análisis se deriva de un problema concreto. Los objetivos de la prueba sensorial deben ser definidos al comienzo de las evaluaciones del proyecto con el jefe del proyecto. Al iniciar las etapas experimentales del proyecto es probable que se tomen decisiones entre varios tratamientos alternos para alcanzar los fines del proyecto en la forma más eficaz. La problemática por solucionar deberá estar presidida por dos tipos de objetivos.

.- Objetivo general del problema el cual señala lo que se pretende lograr al finalizar la serie de estudios que contribuyan a la solución del problema identificado.

.- Objetivo del estudio sensorial el cual se deriva del objetivo general e indica el propósito de lo que se desea estudiar sensorialmente.

En la Figura 1 se esquematiza el principio de la evaluación sensorial que permite conocer el objetivo final de la evaluación, el cual es el motivo de la preferencia de los consumidores.

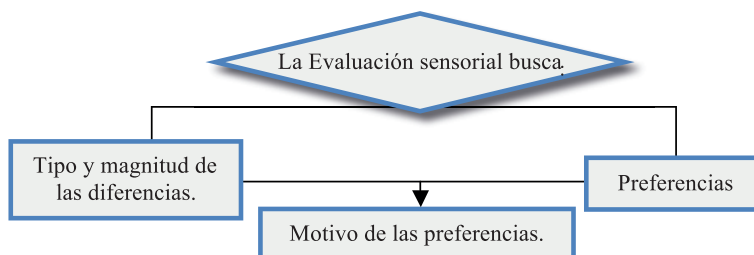


Figura 1: Principios de la evaluación sensorial

2. Diseño estadístico del experimento: Es diseñar la secuencia de ejecución del análisis. Se refiere a la planeación basada en principios estadísticos y de sentido común. En esta fase, los factores que han de considerarse incluyen la selección de:

- Sistema de hipótesis (nula y alternativa) y el nivel de error tolerable (nivel de significación estadística).
- Tipo de prueba sensorial adecuada.
- Hoja de respuestas o cuestionario.
- Condiciones necesarias en el área física de la prueba (ambientación, ubicación, horario, y otros).
- Manejo, presentación y arreglo de muestras y referencias.
- Tipo de personas idóneas para efectuar las pruebas sensoriales según el tipo de análisis y producto.
- Método estadístico para el análisis de los datos.

El hecho de no estructurar y no seguir un diseño experimental puede conducir a no tener suficientes datos recolectados, así como una pérdida de tiempo y recursos, cuando un menor número de muestras o jueces pudieron haber sido utilizados con menor pérdida de eficiencia, sesgo o respuestas irrelevantes de los jueces.

3. Tipo de prueba sensorial adecuada: Es necesario contar con un objetivo para el estudio sensorial bien definido. Las pruebas se dividen en dos grandes grupos.

- Pruebas analíticas: Se ejecutan en condiciones controladas de un laboratorio y con jueces entrenados.
- Pruebas afectivas: Se realizan con los consumidores y en condiciones que no les sean extrañas para consumir el producto en estudio.

4. Instrumento de medición (juez analítico o hedónico): Se llama juez al individuo que está dispuesto a participar en una prueba para evaluar un producto valiéndose de la capacidad perceptiva de uno o varios sentidos. Se distinguen dos tipos de jueces:

- .- Analítico u objetivo: Para evaluar diferencias, intensidades y calidades de muestras.
- .- Afectivo o consumidor: Para evaluar aceptación, preferencia o nivel de agrado.

El momento de proceder a la selección de los jueces debe ser aquel en el que ya se cuente con información respecto al tipo de muestras que han de manejarse y el tipo de diseño o procedimiento de análisis que se llevará a cabo; de otra manera, no se tienen criterios con los cuales se pueda proceder a la selección y entrenamiento de los jueces. Los indicadores que aseguran que ha llegado el momento de la prueba definitiva son:

- Los jueces entienden el procedimiento que deben seguir para evaluar las muestras y llenar el cuestionario.
- Conocen, identifican y perciben la variabilidad que ha de evaluarse.

- Son constantes en las respuestas al repetir los ensayos.
- Se ha hecho un simulacro para verificar que la prueba definitiva se puede llevar a cabo.

5. Adecuación de las muestras: Depende de las características físicas y químicas del producto y las condiciones ambientales adecuadas, comprende:

- Enmascaramiento del producto para que al exponerlo ante el juez no influya otras variables distintas de la del estudio (por ejemplo, enmascaramiento del color de la muestra)
- Material adecuado para enjuague de la boca, por ejemplo agua destilada.
- Método de preparación de la muestra, por ejemplo cocción, pelado, corte.
- Cantidad que ha de ser evaluada.
- Recipiente que se usará en la presentación.
- Arreglo del conjunto de muestras y frecuencia de la presentación del material.

6. Método estadístico para el tratamiento de los datos: Aquí se determina si la hipótesis planteada al definir los objetivos del estudio sensorial y al delimitar el diseño del estudio, se cumple o no.

7. Informe de la prueba: El informe deberá contener la siguiente información acerca de la referencia de la norma utilizada, toda la información posible que permita la identificación completa de la muestra (cantidad, forma, temperatura) las características de la prueba utilizada, el número de veces que se han presentado los juegos de muestras el número de pruebas y el número de participantes por cada prueba, así como su calificación, los resultados, el nivel de significación elegido y la conclusión obtenida; la fecha, hora y el nombre del organizador de

la prueba sensorial, así como también cualquier otra recomendación facilitada en el transcurso de la prueba.

El uso de pruebas sensoriales para establecer los atributos que contribuyen a la calidad de un alimento u otros productos es complejo. Implica tiempo, mucho trabajo, está sujeto a error debido a la variabilidad del juicio humano y por consiguiente, es costoso. Sin embargo, no existen instrumentos mecánicos o eléctricos que puedan duplicar o sustituir el dictamen humano. Por una parte, los análisis colorimétricos, texturométricos y químicos proporcionan buenas correlaciones unidimensionales de los atributos sensoriales individuales asociados con el color, la textura y el sabor respectivamente; por otra parte, en los análisis físico químicos las características se aíslan de tal manera que se graba una sola señal, como por ejemplo la determinación de la espectrofotometría o fuerza de cizallamiento.

La integración sensorial es la capacidad que posee el sistema nervioso central de interpretar y organizar las informaciones captadas por los diversos órganos sensoriales del cuerpo (Villa, 2014) las cuales el juez asocia con su experiencia pasada, los efectos contextuales y su anticipación a la emisión de su juicio. En la Tabla 1 se presenta la relación entre las medidas sensoriales correspondientes, distinguiendo entre los sistemas sensoriales (órganos de los sentidos) y las sensaciones humanas (calidades sensoriales).

El científico moderno debe ser capaz de diseñar, ejecutar y evaluar de manera analítica y científica las pruebas sensoriales. El investigador debe definir claramente el objetivo de su estudio en particular y luego seleccionar los métodos apropiados para el logro de la información deseada. El razonamiento para ejecutar un análisis descansa en los principios científicos: control de procesos y variables involucradas. Por lo tanto, se hace evidente que al aplicar la metodología sensorial sea

indispensable el control de las personas analistas, del lugar, de la forma y de los materiales adecuados para las pruebas sensoriales.

Tabla 1. Relación entre sistemas sensoriales y sensaciones humanas.

Sentido	Órganos de los sentidos	Estímulo normal	Calidades Sensoriales
Vista	Ojo	Captan luz	Colores (intensidad y matices)
Oído	Oído	Captan efectos mecánicos	Ruido y sonido
Tacto	Piel	Captan efectos mecánicos y térmicos	Presión, dolor, calor y frío.
Olfato	Ventanas Olfatorias de la nariz	Captan sustancias químicas (volátiles)	Aroma (olor, fragancia)
Gusto	Papilas gustativas de la lengua	Captan sustancias químicas (solubles)	Dulce, salado, amargo y ácido.

Fuente: (Martínez, 2012)

Científicamente, el proceso puede ser dividido en tres pasos: Detección de un estímulo por el órgano del sentido humano, evaluación e interpretación mediante un proceso mental y posteriormente la respuesta del asesor ante el estímulo. Diferencias entre individuos en respuestas al mismo nivel de estímulo pueden ocasionar variaciones y contribuir a una respuesta no definitiva de la prueba. Es muy importante estar consciente de estas diferencias. Las determinaciones subjetivas, donde la respuesta está basada en las preferencias por un producto pueden ocurrir en trabajos de campo (como investigaciones de mercado y desarrollo de nuevos productos) donde se necesita de la reacción del consumidor. Las determinaciones en el control de la calidad deben ser objetivas (ISO 5492:2008), (ISO-INEN, 2014).

Capítulo 2

Metodologías sensoriales más utilizadas en empresas de consumo

2.1- Diferentes tipos de pruebas sensoriales

En la Tabla 2 se presentan las pruebas discriminativas y descriptivas considerando el tipo y número de jueces y el fundamento en el cual se categoriza como de diferenciación, gradiente o en forma cualitativa o cuantitativa y se numeraron para mayor facilidad al referirlas posteriormente.

Para dar una visión más amplia de cómo se pueden aplicar las pruebas sensoriales en la industria de alimentos se presentan en la Tabla 3 diferentes tipos de casos sensoriales, con sus respectivas pruebas sensoriales. Estas pruebas serán descritas en detalle en cuanto a su aplicación y las pruebas estadísticas que apropian para cada una de ellas.

La versatilidad de aplicaciones de las ciencias sensoriales es notoria tal como se evidencia a continuación (Cordero, 2013).

Determinación de normas: El desarrollo e implementación de pruebas específicas reguladas por normas de estandarización (ISO, UNE, INEN, entre otras) hace del análisis sensorial una herramienta muy útil y con un amplio campo de aplicación.

Control de calidad: La aplicación y usos del análisis sensorial de los alimentos en la cocina y en la industria alimentaria en general, como un importante factor en la valoración de la calidad de los alimentos, desde

Evaluación sensorial y metodologías para su análisis

sus materias primas hasta el producto finalmente elaborado, mediante la evaluación organoléptica de sus atributos. Estas recomendaciones se ajustan a la norma UNE 87-008-92 y Cordero, 2013.

Tabla 2. Pruebas Sensoriales

Tipo de prueba	Fundamento de la Prueba Sensorial	Prueba Sensorial	Tipo y N° de jueces **
Pruebas Discriminativas	DIFERENCIACIÓN Jueces entrenados o semientrenados	1.Umbrales Límites	El N° depende de las personas disponibles para entrenar
		2.Comparación por pares	Expertos: 7 o más. Entrenados: 20 o más. Semientrenados: 30 o más.
		3.Prueba Dúo-trío	Semientrenados: 20 o más.
		4.Prueba dos de cinco	Entrenados: 10 o más.
		5.Triangular	Expertos: 6 o más. Entrenados: 15 o más. Semientrenados: 25 o más.
		6. Prueba A-no A	Entrenados: 20 o más. Semientrenados: 30 o más.
		GRADIENTE Jueces entrenados o semientrenados	Expertos: 2 o más. Entrenados: 5 o más. Semientrenados: 10 o más.
		CUALITATIVO Jueces entrenados o catadores	Expertos: 5 Entrenados: 3-8
		9.Clasificación	
		10.Perfil de textura	
Pruebas Descriptivas	CUANTITATIVO Jueces entrenados o catadores	11.Análisis de espectro	Expertos: 2 o más. Entrenados: 5 o más. Semientrenados: 20 o más.
		12.Tiempo – Intensidad	
		13.Perfil de libre elección	
		14.Análisis descriptivo cuantitativo	

Desarrollo de nuevos productos: Ayuda a la formulación de nuevos productos o modificación de los existentes, El conocimiento de las leyes por las que se rige la percepción sensorial es de vital importancia en la consecución de la excelencia en el desarrollo de nuevos productos. (Montejo, 2013).

Correlación con medidas químicas, físicas o instrumentales: Permite desarrollar cálculos de propiedades sensoriales de manera más inmediata y reproducible. Ejemplo: la relación entre el aroma percibido a través de los sentidos y la composición de los compuestos volátiles.

Percepción humana-afectiva: Expresan su opinión personal y subjetiva sobre un producto, indicando si les gusta o les disgusta, si lo aceptan o lo rechazan, o si lo prefieren a otro producto.

Percepción humana-discriminativa: En estas pruebas se desea establecer si existe diferencia o no entre dos o más muestras y en algunos casos la magnitud de esa diferencia. Este tipo de pruebas son muy utilizadas en el control de calidad para evaluar si las muestras de un lote están siendo producidas con una calidad uniforme, si son comparables con muestras de referencia, entre otros. (Cordero, 2013)

Evaluación sensorial y metodologías para su análisis

Tabla 3. Aplicación de pruebas sensoriales a los problemas en la industria de alimentos.

Aplicaciones Sensoriales	Tipo de problema y Objetivo	Prueba Apropriada *
Desarrollo de nuevos productos	Descubrir o desarrollar nuevos productos o nuevas variedades.	2, 4, 15, 16 y pruebas descriptivas: 8, 9, 10, 11, 12,13 y 14.
	Producto perfeccionado para formular un producto mejor.	2, 7, 16, 17 y pruebas descriptivas: 8, 9, 10, 11, 12,13 y 14.
	Reducción de costos, para producir un producto de igual calidad a menor costo.	2, 7, 16, 17.
Control de Calidad	Proceso ventajoso para medir como los cambios de procesamiento cambian la calidad del producto.	2, 7, 17 y pruebas descriptivas: 8, 9, 10, 11, 12,13 y 14.
	Mantenimiento de la calidad de un producto para asegurar su uniformidad durante la producción y mercadeo.	2, 3, 4, 5, 6, 7,17.
	Almacenamiento estable para mantener la calidad durante el almacenaje.	Pruebas descriptivas: 8, 9, 10, 11, 12,13 y 14.
Determinación de Normas	Selección de nuevas fuentes de materiales para elaborar productos de buena calidad tan buenos como el tomado de referencia o patrón.	2, 3, 4, 5, 6, 15, 16, 17.
Percepción humana-discriminativa	Clasificar y fijar el valor relativo del producto, y la calidad de los ingredientes usados.	Pruebas descriptivas: 8, 9, 10, 11, 12,13 y 14.
	Selección de los panelistas entrenados. Selección de catadores apropiados para hacer las evaluaciones específicas.	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9.
	Selección de la muestra más apropiada para ser aplicada en un caso específico	1, 2, 7, 9.
Percepción humana-afectiva	Prueba del mercado de los nuevos productos o productos mejorados para determinar la aceptación en el consumidor.	16, 17, 18
	Preferencia del consumidor.	16, 17, 18

Fuente: Modificada de Mackey *et al*, 1984 y Cordero, 2013.

2.2 Características principales de cada prueba sensorial

2.2.1 Pruebas objetivas

Se definen como todo método en el que la influencia de las opiniones personales se minimiza. (ISO 5492:2008) (ISO-INEN, 2014).

Una de las principales metas perseguidas por el análisis sensorial de alimentos es el desarrollo de una metodología para la determinación de parámetros organolépticos en los alimentos. La reunión de un grupo de catadores seleccionados, entrenados específicamente en la degustación de un alimento y que funcione como un grupo compacto, coherente y homogéneo es premisa fundamental para el éxito y la validez de los ensayos. El grupo de catadores debe llegar, a lo largo de varias sesiones, a acuerdos sobre los conceptos sensoriales que van a evaluar y la mejor técnica de hacerlo.

2.2.1.1 Análisis discriminativos

Es cualquier método o prueba en el que se comparan muestras con objeto de establecer si existen o no diferencias entre ellos. (ISO 5492:2008) (ISO-INEN, 2014).

a) Prueba de umbral límites

Objetivo

Su objetivo es determinar cuál es la mínima cantidad perceptible (umbral) de un estímulo. Existen varios tipos de umbrales:

Umbral de estímulo o Umbral absoluto: Es la mínima concentración de una sustancia capaz de producir una sensación que

permita al juez diferenciar esa solución del agua, sin identificar el gusto. La intensidad o cantidad de la sensación depende de la fuerza del estímulo. Para que un estímulo pueda estimular a un receptor, su intensidad ha de ser superior a la del llamado umbral absoluto. (Ramón, 2008)

Umbral de identificación o de reconocimiento: Cantidad mínima de estímulo que permite identificar la sensación percibida. (Gonzales, 2011)

Procedimiento

Los evaluadores son previamente entrenados en que cualidad buscar, para eso se les presenta una concentración ligeramente supraumbral para que se familiaricen con el estímulo.

En esta prueba se presentan una serie de muestras con diferentes concentraciones de un mismo estímulo, representando de forma ascendente o descendente una serie aritmética o geométrica de concentración. El rango de concentración debe ser escalonado en 6 a 10 pasos

Las muestras de la serie son presentadas en orden de concentración. Los evaluadores juzgan la presencia o ausencia de la cualidad. El umbral es el promedio del valor obtenido en las series ascendente y descendente. (FRRO-UTN, 2013)

Cuestionario

El diseño del cuestionario debe adecuarse para lograr los objetivos propuestos e incluir el número de muestras que se manejen en el estudio. En la Tabla 4 se presenta un modelo.

Tabla 4: Cuestionario utilizado en la prueba de umbral absoluto

PRUEBA DE UMBRAL ABSOLUTO				
Nombre: _____ Fecha: _____				
Producto: _____				
Instrucciones:				
1. Utilice la luz blanca.				
2. Se le presentan cinco muestras enumeradas respectivamente.				
3. Pruébelas cuidadosamente, comenzando de izquierda a derecha, continúe en orden sucesivo hasta que usted detecte un sabor salado, marque con una X cuando note la solución en la cual lo percibió.				
_____	_____	_____	_____	_____
542	902	043	473	852
Comentarios: _____				

Análisis estadístico (Herrera, 2005)

El método de umbral de percepción se puede evaluar a partir del momento en que los jueces perciben en su menor nivel de intensidad la sensación promovida por la presencia de la sustancia analizada, para lo cual se utilizan las series ascendente de concentraciones, y se van presentando las muestras hasta que los jueces coincidan en un 75% de respuestas, en dos series consecutivas.

b) Prueba de comparación por pares

Objetivo

Su objetivo es determinar si existe una diferencia sensorial perceptible o una semejanza entre muestras de dos productos en lo que concierne a la intensidad de un atributo sensorial. (FRRO-UTN, 2013)

Se puede presentar un par o una serie de pares, teniendo en cuenta que sólo se distingan entre sí por el atributo objeto de estudio. Cada muestra se presentará codificada y en orden balanceado, de tal

manera que cada una de ellas aparezca igual número de veces en la posición derecha e izquierda del par. Las muestras se sirven simultánea o secuencialmente. La prueba es fácil de realizar, requiere de poca cantidad de muestras, y el agotamiento del evaluador es relativamente bajo. (FRRO-UTN, 2013)

Esta prueba puede ejecutarse de dos formas:

- Requiriendo que el juez determine cuál de las muestras del par presenta mayor intensidad de una característica (dirección o sentido de la diferencia), por lo que los tipos de muestras siempre serán diferentes entre sí y demandarán una respuesta con decisión forzada, para no permitir empates.
- Requiriendo que el juez determine si el par es diferente (y en qué sentido se da la diferencia) o iguales entre sí, por lo que en este caso sí puede (aleatoriamente) haber muestras iguales dentro del par.

Procedimiento (ISO 5495:2009) (ISO-INEN, 2014)

El juez recibe uno o varios pares de muestras codificadas que le son presentadas en un orden preestablecido o bien al azar. Al sujeto se le pregunta sobre la dirección de la diferencia o la preferencia. No deben proponerse a la vez preguntas de diferencia y preferencia, deben colocarse por separado, si es necesario.

Cuestionario

En la Tabla 5 se presenta un modelo de cuestionario para esta prueba.

Tabla 5. Cuestionario utilizado en la prueba de comparación de pares

PRUEBA DE COMPARACIÓN DE PARES	
Nombre: _____	Fecha: _____
Producto: _____	
Instrucciones:	
1. Pruebe cada par de izquierda a derecha.	
2. Encierre en un círculo el número de la muestra que perciba como la más gomosa al masticar.	
3. No se trague las muestras, y enjuáguese la boca entre cada par.	
<u>317</u>	<u>225</u>
<u>803</u>	<u>541</u>
<u>625</u>	<u>197</u>
¿Cuál de las dos muestras prefiere usted? _____	
Comentarios: _____	

Análisis estadístico

Para que este análisis tenga validez estadística se recomienda efectuar por lo menos tres repeticiones por juez. Si se requiere comparar “x” número de estímulos (muestras diferentes) se presentan $x(x-1)$ pares para juzgar todas las posibles combinaciones. Los pares se presentan en serie hasta un número máximo, antes de que se provoque fatiga sensorial. Cuando son varias las características o las muestras que han de compararse, deben efectuarse diversas sesiones para abarcar el total de muestras sometidas a estudio.

La prueba se puede plantear cuando se quiere detectar una diferencia específica entre dos productos y determinar su dirección. Este análisis solo se puede aplicar si cada pareja está formada por una muestra del producto A y otra del producto B, es decir, si las parejas evaluadas son AB o BA, pero no si son AA o BB.

La hipótesis nula plantea que no hay diferencia entre las

dos muestras (intensidad). En términos estadísticos, esto se expresa considerando que cada juez que participa en la prueba tiene la misma probabilidad de estimar la muestra A o la muestra B como la más intensa. Es decir, $p_a = p_b = 1/2$. La interpretación de los resultados, basada en el número de participantes que consideran más intensa la muestra A o la B, depende de la hipótesis alternativa que se opone a la hipótesis nula. Dependiendo de la naturaleza de la hipótesis alternativa, que se debe especificar antes de la realización de la prueba, ésta puede ser bilateral o unilateral.

Prueba bilateral: Es aquella en que simplemente se desea saber si hay una diferencia de intensidad entre dos productos. La hipótesis alternativa es $p_a \neq p_b$.

Prueba unilateral: Se plantea cuando se quiere saber si uno de los dos productos –por ejemplo el A– posee una característica en grado más intenso que el otro. La hipótesis alternativa es entonces $p_a > 1/2$. (ISO 5495:2009) (ISO-INEN, 2014)

Los datos se analizan por medio de una prueba binomial. En esta prueba, la probabilidad de escoger la respuesta correcta sólo por casualidad es del 50% ($p = 1/2$), de manera que si el valor del total de respuestas excede del 50%, se puede concluir que las muestras son diferentes entre sí. A fin de determinar si tal diferencia es significativa, primero es necesario especificar el nivel de significación.

Es importante destacar que la prueba comparación por pares permite generar pruebas en las cuales el procedimiento de detección es direccional, y cuyos resultados se comparan con los valores de tablas estadísticas denominadas de “una cola”. En aquellas pruebas de comparación por pares que soliciten simplemente diferencia sin dirección, sus resultados se compararan con los valores de tablas

estadísticas de dos colas. (FRRO-UTN, 2013)

Por otra parte, si el tamaño de la muestra es superior al que se indica o si hay duda con relación al nivel de significación, se recomienda calcular el nivel de probabilidad con la prueba Ji cuadrada, la cual se puede utilizar como una aproximación de la distribución binomial.

c) Prueba dúo-trío.

Objetivo

Identificar cuál de las muestras incógnitas es igual a la referencia

En esta prueba se presenta al juez, una muestra identificada como referencia o control y dos muestras debidamente codificadas, de las cuales una necesariamente tiene que ser igual a la referencia. La prueba es fácil y sencilla de realizar. Los alcances son similares a los del ensayo triangular. (FRRO-UTN, 2013)

Procedimiento (ISO 10399:2010) (ISO-INEN, 2014)

Primero se presenta a los jueces la muestra de referencia. Se les presenta después dos muestras bajo clave, una de las cuales es idéntica a la de referencia. Se le pide al juez catador que identifique está última.

Cuestionario

La hoja que se muestra en la Tabla 6, se puede modificar agregando preguntas que pueden ser útiles al objetivo del análisis sensorial. Algunos ejemplos de preguntas que puede agregar son:

¿Puede usted determinar la intensidad de la diferencia que percibe?

Muy débil Débil Moderada Clara Intensa

La identificación de la muestra diferente le ha parecido

Muy fácil Fácil Difícil Muy difícil Casi imposible

Tabla 6. Cuestionario utilizado en la prueba duo -trío

PRUEBA DÚO-TRÍO		
Nombre: _____ Fecha: _____		
Producto: _____		
Instrucciones:		
1. Primero pruebe la referencia R y luego las muestras de izquierda a derecha.		
2. Del primer par, encierre en un círculo aquella muestra que sea igual a R.		
3. Enjuague su boca y continúe con el siguiente par.		
4. No se trague la muestra.		
R= Referencia		
Par	Muestras	
1	392	544
2	781	600
3	226	111
3. Comentarios: _____		

Análisis estadístico

La hipótesis nula es que no es posible distinguir entre los productos. En este caso la probabilidad de identificar correctamente la muestra que es idéntica a la de referencia es igual a $p = 1/2$. En términos estadísticos, la hipótesis nula H_0 se expresa por $p = 1/2$.

La prueba es unilateral si el supervisor de la prueba quiere saber si es posible distinguir entre dos productos y rechazará la hipótesis nula para una hipótesis alternativa, $p > 1/2$, si el número de respuestas correctas es mayor o igual a la cifra correspondiente al nivel de significación elegido. (ISO 10399:2010) (ISO-INEN, 2014)

Los datos se analizan por medio de una prueba binomial. En esta prueba, la probabilidad de escoger la respuesta correcta sólo por casualidad es del 50% ($p=1/2$), de manera que si el valor del total de respuestas correctas excede el 50%, se puede concluir que las muestras son diferentes entre sí. A fin de determinar si tal diferencia es significativa, primero es necesario especificar el nivel de significación. Es importante destacar que la prueba comparación por pares nos permite generar pruebas en las cuales el procedimiento de detección es direccional, y cuyos resultados se comparan con los valores de tablas estadísticas denominadas de “una cola”. En aquellas pruebas de comparación por pares que soliciten simplemente diferencia sin dirección, sus resultados se compararan con los valores de tablas estadísticas de “dos colas”.

De igual manera, si el tamaño de la muestra es superior al que se indica en la tabla, o si hay duda con relación al nivel de significación, se recomienda calcular el nivel de probabilidad con la prueba Ji cuadrada, la cual se puede utilizar como una aproximación de la distribución binomial.

d) Prueba dos de cinco

Objetivo

Es una prueba de diferencia en la que se presentan cinco muestras marcadas en clave, de las cuales dos pertenecen a un lote y tres a otro. El juez debe agrupar los dos tipos de muestra.

Este método es estadísticamente muy eficiente porque la probabilidad de dar una respuesta correcta por chance es de $1/10$ comparada con $1/3$ para el ensayo triangular. La desventaja es que este ensayo es influido por la fatiga y por efecto de memoria. Por eso sus aplicaciones sirven mejor para evaluaciones auditivas, visuales,

táctiles en vez de sabor. Hay que presentar, de ser posible, las muestras simultáneamente, pero si muestran diferencias ligeras en su apariencia pueden presentarse secuencialmente. (FRRO-UTN, 2013)

Esta prueba se puede utilizar cuando se dispone solamente de un número pequeños de jueces catadores, (por ejemplo 10), para establecer una diferencia de forma más económica que por medio de otras pruebas. (El método es estadísticamente más eficaz). Se utiliza principalmente en selecciones táctiles, auditivas o visuales. (ISO 5495:2009) (ISO-INEN, 2014).

Procedimiento

Se le presenta al juez un juego de cinco muestras bajo clave, de las que dos son de un tipo y tres de otro. Cuando el número de jueces es inferior a 20, el orden de presentación debe ser al azar, a partir de las 20 permutaciones siguientes (ISO 5495:2009) (ISO-INEN, 2014)

AAABB	BBBAA	ABABA	BABAB
AABAB	BBABA	BAABA	ABBAB
ABAAB	BABBA	ABBAA	BAABB
BAAAB	ABBB A	BABAA	ABABB
AABBA	BBAAB	BBAAA	AABBB

Cuestionario

En la Tabla 7 se presenta un modelo de cuestionario correspondiente a la prueba dos de cinco. Esta hoja, se puede modificar agregando preguntas que pueden ser útiles al objetivo del análisis sensorial. Algunos ejemplos de las preguntas que puede agregar son:

¿Puede usted determinar la intensidad de la diferencia que percibe?

Evaluación sensorial y metodologías para su análisis

Muy débil Débil Moderada Clara Intensa

La identificación de la muestra diferente le ha parecido

Muy fácil Fácil Difícil Muy difícil Casi imposible

Tabla 7. Cuestionario utilizado en la prueba dos de cinco

PRUEBA DOS DE CINCO Nombre: _____ Fecha: _____ Producto: _____ Instrucciones: Para cada grupo, pruebe las cinco muestras de izquierda a derecha. . Encierre en un círculo el número de las dos muestras que son diferentes de las otras tres. . Enjuáguese la boca antes de continuar con el siguiente grupo. 3. Comentarios: _____

Análisis estadístico

La hipótesis H_0 es $p_0=1/10$. La prueba es unilateral y la hipótesis alternativa es $p_0>1/10$. El número de respuestas correctas se compara con la cifra correspondiente de la tabla de la distribución binomial o la distribución Ji cuadrada (ISO 5495:2009) (ISO-INEN, 2014)

e) Prueba triangular

Objetivo

Permite determinar si existe una diferencia global sin identificar atributos específicos. Consiste en presentar tres muestras simultáneamente: dos de ellas son iguales y una diferente, el evaluador tiene que identificar la muestra diferente. (FRRO-UTN, 2013).

En esta prueba deben considerarse dos variaciones posibles. Una, llamada de elección forzada, obliga al catador a designar una muestra como diferente, aunque no tenga convicción ni seguridad de la decisión. La otra llamada de libre elección, permite decidir que no hay diferencias entre las muestras. En este último caso, y en relación con el tratamiento estadístico, también hay varias posibilidades. La más simplista es la que no considera estas respuestas y entonces se supone que sólo han realizado pruebas en que los catadores han encontrado diferencias. En las tablas, el número de pruebas o replicados será el correspondiente a la diferencia entre el número total de ensayos menos los que no han percibido diferencias y de esta forma se aumenta la probabilidad de significación de los resultados.

Otra solución es distribuir las respuestas “no se perciben diferencias” en proporción de 1/3 (33%) como correctas y los 2/3 (66%) restantes como incorrectas y computarlas como tales para la evaluación estadística. De esta forma se disminuye la probabilidad de obtener un resultado significativo, ya que se necesitan un número de respuestas mayor para sobrepasar los niveles que indican las tablas para una misma posibilidad (ISO 4120:2008) (ISO-INEN, 2014)

Procedimiento

A partir de las muestras de laboratorio se debe preparar un número igual de juegos, de acuerdo con las seis posibilidades de presentación siguientes:

ABB BAA AAB BBA ABA BAB

Esta serie no necesariamente debe presentarse en una misma sesión; todo depende de la naturaleza del estímulo (ISO 4120:2008) (ISO-INEN, 2014)

Cuestionario

En la Tabla 8 se presenta un modelo de cuestionario correspondiente a esta prueba. Algunos ejemplos de las preguntas que puede agregar son:

¿Puede usted determinar la intensidad de la diferencia que percibe?

Muy débil Débil Moderada Clara Intensa

La identificación de la muestra diferente le ha parecido

Muy fácil Fácil Difícil Muy difícil Casi imposible

Tabla 8. Cuestionario utilizado en la prueba triangular

PRUEBA TRIANGULAR			
Nombre: _____ Fecha: _____			
Producto: _____			
Instrucciones:			
1. Para cada grupo, pruebe las tres muestras de izquierda a derecha.			
2. Encierre en un círculo el número de la muestra que es diferente de las otras dos.			
3. Enjuáguese la boca antes de continuar con el siguiente grupo.			
Grupo	Muestras		
1	521	374	865
2	817	214	600
3	209	546	737
Comentarios: _____			

Análisis Estadístico

La hipótesis nula es que no es posible distinguir entre los productos. En este caso, la probabilidad p de identificar la muestra que es distinta de las otras dos es igual a $p_0=1/3$. En términos estadísticos la hipótesis nula H_0 se expresa por $p_0=1/3$.

La prueba es unilateral si el supervisor de la prueba quiere saber si es posible distinguir entre los dos productos y rechazará la hipótesis nula a favor de la hipótesis alternativa, $p > 1/3$. Si el número de respuestas correctas es mayor o igual a la cifra correspondiente de la tabla para la prueba binomial o Ji cuadrada. Quiere decir que la proporción de respuestas correctas es significativamente superior a $p_0 = 1/3$, al nivel de significación escogido (ISO 4120:2008) (ISO-INEN, 2014)

f) Prueba A no A: (Villanueva, 2003)

Objetivo

Se presenta al juez una muestra “A” para que memorice sus características. Posteriormente, más de dos muestras problema son presentadas al juez, pudiendo, una o más de ellas, ser o no igual a “A”. Casos en que se aplica:

- a) Identificación de diferencias entre más de dos productos, uno de los cuales representa una referencia.
- b) En control de calidad, siempre y cuando, los jueces conozcan muy bien las características de la referencia.

Procedimiento

Esta prueba presupone un conocimiento previo de la muestra “A” que debe provenir de un aprendizaje explícito o implícito. Después de este aprendizaje y una vez la prueba haya comenzado el catador ya no tendrá a su disposición de forma material una muestra A. El catador no conoce cuantas muestras “A” y “no A” se le van a presentar. El objetivo de la prueba es evaluar si el catador diferencia la muestra “A” de la “no A”.

Cuestionario

En la Tabla 9 se presenta un modelo de cuestionario correspondiente a esta prueba. Esta hoja se puede modificar agregando preguntas que pueden ser útiles al objetivo del análisis sensorial. Algunos ejemplos de las preguntas que puede agregar son:

¿Puede usted determinar la intensidad de la diferencia que percibe?

Muy débil Débil Moderada Clara Intensa

La identificación de la muestra diferente le ha parecido

Muy fácil Fácil Dificil Muy difícil Casi imposible

Tabla 9. Cuestionario utilizado en la prueba A no A

PRUEBA “A” no “A”	
Nombre: _____	Fecha: _____
Producto: _____	
Instrucciones:	
1) Pruebe la referencia A y memorice sus características luego las muestras de izquierda a derecha. 2) Encierre en un círculo aquella muestra que sea igual a A. 3) Enjuague su boca y antes de probar cada muestra.	
No se trague la muestra.	
	A= Referencia
	Muestras
392	544
781	600
226	111
Comentarios: _____	

Análisis estadístico

Si el catador no detecta diferencias contestará al azar y por lo tanto la probabilidad de que acierte es de 0,5. Se define la variable aleatoria X, como el número de respuestas correctas entre las n catas

que ha realizado cada catador y sea p la probabilidad de que acierte la respuesta, calidad del catador. las hipótesis a contrastar son:

$H_0: p = 0,5$ el catador no diferencia la muestra “A” de la “no A”.

$H_1: p > 0,5$ el catador diferencia la muestra “A” de la “no A”.

La variable X sigue una distribución $Bi(n; 0,5)$. Si el número de aciertos es menor o igual que C , siendo C el menor de los valores no se rechaza la hipótesis nula, es decir, no existen diferencias, mientras que si es superior se rechazará la hipótesis nula y los catadores han diferenciado “A”.

g) Prueba de ordenamiento:

Objetivo:

Método de clasificación en el que varias muestras se ordenan de acuerdo con la intensidad o grado de una propiedad determinada. Se trata de establecer un orden, sin tratar de evaluar la magnitud de las diferencias. (ISO 5492:2008) (ISO-INEN, 2014).

La prueba de ordenación se utiliza cuando se presentan varias muestras codificadas a los panelistas. Consiste en que los panelistas ordenen una serie de muestras en forma creciente para cada una de las características o atributos que se estén evaluando. Por ejemplo, ordenarlas por dulzor, color, dureza, entre otros. Los resultados obtenidos no indican la magnitud o tamaño de la diferencia entre las muestras sucesivas. (Hernandez, 2005)

Procedimiento

Antes de efectuar la prueba es preciso asegurarse que los jueces que la van a efectuar comprenden y están de acuerdo con los criterios o propiedades que se van a evaluar. Durante la prueba, cada juez valora las muestras bajo clave en un orden prescrito que permite efectuar una primera clasificación. Esta clasificación se puede comprobar y retocar examinando de nuevo las muestras (ISO 6658:2005) (ISO-INEN, 2014)

Cuestionario

En la Tabla 10 se presenta un modelo de cuestionario para esta prueba.

Tabla 10. Cuestionario utilizado en la prueba de ordenamiento

PRUEBA DE ORDENAMIENTO				
Nombre:	_____ Fecha: _____			
Producto:	_____			
Instrucciones:				
4. Pruebe las muestras de izquierda a derecha.				
5. Ordénelas según su incremento en intensidad de dulzura, considerando que 1=mínimo y 4=máxima dulzura.				
6. Cada una debe tener un orden diferente de las otras, no debe darse a dos muestras el mismo orden.				
Muestras:	647	212	471	336
Orden:	_____	_____	_____	_____
Comentarios: _____				

Análisis estadístico:

Se recomienda usar métodos estadísticos no paramétricos como el análisis de ordenamiento por rangos. Se puede usar la prueba de Friedman y la prueba de Page.

2.2.1.2. Análisis descriptivos

Objetivo

Estas pruebas se utilizan para caracterizar cualitativa y cuantitativamente uno o más atributos sensoriales, y pueden realizarse con una o más muestras. (ISO 6658:2005) (ISO-INEN, 2014)

Procedimiento

El principio básico que aplica en cada uno de estos métodos son: 1) verbalizar las percepciones y 2) Definir el vocabulario usado para describir las percepciones. (Van Oirschot et al, 2002).

El procedimiento es también denominado perfiles y permiten hacer una especie de carnet de identidad muy preciso del producto, por medio de descriptores. El ser humano se convierte en un instrumento de medida precisa y fiel. Se le pide que utilice palabras definidas (descriptores) para describir el producto y medir las intensidades correspondientes. Los individuos son escogidos por sus aptitudes sensoriales, por su capacidad de describir y memorizar, así como por su motivación.

En un primer momento se deben generar descriptores unidimensionales, pertinentes, independientes y diferenciados, gracias a técnicas cualitativas y cuantitativas. Con tal fin, se presentan a los degustadores muestras similares para que evalúen y generen una lista de descriptores del producto, para luego crear una lista de descriptores consenso de atributos. Posteriormente reciben una información intensiva con vistas a memorizar estos descriptores y los significados para después cuantificarlos en escalas, justificando cantidades de un instrumento de medida: fidelidad, justicia y sensibilidad. Tras 20 a 40 sesiones de hora

a hora y media, según el producto, y si los resultados son satisfactorios, los individuos serán considerados «expertos» y podrán realizar perfiles. Estos expertos son solicitados regular y frecuentemente para que no olviden los conocimientos adquiridos.

Para desarrollar las pruebas descriptivas se tiene que conocer primero la forma de obtener los datos de las pruebas sensoriales y esta se realiza clasificando las intensidades de los atributos de los alimentos utilizando escalas.

A continuación se presenta el desarrollo de las diferentes pruebas sensoriales después que se han desarrollado los descriptores (a excepción de la prueba de perfil de libre elección, en la cual la generación de descriptores se realiza diferente). En este aparte se hará mención del análisis estadístico que apropia a las pruebas descriptivas.

Análisis estadístico (ISO 6658:2005) (ISO-INEN, 2014)

Para analizar la generación de descriptores y el desarrollo del perfil de un solo producto básicamente hay dos formas de manejar los datos:

En una el responsable del grupo inmediatamente después de que los jueces han terminado su análisis, tabulan los resultados e inician una discusión para resolver las diferencias si las hubiere. De acuerdo con los resultados de esta discusión y si es necesario, después de reexaminar las muestras el grupo llega a una decisión conjunta sobre el perfil del producto.

En la otra puede haber o no una breve discusión y el perfil se obtiene a partir de los valores medios de las puntuaciones asignadas por cada uno de los jueces. No hay ningún método sencillo para

analizar estadísticamente los resultados, pero se han utilizado técnicas de análisis multivariado para explorar la significación de las diferencias entre productos y jueces.

Para analizar las pruebas que se basan en el empleo de escalas y categorías, la elección del método estadístico para el tratamiento de las respuestas de cualquiera de las pruebas descriptivas (a excepción del perfil de libre elección) depende de lo que se pretenda y de si son una o más las muestras juzgadas.

Cuando se usan pruebas de clasificación los resultados obtenidos para un producto se pueden reagrupar como frecuencias para cada categoría. En este caso se aplica la prueba χ^2 , para comparar las distribuciones de dos o más tipos de productos dentro de las distintas categorías, es decir, para probar la hipótesis nula de que las distribuciones son las mismas, en comparación con la hipótesis alternativa, de que son distintas. Se pueden utilizar también otras formas de la prueba χ^2 para probar la hipótesis nula de que las distribuciones son iguales para dos métodos de clasificación de una misma muestra. Si las pruebas de clasificación se realizan con ayuda de escala, hay varias posibilidades para el tratamiento de los resultados:

Cuando se establecen las proporciones sobre una escala discreta con un número pequeño de puntos los resultados que se obtienen para una muestra, se pueden tratar como en la prueba de clasificación. Cuando se dispone de gran número de puntos, ya sean datos continuos o discretos, se pueden agrupar y basarse en las frecuencias resultantes en cada intervalo. Si se trata de más de una muestra se debe recurrir a la estadística no paramétrica para comparar las distribuciones que se obtienen.

Si los resultados para una se obtienen por medio de puntuaciones

que cumplen con los supuestos de la estadística paramétrica y se pueden agrupar y expresar a través de la mediana o de un promedio haciendo referencia a la dispersión.

Cuando se trata de dos muestras, y se puede considerar con seguridad razonable que los resultados de ambas se distribuyen normalmente, se puede aplicar la prueba t de Student. Cuando se obtienen puntuaciones de más de dos muestras, y se cumplen los supuestos, el procedimiento que se aplica es el análisis de la varianza.

Se aplican estadísticos no paramétricos para los datos obtenidos, ya sea en categorías o puntuaciones, siempre que sean son respuestas de conductas de los jueces al probar un alimento. Estos datos no tienen la escala de medida apropiada y los análisis paramétricos que se han venido aplicando, son erróneos.

A continuación se presenta las pruebas de análisis sensorial descriptivas que utilizan escalas categóricas, su análisis estadístico es para todos el mismo y se establece en la prueba de perfil del sabor.

a) Prueba de perfil del sabor

Objetivo

Esta prueba permite detectar pequeños cambios en el sabor del producto que está siendo evaluado. Se aplica entonces para desarrollar y mejorar sabores en los productos alimenticios para hacerlos más agradables y también se emplea esta prueba para detectar olores desagradables (Hernandez, 2005).

En esta prueba el evaluador responde a las distintas propiedades sensoriales de un producto mediante la evaluación de la intensidad

Evaluación sensorial y metodologías para su análisis

de cada una de estas, según una escala que puede traducirse a valores numéricos y ser procesada estadísticamente. (FRRO-UTN, 2013)

El análisis del sabor incluye varias dimensiones:

1. Aroma perceptible, gusto y atributos táctiles.
2. Grado de intensidad de cada factor, calificado según la siguiente escala:

0	= no presente
)(	= umbral o inicio de identificación
1 o +	= ligero
2 o ++	= moderado
3 o +++	= intenso

3. Orden de aparición de estos factores.
4. Sabor residual.
5. “Amplitud” o impresión global del sabor, calificado de acuerdo con la siguiente escala:

)(	= muy bajo
1	= bajo
2	= medio
3	= alto

Procedimiento

Para el desarrollo del panel se requiere de ocho a diez panelistas con experiencia, y se pueden realizar por una o dos sesiones de catación, la primera sesión se realiza individual y la segunda en grupo para discutir y dar un concepto general resumido. Si por algún motivo

los resultados no coinciden se debe realizar otra sesión hasta obtener resultados representativos para ser tabulados. Para este tipo de prueba se debe tener una muestra estándar, con el fin de mirar si existe mucha, poca o ninguna diferencia. (Hernandez, 2005)

Cuestionario

El grupo de jueces diseñará la hoja de respuestas en sesión abierta, la cual será coordinada por uno de sus miembros. La hoja debe incluir los siguientes aspectos:

1. Lista de términos descriptivos.
2. Intensidad de cada descriptor.
3. “Amplitud”.

En la Tabla 11 se presenta un modelo de cuestionario para esta prueba.

Tabla 11. Cuestionario utilizado en la prueba de perfil de sabor

PRUEBA DE PERFIL DE SABOR	
Nombre: _____	
Fecha: _____	
Producto: _____	
Instrucciones: Pruebe la siguiente bebida	
Aroma:	<i>Amplitud: Valor de)(a 3</i>
	<i>Intensidad</i>
Lúpulo	_____
Frutal (manzana)	_____
Ácido	_____
Levadura	_____
Malta	_____
Ácido fenilacético (miel)	_____
Comentarios: _____	

Análisis estadístico

Para analizar los datos el coordinador del grupo hace acopio de los resultados y los registra como una opinión grupal. Ésta puede traducirse a una forma gráfica como la que se ejemplifica en la Figura 2 para un producto lácteo. En este gráfico, según su orden de aparición, se colocan simétricamente separados los términos descriptores; la extensión de cada línea corresponde al descriptor y es acorde con la intensidad informada por el consenso grupal. Sobre esta gráfica se puede representar más de una muestra, si las líneas descriptoras se marcan de diferente manera para identificar cada muestra.

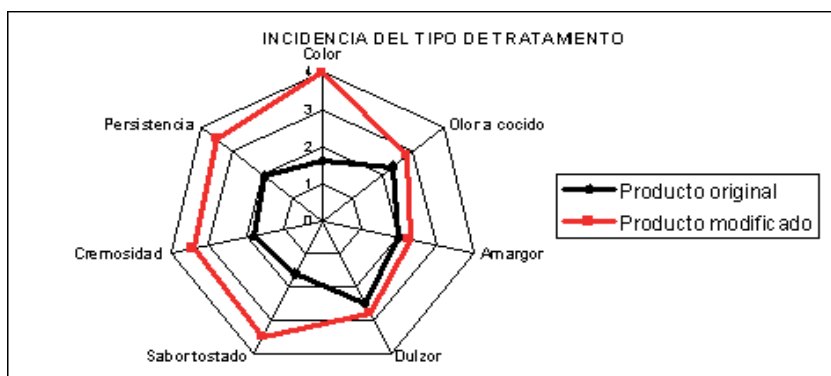


Figura2: Ejemplo de un producto lácteo sobre la incidencia del tipo de tratamiento en un gráfico tela de araña.

Fuente: Aula de productos Lácteos, Galicia-España. (2005)

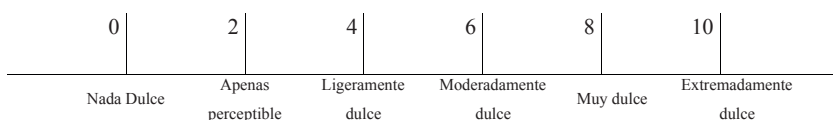
b) Método de clasificación con la ayuda de una escala

Objetivo

Es un método de clasificación en categorías previamente definidas que pertenecen a una escala ordinal. (ISO 4121:2003) (ISO-INEN, 2014). Consiste en calificar, de acuerdo con un escala predeterminada,

la percepción de la intensidad (con jueces entrenados), de la calidad (con jueces entrenados) o del nivel de agrado (con consumidores), de una característica sensorial específica. La escala de intervalos permite comprender la cantidad o la intensidad de la diferencia entre varias muestras, este cambio de intensidad debe ser para una sola característica o calidad. Véase los siguientes ejemplos (FRRO-UTN, 2013)

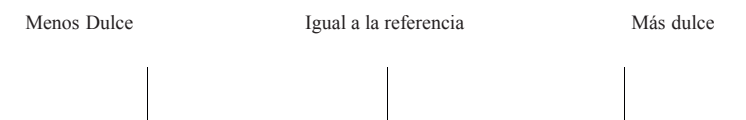
Escala estructurada: está dada en una línea continua donde se define cada punto que comprende los cambios en los que puede esperarse se presente la variación de la característica sensorial; por ejemplo:



Escala no estructurada: en una línea continua donde sólo se definen los extremos de la base y da plena libertad al juez para indicar dónde radica su juicio; por ejemplo:



En el uso de escalas de intervalos se recomiendan utilizar, (cuando sea posible o cuando lo demande el objetivo del estudio), patrones o muestras de referencia, las que pueden señalar directamente o indicarse sobre la línea continua, permitiendo de esta manera que se tenga en la escala referida una muestra física y no una idea o apreciación subjetiva; por ejemplo:



La construcción de las escalas debe comprender un número suficiente de intervalos para cubrir:

- El rango de diferencias entre las muestras evaluadas,
- La sensibilidad de los jueces, reflejándose en el número de cambios o concentraciones que puedan diferenciarse, y añadiendo a esta escala 2 o 4 puntos en sus extremos, para evitar caer en los errores de tendencia central o en algún caso, eliminarlos para no tener errores de contraste.
- El número de muestras que se va a calificar depende de la naturaleza del estímulo, de la sensibilidad del órgano sensor y de la experiencia del juez. Es necesario adecuar la escala de intervalos al rango del estímulo, para que el juez no sienta que le falta o sobra espacio en dicha escala, sino que las variaciones en las muestras se pueden ubicar razonablemente dentro de la escala. Para aumentar la sensibilidad del método se recomienda el uso de referencias, ya sea de los extremos y/o en el punto medio, para ubicar al juez dentro de la escala. A continuación se presentan dos ejemplos:

Procedimiento

La clasificación que se va a utilizar debe ser claramente definida y comprendida por los jueces. La escala puede ser gráfica, descriptiva o una combinación de ambas. Cada juez examina las muestras y las sitúa en un punto de la escala.

Cuestionario

En las Tablas 12 y 13 se presentan modelos de cuestionarios para estas pruebas.

Tabla 12. Cuestionario utilizado en la prueba de escala estructurada

PRUEBA DE ESCALA ESTRUCTURADA										
Nombre: _____					Fecha: _____					
Producto: _____										
Instrucciones:										
1. Pruebe las muestras de izquierda a derecha.										
2. Indique la intensidad en sabor amargo, de acuerdo con el número en la escala siguiente.										
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nada amargo	Ligeramente amargo		Poco amargo		Amargo		Muy amargo		Extremadamente amargo	
Muestras:			856		146		432		701	
Orden:			—		—		—		—	
Comentarios: _____										

Tabla 13. Cuestionario utilizado en la prueba de escala no estructurada

PRUEBA DE ESCALA NO ESTRUCTURADA	
Nombre: _____ Fecha: _____	
Producto: _____	
Instrucciones:	
1. Pruebe las muestras en el orden presentado.	
2. Indique con una cruz sobre la línea de las escalas, la intensidad del sabor amargo percibido.	
3. No se trague la muestra.	
Muestra	
419	
Nada amargo	Extremadamente amargo
306	
Nada amargo	Extremadamente amargo
Comentarios: _____	

c) Análisis de espectro

Objetivo

Es un método descriptivo que usa una escala universal de puntos del 0 al 15, donde 0=nada y 15=extremadamente intenso en la evaluación sensorial. Los extremos de la escala universal y los diferentes puntos de la misma están fijos, así que existe igual distancia entre los puntos de la escala de atributos (lenguaje anclado en cualidad e intensidad). Los atributos específicos de un producto son identificados por alguna de estas dos formas: a través del desarrollo de sesiones de selección de descriptores o usando un léxico estándar. A los jueces catadores se les debe fomentar continuamente con la oportunidad de identificar atributos que se detectan en los productos, pero no se mencionan en la lista de propiedades.

En ensayos de laboratorio transversal, un panel puede adoptar un lenguaje desarrollado por otro. En general, los panelistas se entrenan con los principios técnicos de cada modalidad que se describen (por ejemplo, aspecto, olor, gusto y sabor) y se espera que tengan un conocimiento básico de la fisiología y la psicología de la percepción sensorial. (Rodríguez, 2013)

Procedimiento

La clasificación que se va a utilizar debe ser claramente definida y comprendida por los jueces. La escala puede ser gráfica, descriptiva o una combinación de ambas. Cada juez examina las muestras y las sitúa en un punto de la escala.

d) Prueba de tiempo-intensidad

Objetivo

Su objetivo es medir en una escala predeterminada el cambio de intensidad de la percepción de un estímulo desde el momento en que entra en contacto con el sensor (boca) hasta que termina la sensación.

Esta prueba permite analizar el efecto que causa un solo estímulo o una serie de estímulos o secuenciales. En este tipo de prueba es importante considerar los efectos de adaptación y de enjuague bucal a fin de procurar mantener la objetividad del análisis. En este mismo renglón hay factores por valorar como la concentración del estímulo, tiempo de residencia del estímulo en el sensor, número y calidad de muestras, así como el tiempo transcurrido entre la toma de la muestra y su asimilación o expectoración. Si estas medidas no se controlan pueden modificar la autenticidad y reproducibilidad de los resultados. De esta manera, se mide:

- a) El tiempo requerido para alcanzar la máxima intensidad percibida (velocidad de percepción).
- b) Los cambios en la intensidad al tragar la muestra (o desecharla, según las instrucciones).
- c) La duración del resabio.
- d) La duración total del estímulo.

Procedimiento

Se recomienda utilizar un graficador (programa de Windows), con el cual los jueces pueden registrar sus percepciones por medio del “Mouse”. Al juez se le instruirá en cómo coordinarse para:

- a) Encender el graficador,
- b) Tomar la muestra y
- c) Comenzar a graficar.

Para las estimaciones de intensidad-tiempo se suelen utilizar instrumentos que eviten a juez la evaluación fatigosa. El más conocido es el S.M.U.R.F “Sensory Measurement Unit of Recording Flux”, (Unidad Medidora y Registradora de Flujo Sensorial). Consiste en un controlador de un registrador mediante un potenciómetro que acciona el juez en función de la intensidad del atributo en el momento de la evaluación y en los minutos posteriores. En la actualidad hay sistemas informáticos para realizarlo. (Reglero, 2011)

e) Perfil de libre elección

Objetivo

Permite disminuir y hasta eliminar las sesiones de entrenamiento. En el perfil de libre elección cada individuo puede usar su propio vocabulario para describir sensorialmente un producto en las cantidades que desee, siendo las exigencias para los jueces que sean objetivos, capaces de usar escalas de intensidad y desarrollar una lista de atributos y vocabulario consistente. Esta técnica es apropiada cuando los jueces ya han tenido un entrenamiento previo en análisis sensorial, logra un alto grado de flexibilidad porque permite a cada evaluador comenzar el proceso de cuantificación empleando cualquier valor numérico. (FRRO-UTN, 2013)

Cuestionario

En la Tabla 14 se presenta un modelo de cuestionario correspondiente a esta prueba.

Tabla 14. Cuestionario utilizado en la prueba de perfil de libre elección

PRUEBA DE PERFIL DE LIBRE ELECCIÓN	
Nombre: _____	Fecha: _____
Producto: _____	
Instrucciones: Pruebe la muestra y realice su validación colocando un trazo vertical en la línea horizontal en el punto que mejor exprese su intensidad percibida para cada atributo.	
APARIENCIA	
Color:	
Verde	Blanco
Homogeneidad de la masa:	
Baja	Alta
AROMA	
Ácido:	
débil	fuerte

Procedimiento

La técnica del perfil de libre elección en su inicio representa un procedimiento similar a los perfiles convencionales. Las muestras son presentadas al equipo de jueces para que desarrollen su propia lista de descriptores y posteriormente sus definiciones. Muchas veces suele ocurrir que algunos términos sean idénticos para diferentes degustadores, sin embargo, pueden tener significados completamente diferentes. Las definiciones de los atributos deben estar claras para el juez y para el responsable del análisis, ya que esta información es importante para la interpretación de los resultados, porque los degustadores pueden evaluar la misma característica, utilizando diferentes términos (o viceversa, como ya se mencionó). Para elaborar el diseño de los cuestionarios se discute individualmente con cada juez sensorial la lista de atributos sensoriales. Con esta lista de términos son elaborados los cuestionarios individuales, con una escala de intensidades para cada término, así como su lista de definiciones.

Para este tipo de evaluación sensorial se ha usado el análisis estadístico multivariado. Sin embargo, los resultados de análisis sensoriales no cumplen los supuestos paramétricos en la mayoría de los casos.

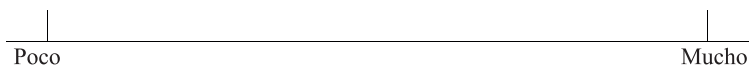
f) Prueba de Análisis descriptivo cuantitativo

Objetivo

Su objetivo es identificar y cuantificar las características sensoriales de un producto. La información generada sirve para construir un modelo multidimensional cuantitativo que perfila los parámetros que definen o describen a uno o varios productos. Esta prueba tiene mucha similitud con la prueba de perfil de sabor, sólo que varía en las siguientes particularidades:

- a) El grupo de jueces genera y acuerda en sesión abierta una serie de términos que definen el producto en estudio, y en sesión privada califica o asigna un valor.
- b) Para calificar cada característica a estudiar los jueces utilizan una escala de intensidad no estructurada para cada descriptor.

AMARGO



Procedimiento

En las primeras sesiones se genera la terminología descriptiva del producto. Es importante que en el momento del análisis sensorial definitivo esté presente el material de referencia que ejemplifica al

descriptor generado por el juez. Por ejemplo, si se acuerda que los descriptores para chocolates son “amargo”, “cremoso”, “tostado”, “dulce” y “graso”, deberán presentarse materiales diversos que tipifiquen dichas notas; o sea, para “amargo” se podría escoger cocoa en solución, para “cremoso” crema de leche, para “tostado” una solución de ciclotene, para “dulce” el jarabe de azúcar y para “graso” podría usarse manteca de cacao.

La marca en la escala no estructurada se traduce a calificaciones numéricas midiendo (en centímetros) la distancia que hay entre el extremo izquierdo y la marca indicada por el juez.

Cuestionario

En la Tabla 15 se presenta un modelo correspondiente a esta prueba.

Tabla 15. Cuestionario utilizado en la prueba de análisis descriptivo cuantitativo

PRUEBA DE ANÁLISIS DESCRIPTIVO CUANTITATIVO	
Nombre: _____ Fecha: _____	
Producto: _____	
Instrucciones: Marcar con una línea vertical sobre la línea horizontal, el punto que mejor describa el atributo de la muestra.	
Sabor inicial total:	
Débil	Fuerte
Impacto de dulzura:	
débil	Fuerte
Tostado:	
ligero	quemado
Salado:	
débil	fuerte

2.2.2 Pruebas no objetivas

Se entiende por prueba no objetiva o afectiva aquella en la que el juez catador expresa su reacción subjetiva ante el producto, indicando si le gusta o le disgusta, si lo acepta o lo rechaza, si lo prefiere a otro o no. Son pruebas difíciles de interpretar ya que se trata de apreciaciones completamente personales, con la variabilidad que ello supone.

a) Prueba de aceptación.

Objetivo

Tienen como objetivo conocer de acuerdo a un criterio sensorial si la muestra que se presenta es aceptada o no por los consumidores. Estas pruebas no requieren de jueces analíticos, por el contrario se emplean grupos representativos de los consumidores potenciales o habituales del producto, quienes no tienen que conocer el porqué del estudio que se realiza, sino entender el procedimiento de la prueba y responder a ella. (Espinosa, 2007)

Procedimiento

La muestra se presentará en la forma en que la evaluaría un consumidor normal. La prueba requiere de por lo menos una muestra para evaluar; en el caso de que sean varias, cada una debe considerarse por separado o independiente de la siguiente.

Cuestionario

En la Tabla 16 se presenta un modelo correspondiente a esta prueba y se puede modificar agregando preguntas que pueden ser útiles al objetivo del análisis sensorial. Algunos ejemplos de las preguntas que

puede agregar son: ¿Le gusta esta muestra de caramelo?, ¿Compraría o no este producto?, ¿Daría usted este puré de manzana a su niño(a)?

Tabla 16. Cuestionario utilizado en la prueba de aceptación

PRUEBA DE ACEPTACIÓN				
Nombre: _____		Fecha: _____		
Producto: _____				
Instrucciones: Indique con una "x" su aceptación al probar cada muestra de chocolate presentada.				
	Muestra	Acepta:	Si	NO
	825		___	___
	341		___	___
Comentarios: _____				

Análisis estadístico

Para el análisis de los datos se registra el número de personas que aceptaron la muestra, contra el número de rechazos. Otra forma consiste en expresar estos números en porcentaje de aceptación que tuvo el producto. Para determinar si la aceptación es significativa, consulte la tabla estadística binomial $p=1/2$, de dos colas, de acuerdo con el número de ensayos efectuados; si el número de la tabla es menor que el de la prueba, se deduce que la muestra se acepta de manera significativa por dicha población.

b) Prueba de preferencia

Objetivo

Su objetivo es definir el grado de aceptación y preferencia de un producto determinado por parte del consumidor. Para estas pruebas se requiere de un grupo bastante numeroso de panelistas los cuales no necesariamente tienen que ser entrenados. (Hernandez, 2005)

Procedimiento

Se maneja por lo menos un par de muestras, o una serie de muestras que serán objeto de un arreglo por el juez-afectivo según su preferencia. De acuerdo con el objetivo de la evaluación sensorial, las muestras no necesariamente deben ser homogéneas; una prueba afectiva permite que se comparen peras con manzanas, gatos con perros, entre otros. El mínimo de muestras que deben evaluarse por sesión se determina por la naturaleza del estímulo, el tipo de consumidor e incluso la ambientación en la que se desarrolle la prueba.

Cuestionario

En la Tabla 17 se presenta un modelo de cuestionario para esta prueba. Esta hoja, se puede modificar agregando preguntas que pueden ser útiles al objetivo del análisis sensorial. Algunos ejemplos de las instrucciones que puede agregar son: a) Ordene, de izquierda a derecha, las tres muestras que se le presentan, desde la que más prefiera hasta la que menos prefiera, b) Indique en que secuencia numerada (del 1 al 4) el orden de mayor a menor preferencia, c) De estas dos muestras, ¿cuál prefiere?.

Tabla 17. Cuestionario utilizado en la prueba de preferencia

PRUEBA DE PREFERENCIA				
Nombre:	Fecha:			
Producto:				
Instrucciones:				
7. Pruebe las muestras de izquierda a derecha.				
8. Ordénelas según su preferencia en dulzura, considerando que 1=mínimo y 4=máxima.				
9. Cada una debe tener un orden diferente de las otras, no debe darse a dos muestras el mismo orden.				
Muestras:	721	558	294	826
Orden:				
Indique, brevemente, que cualidades lo hacen escoger es muestra:				

Análisis estadístico

Se recomienda usar métodos estadísticos no paramétricos como el análisis de ordenamiento por rangos, como por ejemplo la prueba de Friedman.

c) Prueba de nivel de agrado

Objetivo

Consiste en localizar el nivel de agrado o de desagrado que provoca una muestra específica. No se refiere a calidad ni a intensidad. (CINDOC, 2005). Los estudios de naturaleza hedónica son esenciales para saber en qué medida un producto puede resultar agradable al consumidor.

Actualmente se utiliza una escala estructurada (también llamada hedónica). La escala puede ampliarse a cinco, siete o nueve puntos, añadiendo diversos grados de gusto o disgusto. No es conveniente utilizar escalas hedónicas verbales de más de 9 puntos porque resulta bastante difícil diferenciar entre conceptos como “me gusta algo” y “me gusta un poco”.

Procedimiento

Se presenta una o más muestras, según la naturaleza del estímulo, para ubicar cada una por separado en la escala hedónica. Es recomendable que estas muestras se presenten al consumidor en la forma como las confrontaría habitualmente, procurando evitarle la sensación de que se encuentra en una circunstancia de laboratorio o bajo análisis.

Cuestionario

En la Tabla 18 se presenta un ejemplo de formulario con escala hedónica de 9 puntos. También pueden utilizar escalas de intervalo no estructuradas como se muestra en la Tabla 19.

Tabla 18. Cuestionario utilizado en la prueba de escala hedónica estructurada para nivel de agrado

Nombre: _____ Fecha: _____

Muestra N°: _____

Instrucciones: Pruebe y señale el cuadro que corresponde a su percepción

Me desagrada muchísimo

☐

Me desagrada mucho

☐

Me desagrada bastante

☐

Me desagrada un poco

☐

No me agrada ni me desagrada

☐

Me gusta un poco

☐

Me gusta bastante

☐

Me gusta mucho

☐

Me gusta muchísimo

☐

Muchas gracias por su colaboración.

Tabla 19. Cuestionario utilizado en la prueba de escala hedónica no estructurada para nivel de agrado

Nombre: _____ Fecha: _____

Muestra N°: _____

Instrucciones: Pruebe el producto que se presenta ante usted e indique el carácter agradable o desagradable en la escala

Muy desagradable

Muy agradable

Muchas gracias por su colaboración.

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos para un producto se pueden reagrupar como frecuencias para cada categoría. En este caso, se aplica la prueba χ^2 , para comparar las distribuciones de dos o más tipos de productos dentro de las distintas categorías, es decir, para probar la hipótesis nula de que las distribuciones son las mismas, en comparación con la hipótesis alternativa, de que son distintas. Se pueden utilizar también otras formas de la prueba χ^2 para probar la hipótesis nula de que las distribuciones son iguales para dos métodos de clasificación de una misma muestra. Si se trata de más de una muestra, se debe recurrir a la estadística no paramétrica para comparar las distribuciones que se obtienen.

2.3.- Tipos de jueces sensoriales

Se pueden clasificar de acuerdo a su experticia en expertos, entrenados, semientrenados y afectivos, o también en jueces afectivos y analíticos; en donde los analíticos contemplan las tres primeras categorías mencionadas anteriormente.

Juez experto o catador: Son altamente entrenados y especialistas en determinados productos como por ejemplo café, vino, cerveza, entre otros. La apreciación que emiten estos jueces son consideradas definitivas y ciertas. Su habilidad, experiencia y criterio son tales que en las pruebas que efectúan sólo es necesario contar con su respuesta.

Juez entrenado: Son entrenados para realizar análisis descriptivos o pruebas discriminativas complejas. Poseen habilidad para la detección de alguna propiedad sensorial, sabor o textura porque recibe información práctica y teórica para la evaluación sensorial. Los tipos de pruebas que usan este análisis son el perfil de sabor, análisis descriptivo cuantitativo,

perfil de textura, entre los más importantes.

Juez semientrenado o de laboratorio: Se trata de personas que han recibido un entrenamiento teórico similar al de los jueces entrenados, que realizan pruebas sensoriales con frecuencia y poseen suficiente habilidad, pero generalmente solo participan en pruebas discriminativas sencillas, es decir, diferenciar entre muestras y no a medir propiedades o usar escalas.

Juez de análisis afectivo: Para este tipo de pruebas el consumidor habitual o potencial es el más idóneo para esta actividad, ya que este solo debe decir el nivel de aceptación o agrado que siente respecto a un producto o varios al evaluarlos. Estos jueces no requieren ningún tipo de entrenamiento en particular, aunque puede ser conveniente que estas personas conozcan cierta metodología sobre la evaluación sensorial. Es conveniente mencionar que el sector de la población escogido para la prueba debe ser lo más representativo posible de los consumidores del producto. Las pruebas que se realizan a través de este análisis son los estudios de aceptabilidad de un producto por el consumidor (estudio de mercado). A continuación se explica brevemente los tipos de jueces.

2.3.1.- Juez afectivo o consumidor

El Juez afectivo es el individuo que no tiene que ser seleccionado ni adiestrado, son consumidores escogidos al azar y son representativos de la población a la cual se estima está dirigido el producto que se evalúa. (Espinosa, 2007)

Los jueces comunicarán al investigador su punto de vista con respecto a:

Evaluación sensorial y metodologías para su análisis

- a) Su aceptación o rechazo de una o varias muestras.
- b) El orden de su preferencia al confrontar varias muestras.
- c) El nivel de agrado de las muestras que se le presentan.

Debido a que las respuestas son subjetivas, es de esperarse que la variación entre los consumidores sea muy amplia. Por ello, este tipo de prueba demanda un gran número de participantes, para que dicha variación se haga constante y aparezcan las diferencias más importantes del producto sujeto a estudio. Mientras más variación haya en la respuesta del grupo, más individuos se necesitan. A continuación se presenta una breve descripción de los posibles lugares donde se pueden realizar las pruebas con consumidores. (CINDOC, 2005)

Las pruebas en el laboratorio: se usan muy frecuentemente debido a su bajo costo y a la rápida obtención de resultados. Los jueces suelen ser empleados de la empresa o vecinos de la localidad en un número comprendido entre 25 y 50 personas. Dado el escaso número de personal, la representatividad de los encuestados suele ser muy pobre y resulta difícil cubrir todos los factores de edad, culturales, económicos y geográficos de la población de potenciales consumidores. En el caso de los empleados de la empresa es más complicado aún, porque participan

Tabla 20. Ventajas y desventajas de pruebas sensoriales afectivas realizadas en el laboratorio

Ventajas	Desventajas
°Control completo sobre la preparación y la presentación de las muestras.	° Situación de consumo anormal.
°Vigilancia de aspectos externos que puedan influir o modificar la valoración.	°Se toleran mucho más algunos defectos del producto que en condiciones normales.
°Mayor concentración de los individuos y por tanto mayor capacidad discriminante de la prueba.	°El consumidor se ve afectado psicológicamente por diversos aspectos que puedan condicionar la respuesta. (Obviamente resulta difícil comentar los inconvenientes de un producto de cuyo lanzamiento puede depender la continuidad de los trabajadores en la empresa)
°Posibilidad de utilizar cuestionarios largos y complejos.	
°100% de cuestionarios recuperados.	

de forma directa en la elaboración del producto y tienen conocimientos técnicos sobre el mismo. Se destacan en la Tabla 20 las principales ventajas e inconvenientes.

Local público: Se realiza en lugares a las que acude un gran número de personas, centros comerciales, mercados, cafeterías, escuelas o universidades. El número de jueces utilizados oscila entre 50 y 300 y es recomendable no probar más de seis alimentos. Cuanto menor sea el número de productos a catar menor es la duración de la prueba, lo que resulta determinante para mantener la atención del consumidor, mucho más preocupado, en general, por lo que ocurre a su alrededor. Sus ventajas y desventajas se aprecian en la Tabla 21.

Tabla 21. Ventajas y desventajas de pruebas sensoriales afectivas realizadas en un local público

Ventajas	Desventajas
° Control de las condiciones del ensayo.	° Condiciones artificiales de evaluación del producto.
° Productos valorados por los verdaderos consumidores.	° Sobrevaloración de las muestras.
° Un alto número de los cuestionarios se recupera.	° Alta distracción y baja concentración de los participantes.
° Posibilidad de aclarar dudas y preguntas in situ.	° Algún catador no termina la prueba por cansancio o aburrimiento.

Hogar del consumidor: Suele ser la última y definitiva prueba de consumidores. Responde a cuestiones muy concretas: la forma de preparar el producto en casa, las reacciones de cada uno de los miembros de la familia o los horarios de consumo. La prueba debe ensayarse en un número de hogares comprendido entre 100 y 300; suelen seleccionarse los hogares de los trabajadores de la empresa o del centro investigador, familias de la localidad o simplemente personas que acuden a realizar sus compras a un centro comercial. El estudio se suele limitar a uno o dos productos que permanecen en los hogares durante un período de una semana aproximadamente. Como los encuestados

no tienen a su disposición a nadie responsable del estudio en su hogar, las muestras deben ir acompañadas de las instrucciones necesarias para su manipulación, conservación y consumo; el manual debe ser lo más sencillo posible si no queremos introducir una importante fuente de error.

Muchas veces el fracaso de un alimento en el mercado no está directamente relacionado con su calidad, existen otros aspectos como el envasado, el precio, la facilidad de preparación, o el tiempo de caducidad que condicionan al consumidor. Las pruebas en el hogar son una excelente fuente de información adicional sobre estas cuestiones. Sus ventajas y desventajas se aprecian en la Tabla 22.

Tabla 22. Ventajas y desventajas de pruebas sensoriales afectivas realizadas en el hogar

Ventajas	Desventajas
◦ Condiciones normales de empleo del alimento y/o bebida.	◦ Es muy largo en el tiempo.
◦ La información obtenida suele ser extrapolable a las condiciones de mercado.	◦ El porcentaje de cuestionarios válidos para el estudio es bajo.
	◦ Escaso control de las condiciones de consumo, lo que supone una gran variabilidad en los resultados.
	◦ Se estudian pocos productos. Un número elevado minimizaría las posibilidades de éxito.
	◦ El cuestionario debe ser muy corto y sencillo.

2.3.2.- Juez analítico.

El análisis sensorial abarca a un conjunto de técnicas que aplicadas de una manera científica permiten obtener unos resultados fiables sobre las respuestas que dan nuestros sentidos a los alimentos. Para ello se acude a la experiencia de catadores o jueces entrenados, quienes trabajan como si se tratara de instrumentos, al ser capaces de establecer diferencias objetivamente. Por definición, un juez experto es una persona con gran experiencia, entrenamiento y sensibilidad. Conoce

bien el producto concreto para el cual está especializado y la metodología de las pruebas. Suele utilizarse para control de calidad y de procesos. (Reglero, 2011). Para la selección de los jueces, se tiene en cuenta algunas características que son fundamentales como: la habilidad, la disponibilidad, el interés y el desempeño (Hernandez, 2005).

2.4- Selección de jueces sensoriales analíticos

A continuación se presenta un diagrama de flujo (Figura 3), donde se indican los elementos fundamentales para la selección de jueces sensoriales analíticos. Para la formación de un panel de evaluación sensorial se deben considerar las etapas: reclutamiento, selección y entrenamiento de jueces. (Flores, 2015)

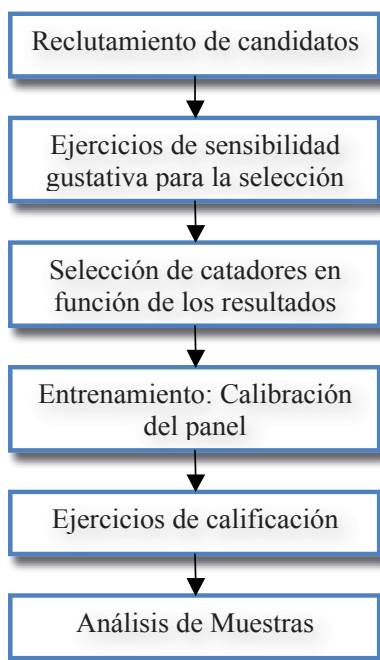


Figura 3: Selección y entrenamiento de un panel de catadores

2.4.1.- Reclutamiento

Para la etapa de preselección se debe determinar la población de candidatos a jueces (por ejemplo, los empleados de la empresa, trabajadores de la planta, alumnos de la universidad, la población diabética de un hospital, entre otros). Se comienza con tres veces más del número de personas que van a integrar el panel.

La ventaja de usar jueces de la misma empresa es que no necesariamente necesita premiarlos con dinero para participar en el panel, sino que ésta responsabilidad pasaría a formar parte de sus obligaciones, además de que la empresa tiene facilidad para realizar las evaluaciones sensoriales porque los jueces no tienen que viajar de otras partes. La desventaja de usar jueces de la misma empresa es que no son totalmente imparciales sobre la evaluación sensorial de los productos, porque la mayoría de ellos contribuyen en su elaboración o están familiarizados con las pruebas sensoriales.

Para la empresa es más costoso cuando se usan jueces sensoriales externos, además, es difícil conseguir personas que trabajen solo unas pocas horas por día, la ventaja de usar jueces externos es que su único compromiso con la empresa es participar en el panel, es decir, no tiene otras responsabilidades con la empresa, lo que elimina la parcialidad hacia los productos.

Después de decidir la empresa el tipo de jueces que serán usados, se debe colocar un anuncio en la prensa local, en la empresa, boletines con la información necesaria de los requerimientos del trabajo, total de horas por semana, y el tipo de trabajo que se va a realizar. Se les entrega un cuestionario en el que se recogen preguntas para recoger la información general como horarios, intolerancias alimentarias. En esta

parte de preselección se descarta a los candidatos si presentan algún tipo de enfermedad incompatible con el estudio. (Aguirre, 2011)

1. Describir con detalle las obligaciones del trabajo (horas por día, roles de los jueces en la evaluación sensorial, entre otros).
2. Indagar sobre la disponibilidad de las personas, diarias, semanales, mensuales y anuales.
3. Determinar los intereses individuales, como gustos de comidas, gustos por la cocina, por participar en evaluaciones sensoriales.
4. Evaluar el estado general de salud individual, por ejemplo si sufren de alergias, problemas de sinusitis, problemas de dentadura, entre otras.
5. Comunicar la importancia del programa sensorial para la compañía o institución.

En la Tabla 23 se presenta un formato que se entrega a los candidatos a jueces para que los completen y así poder pasar a la etapa de selección.

Evaluación sensorial y metodologías para su análisis

Tabla 23. Cuestionario utilizado en la preselección de jueces sensoriales analíticos

Nombre: _____		Fecha: _____	
Sexo: _____	Edad: _____	Cargo: _____	
Telef. de la Empresa: _____		e-mail: _____	
Instrucciones: Lea con atención cada pregunta y conteste de manera detallada y completa cada una de ellas.			
1.- ¿Estaría usted dispuesto (a) a formar parte del panel permanente de evaluación sensorial? Si _____ No _____			
2.- Si su anterior respuesta es afirmativa. ¿Estaría usted dispuesto a someterse a la disciplina del panel en cuanto a las condiciones previas de cada catación, como por ejemplo evitar fumar y tomar café, cuando menos media hora antes de las pruebas? Si _____ No _____			
3.- ¿Tiene usted experiencia en paneles de catación? Mucha: _____ Poca: _____ Ninguna: _____			
4.- Indique los posibles días de la semana y el horario en el que estaría más disponible para realizar las actividades de entrenamiento.			
5.- Preferencias por los gustos básicos: Ácido: SI _____ NO: _____ Dulce: SI _____ NO: _____ Amargo: SI _____ NO: _____ Salado: SI _____ NO: _____ Fuma: SI: _____ NO: _____ ¿Cuántos cigarrillos fuma diariamente? Tiene dieta especial: SI: _____ NO: _____ ¿Cuál es? _____ Frecuencia de resfriados al año: _____ Alimentos que no consume: _____ Observaciones: _____ _____			
MUCHAS GRACIAS POR SU COLABORACIÓN			

Fuente: CIEPE, 2003.

2.4.2.- Selección

Todas las pruebas que se vayan a realizar para seleccionar, se realizarán después de una experiencia previa seguida de familiarización, y se realizarán en las condiciones reales en que se van a evaluar los productos, en un ambiente adecuado. (Aguirre, 2011)

Las personas reclutadas y que no aprueben el proceso de selección para ser un panelista discriminativo pueden conformar un panel de inexpertos que se puede usar para pruebas afectivas. Los criterios

principales de selección según (Jiménez, et al, 2013) son:

- Habilidad para percibir, identificar, medir y/o discriminar una propiedad sensorial.
- Disponibilidad ante el cronograma de pruebas sensoriales y actividades relacionadas.
- Interés por participar en el logro de los objetivos planteados en el estudio sensorial involucrado.
- Honestidad en su apreciación, demostrada con una calificación cabal.

En la selección de jueces para métodos descriptivos (CIEPE, 2003) indica que se necesita determinar la capacidad de cada candidato en tres áreas principales:

- Habilidad para detectar diferencias en los atributos a evaluar y sus intensidades.
- Habilidad para describir esas características usando descriptores verbales y escalas para evaluar las diferencias en intensidad.
- Capacidad para razonamiento abstracto, ya que el análisis descriptivo está basado en el uso de referencias mentales.

La selección de los jueces potenciales puede ser dirigida en cuatro fases:

1. Entrevista personal.
2. Pruebas de sensibilidad.
3. Análisis discriminación de las muestras.
4. Pruebas de ordenamiento.

A continuación se presentan algunos procedimientos para realizar las cuatro fases:

1) La entrevista personal con los candidatos: (Sancho et al, 2002)

El objeto de esta entrevista es conocer el interés que tiene cada candidato por participar en el programa y analizar sus posibilidades, tanto personales como de organización, para que pueda dedicar tiempo y atención a las diferentes fases del proyecto. Tras la entrevista personal se clasifica a los candidatos en tres grupos

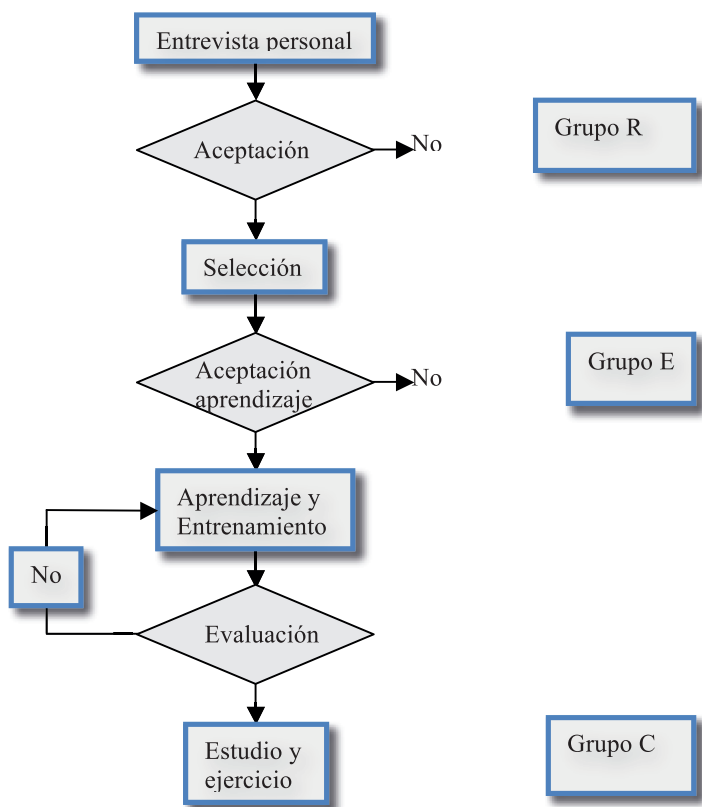


Figura 4: Fases en la formación del panel de catadores

Evaluación sensorial y metodologías para su análisis

- a) Grupo R: Candidatos descartados por no tener suficiente interés o posibilidades.
- b) Grupo E: Candidatos aptos para pruebas de rutina o especiales. En este grupo se incluye todas aquellas personas que presentan un cierto interés por los ensayos organolépticos, pero no están dispuestos o capacitados a soportar el período de aprendizaje y entrenamiento.
- c) Grupo C: Candidatos que pueden pasar a la fase de entrenamiento.

Para la selección final se creó el índice CAPI con el cual el juez es aceptado si su índice es mayor de 65%, este índice evalúa los siguientes aspectos (CIEPE, 2003):

Constancia	15%
Puntualidad	15%
Capacidad de acertar	50%
Interés	20%

2) Análisis de sensibilidad o de percepción

En esta prueba se determina la capacidad de la persona para reaccionar ante uno o varios estímulos generados por las propiedades sensoriales de la muestra. Las pruebas utilizadas son:

- a) Reconocimiento de Sabores.
- b) Prueba de Umbrales.
- c) Reconocimiento de Olores.
- d) Reconocimiento de Colores.

A continuación se dará algunos ejemplos de cómo realizar estas pruebas.

a) Reconocimiento de sabores

Se puede realizar una prueba para reconocer los gustos básicos. A continuación se presentan tres métodos distintos para hacer la prueba de los cuatro gustos básicos. (CIEPE, 2003)

1. Método de Caul para reconocer los gustos básicos

Este método se utiliza para comprobar si los evaluadores pueden diferenciar entre los cuatro gustos básicos (dulce, salado, ácido y amargo), utilizando soluciones diluidas de los mismos (Tabla 24).

Tabla 24. Concentraciones usadas en el método Caul para la prueba de los gustos básicos

Gusto	Concentraciones
Dulce	2% sacarosa
Salado	0,2% NaCl
Ácido	0,07 % Ácido Cítrico
Amargo	0,07% Cafeína

Fuente: CIEPE, 2003

Se presenta a cada juez dos juegos de cinco muestras cada uno, en que se incluyen soluciones de los cuatro gustos básicos y también agua. Se les pide identificar el gusto de cada solución que se entrega en vasos de 25 ml de la sustancia, marcados con claves. Los juegos se configuran como se establece en la Tabla 25.

La combinación de los dos juegos para cada juez se sortea en cada oportunidad. Las muestras se presentan en orden, para que cada juez deguste siempre de izquierda a derecha y de adelante hacia atrás. Se debe entregar el cuestionario (Tabla 26) para que la persona anote el resultado, y un vaso de agua, para enjuagar la boca entre las degustaciones. Entre uno y otro juego conviene hacer un par de minutos de pausa, para evitar la fatiga del juez.

Tabla 25. Configuración de las muestras de gustos básicos

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Dulce	Ácido	Salado	Amargo	Agua	Dulce	Ácido	Salado
Ácido	Salado	Amargo	Agua	Dulce	Salado	Amargo	Ácido
Salado	Amargo	Agua	Dulce	Ácido	Ácido	Agua	Amargo
Amargo	Agua	Dulce	Ácido	Salado	Agua	Dulce	Dulce
Agua	Dulce	Ácido	Salado	Amargo	Amargo	Salado	Agua

Tabla 26. Cuestionario utilizado en la prueba de reconocimiento para gustos básicos

PLANILLA DE RECONOCIMIENTO PARA GUSTOS BÁSICOS						
Nombre: _____ Fecha: _____						
Instrucciones: Prueba las muestras en orden comenzando por la N°1.						
.- Asegúrese de enjuagar su boca con agua y deje transcurrir 10 o 15 segundos antes de probar otras muestras.						
.- Marque con una “x” en la casilla correspondiente al sabor identificado.						
N°	Identificación	Ácido	Amargo	Salado	Dulce	Agua
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
Comentarios: _____						

2. Método ISO para reconocer los gustos básicos

Este es otro método que se utiliza para comprobar si los evaluadores pueden diferenciar entre los cuatro gustos básicos que se establecen en la Tabla 27.

Tabla 27. Concentraciones en el método ISO para la prueba de los gustos básicos

Gusto	Concentración
Dulce	8 gr/L sacarosa
Salado	1,5 gr/L NaCl
Ácido	0,25 gr/L Ácido Cítrico o 0,5 gr/L ácido tartárico.
Amargo	0,5 gr/L Cafeína o 0,005 gr/L Clorhidrato de quinina

Fuente: CIEPE 2003

Se entrega a cada juez 10 vasos conteniendo los sabores fundamentales y agua por duplicado, ordenados al azar. Cada persona debe probar una cantidad de alrededor de 15 ml de la solución contenida en cada vaso y anota lo que percibe en el cuestionario que se le entrega, el cual es igual al que se presentó en la prueba anterior. Se admite hasta dos errores en una identificación, es decir, se debe tener un 80% de aciertos al identificar las soluciones (CIEPE, 2003).

3. Método de Jellinek para reconocer los gustos básicos

Este método utiliza un juego de 10 soluciones en el cual hay diferentes concentraciones para un mismo gusto (Tabla 28).

Tabla 28. Concentraciones en el método Jellinek para la prueba de los gustos básicos

Concentración (gr en 100 ml de agua)
1. NaCl 0,08%
2. Ácido Cítrico 0,02%
3. Cafeína 0,02%
4. Sacarosa 0,4%
5. Agua potable
6. Ácido Cítrico 0,03%
7. Cafeína 0,03%
8. Sacarosa 0,6%
9. Ácido Cítrico 0,04%
10. NaCl 0,15%

Fuente: CIEPE, 2003

Al juez se le entregan las soluciones con las concentraciones indicadas junto con el cuestionario. Se le pide al juez que evalúe las soluciones enjuagándose con agua entre muestra y muestra. La secuencia de las muestras debe ser sorteada para cada juez y se prueban en el orden asignado.

Se debe solicitar a los jueces que se concentren en las áreas de la lengua donde los cuatro gustos básicos son fáciles de detectar. Se toman muestras de sorbos pequeños y se mueve dentro de la boca de forma que toque todas las partes de la lengua y paladar. En lo posible cada muestra se prueba una sola vez confiando en esta primera impresión (CIEPE, 2003). Se considera apto para continuar con las pruebas de selección aquel participante que acredite como mínimo un 75% de respuestas correctas.

b) Prueba de umbrales:

Al tratar de seleccionar y entrenar jueces, el paso siguiente a la prueba de reconocimiento de los cuatro gustos básicos es la determinación de los umbrales. En este caso se pueden realizar dos pruebas de un método para comprobar la reproducibilidad de los resultados (CIEPE, 2003).

1. Método Jellinek para umbrales:

Para esta prueba se disponen de cuatro soluciones madres de concentraciones 0,1 M de cloruro de sodio (salado), sacarosa (dulce), cafeína (amargo) y ácido cítrico (ácido). Estas muestras madres se diluyen progresivamente hasta tener un gradiente de concentraciones que va desde 0,002 M a 0,4096 M para el dulce y el salado y de 0,00005 Ma 0,0064 M para el amargo y el ácido.

En total se preparan doce soluciones de cada uno de los gustos (Tabla 29), los cuales se entregan al juez en orden de menor a mayor concentración junto con el cuestionario de la prueba, en el cual se anotan los resultados o sensaciones percibidas de acuerdo a una escala de intensidad dada, y el juez da su juicio respecto a cada solución, dando la descripción del gusto y de las características sensoriales de éste.

Si el juez no percibe ningún gusto, podrá anotar “agua” o “cero”. Al continuar degustando, llegará a una solución que percibe diferente del agua pero no puede identificar, esto es el umbral de estímulo y lo señalara con un signo “?”. Es importante que en este tipo de prueba no se degusta hacia atrás en la serie. El juez debe enjuagarse la boca con agua entre una u otra serie.

Tabla 29. Preparación de las disoluciones en el método Jellinek para umbrales

Salado (NaCl)	Ácido (Ácido Cítrico)	Dulce (Sacarosa)	Amargo (cafeína)
Madre:	Madre:	Madre:	Madre:
5,845 gr/lt	10,5075 gr en 500 ml	34,23 gr/lt	9,7095 gr en 500 ml
R1: 0,5 ml	S1: 0,13 ml	Q1: 0,5 ml	T1: 0,25 ml
llevar a 250 ml	llevar a 250 ml	llevar a 250 ml	llevar a 500ml
R2: 1,0	S2: 0,25 ml	Q2: 1,0 ml	T2: 0,5 ml
R3: 2,0	S3: 0,50 ml	Q3: 2,0 ml	T3: 1,0 ml
R4: 4,0	S4: 1,0 ml	Q4: 4,0 ml	T4: 1,5 ml
R5: 8,0	S5: 1,5 ml	Q5: 8,0 ml	T5: 2,0 ml
R6: 16,0	S6: 2,0 ml	Q6: 16,0 ml	T6: 2,5 ml
R7: 32,0	S7: 2,5 ml	Q7: 32,0 ml	T7: 3,0 ml
R8: 64,0	S8: 3,0 ml	Q8: 64,0 ml	T8: 3,5 ml
R9: 0,74gr.	S9: 3,5 ml	Q9: 4,38 gr.	T9: 4,0 ml
R10: 1,5 gr	S10: 4,0 ml	Q10: 8,78 gr.	T10: 8,0 ml
R11: 3,0 gr	S11: 8,0 ml	Q11: 17,53 gr.	T11: 10,0 ml
R12: 5,98 gr	S12: 10,0 ml	Q12: 35,05 gr.	T12: 14,0 ml

los jueces coincidan en un 75% de respuestas en dos series consecutivas. Se verifica en que solución se percibió la sustancia problema (CIEPE, 2003). En la Tabla 30 se presenta el modelo de cuestionario que se puede presentar para la prueba.

Tabla 30. Cuestionario utilizado en la determinación de umbrales por el método Jellinek

DETERMINACIÓN DE UMBRALES MÉTODO JELLINEK

Nombre:_____ Fecha:_____

Instrucciones:
Degustar cuidadosamente la serie de doce muestras entregadas que corresponden a concentraciones crecientes de uno de los cuatro gustos básicos (dulce, ácido, salado o amargo). No está permitido repetir la degustación. Enjuague la boca entre una muestra y otra. Describir el gusto que usted percibe en cada muestra e informe acerca de su intensidad utilizando la siguiente escala.
0= ninguno. 3= Medio.
?= diferente del agua, gusto no definido. 4= Intenso.
1= muy débil (anotar el nombre del gusto) 5= Muy intenso.
2= débil. 6= Extremadamente intenso.

Solución	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Intensidad												
Descripción del gusto												

2. Método ISO para umbrales:

Se preparan seis soluciones de cada grupo básico, con las formulaciones de la Tabla 31. Se entrega a los jueces el cuestionario (Tabla 32) para anotar los resultados y ocho vasos conteniendo las seis soluciones de un gusto en orden creciente de concentración (dos soluciones se repiten). Cada vaso debe contener alrededor de 25 a 30 ml de cada solución. Los jueces deben probar la primera muestra y antes de pasar a la siguiente se anota las sensaciones percibidas. No se admite a ningún juez que identifique el sabor en la última solución o que no identifique. No se debe enjuagar la boca entre muestra y muestra (CIEPE, 2003).

Tabla 31. Concentraciones de las disoluciones en el método ISO para umbrales

Dulce	Sacarosa	0,5- 1,0- 2,0- 4- 8- 16 g/lit
Ácido	Ácido Cítrico	0,015- 0,03- 0,062- 0,124- 0,250- 0,50 g/lit
	Ácido Tartárico	0,03- 0,06- 0,12- 0,25- 0,50- 1,00 g/lit
Salado	NaCl	0,09-0,18- 0,37- 0,75-1,50- 3,00 g/lit
Amargo	Cafeína	0,003- 0,006- 0,012- 0,025- 0,050- 0,100 g/lit
	Clorhidrato de quinina	0,00003- 0,0006- 0,0012- 0,0025- 0,0050- 0,0100 g/lit

Tabla 32. Cuestionario utilizado en la prueba de umbrales método Iso

DETERMINACIÓN DE UMBRALES MÉTODO ISO								
Nombre: _____ Fecha: _____								
Instrucciones:								
.- Pruebe las muestras en orden, comenzando por la N°1 y no se enjuague la boca entre muestra y muestra.								
.- Inmediatamente después de probar una muestra y antes de pasar a la siguiente anote las sensaciones percibidas de acuerdo a la codificación siguiente:								
0= Ninguna sensación percibida.								
X= Gusto percibido pero no reconocido.								
XX= Gusto identificado. Añadir el nombre (ácido, amargo, dulce, salado).								
.- Una vez que pasó a probar la última muestra, no se pueden corregir los resultados anotados anteriormente.								
Soluciones	1	2	3	4	5	6	7	8
Marcar la sensación percibida								

c) Identificación de Olores:

Esta prueba está dirigida a determinar si los degustadores, que pasaron las pruebas de sensibilidad de los cuatro sabores fundamentales y de umbrales, son capaces de distinguir olores simples (CIEPE, 2003).

1. Reconocimiento de olores simples

Para preparar la prueba se coloca en un frasco de boca ancha una capa de algodón y 1ml de las soluciones establecidas en la Tabla 33.

Tabla 33. Ejemplos de muestras a preparar para la prueba de olores simples

Compuesto	Descripción	Concentración	Solvente
Amoníaco	Penetrante	1% V/V	Agua destilada
Benzaldehído	Almendras	1% V/V	Etanol 50%
Ácido Butírico	Rancio	10% V/V	Agua destilada
Diacetilo	Manteca	0,001% V/V	Agua destilada
Ácido Acético	Vinagre	8% V/V	Agua destilada
Acetato de Amilo	Banana	10% V/V	Etanol 25%
Vainillina	Dulce, vainilla	10 gr/ 100ml	Etanol 30%

Los frascos se tapan y se codifican con números aleatorios. Se solicita a los evaluadores que identifiquen o describan el olor de cada muestra. Es importante que los jueces mantengan el frasco destapado el tiempo necesario para oler y lo vuelvan a tapar inmediatamente.

2. Reconocimiento de especias

Para preparar la prueba se colocan las muestras en frascos o vasos de boca ancha, opacos, totalmente libres de olores extraños. Se cubren con una delgada capa de algodón y se tapan con papel de aluminio. Los frascos se codifican y se entregan en forma aleatoria. Se solicita a los evaluadores que identifiquen o describan el olor de cada muestra. No se recomienda que evalúen más de ocho olores por sesión. A continuación se presenta una lista de productos utilizados.

Nuez moscada 1g	Vainillina 1g
Ajo en polvo o granulado 1g	Canela 1g
Pimienta 1g	Comino 1,5g
Anís 2g	

Otros productos que se pueden utilizar son cilantro, clavo de olor, cebolla, laurel en polvo, vinagre, orégano, mostaza, curry, cacao, entre otros. Los resultados se expresan en aciertos por juez, dando un puntaje

según el siguiente criterio.

Percibe e identifica el olor	5 puntos.
Percibe, confunde (comino x pimienta)	4 puntos.
Percibe, generaliza (especia x pimienta)	3 puntos.
Percibe y asocia (helado x vainilla)	2 puntos.
Percibe sin identificar	1 punto.
No percibe.	0 punto.

Esta prueba y la anterior se deben repetir. Después de la primera prueba se le indica al juez los errores cometidos, se les entrena en su identificación y se vuelve a realizar la prueba. Principalmente se observa su capacidad de descripción de olores y su comportamiento en la repetición.

3. Método ISO: reconocimiento de esencias

Se entregan a los jueces seis tubos de ensayo conteniendo las esencias a reconocer. Se aplicarán en el reconocimiento de los siguientes métodos.

- a) En tubo: Se presenta al evaluador un tubo conteniendo una solución de concentración conocida de una esencia. El evaluador abre el tubo con la boca cerrada y puede hacer aspiraciones cortas o por una única aspiración profunda para identificar la esencia.
- b) En tiras de papel: Se presenta al evaluador un tubo conteniendo una tira de papel embebida en esencia. Este toma la tira y la huele haciéndola ondular a pocos cm de su nariz evitando el contacto con la piel y zonas de la cara.

Los resultados se interpretan de forma diferente según si el objetivo de la prueba es instruir, seleccionar o entrenar evaluadores. La respuesta correcta en la etapa de instrucción puede ser una asociación o una expresión descriptiva apropiada. La respuesta correcta en la etapa de selección o entrenamiento debe ser el nombre químico o el descriptor apropiado. Categorías:

A = resultado correcto

B = asociación correcta

C = asociación correcta general o descripción vaga

D = Incorrecto o insuficiente

Se considerará entrenado en el reconocimiento de olores aquel juez que luego de haber probado una amplia gama de esencias tenga 100% de respuestas tipo A y B.

d) Sensibilidad a los colores: (CIEPE, 2003)

Esta prueba tiene como fin determinar la aptitud para distinguir pequeñas diferencias de los colores verdes, amarillo y rojo. Participan los degustadores que hayan pasado satisfactoriamente las pruebas anteriores. Se procede en forma semejante a la prueba de umbrales donde se parte de soluciones madres más concentradas con diluciones adecuadas, se obtienen las de prueba. Para la preparación de las soluciones madre se pesa 1g de cada uno de los siguientes colorantes: rojo amaranto, tartracina y verde sólido (Tabla 34). Se coloca en un matraz aforado de 100 ml, enrasándose luego con agua destilada.

Tabla 34. Soluciones para la prueba de sensibilidad de colores

Nº de Orden	Concentración (g/lit)	Volumen de alícuota (ml)
1	0,010	0,10
2	0,020	0,20
3	0,026	0,26
4	0,033	0,33
5	0,043	0,43
6	0,055	0,55
7	0,070	0,70
8	0,090	0,90
9	0,149	1,49
10	0,192	1,92

Las soluciones anteriores se vierten en tubos de ensayo codificados con números aleatorios de dos o tres cifras de manera que el líquido tenga la misma altura en todos. Se les entregan a los jueces los 30 tubos codificados y mezclados aleatoriamente. Se les da la tarea de separarlos de menor a mayor intensidad en una gradilla sobre fondo blanco con iluminación adecuada.

Para ser aprobados, los jueces deberán identificar sin error los colores verde, amarillo y rojo. Para evaluar el ordenamiento se otorga un punto por cada respuesta correcta. Deberán alcanzar 25 puntos como mínimo para ser considerados aptos.

c) Análisis discriminación de las muestras. (Herrera, 2005)

El propósito de esta sesión es evaluar la capacidad discriminativa de los panelistas, para seleccionar los más capaces y descalificar aquellos que no pueden detectar las diferencias. Durante la selección se pueden usar productos y metodologías similares a los que eventualmente se evaluarán en el trabajo diario de los panelistas. Se pueden preparar productos o soluciones que tengan diferencias conocidas, para evaluar la capacidad de los panelistas en detectarlas.

Se puede evaluar al juez en este tipo de prueba en base al porcentaje de aciertos que resulten de las pruebas realizadas. Los jueces con un 80% de aciertos son considerados de entrenamiento elevado; los de 65-79% para jueces de entrenamiento medio, con menos de 65% pueden ser considerados como panelistas no entrenados.

Para la realización de la prueba triángulo o dúo-trío, verifique la sección de las pruebas sensoriales donde se indica cómo se desarrolla la prueba y como se evalúa estadísticamente. La cantidad de pares de muestras a evaluar puede variar, pero es aceptado que se usen dos pares de muestras con 2 o 3 repeticiones como mínimo para probar la capacidad discriminativa para ser jueces sensoriales. Se pueden usar pares de muestras que difieran en tiempo de proceso, temperatura, nivel de ingrediente, envases, entre otros. Se seleccionan los jueces con 50-60% de respuestas correctas en triángulo y 70-80% en dúo-trío, dependiendo del grado de dificultad de cada prueba.

Selección de jueces a través del análisis secuencial (Sancho et al, 2002)

En esta fase se realizarán los ensayos sobre los parámetros que deseen evaluarse en el panel de control. Para estos análisis se usarán las pruebas triangulares y con el objeto de reducir el número de pruebas a realizar. El procedimiento sugerido para la selección es el siguiente:

- a) Debe partirse de un número de candidatos doble del de los miembros que se desean en el panel.
- b) Después de cada análisis triangular, cada uno de los candidatos debe quedar en una sola de estas tres categorías.
 - Categoría 1: El candidato es aceptado como posible catador.
 - Categoría 2: El candidato es rechazado definitivamente.
 - Categoría 3: El candidato debe continuar haciendo pruebas.

La decisión por la cual el candidato se clasifica en uno de los tres grupos se basa en los siguientes parámetros:

P_1 : Proporción mínima de aciertos exigibles a un catador para ser aceptado. Debe ser fijado al inicio de la selección.

P_0 : Porcentaje máximo de fallos o errores que se consideran suficientes para rechazar inexorablemente a un candidato. Debe ser fijado al inicio de la selección.

α : Riesgo (probabilidad) de rechazar a un candidato que debería ser aceptado.

β : Riesgo (probabilidad) de aceptar a un candidato que debería ser rechazado.

En la prueba triangular hay una probabilidad de $1/3=0,33$ de acertar por casualidad, y por lo tanto P_0 debe ser mayor de 0,33; $P_0 > 0,33$. Se sugiere tomar valores comprendidos entre 0,45 y 0,55 y normalmente se suelen fijar en 0,5; es decir, $P_0=50\%$. El valor de P_1 debe ser siempre mayor que P_0 y se sugieren valores entre 0,7-0,9; siendo 0,8 un caso normal. Es decir, $P_1=80\%$.

Para " α " se sugieren valores del 10%, mientras que para " β " tan solo del 1%, ya que para el trabajo posterior del panel y de los resultados que se obtengan siempre es menos grave rechazar un candidato aceptable que aceptar uno rechazable. Para el desarrollo estadístico de este análisis deben trazarse, en unos ejes de coordenadas, las rectas que limiten las zonas de aceptación, rechazo e indecisión.

Las ecuaciones de estas dos rectas son:

$$y_1 = h_1 + sn_1 \quad y_0 = h_0 + sn_0$$

En las cuales los valores de h_1 , h_2 y s se obtienen de las siguientes fórmulas:

$$h_1 = \frac{\log \frac{1-\alpha}{\beta}}{\log \frac{P_1}{P_0} + \log \frac{1-P_0}{1-P_1}} \quad h_0 = \frac{-\log \frac{1-\beta}{\alpha}}{\log \frac{P_1}{P_0} + \log \frac{1-P_0}{1-P_1}}$$

Conociendo los valores α , β , P_0 , P_1 se pueden calcular los valores de h_1 , h_0 y s , y por consiguiente se puede trazar las dos rectas con los valores de y_1 , y_0 , n_1 y n_0 . En el caso que se planteó inicialmente, para valores de $\alpha = 0,1$, $\beta = 0,01$, $P_1 = 0,8$ y $P_0 = 0,5$, se obtienen los valores de $y_1 = 3,2$; $y_0 = -1,6$; $n_1 = -4,9$ y $n_0 = 2,5$

Con el objeto de facilitar la aplicación de la prueba, en la Tabla 35 se ofrecen valores que se obtendrían para estos parámetros partiendo de valores distintos de α , β , P_0 , P_1 .

Para cada juez se construye una gráfica en la que se reflejan los

Tabla 35. Valores de y_1 , y_0 , n_1 y n_0 con valores distintos de α , β , P_0 , P_1

Valores dados de				Valores obtenidos de			
α	β	P_1	P_0	y_1	n_1	y_0	n_0
0,1	0,05	0,8	0,5	2,1	-3,2	-1,6	2,5
0,1	0,10	0,8	0,5	1,6	-2,4	-1,6	2,4
0,1	0,05	0,9	0,4	1,1	-1,6	-0,9	1,2

Fuente: Sancho *et al*, 2002

ensayos y su resultado como acierto o fallo. La gráfica de la figura 5 refleja un juez que ha fallado los dos primeros ensayos (trazo horizontal sobre el eje de abscisas), pero acertó el tercero (paralela al eje de ordenadas, una división) aunque en los dos siguientes se volvió a equivocar (paralela al eje de abscisas, dos divisiones, y se entra en la zona de rechazo) y por consiguiente el candidato a catador es rechazado.

Lo lógico y aconsejable sería aceptar sólo a los candidatos que en su gráfica pasen a la zona de aceptación, pero dado que la función principal de la prueba es eliminar a los jueces que no detecten diferencias, también pueden aceptarse los candidatos que tras quince pruebas triangulares se mantengan en la zona de indecisión.

d) Pruebas de ordenamiento

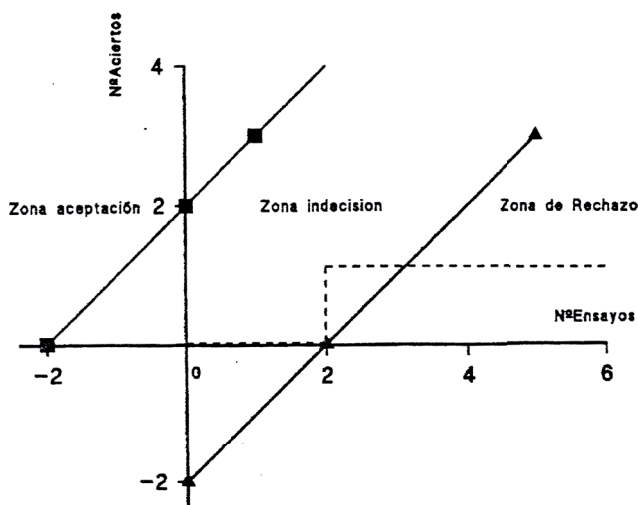


Figura 5. Tres categorías que se establecen en la selección de los catadores: aceptados, rechazados, y los que deben seguir entrenando.

Esta prueba permite seleccionar jueces con habilidad para detectar los sabores básicos, determinar si existe diferencia entre tres o más muestras y el sentido de las mismas. Según (Flores, 2015), estos test son rápidos, requieren de un entrenamiento relativamente corto y poseen una amplia aplicación. Es importante que todos los jueces analicen un solo atributo para la clasificación (dulzor, amargor, entre otros), pudiéndose hacer, con la misma muestra, otro análisis utilizando diferente atributo (acidez, viscosidad, entre otros).

Se utilizan soluciones de azúcar, sal, jugo de limón, amargo de angostura, entre otras (Tabla 36). Para la prueba que desarrolló Ureña et al (1999), se presenta un grupo de muestras y se pide a los jueces que las ordenen según la intensidad del atributo, en sentido ascendente o descendente (el juez le asigna a cada muestra una posición relativa respecto a las demás dentro del grupo evaluado). Se colocan 25 ml de cada solución en vasos marcados con claves numéricas al azar. Se eligen candidatos que den puntajes correctos al 80% de los atributos sensoriales evaluados. En las ordenaciones solamente se admiten errores de translocación de dos muestras. Se debe chequear que los candidatos

Tabla 36. Ejemplos de soluciones para la pruebas de ordenamiento

Soluciones de Cafeína en agua	0,05%	0,08%	0,15%	0,2%
Intensidad, escala:				
0= nada	2	5	10	15
15= muy amargo				
Soluciones de Sacarosa en agua	0,05%	0,08%	0,15%	0,2%
Intensidad, escala:				
0= nada	2	5	10	15
15= muy dulce				
Soluciones de ácido cítrico en agua	0,05%	0,08%	0,15%	0,2%
Intensidad, escala:				
0= nada	2	5	10	15
15= muy ácido				
Soluciones de NaCl en agua	0,05%	0,08%	0,15%	0,2%
Intensidad, escala:				
0= nada	2	5	10	15
15= muy salado				

usen la mayor parte de la escala (CIEPE, 2003).

Otra forma de evaluar la prueba de ordenamiento para la selección de jueces es utilizando la prueba de Friedman para verificar si el grupo ordenó correctamente las muestras. Se puede verificar la reproducibilidad individual con la prueba de Page para alternativas ordenadas. Con esta prueba en un entrenamiento de jueces sensoriales se logra saber si cada juez o un grupo de jueces pueden ordenar las muestras correctamente y en segundo lugar, se aprecia quien tiene una mayor reproducibilidad. Para verificar la concordancia del panel se puede determinar la asociación entre ellos usando el coeficiente de concordancia W de Kendall.

2.4.3.- Entrenamiento

Después de la selección de los jueces sensoriales comienza el entrenamiento. Con la metodología sensorial siempre se ha buscado entrenar a un grupo de personas reproducibles, capaces de discriminar y concordantes en sus respuestas con respecto al grupo. (CIEPE, 2003)

El entrenamiento para método descriptivo lleva entre 40 y 120 horas. La cantidad de tiempo empleado dependerá de la complejidad del producto y del número de atributos a cubrir.

Primera etapa: Desarrollo de la terminología

El entrenador del panel debe identificar claramente los atributos claves del producto. Se deben preparar prototipos o recolectar muestras comerciales que representen tantas diferencias de atributos como sea posible y que vayan luego a ser probablemente encontradas en los productos a evaluar.

Se comienza entrenando en la detección de los parámetros químicos (aromáticos u otros) y físicos (reológicos, geométricos, entre otros) que influyen en la percepción de cada atributo. Con estos conceptos y términos como base, el panel después desarrolla procedimientos para la evaluación y terminología con definiciones y referencias. Típicamente, la primera etapa puede requerir entre 15 a 20 horas, hasta que los panelistas comienzan a comprender los descriptores estudiados.

Segunda etapa: Introducción al uso de escalas

Se puede realizar durante las primeras 10 a 20 horas de entrenamiento haciendo uso de un set de referencia que represente tres a cinco niveles diferentes de intensidad de cada atributo. Permite al juez visualizar el proceso descriptivo como el uso de términos y números.

Tercera etapa: Práctica de iniciación

Su duración puede ser de 15 a 40 horas. Primero se presentan a los jueces una serie completa de productos prototipos o ejemplos como marco de referencia. A partir de ese marco, el panel genera una larga lista de descriptores a la cual todos los panelistas deben contribuir. La lista original, que contiene muchos términos que se superponen, se depura y reduce a una lista de trabajo en la cual se seleccionan los descriptores que describen el alimento en forma completa. Después de cada sesión los panelistas deben reunirse para discutir los resultados, pedir referencias adicionales, entre otras. Esta interacción es esencial para desarrollar la terminología común.

Cuarta etapa: Evaluación de productos con pequeñas diferencias

Se presentan a los jueces productos con pequeñas variaciones para refinar los procedimientos de evaluación y la terminología en función de la detección y descripción de pequeñas diferencias. Duración de 10 a 15 horas.

Quinta etapa: Práctica final

El panel debe continuar evaluando y describiendo productos durante 15 a 40 horas para poder considerarlo totalmente entrenado. Los productos usados deben aproximarse lo más posible a las situaciones de evaluación reales para las cuales el panel va a ser destinado. Para realizar un entrenamiento adecuado se deben considerar los siguientes factores: (Proyecto alimentos, 2007)

1. Entrenador: La persona que realiza el entrenamiento y que suele ser el conductor de las pruebas o investigador. Debe ser capaz de establecer en el grupo un ambiente agradable de trabajo y un nivel adecuado de comunicación.
2. Elaboración del programa: Es necesario que el entrenador elabore un programa de entrenamiento, el cual debe contener los objetivos, los temas a cubrir, el método de la exposición que será usado, así como la medición del cumplimiento de los objetivos.
3. Explicación: Se deben explicar los diversos temas, tanto para mantener interesados a los jueces como para iniciar su entrenamiento. Se les debe explicar en qué consiste la evaluación sensorial, cuál es su importancia tanto para la investigación como

para el control de calidad y otras aplicaciones en la industria alimentaria, cual son los métodos sensoriales en los que ellos van a participar, qué consecuencias puede tener el que no contesten adecuadamente, y debe además darse una explicación muy detallada del uso de las escalas, los cuestionarios, entre otros.

4. **Práctica:** la evaluación sensorial se aprende mejor en la práctica. Es necesario que los jueces prueben alimentos y apliquen el uso de las escalas o instrumentos de evaluación que utilizarán en las pruebas reales.
5. **Comprobación:** pueden aplicarse diversas pruebas estadísticas para medir la tendencia de la variabilidad de las respuestas de cada juez y esto puede servir para una comprobación del entrenamiento o el adiestramiento de cada uno.

Algunos aspectos importantes a considerar a la hora del entrenamiento de los jueces son los siguientes:

Para la Formación de los Jueces: (G-ENAC-02, 2003)

- Se debe abarcar la utilización de los sentidos, la familiarización con el procedimiento de ensayo y el conocimiento del efecto de factores extraños presentes como los alimentos y los perfumes.
- Los jueces sensoriales deben conocer qué tipos de productos pueden estar presentes en la prueba. La seguridad de los jueces sensoriales debe recibir una consideración especial. Además, se deben registrar y tener en cuenta consideraciones dietéticas, médicas y éticas de los jueces sensoriales. Estos deben notificar en todo momento cualquier efecto adverso que puedan sufrir.

- El laboratorio tiene que documentar el programa de selección y entrenamiento para asegurar que todos los jueces sensoriales tienen la debida formación para las tareas encomendadas. El programa tiene que establecer los niveles de competencia y otros requisitos relevantes que deben cumplir los jueces sensoriales antes de poder participar en una prueba. Siempre que sea posible se utilizarán medidas objetivas, por ejemplo la repetibilidad, para evaluar la consecución de la competencia del personal.

Desarrollo de Descriptores

Cuando el panel desarrolla los descriptores se tiene que tomar en cuenta el objetivo y el tipo de programa del análisis sensorial. Los jueces establecen los descriptores que definen las diferentes características sensoriales de un producto y utilizan dichos descriptores para cuantificar las diferencias existentes entre varios productos. (Espinosa, 2007)

Dependiendo del método que se seleccione se determina el proceso de desarrollo de descriptores. En la Tabla 37 se presentan las diferencias en el desarrollo de descriptores entre el método de perfil de

Tabla 37. Etapas de procedimiento del método descriptivo tradicional y el perfil de libre elección

Método Tradicional	Sesiones	Perfil de libre elección	Sesiones
Lista individuales de atributos	2 - 5	Lista individuales de atributos	1 - 5
Lista consenso de atributos	2 - 5	Definiciones de los atributos y elaboración del cuestionario	1 - 2
Entrenamiento- Uso de escalas	2 - 3		
Selección de jueces	3 - 4		
Nº de sesiones antes de la evaluación definitiva de las muestras	9 - 18	Nº de sesiones antes de la evaluación definitiva de las muestras	2 - 7

libre elección y el método de perfil; en cuanto al número de secciones que se requiere para el desarrollo de descriptores en estas pruebas.

En el perfil de libre elección cada panelista genera los descriptores que desee sin ningún entrenamiento. Los datos de cada panelista que se generan en forma individual y se utilizan directamente sin llevar a cabo discusiones o acuerdos con estos descriptores. Por otro lado, en el método de perfil de sabor hay mucho énfasis en el nivel cualitativo para poder desarrollar los términos más precisos posibles y los descriptores se generan siguiendo un proceso estructurado, donde se toma en cuenta la opinión de los panelistas y se sigue discutiendo para llegar a un acuerdo de cuáles son los descriptores más adecuados para describir una categoría de productos.

Capítulo 3

Metodologías no paramétricas usadas en el análisis sensorial

El análisis sensorial puede ser una herramienta importante dentro de la industria de alimentos, donde el elevado costo de equipos e instrumentos de laboratorio imposibilitan un control de calidad de insumos y productos terminados; en este contexto los órganos de los sentidos del ser humano constituyen una alternativa a bajo costo para obtener resultados fiables que permitan la creación de perfiles sensoriales como parámetros de calidad, aceptación o rechazo por parte del consumidor, entre otros. Los datos obtenidos deben ser analizados con pruebas estadísticas que se apropien a la escala de medida para obtener una validez sustentada en la Estadística.

Las pruebas no paramétricas son las que se ajustan a escalas de medidas nominal u ordinal en datos cualitativos. Para ello se describen las pruebas estadísticas no paramétricas usadas en evaluaciones sensoriales, considerando la aplicabilidad, los requisitos mínimos de nivel de medición, hipótesis, nivel de significación y tamaño de muestra, en los casos que se mencionan a continuación.

3.1.- Pruebas aplicadas a muestras simples

3.1.1.- Distribución Ji cuadrada de bondad de ajuste

Función

En el estudio que un investigador lleva a cabo, a veces es necesario conocer el número de sujetos, objetos o respuestas que caen en dos o más categorías. La prueba Ji Cuadrada es adecuada para analizar datos como éstos. La técnica es del tipo de bondad de ajuste y puede ser usada para probar si existen diferencias significativas entre un número observado de objetos o respuestas que caen en una categoría y un número esperado, basado en la hipótesis nula.

Método

Para comparar un grupo de frecuencias observadas con un grupo esperado, se debe ser capaz de establecer que frecuencias deben ser esperadas. La hipótesis nula H_0 , establece la proporción de objetos que caen en cada una de las categorías en la población supuesta y puede probarse mediante el estadístico χ^2 para $k \geq 2$. El mismo tiene una distribución, en forma aproximada, ji-cuadrada con $k-1$ grados de libertad, si n tiene un valor suficientemente grande y k es el número de categorías. A continuación se presenta la ecuación 1 que se adecúa para un ajuste uniforme y la ecuación 2 para el ajuste a un patrón específico

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - np_i)^2}{np_i} \quad \text{Ecuación 2}$$

O_i = es la frecuencia observada en la k -ésima categoría.

$E_i = np_i$ = es la frecuencia que se espera cuando H_0 es verdadera.

k = el número de categorías.

El estadístico es la suma sobre todas las k clases de los cuadrados de las diferencias entre las frecuencias observadas y esperadas dividida por las frecuencias esperadas. Si existe concordancia perfecta entre las frecuencias que se observan y las que se esperan, este estadístico tendrá un valor igual a cero; por otro lado, si existe gran discrepancia entre estas frecuencias, el estadístico tomará un valor muy grande. Por ello se desprende que para un tamaño dado del error tipo I, la región crítica es el extremo superior de una distribución ji-cuadrada con grados de libertad.

Ejemplo 1

Se realizó una prueba sensorial afectiva de muestras sobre cuatro tipos de salchichas, para conocer cuál era preferida entre un grupo de personas de una comunidad (ajustes uniformes). Los tipos de salchichas utilizados fueron: pavo, pollo, cerdo y cerdo con queso. Para el estudio se utilizaron 48 jueces afectivos.

Planteamiento de Hipótesis:

H_0 : Se ajusta a la distribución uniforme.

H_1 : No se ajusta a la distribución uniforme.

Nivel de Significación: $\alpha=0,05$; $n=48$, $k=4$,

Grados de libertad: $k - 1 = 4-1= 3$

Resultados

Buscando en la tabla de valores críticos de la distribución $\chi^2_{0,05;3}$ se obtiene $\chi^2_{0,05;3}=7,815$. En la Tabla 38 se presentan las respuestas de preferencia de los jueces sensoriales al probar las salchichas, junto con los valores esperados, ya que si la preferencia de los jueces es uniforme para cada salchicha, debe esperarse que $48/4=12$

preferencias para cada tipo de salchicha.

Buscando en la tabla de valores críticos de la distribución ji cuadrada se obtiene $\chi^2_{0,95;3} = 7,815$. En la Tabla 38 se presentan las respuestas de preferencia de los jueces sensoriales al probar las salchichas, junto con los valores esperados, ya que si la preferencia de los jueces es uniforme para cada salchicha, debe esperarse que $48/4 = 12$ preferencias para cada tipo de salchicha.

Tabla 38. Registro de las respuestas para la prueba afectiva de salchichas

Categoría	Respuestas observadas	Respuestas esperadas
Pavo	15	12
Pollo	11	12
Cerdo	10	12
Cerdo con queso	12	12
Total	48	48

Ahora se debe determinar si realmente en cada una de las cuatro categorías las respuestas son uniformes, utilizando la ecuación 1:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^K \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} = \frac{(15-12)^2}{12} + \frac{(11-12)^2}{12} + \frac{(10-12)^2}{12} + \frac{(12-12)^2}{12} = 1,17$$

El valor calculado 1,17 se compara con el valor crítico $\chi^2_{0,95;3} = 7,815$ y como $1,17 < 7,815$, la hipótesis nula no se rechaza a un nivel de significación $\alpha=0,05$ y se concluye que no existe diferencia en el número esperado de respuestas por los jueces en las diferentes categorías. Por lo tanto no existe preferencia sobre un tipo de salchichas particular.

Ejemplo 2

En una prueba triangular ($p_1=1/3$) en la que 12 jueces participaron

con tres degustaciones (repeticiones), un total de 18 respuestas fueron correctas, es decir, se pudo detectar la muestra diferente (ajuste a un patrón específico). En la Tabla 39 se presentan las respuestas para la prueba.

Planteamiento de hipótesis:

H_0 : $p_1=1/3$, los individuos no pudieron detectar la muestra diferente.

H_1 : Los individuos pudieron detectar que al menos una de las muestras era diferente.

Nivel de Significación: $\alpha=0,05$

Grados de libertad: $k - 1=2-1= 1$.

$N= 12$ jueces por 3 repeticiones= 36.

$P=1/3=0,33$;

$k=2$

Tabla 39. Registro de las respuestas para la prueba triangular

	Resultados de la prueba triangular		Total
	Se detectó muestra diferente	No se detectó muestra diferente	
Frecuencia Observada	18	18	36
Valor esperado	$1/3*36=12$	$2/3*36=24$	36

$$\chi^2 = \frac{\left(18 - 36 * \frac{1}{3}\right)^2}{36 * \frac{1}{3}} + \frac{\left(18 - 36 * \frac{2}{3}\right)^2}{36 * \frac{2}{3}} = 4,5$$

Buscando en la tabla de valores críticos de la distribución ji cuadrada se obtiene $\chi^2_{0,95;1} = 3,84$. Como el valor calculado $\chi^2 = 4,5$ es mayor que 3,84 se rechaza la hipótesis nula a favor de la hipótesis alternativa, así se puede concluir que los jueces detectan de manera significativa ($\alpha=0,05$) la muestra diferente.

Resumen procedimiento

1. Coloque las frecuencias observadas dentro de categorías. La suma de las frecuencias debe ser N. Cada observación debe ser independiente de cualquier otra.
2. A partir de H_0 , determine las frecuencias esperadas (E_i) para cada una de las k celdas. Cuando $k=2$, la prueba de la bondad de ajuste ji cuadrada para una muestra es exacta sólo si cada frecuencia esperada es mayor o igual a 5. Cuando $k > 2$, y más del 20% de las frecuencias esperadas son menores que 5, combínense categorías adyacentes cuando esto sea razonable, reduciendo por tanto el valor de k e incrementando los valores de algunas de las frecuencias esperadas.
3. Use la ecuación Ji cuadrada para computar el valor χ^2 . (Ecuación 1 o 2 dependiendo del caso)
4. Determine los grados de libertad, con la fórmula $k-1$ = número de categorías.
5. Determine la probabilidad asociada con χ^2 según H_0 como un valor tan grande como el valor de observado para los grados de libertad apropiados para los datos buscando en la tabla respectiva. Si la probabilidad es menor que o igual a α , se rechaza la H_0 .

3.1.2.- Prueba binomial

Función

Una distribución binomial presenta cuatro propiedades:

Evaluación sensorial y metodologías para su análisis

1. Sólo debe haber dos posibles resultados. Uno se identifica como éxito y el otro como fracaso. Sin embargo, se advierte que estos términos no tienen ninguna connotación de “bueno” o “malo”. Son completamente objetivos y un “éxito” no implica necesariamente un resultado deseable.
2. La probabilidad de un éxito, p , sigue siendo constante de un ensayo al siguiente, al igual que lo hace la probabilidad de fracaso, $q=1-p$.
3. Cada ensayo es totalmente independiente de cualquier otro ensayo.
4. El experimento puede repetirse muchas veces. (Webster, 2000)

Existen muchas poblaciones que son concebidas como respuestas de sólo dos clases. Ejemplo: hombre y mujer, soltero y casado, prefiere o no prefiere un producto. Para tales casos, todas las posibles observaciones de la población caerán en una de dos categorías discretas.

Supóngase que una población consta de sólo dos categorías o clases. Entonces, cada observación (X) muestreada de la población puede tomar uno de los dos valores, dependiendo de la categoría muestreada. Por conveniencia, al hablar de la distribución binomial, denotamos el resultado $X=1$ como “éxito” y el resultado $X=0$ como “fracaso”. Esto es: .

Método

$$P[X = 1] = p \quad y \quad P[X = 0] = 1 - p = q$$

En una muestra de tamaño N , la probabilidad de obtener k objetos en una categoría y $N-k$ objetos en otra categoría, está dada por:

$$P(Y = k) = \frac{N!}{k!(N-k)!} p^k q^{N-k} \quad \text{Ecuación 3}$$

N= número de observaciones.

$Y = \sum_{i=1}^N X_i$, es el número de “éxitos” o el número de resultados de tipo

X=1.

p = La proporción de observaciones esperadas cuando X=1.

q = La proporción de observaciones esperadas cuando X=0.

La aplicación de la ecuación 3, presenta la probabilidad de obtener exactamente un valor único para los datos que se utilicen. Pero cuando se prueban hipótesis, la cuestión no es generalmente “¿cuál es la probabilidad de obtener exactamente los valores que fueron observados?”, sino que más bien, por lo regular, se pregunta “¿cuál es la probabilidad de obtener valores tan extremos o más extremos que los valores observados, cuando se supone que los datos son generados por un proceso particular?”. Para responder a esta pregunta, la probabilidad deseada está dada por la ecuación 4.

$$P(Y \geq k) = \sum_{i=k}^N \frac{N!}{i!(N-i)!} p^i q^{N-i} \quad \text{Ecuación 4}$$

En el caso de una muestra, cuando se están usando categorías binarias, una hipótesis común es $H_0: p=1/2$. En la tabla de la prueba binomial se proporcionan las probabilidades de una cola asociadas con la ocurrencia de diferentes valores tan extremos como k, según la hipótesis nula $H_0: p=1/2$. Cuando se consulte dicha tabla, tómese a k como la más pequeña de las frecuencias observadas. Esta tabla es útil cuando $n \leq 35$. Aunque puede utilizarse la ecuación 4, el uso de la tabla es más conveniente. Puede demostrarse que al incrementar el tamaño de

n, la distribución binomial tiende a la distribución normal. La tendencia es rápida cuando p se aproxima a 1/2, pero es más lenta cuando p está cercana a 0 o 1. La aproximación a la distribución normal es mejor si se usa una “corrección por continuidad”.

La corrección es necesaria debido a que la distribución normal es para variables aleatorias continuas, mientras que la distribución binomial es para variables aleatorias discretas. Para corregir por continuidad, se considera la frecuencia observada Y como ocupando un intervalo, el límite inferior del cual está media unidad debajo de la frecuencia observada, mientras que el límite superior está media unidad arriba de la frecuencia observada. La corrección por continuidad consiste en reducir por 0,5 la diferencia entre los valores observados de Y y su valor esperado $\mu_Y=np$. Por lo tanto, cuando $Y < \mu_Y$ se agrega 0,5 a Y y cuando $Y > \mu_Y$ se sustrae 0,5 de Y. Así z se calcula utilizando la ecuación 5 como aproximación a la distribución normal de la distribución binomial.

$$z = \frac{x - \mu_x}{\sigma_x} = \frac{(Y \pm 0.5) - np}{\sqrt{npq}} \quad \text{Ecuación 5}$$

El valor de z obtenido por la aplicación de la ecuación 5 está distribuido asintóticamente en forma normal con media 0 y varianza 1. Por tanto, la significación de una z obtenida se puede determinar usando tabla de probabilidades asociadas de la distribución normal.

Ejemplo

En una experiencia con 30 jueces, 20 prefieren la muestra A y 10 prefieren la B y no hay razón para que A o B puedan ser preferidos (es decir, la prueba es bilateral). En la Tabla 40 se presentan las respuestas para la prueba.

Planteamiento de hipótesis:

H_0 : $p_1 = 1 - p_1 = 1/2$, no hay diferencia entre las preferencias por las muestras.

H_1 : Las preferencias por las muestras son diferentes.

Nivel de significación: $\alpha = 0,05$

Tabla 40. Registro de las respuestas para aplicar la prueba binomial

	Muestra A	Muestra B	Total
Frecuencia	20	10	30

En este caso N es el número de observaciones independientes = 30; k es la frecuencia más pequeña = 10. En la tabla de probabilidades para la prueba binomial la probabilidad asociada con $k \leq 10$ es 0,098; esta probabilidad es mayor que $\alpha = 0,05$. La decisión es no rechazar la H_0 a favor de H_1 y por tanto no es posible concluir que hay preferencia por uno u otro producto.

Por otro lado, si existía una expectativa previa de que A podría ser preferido, la prueba hubiera sido unilateral. El número de jueces que prefiere A se compara con la probabilidad asociada de la tabla binomial es 0,049; como esta probabilidad es menor que $\alpha = 0,05$, se puede rechazar la hipótesis nula a un nivel de significación del 5% y la conclusión será que hay preferencia por el producto A. He aquí la importancia de definir a priori si la prueba será unilateral o bilateral.

Para mostrar que tan buena es la aproximación de muestras grandes cuando $p = 1/2$, se puede aplicar a los datos del ejemplo anterior. En este caso, $n = 30$, $Y = 10$ y $p = q = 1/2$. Para estos datos $Y < np$, esto es, $10 < 15$, y la ecuación queda:

$$z = \frac{(10 + 0.5) - 30 * \frac{1}{2}}{\sqrt{30 * \frac{1}{2} * \frac{1}{2}}} = -1,64$$

En la tabla de probabilidades de distribución normal se muestra que para un valor tan extremo como $z = -1,645$, tiene una probabilidad de dos colas asociada con su ocurrencia según la H_0 es $0,0505 * 2 = 0,1001$ que es mayor al α seleccionado, por lo tanto, la hipótesis nula no se rechaza a un nivel de significación del 5% y la conclusión será que no hay una preferencia significativa por uno u otro producto, tal como se obtuvo usando la distribución binomial.

Es importante destacar que las probabilidades que señala la tabla de la distribución binomial son probabilidades exactas y son las que deben usarse en este caso. Se recomiendan usar aproximaciones cuando las tablas de probabilidad exactas no contienen los valores.

Resumen del procedimiento

Pasos para usar la prueba binomial con $H_0: p=1/2$ son:

1. Determinar n = el número total de casos observados.
2. Determinar las frecuencias de las ocurrencias observadas en cada una de las dos categorías.
3. El método para encontrar la probabilidad de ocurrencia de los valores esperados según H_0 , o valores aún más extremos, depende del tamaño de la muestra:
 - a) Si $n \leq 35$, la tabla de la prueba binomial proporciona las probabilidades de una cola según H_0 de diferentes valores tan pequeños como una Y observada. Especificar H_1 y determinar

si la prueba debe ser uni o bidireccional.

- b) Si $n > 35$, probar H_0 usando la ecuación 5. La tabla de probabilidades de la distribución normal proporciona las probabilidades asociadas con la ocurrencia según H_0 de valores tan grandes con una z observada. Esta tabla proporciona probabilidades unidireccionales; para una prueba bidireccional se duplica la probabilidad obtenida.
4. Si la probabilidad asociada con el valor observado de Y o valores aún más extremos es igual o menor que α , rechazar H_0 . De otro modo, no rechazar la H_0 .

Procedimiento con el software

Este procedimiento con el software (Statistix versión 8), sólo se puede aplicar cuando $n > 35$ y se puede utilizar la aproximación de la prueba binomial a la distribución normal.

1. Ingrese al menu STATISTICS> ONE, TWO, MULTI-SAMPLE TEST> PROPORTION TEST.
2. Seleccione en MODEL SPECIFICATION la opción ONE-SAMPLE TEST. En la opción SAMPLE 1 coloque en SAMPLE SIZE el tamaño total de la muestra que para este ejemplo es 30, y en NO SUCCESSES el número de la frecuencia más pequeña que es 10. En el cuadro de texto NULL HYPOTHESIS el valor de la hipótesis nula que se desea probar que para este ejemplo es $\frac{1}{2}$. Y en ALTERNATIVE HYPOTHESIS marque la opción de la hipótesis alternativa que se desea probar, si es diferente, mayor o menor que la hipótesis nula, para este ejemplo se seleccionó NOT EQUAL. Teclee OK.

3. Aparece la pantalla con los resultados. Donde se puede observar el valor corregido por continuidad de Z, y el cual permite concluir al comparar con el valor crítico de la tabla de distribución normal sobre la hipótesis nula o con el p valor que suministra. Este valor de z es igual al que se calculó utilizando la ecuación 5.

3.2.- Pruebas aplicadas a dos muestras relacionadas

3.2.1.- Prueba de los signos

Función

La prueba de los signos adquiere su nombre del hecho que está basada en la dirección de las diferencias entre dos mediciones, más que en medidas cuantitativas. Es particularmente aplicable a investigaciones en las cuales mediciones cuantitativas son imposibles o no son viables, pero en las que sí se puede determinar, para cada par de observaciones, cuál es la “más grande” (en algún sentido).

La muestra de los signos es aplicable al caso de muestras relacionadas cuando el investigador desea establecer que dos condiciones son diferentes. La única suposición que subyace a esta prueba es que la variable estudiada tiene una distribución continua. La prueba no hace suposiciones acerca de la forma de la distribución y tampoco supone que los sujetos pertenecen a la misma población. Los diferentes pares pueden pertenecer a diferentes poblaciones en cuanto a edad, sexo, inteligencia y otros.

Método

La hipótesis nula evaluada por la prueba de los signos es si $X_i > Y_i$ $X_i < Y_i$ donde X_i es el juicio o puntuación de acuerdo con una

condición (o antes del tratamiento) y Y_i es el juicio o puntuación de acuerdo con la otra condición (o después del tratamiento). Esto es, X_i y Y_i son las dos puntuaciones obtenidas por cada miembro de pareja.

Durante la aplicación de la prueba de los signos debemos prestar especial atención de la diferencia de cada X_i y Y_i , notando dónde el signo de la diferencia es positivo o negativo (+ o -). Cuando H_0 es verdadera, se espera que el número de pares donde $x_i < y_i$, sea igual al número de pares donde $x_i > y_i$. Se rechaza H_0 si ocurren pocas diferencias con el mismo signo.

Muestras pequeñas

La probabilidad asociada a la ocurrencia de un número particular de positivos (+) y negativos (-) puede determinarse recurriendo a la distribución binomial con $p = 1/2$, donde N es el número de pares. Si algún(os) par(es) no muestran diferencia, por tanto, no existe signo, dichos datos son excluidos del análisis y n se reduce, respectivamente. La fórmula binomial para probar hipótesis se presenta en la ecuación 6. La tabla de distribución binomial proporciona las probabilidades asociadas a la ocurrencia de acuerdo con valores de tan pequeños como x para n . Para utilizar la tabla, x será el número de signos menor.

$$P(Y \geq k) = \sum_{i=k}^N \frac{n!}{k!(n-k)!} p^k q^{n-k} \quad \text{Ecuación 6}$$

La prueba de los signos puede ser tanto unidireccional como bidireccional. En la prueba unidireccional, la hipótesis alterna (H_1) plantea que un signo (+ o -) ocurrirá más frecuentemente. En la prueba bidireccional, la predicción es simplemente que las frecuencias de los signos diferirán significativamente. Para la prueba bidireccional, los valores de probabilidad de la tabla de la distribución binomial deberán duplicarse.

Ejemplo

En una prueba de aceptación de puré de ajo se utilizó una escala hedónica de siete puntos (“me disgusta mucho” a “me gusta mucho”), utilizando como vehículos porciones pequeñas de carne y pollo y el puré de ajo se preparó con ajos escogidos. A cada juez afectivo que participó se le proporcionó el mismo puré de ajo sobre los vehículos (carne y pollo o viceversa), uno a la vez con su respectiva hoja de respuesta al lado. Para cada par la diferencia entre sus “percepciones” era determinada y codificada como (+) si el juicio del puré sobre el vehículo carne gustaba más que sobre el pollo, y la diferencia se codificaba como (-) cuando ocurría lo contrario. La diferencia se codificaba como 0 (cero) si el juez estaba de acuerdo que en los dos vehículos (carne y pollo) eran iguales para su gusto. El total de jueces evaluados fue de 17 personas, los cuales no estaban entrenados y tenían poco conocimiento de la escala que se presentó (del 1 al 7). La hipótesis que se quiere probar es que no existen diferencias para aceptar el puré de ajo en cualquiera de los dos vehículos.

Planteamiento de hipótesis

H_0 = Los jueces están de acuerdo en la aceptación del puré de ajo en cualquiera de los dos vehículos (carne y pollo).

H_1 = Los jueces difieren en la aceptación del puré de ajo cuando se usan vehículos diferentes.

Condición estadística

Para este estudio se escogió la prueba de los signos por tratarse de una muestra relacionada y las diferencias pueden ser representadas adecuadamente por signos positivos y negativos.

Nivel de significación

$\alpha=0,05$ y n =número de jueces que participaron en la prueba 17, (n puede reducirse si hay empates). La Tabla 41 muestra los resultados de los jueces.

Tabla 41. Juicios de aceptación de puré de ajo en dos diferentes vehículos.

Juez	Puré de ajo sobre vehículo de carne	Puré de ajo sobre vehículo de pollo	Dirección de la diferencia (signo)
A	5	3	+
B	4	3	+
C	6	4	+
D	6	5	+
E	3	3	0
F	2	3	-
G	5	2	+
H	3	3	0
I	1	2	-
J	4	3	+
K	5	2	+
L	4	2	+
M	4	5	-
N	7	2	+
O	5	5	0
P	5	3	+
Q	5	1	+

Los juicios acerca de la aceptación del puré de ajo sobre los dos vehículos (carne y pollo), varían en una escala, donde 1 representa “me disgusta mucho” y 7 representa “me gusta mucho”; los valores intermedios representan el juicio de diferentes niveles de agrado. En la Tabla 41 se muestran los signos de las diferencias entre las puntuaciones. Nótese que tres jueces coincidieron en la aceptación del puré sobre los dos vehículos, por lo tanto, hay empates y se reduce la N a 14. ($N=17-3=14$).

Para los datos de la Tabla 41, x es el número de signos que hay en menor cantidad= 3 y n el número de jueces que presentaron diferencias en la aceptación del puré de ajo sobre los dos vehículos=14. De la tabla de distribución binomial cuando $p=q=1/2$, se obtiene para $n=14$ y $x= 3$

una probabilidad igual a 0,0287 pero como la prueba es bidireccional multiplicamos esta probabilidad por 2, es decir, $p=2 \times 0,0287=0,0574$. Puesto que este valor es mayor que el $\alpha=0,05$ seleccionado, no se rechaza la H_0 y se concluye a este nivel de significación que los jueces no difieren en la aceptación del puré de ajo cuando se usan vehículos diferentes.

Muestras grandes

Si N es mayor que 35 ($N \geq 35$), puede utilizarse la aproximación normal a la distribución binomial. Esta distribución tiene:

$$\text{Media} = \mu_x = np = \frac{n}{2} \quad \text{y} \quad \text{varianza} = \sigma_x^2 = npq = \frac{n}{4}$$

El valor de z está dado por la ecuación 7 dada la aproximación a la distribución normal de la fórmula binomial.

$$z = \frac{x - \mu_x}{\sigma_x} = \frac{x - n/2}{0,5\sqrt{n}} = \frac{2x - n}{\sqrt{n}} \quad \text{Ecuación 7}$$

Esta expresión está distribuida normalmente (de una manera aproximada) con una media igual a cero y la varianza igual a uno. La aproximación llega a ser mejor cuando se emplea la corrección por continuidad. Esta corrección se efectúa reduciendo la diferencia entre el número observado de signos positivos (o negativos) y el número esperado (la media) cuando H_0 es verdadera al 0,5. Así, aproximación a la distribución normal corregida por continuidad está dado en la ecuación 8.

$$z = \frac{(x \pm 0,5) - \frac{n}{2}}{0,5\sqrt{n}} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde $x+0,5$ se utiliza cuando $x < n/2$, $x-0,5$ se usa cuando $x > n/2$. El valor obtenido de Z mediante la aplicación de la ecuación 8, puede considerarse normalmente distribuido, con media igual a cero y varianza igual a uno. Por tanto, la significación de la Z obtenida se determina haciendo uso de la tabla de probabilidades de la distribución normal, la cual proporciona los valores de probabilidad unidireccional asociada con la ocurrencia cuando H_0 es verdadera, con valores extremos observados de x . Si se requiere la prueba bidireccional, el valor de probabilidad obtenido de la tabla debe duplicarse.

Resumen del procedimiento

Los siguientes pasos son utilizados para utilizar la prueba de los signos:

1. Determine el signo de las diferencias entre los dos miembros de cada par.
2. Determine el valor de n , que debe ser igual al número de pares cuya diferencia muestra un signo (los empates se excluyen del análisis).
3. El método para determinar la probabilidad de ocurrencia de los datos cuando H_0 es verdadera depende del tamaño de n :
 - a) Si $n \leq 35$, la tabla de probabilidades de la prueba binomial muestra la probabilidad asociada (una Cola) con valores tan pequeños observados de x =el número de signos menor. Para una región de rechazo de dos colas, se duplica el valor de probabilidad proporcionado por la tabla.
 - b) Si $n > 35$, calcule el valor de z utilizando la ecuación 8. La tabla de probabilidades de la distribución normal proporciona las probabilidades asociadas (unidireccional) a los valores de Z . Para una región bidireccional, duplíquese la probabilidad proporcionada por dicha tabla.

4. Si la probabilidad mostrada por la prueba es menor o igual a α , rechace la H_0 .

Procedimiento con el software

Con el STATISTIX primero se procede a ingresar las variables a estudiar.

1. En primer lugar tiene que crear los nombres de las variables que identifican sus datos. En el menú DATA>INSERT>VARIABLE.
2. Introduzca los nombres de las variables, según tantas variables tenga, separadas por coma en el cuadro de texto que indica, NEW VARIABLES NAMES y teclee el botón OK.
3. Al aparecer los nombres de las variables, cargue los datos en las variables respectivas, separando los decimales con puntos en vez de comas. Guarde los datos ingresando en el menú ARCHIVO>SAVE AS>NOMBRE (coloque el nombre del archivo)>GUARDAR.
4. Ingrese al menu STATISTICS>ONE, TWO, MULTI-SAMPLE TESTS>SIGN TEST.
5. En la ventana de SIGN TEST pase las variables por medio de las flechas al cuadro de texto SAMPLE VARIABLES, y presione OK.
6. Aparece entonces el resultado del estadístico de la prueba del signo y el valor p, el cual permite concluir sobre la H_0 al comparar con el nivel de significación escogido. Note que este valor p es una probabilidad unidireccional pero como la prueba

es bidireccional se duplica esta probabilidad .

3.2.2.- Prueba de rangos asignados de Wilcoxon

Función

Si se consideran tanto la magnitud relativa como la dirección de las diferencias, se puede utilizar una prueba más poderosa. La prueba de rangos asignados de Wilcoxon adjudica mayor peso a los pares que muestran mayores diferencias entre las dos condiciones, más que a los pares cuya diferencia es pequeña.

Método

La diferencia de las puntuaciones entre los miembros del par igualado (d_i) representa la diferencia entre las puntuaciones del par en los dos tratamientos (X y Y). Esto es, $d_i = X_i - Y_i$. Para utilizar la prueba de Wilcoxon, se deben poner en columna todas las diferencias sin tener en cuenta el signo; adjudique el rango 1 a la d_i más pequeña, el rango 2 a la siguiente más pequeña, y así sucesivamente. Entonces, a cada rango se debe añadir el signo de la diferencia. Así se puede indicar e identificar los rangos de las diferencias positivas, de los rangos de las diferencias negativas.

La hipótesis nula es que los tratamientos X y Y son equivalentes, esto es, son muestras de la misma población, con la misma mediana y la misma distribución continua. Si es verdadera, se debería encontrar algunas diferencias a favor del tratamiento X y otras a favor del tratamiento Y. Es decir, se suman los rangos que tienen signos positivos y aquellos con signo negativo, se esperaría que ambas sumas fueran iguales (siempre que sea verdadera). Pero si la suma de los rangos positivos es muy diferente de la suma de los rangos negativos, se infiere

que el tratamiento X difiere del tratamiento Y , por tanto se rechazaría la H_0 . Es decir, se rechaza siempre que cualquiera de las sumas de las diferencias (positivas o negativas) sea demasiado pequeña.

Para desarrollar esta prueba se definirán dos estadísticos:

T^+ = suma de los rangos de las diferencias positivas.

T^- = suma de los rangos de las diferencias negativas.

La ecuación que rige la prueba de Wilcoxon está dada por la ecuación 9.

$$T^- = \frac{N(N+1)}{2} - T^+ \quad \text{Ecuación 9}$$

Ocasionalmente las dos puntuaciones de cualquier par son iguales. Es decir, no existe diferencia entre los miembros de ese par, así que $X_i - Y_i = d_i = 0$. Tales pares son excluidos del análisis y el tamaño de n se reduce respectivamente, en forma similar a como se hace en la prueba de los signos.

Puede ocurrir otro tipo de empate cuando dos o más diferencias son de la misma magnitud. A estos casos se les asigna el mismo rango, el cual se calcula de la siguiente manera: Si los tres pares más pequeños presentan diferencias de la misma magnitud, -1, -1 y +1, a cada par se le asigna el rango 2, porque los rangos que le corresponden se promedian $(1+2+3)/3=2$; el rango que corresponde al siguiente par es 4, porque los rangos 1, 2 y 3 ya fueron asignados. Si el ejemplo se realiza con dos pares el rango sería 1,5; ya que $(1+2)/2=1,5$ y la diferencia siguiente recibiría el rango 3.

Muestras pequeñas

Sea T^+ la suma de los rangos para los cuales la diferencias (d_i) fueron positivas. La tabla de valores críticos de T^+ para la prueba de rangos asignados de Wilcoxon proporciona varios valores de T^+ y sus probabilidades de ocurrencia asociadas, en la suposición de que no existen diferencias en los grupos X y Y. Esto es, si una observada es igual al valor presentado en la tabla para un tamaño de muestra (N) particular, la probabilidad de un valor de T^+ tan grande es tabulada.

Si la probabilidad es menor o igual al nivel de significación obtenido, la hipótesis nula puede rechazarse en ese nivel de significación. La tabla de valores críticos de T^+ para la prueba de rangos asignados de Wilcoxon se utiliza para pruebas tanto unidireccionales como bidireccionales. Una prueba unidireccional es adecuada si el investigador predice alguna dirección particular de las diferencias. Para pruebas bidireccionales, se tiene que duplicar el valor proporcionado por la tabla.

Muestras grandes

Cuando N es mayor que 15, la tabla valores críticos de T^+ para la prueba de rangos asignados de Wilcoxon no puede utilizarse; sin embargo, se puede demostrar que en tales casos la suma de los rangos T^+ se distribuye aproximadamente de manera normal con:

$$\text{Media} = \mu_{T^+} = \frac{N(N+1)}{4} \text{ y Varianza} = \sigma_{T^+}^2 = \frac{N(N+1)(2N+1)}{24}$$

Y se utiliza la aproximación de la prueba de Wilcoxon a la distribución normal dada por la ecuación 10.

$$z = \frac{T^+ - \mu_{T^+}}{\sigma_{T^+}} = \frac{T^+ - N(N+1)/4}{\sqrt{N(N+1)(2N+1)/24}} \quad \text{Ecuación 10}$$

Rangos empatados y muestras grandes: Si existen rangos con empates, es necesario ajustar la prueba estadística para considerar el decremento en la variabilidad de T. La corrección requiere contar los empates y reducir la varianza, utilizando la ecuación 11 que establece la corrección de la varianza cuando existen rangos empatados.

$$\sigma_{T^*}^2 = \frac{N(N+1)(2N+1)}{24} - \frac{1}{2} \sum_{j=1}^g t_j(t_j - 1)(t_j + 1) \quad \text{Ecuación 11}$$

g= número de agrupamientos de diferentes rangos empatados.

t_j = número de rangos empatados agrupados en j.

Ejemplo

Una compañía de mercadotecnia se interesa en la preferencia del consumidor con respecto a dos marcas de refrescos que compiten entre sí. Se seleccionaron, en forma aleatoria, 14 personas y se les pidió que clasificaran las bebidas mediante una escala del 1 (poca aceptación) al 10 (muchacha aceptación). El orden en la selección de la bebida fue aleatorio. Se obtuvo la información que se presenta en la Tabla 42.

Tabla 42. Datos de preferencia para dos marcas de refrescos

Persona	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Marca A	7	5	9	4	8	10	4	3	7	2	8	6	6	9
Marca B	3	2	7	6	9	3	5	1	4	2	4	7	5	4

Planteamiento de hipótesis

H₀ = Los jueces aceptan por igual cualquiera de las dos marcas de refrescos.

H₁ = Los jueces difieren en la aceptación del refresco según la marca.

Condición estadística

Para este estudio se escogió la prueba de Wilcoxon por tratarse de una muestra donde se usa el juez como su propio control y las diferencias en las puntuaciones pueden ser ordenadas por medio de rangos.

Nivel de significación

$\alpha=0,05$ y $N=14$ número de jueces que participaron en la prueba, (N puede reducirse si hay empates). En la Tabla 43 se presenta el arreglo de los datos utilizados para la prueba.

Tabla 43. Arreglo de los datos para aplicar la prueba de Wilcoxon

Persona	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Marca A	7	5	9	4	8	10	4	3	7	2	8	6	6	9
Marca B	3	2	7	6	9	3	5	1	4	2	4	7	5	4
d	4	3	2	-2	-1	7	-1	2	3	0	4	-1	1	5
Rango de d	10,5	8,5	6	-6	-2,5	13	-2,5	6	8,5	-	10,5	-25	2,5	12

La suma de los rangos positivas $T^+=10,5+8,5+6+13+6+8,5+10,5+2,5+12=77,5$. La tabla de valores críticos de T^+ para la prueba de rangos asignados de Wilcoxon muestra que con $N=13$ y $T^+=77,5$ la probabilidad es igual a 0,012 pero como la prueba es bidireccional se multiplica por dos, es decir, $2*(0,012)=0,024$. Como este valor de probabilidad es menor para el $\alpha=0,05$ seleccionado, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que los jueces difieren en la aceptación del refresco según la marca.

Resumen del procedimiento

Para la aplicación de la prueba de Wilcoxon se deben seguir los siguientes pasos:

1. Para cada par igualado de observaciones, X_i y Y_i , determine la

Evaluación sensorial y metodologías para su análisis

- diferencia con signo entre las dos variables ($d_i = X_i - Y_i$).
2. Ordene los rangos sin tener en cuenta su signo. A las diferencias que tengan el mismo valor, asígneles el rango promedio.
 3. A cada rango asigne el signo (+ o -) de la diferencia correspondiente.
 4. Determine N, que es el número de las diferencias que no son iguales a cero.
 5. Determine T+, que es la suma de los rangos que tienen signo positivo.
 6. El procedimiento para determinar la significación del valor observado de T+ depende del tamaño de N:
 - a) $N \leq 15$, la tabla de valores críticos de T+ para la prueba de rangos asignados de Wilcoxon proporciona la probabilidad asociada a los valores de T+. Si la probabilidad es menor o igual que en nivel de significación α seleccionado, rechace H_0 .
 - b) Si $N > 15$, entonces calcule el valor de z utilizando la ecuación 10, y en caso de existir rangos con empates, corrija la varianza por medio de la ecuación 11. Determine la probabilidad asociada cuando H_0 es verdadera recurriendo a la tabla de probabilidades de la distribución normal. Para una región bidireccional, duplíquese la probabilidad proporcionada por dicha tabla.

Procedimiento con el software

Con el STATISTIX primero se procede a ingresar las variables a estudiar.

1. En primer lugar tiene que crear los nombres de las variables que identifican sus datos. En el menú DATA>INSERT>VARIABLE.
2. Introduzca los nombres de las variables, según tantas variables

tenga, separadas por coma en el cuadro de texto que indica, NEW VARIABLES NAMES y teclee el botón OK.

3. Al aparecer los nombres de las variables, cargue los datos en las variables respectivas, separando los decimales con puntos en vez de comas. Guarde los datos ingresando en el menú ARCHIVO>SAVE AS>NOMBRE (coloque el nombre del archivo)>GUARDAR.
4. Ingrese al menu STATISTICS>ONE, TWO, MULTI-SAMPLE TESTS >WILCOXON SIGNED RANK TEST.
5. En la ventana de WILCOXON SIGNED RANK TEST pase las variables por medio de las flechas al cuadro de texto SAMPLE VARIABLES y presione OK.
6. Aparece entonces el resultado del estadístico de la prueba de rangos asignados de Wilcoxon, el cual es la suma de los rangos positivos, con este valor y el N se puede entrar a la tabla de valores críticos de Wilcoxon y concluir sobre la H_0 . En la salida computacional aparece el valor de p, el cual se compara con el nivel de significación elegido y se determina el rechazo o no de la hipótesis nula.

3.3.- Pruebas aplicadas a k muestras relacionadas

3.3.1.- Prueba Q de Cochran

Función

Esta prueba provee un método para evaluar si tres o más grupos igualados de frecuencias o proporciones difieren. Es aplicable a datos de

tipo categórico, en escala nominal, u observaciones dicotómicas. Los k grupos se consideran apareados o igualados porque cada individuo se somete a las k condiciones.

Método

A los datos dicotómicos se les asigna la puntuación 1 por cada éxito y 0 para cada fracaso. Los datos se presentan en una tabla $r \times k$, siendo $r=n^\circ$ de filas y $k= n^\circ$ de columnas. N es el número de casos en cada uno de los k grupos o condiciones. El valor Q se determina usando la ecuación 12.

$$Q = \frac{(k-1) \left[k \sum_{j=1}^k G_j^2 - \left(\sum_{j=1}^k G_j \right)^2 \right]}{k \sum_{i=1}^N L_i^2 - \sum_{i=1}^N L_i^2} \quad \text{Ecuación 12}$$

G_j = número total de “éxitos” en la j-ésima columna.

L_i = número total de “éxitos” en el i-ésimo renglón.

La significación del valor observado de Q puede determinarse conociendo que Q se aproxima a la distribución J_1 Cuadrada con $k-1$ grados de libertad. Si la probabilidad asociada con la ocurrencia cuando H_0 es verdadera, de un valor tan grande como el valor observado de Q, es igual o menor que α se debe rechazar H_0 .

Ejemplo

Se interesa conocer la preferencia entre tres fórmulas elaboradas de dulce de tomate, que serán degustadas por un panel evaluador no entrenado conformado por 18 individuos, los cuales indicaran si aceptan o no cada fórmula.

Planteamiento de hipótesis

H_0 =La probabilidad de un “sí” para las tres formulaciones de dulce de tomate es la misma.

H_1 =La probabilidad de un “sí” difiere dependiendo del tipo de formulación del dulce de tomate.

Condición estadística

Se escogió la prueba Q de Cochran porque los datos pertenecen a más de dos grupos relacionados ($k=3$) y son respuestas dicotómicas (“sí” y “no”).

Nivel de significación

$\alpha=0,05$; N =número de juicios=18, k =número de condiciones a evaluar=3 y $gl=2$.

La categoría “si me gustó” se representa como 1 y “no me gustó” como 0. Los datos del estudio se presentan en la Tabla 44. Las puntuaciones están arregladas en $N=18$ filas y $k=3$ columnas. Además se muestran los valores de L_i (número de sí en cada fila) y L_i^2 . Por ejemplo, el primer juez respondió “no me gustó”, en todos los tratamientos, entonces $L_i=0+0+0=0$, y $L_i^2=0^2+0^2+0^2=0$.

Tabla 44. Respuestas de jueces afectivos a tres fórmulas de dulce de tomate

Juez	Fórmula 1	Fórmula 2	Fórmula 3	L_i	L_i^2
1	0	0	0	0	0
2	1	1	0	2	4
3	0	1	0	1	1
4	0	0	0	0	0
5	1	0	0	1	1
6	1	1	0	2	4
7	1	1	0	2	4
8	0	1	0	1	1
9	1	0	0	1	1
10	0	0	0	0	0
11	1	1	1	3	9
12	1	1	1	3	9
13	1	1	0	2	4
14	1	1	0	2	4
15	1	1	0	2	4
16	1	1	1	3	9
17	1	1	0	2	4
18	1	1	0	2	4
Total	$G_1=13$	$G_2=13$	$G_3=3$	$\sum_{i=1}^{18} L_i = 29$	$\sum_{i=1}^{18} L_i^2 = 63$

Se puede observar que $G_1=13$, es el número de respuestas “sí” a la fórmula 1, $G_2=13$, es el número de de respuestas “sí” a la fórmula 2, y $G_3=3$ es el número de respuestas “sí” a la fórmula 3.

El número total de respuestas “sí” en las tres fórmulas es:

$$\sum_{j=1}^3 G_j = 13 + 13 + 3 = 29$$

Si se sustituyen los valores en la ecuación 12, se tiene:

$$Q = \frac{(k-1) \left[k \sum_{j=1}^k G_j^2 - \left(\sum_{j=1}^k G_j \right)^2 \right]}{k \sum_{i=1}^N L_i - \sum_{i=1}^N L_i^2} = \frac{(3-1) \left[3(13^2 + 13^2 + 3^2) - 29^2 \right]}{(3)(29) - 63} = 16,7$$

El valor crítico que se obtiene de la tabla para la distribución Ji Cuadrada con dos grados de libertad y $\alpha=0,05$ es $\chi^2= 5,99$. Como el valor calculado es mayor que el valor crítico de la tabla, se rechaza

la H_0 y se concluye que la probabilidad de un “me gustó” para las tres formulaciones de dulce de tomate difiere dependiendo del tipo de formulación.

Resumen del procedimiento

Los pasos a seguir para utilizar la prueba Q de Cochran son:

1. A los datos dicotómicos se les asigna la puntuación 1 por cada “éxito” y 0 por cada “fracaso”.
2. Los datos se presentan en una tabla de $N \times k$, siendo N = filas y k = columnas. N es el número de casos en cada uno de los k grupos o condiciones.
3. El valor de Q se determina utilizando la ecuación 12.
4. La significación del valor observado Q puede determinarse mediante la tabla de distribución Ji Cuadrada, con $gl = k - 1$. Si la probabilidad asociada con la ocurrencia cuando H_0 es igual o mayor que el valor observado de Q para el α especificado, se debe rechazar H_0 .

3.3.2.-Análisis por rangos de Friedman

Función

Cuando los datos de k muestras igualadas están al menos en escala ordinal, se puede utilizar el análisis por rangos de Friedman para evaluar la hipótesis nula de que las k muestras fueron extraídas de la misma población. Debido a que las k muestras son igualadas, el número de casos N es el mismo en cada una de las muestras.

El análisis por rangos de Friedman evalúa la hipótesis nula de que los k grupos igualados o medidas repetidas provienen de la misma población o de poblaciones con la misma mediana. Entonces, la hipótesis nula plantea que las medianas son las mismas $H_0: \theta_1 = \theta_2 = \dots = \theta_k$. Y si la hipótesis alterna es en al menos dos condiciones o grupos i y j . Es decir, si la hipótesis alterna $H_a: \theta_i \neq \theta_j$ es verdadera, al menos un par de condiciones tienen medianas diferentes. Bajo la hipótesis nula, la prueba supone que las variables tienen la misma distribución continua subyacente y se requiere que las mediciones se encuentren al menos, en escala ordinal.

Método

Para la prueba de Friedman los datos deben presentarse en una tabla de doble entrada conteniendo N filas y k columnas. Los renglones representan los sujetos o conjuntos de sujetos igualados y las columnas las distintas condiciones.

Los datos que emplea esta prueba son rangos. Las puntuaciones en cada fila se ordenan por rangos separadamente. Esto es, estudiando k condiciones, los rangos en cualquier fila varían de 1 a k . La prueba de Friedman determina la probabilidad de que diferentes columnas de rangos (muestras) provengan de la misma población, es decir, que las k poblaciones tengan la misma mediana.

Por ejemplo, supóngase que se desea estudiar las puntuaciones de tres grupos (A, B y C) en cuatro condiciones ($N=3$ y $k=4$). Cada grupo contiene cuatro sujetos igualados y cada uno de éstos será asignado a cada una de las cuatro condiciones. Suponga que las puntuaciones para este estudio son las que se presentan en la Tabla 45. Para aplicar la prueba de Friedman a estos datos, primero se debe ordenar las puntuaciones

por rangos en cada fila. A la puntuación menor se le asigna el rango 1, a la siguiente, el rango 2, y así sucesivamente, hasta obtener los datos que se muestran en la Tabla 46. Observe que los rangos en cada renglón varían de $k=1$ a 4.

Tabla 45. Puntuaciones de tres grupos igualados bajo cuatro condiciones					Tabla 46. Rango de tres grupos igualados bajo cuatro condiciones				
Grupo	<i>Condiciones</i>				Grupo	<i>Condiciones</i>			
	I	II	III	IV		I	II	III	IV
A	9	4	1	7	A	4	2	1	3
B	6	5	2	8	B	3	2	1	4
C	9	1	2	6	C	4	1	2	3
					R_i	11	5	4	10

Si la hipótesis nula (todas las muestras-columnas- provienen de la misma población) es verdadera, entonces la distribución de los rangos en una columna sería cuestión de oportunidad y se esperaría que los rangos 1, 2, 3 y 4 aparecieran en cada columna con, aproximadamente, igual frecuencia. Es decir, si los datos fueran aleatorios, la suma de los rangos en cada columna sería $N(k+1)/2$.

Si las puntuaciones de los sujetos fueran independientes de las condiciones, el conjunto de rangos en cada columna representaría una muestra al azar de una distribución discreta rectangular de los rangos 1, 2, 3 y 4, y los rangos totales de las distintas columnas serían iguales aproximadamente. Por el contrario, si las puntuaciones de los sujetos fueran dependientes de las condiciones (es decir, si H_0 fuera falsa), entonces los rangos totales variarían de una columna a otra. En vista de que todas las columnas contienen un número igual de casos, un planteamiento equivalente consistiría en que, según H_0 , el promedio de los rangos en las distintas columnas sería, aproximadamente, el mismo.

La prueba de Friedman determina si los rangos totales (denominados R_i) para cada condición o variable, difieren

significativamente de los valores esperados por oportunidad. Para realizar esta prueba se debe calcular el valor del estadístico, el cual se denota como F_r tal como se muestra en la ecuación 13.

$$F_r = \left[\frac{12}{Nk(k+1)} \sum_{j=1}^k R_j^2 \right] - 3N(k+1) \quad \text{Ecuación 13}$$

N = número de filas (sujetos)

k = número de columnas (variables o condiciones)

R_j = suma de los rangos en la j -ésima columna y

$\sum_{j=1}^k R_j^2$ = la sumatoria de los cuadrados de los rangos de todas las condiciones

Las probabilidades asociadas a varios valores de F_r cuando H_0 es verdadera, han sido tabuladas para varios tamaños de muestras y varios números de variables. La tabla de valores críticos para la prueba estadística de análisis por rangos de Friedman (Tabla 47) proporciona las probabilidades asociadas a valores de F_r tan grandes como los valores tabulados para varios valores de N y k . Si el valor observado de F_r es mayor que el valor registrado en el nivel de significación escogido, se debe rechazar H_0 a favor de H_1 .

Si el número de variables es mayor que cinco ($k > 5$) o el tamaño de la muestra (N) es mayor que los valores proporcionados en la tabla de valores críticos para la prueba estadística de análisis por rangos de Friedman, se debe utilizar una aproximación para muestras grandes. Cuando el número de filas y/o columnas es grande, se puede demostrar que el estadístico F_r que proporciona la ecuación 13, se distribuye aproximadamente como la χ^2 con $gl=k-1$. De esta manera, puede

utilizarse la tabla de valores críticos de la distribución ji cuadrada para determinar la significación de la probabilidad.

Si el valor de F_r (calculado mediante la ecuación 13) es igual o mayor que el valor proporcionado para un nivel de significación particular, entonces la suma de los rangos (o, equivalentemente, el rango promedio R_j/N) para las distintas columnas difiere significativamente (lo cual indica que el tamaño de las puntuaciones depende de las condiciones en que se obtienen), y por tanto H_0 debe ser rechazada en ese nivel de significación.

Para ilustrar el cálculo de F_r y el uso de la tabla de valores críticos para la prueba estadística de análisis bifactorial por rangos de Friedman, se probó la significación de las diferencias de los datos mostrados en las Tablas 45 y 46. Observe que el número de condiciones es $k=4$ y el número de filas es $N=3$. Se puede calcular el valor de F_r para los datos sustituyendo sus valores en la ecuación 13.

$$F_r = \left[\frac{12}{Nk(k+1)} \sum_{j=1}^k R_j^2 \right] - 3N(k+1) = \frac{12}{(3)(4)(4+1)} (11^2 + 5^2 + 4^2 + 10^2) - (3)(3)(4+1) \\ = 7,4$$

Evaluación sensorial y metodologías para su análisis

Tabla 47. Valores críticos para la prueba estadística de análisis de varianza por rangos de Friedman.

k	N	$\alpha \leq 0,10$	$\alpha \leq 0,05$	$\alpha \leq 0,01$
3	3	6,00	6,00	-
	4	6,00	6,50	8,00
	5	5,20	6,40	8,40
	6	5,33	7,00	9,00
	7	5,43	7,14	8,86
	8	5,25	6,25	9,00
	9	5,56	6,22	8,67
	10	5,00	6,20	9,60
	11	4,91	6,54	8,91
	12	5,17	6,17	8,67
	13	4,77	6,00	9,39
4	∞	4,61	5,99	9,21
	2	6,00	6,00	-
	3	6,60	7,40	8,60
	4	6,30	7,80	9,60
	5	6,36	7,80	9,96
	6	6,40	7,60	10,00
	7	6,26	7,80	10,37
	8	6,30	7,50	10,35
5	∞	6,25	7,82	11,34
	3	7,47	8,53	10,13
	4	7,60	8,80	11,00
	5	7,68	8,96	11,52
	∞	7,78	9,49	13,28

Fuente: Siegels, N Castellan. 1998. Estadística no paramétrica aplicada a las ciencias de la conducta

Ejemplo

Un grupo de personas recibieron un entrenamiento para ser jueces sensoriales del tipo discriminativo, y realizaron una prueba de ordenamiento para cuatro soluciones con diferentes concentraciones de sal, los resultados se observan en la Tabla 48. Se les solicitó a los jueces

que probaran y ordenaran de menor a mayor las soluciones (con 1 en su menor intensidad y 4 en su mayor intensidad); para determinar si el grupo de panelistas ordenaron las muestras correctamente, se analizaron los datos por medio de la prueba de Friedman.

El total de jueces evaluados fueron 69 y la hipótesis que se quiere probar es si los jueces pudieron detectar las diferencias en concentración de sal.

Planteamiento de hipótesis

H_0 =Los jueces no pudieron detectar las diferencias en concentración de sal. Todas las soluciones tienen igual concentración de sal.

H_1 =Los jueces detectaron las diferencias en al menos una de las concentraciones. Al menos una de las cuatro soluciones tiene diferente concentración de sal.

Condición estadística

Para este estudio se escogió la prueba de Friedman por tratarse de muestras relacionadas y porque se utilizan medidas en escala ordinal. Como el tamaño de la muestra es grande, F_r se distribuye aproximadamente como ji cuadrada con grados de libertad. Así, la probabilidad asociada a la ocurrencia según H_0 de un valor tan grande como el valor observado de F_r puede ser determinado mediante la utilización de la tabla de valores críticos de la distribución Ji cuadrada.

Nivel de significación

$\alpha=0,05$; N =número de personas=69, k =número de condiciones a evaluar=4 y $gl=3$.

Tabla 48. Resultados de la prueba de ordenamiento para cuatro soluciones de diferentes concentraciones de sal

Jueces	Orden creciente de sal			
	A	B	C	D
1	1	2	3	4
2	3	1	2	4
3	3	2	4	1
4	1	3	2	4
5	1	3	2	4
6	1	3	2	4
7	1	2	3	4
8	3	1	2	4
9	1	2	4	3
10	1	3	2	4
11	1	3	2	4
12	3	1	2	4
13	1	2	3	4
14	1	2	3	4
15	1	2	3	4
16	1	2	3	4
17	1	2	3	4
18	1	3	2	4
19	1	2	3	4
20	1	3	2	4
21	1	3	2	4
22	1	2	3	4
23	1	2	3	4
24	1	2	3	4
25	1	2	3	4
26	1	2	3	4
27	3	1	2	4
28	1	3	2	4
29	1	3	2	4
30	1	3	2	4
31	1	3	2	4
32	1	3	2	4
33	1	3	2	4
34	1	2	3	4
35	1	2	3	4
36	1	2	3	4
37	1	3	2	4
38	1	3	2	4
39	1	3	2	4
40	1	3	2	4
41	3	1	2	4
42	1	3	2	4
43	3	1	2	4
44	1	3	2	4
45	3	1	2	4
46	3	1	2	4
47	3	1	2	4
48	1	2	3	4
49	1	3	2	4
50	1	3	2	4
51	3	1	2	4

Evaluación sensorial y metodologías para su análisis

52	1	3	2	4
53	1	3	2	4
54	1	2	3	4
55	1	3	2	4
56	1	3	2	4
57	1	2	3	4
58	1	3	2	4
59	1	3	2	4
60	1	3	2	4
61	2	1	3	4
62	1	2	3	4
63	4	1	2	3
64	1	2	3	4
65	1	2	3	4
66	1	2	3	4
67	1	3	2	4
68	1	3	2	4
69	1	3	2	4
$\sum R_j$	95	158	166	271
R_j^2	9025	24964	27556	73441

$$\sum R_j^2 = 134986$$

$$F_r = \left[\frac{12}{Nk(k+1)} \sum_{j=1}^k R_j^2 \right] - 3N(k+1) = \left[\frac{12}{(69)(4)(4+1)} (134986) \right] - 3(69)(4+1) = 138,8$$

El valor del estadístico asociado con el valor $p = 0,05$ es $\chi^2 = 7,82$. Como el valor de F_r es mayor se rechaza la H_0 y se concluye que los jueces detectaron las diferencias en las diferentes concentraciones de sal.

Comparaciones múltiples entre grupos o condiciones para la prueba de Friedman

Cuando el valor obtenido de F_r es significativo, este resultado refleja que al menos una de las condiciones difiere con respecto a otra de las condiciones. Pero esto no indica al investigador cuál grupo es diferente, ni cuántos de los grupos difieren entre sí. Es decir, cuando el

valor obtenido de F_r es significativo, se evalúa la hipótesis $H_0: \theta_u = \theta_v$, contra la hipótesis $H_0: \theta_u \neq \theta_v$, para algunas condiciones u y v . Existe un procedimiento sencillo para determinar cuáles condiciones son las que difieren. Primero, se determinan las diferencias $R_u - R_v$ para todos los pares de grupos o condiciones.

Cuando el tamaño de la muestra es grande, estas diferencias se distribuyen aproximadamente de manera normal. Sin embargo, debido a que existe un gran número de diferencias y éstas no son independientes, debe ajustarse apropiadamente el procedimiento de comparación. Suponga que se evalúa la hipótesis de que no existen diferencias entre las k condiciones o grupos igualados y que se rechaza en el nivel de significación α , entonces se deben probar las diferencias de los pares individuales, utilizando la desigualdad expresada en la ecuación 14.

$$|R_u - R_v| \geq z_{\frac{\alpha}{k(k-1)}} \sqrt{\frac{Nk(k+1)}{6}} \quad \text{Ecuación 14}$$

Entonces se puede rechazar la hipótesis $H_0: \theta_u = \theta_v$, y concluir que $H_0: \theta_u \neq \theta_v$. Si la diferencia entre la suma de rangos excede el valor crítico, se debe concluir que las dos condiciones son diferentes. El valor $z_{\frac{\alpha}{k(k-1)}}$ es el valor de la abscisa de la distribución normal unitaria donde se encuentra $\frac{\alpha}{k(k-1)}$ % de la distribución. Los valores de z se pueden observar en la tabla de probabilidades asociadas a la distribución normal.

Debido a que a menudo es necesario obtener los valores basados en probabilidades extremadamente pequeñas, en especial cuando k es grande, se puede utilizar la tabla de valores críticos de z para $\#c$ comparaciones múltiples. La misma ha sido arreglada de tal forma que los valores utilizados en las comparaciones múltiples puedan

ser obtenidos fácilmente y está arreglada con base en el número de comparaciones (#c) que pueden realizarse. Los valores de la tabla son las probabilidades del extremo superior asociadas a varios valores de α . Cuando hay k grupos, hay $k(k-1)/2$ comparaciones.

Ejercicio:

En el ejemplo anterior acerca de las diferencias en las soluciones de diferentes concentraciones de sal, la H_0 de que los jueces no detectaron diferencias entre las cuatro soluciones fue rechazada y se concluyó que sí detectaron las diferencias entre las mismas. Sin embargo, aunque se comprobó la existencia de las diferencias, no se sabe si había diferencias entre una solución y otra o si las diferencias existieron entre las cuatro soluciones. Para encontrar dónde están las diferencias, se determina con las comparaciones múltiples para los cuatro grupos.

Primero, se determinan las diferencias entre los valores de la sumatoria de los grupos R_j para cada muestra, cuyos valores son $A=95$, $B=158$, $C=166$ y $D=271$.

$$|A - B| = |95 - 158| = 63$$

$$|B - C| = |158 - 166| = 8$$

$$|A - C| = |95 - 166| = 71$$

$$|B - D| = |158 - 271| = 113$$

$$|A - D| = |95 - 271| = 176$$

$$|C - D| = |166 - 271| = 105$$

Después, se prueba la significación de las diferencias entre los pares individuales, utilizando la ecuación 14. Se comprueba para cada caso si la diferencia entre la sumatoria de los rangos excede el valor crítico correspondiente, si esto sucede se concluye que las dos condiciones son diferentes. Se utiliza la tabla de valores críticos de z para #c comparaciones múltiples (Tabla 49). Para valores de #c fuera de los rangos incluidos, se puede encontrar z usando la tabla de probabilidades de la distribución normal.

Tabla 49. Tabla de Valores críticos de z para #c comparaciones múltiples.

	Bidireccional	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05
#c	Unidireccional	0,150	0,125	0,100	0,075	0,050	0,025
1		1,036	1,150	1,282	1,440	1,645	1,960
2		1,440	1,534	1,645	1,780	1,960	2,241
3		1,645	1,732	1,834	1,960	2,128	2,394
4		1,780	1,863	1,960	2,080	2,241	2,498
5		1,881	1,960	2,054	2,170	2,326	2,576
6		1,960	2,037	2,128	2,241	2,394	2,638
7		2,026	2,100	2,189	2,300	2,450	2,690
8		2,080	2,154	2,241	2,350	2,498	2,734
9		2,128	2,200	2,287	2,394	2,539	2,773
10		2,170	2,241	2,326	2,432	2,576	2,807
11		2,208	2,278	2,362	2,467	2,608	2,838
12		2,241	2,301	2,394	2,498	2,638	2,866
15		2,326	2,394	2,475	2,576	2,713	2,935
21		2,450	2,515	2,593	2,690	2,823	3,038
28		2,552	2,615	2,690	2,785	2,913	3,125

Para este ejemplo en particular:

$$\alpha = 0,05; \quad k=4; \quad \#c = k(k-1)/2 = 4(4-1)/2 = 6$$

Con los valores de α y $\#c$ los valores de z con comparaciones múltiples ($\#c$), y utilizando un α bidireccional se obtiene $z = 2,638$.

$$z_{\frac{\alpha}{k(k-1)}} \sqrt{\frac{Nk(k+1)}{6}} = 2,638 \sqrt{\frac{(69)(4)(4+1)}{6}} = 40,01$$

Como se puede observar el único valor que es menor que el valor crítico, es la diferencia entre los rangos B y C, lo que indica que estas muestras son iguales para los jueces sensoriales. Por ello, los jueces detectan que la muestra D es más salada que C que es igual de salada a B y que todas las muestras anteriores son más saladas que A.

Comparaciones de grupos o condiciones con un control

A veces un investigador puede pretender hacer una comparación más específica que el conjunto de comparaciones descrita anteriormente. Por ejemplo, suponga que una condición o un grupo representa la

línea base contra la que hay que compararlas demás condiciones o grupos. Después de aplicar el análisis de la varianza de Friedman y comprobar que es significativo, el investigador puede desear comparar todas las condiciones en contra de una. Por conveniencia, se denotará a la condición control como condición 1. Entonces, la hipótesis que el investigador debe evaluar es:

$$H_0 : \theta_1 = \theta_u \quad \text{para} \quad u = 2, 3, \dots, k \quad \text{contra} \quad H_1 : \theta_1 \neq \theta_u \quad \text{para} \quad \text{algunas} \\ u = 2, 3, \dots, k .$$

Para evaluar un conjunto de condiciones contra una condición control, al igual que en el procedimiento de comparaciones múltiples, se debe calcular la diferencia $R_1 - R_u$ entre el control y cada una de las condiciones.

Cuando el tamaño de las muestras es moderadamente grande, estas diferencias se distribuyen aproximadamente de manera normal. De todas formas, las comparaciones no son independientes y los valores críticos se obtienen mediante la tabla de valores críticos de $q(\alpha, \#c)$ para las $\#c$ comparaciones múltiples dependientes. Entonces, se puede evaluar la significación de las diferencias entre una condición de tratamiento y las otras condiciones utilizando la desigualdad establecida en la ecuación 15.

$$|R_1 - R_u| \geq q(\alpha, \#c) \sqrt{\frac{Nk(k+1)}{6}} \quad \text{Ecuación 15}$$

Entonces se puede rechazar la hipótesis $H_0 : \theta_1 = \theta_u$, a favor de $H_1 : \theta_1 \neq \theta_u$. Los valores de $q(\alpha, \#c)$ son proporcionados en la tabla de valores críticos de $q(\alpha, \#c)$ para las $\#c$ comparaciones múltiples dependientes, para los valores de α y de $\#c$, donde $\#c = k - 1$, el cuál es el número de comparaciones.

Resumen del procedimiento

Éstos son los pasos a seguir para utilizar el análisis de rangos por Friedman;

1. Presente los puntajes en una tabla de doble entrada con N filas (sujetos) y k columnas (condiciones o variables).
2. Ordene por rangos los datos en cada fila, de 1 a k.
3. Determine la sumatoria de los rangos en cada columna (R_j).
4. Calcule el valor F_r con la ecuación 13 si no hay empates.
5. El método para determinar la probabilidad de ocurrencia de un valor observado F_r cuando H_0 es verdadera, depende del tamaño de N y k:
La tabla de valores críticos para la prueba estadística de análisis bifactorial por rangos de Friedman, proporciona los valores críticos de F_r para N y k pequeñas. Para N y/o k mayores se utiliza la tabla de valores críticos de z para #c comparaciones múltiples
6. Si la probabilidad proporcionada al realizar el paso 5, es igual o menor que α , rechace la H_0 .
7. Si H_0 es rechazada, utilice las comparaciones múltiples para determinar cuáles diferencias entre las condiciones son significativas. Si se van a evaluar las diferencias entre las distintas condiciones y una condición control utilice las ecuaciones de comparaciones con un control.

Procedimiento con el software

Con el STATISTIX primero se procede a ingresar las variables a estudiar.

1. En primer lugar tiene que crear los nombres de las variables que identifican sus datos. En el menú DATA>INSERT>VARIABLE.
2. Introduzca los nombres de las variables, según tantas variables tenga, separadas por coma en el cuadro de texto que indica, NEW VARIABLES NAMES y teclee el botón OK.
3. Al aparecer los nombres de las variables, cargue los datos en las variables respectivas, separando los decimales con puntos en vez de comas. Guarde los datos ingresando en el menú ARCHIVO>SAVE AS>NOMBRE (coloque el nombre del archivo)>GUARDAR.
4. Ingrese al menu STATISTICS> ONE, TWO, MULTI-SAMPLE TESTS >FRIEDMAN TWO-WAY AOV.
5. En la ventana de FRIEDMAN TWO-WAY AOV seleccione en MODEL SPECIFICATION la opción TABLE, y pase las variables por medio de las flechas al cuadro de texto TABLE VARIABLES, y presione OK
6. Aparece entonces el resultado del valor de Friedman el cual se puede comparar con el obtenido en el ejemplo y concluir sobre la H_0 al comparar con el valor crítico. El programa da en la salida el valor de p, el cual se compara con el nivel de significación elegido y se determina el rechazo o no de la hipótesis nula.

Para este ejemplo no se cumplen los supuestos del análisis paramétrico del ANAVAR, tales como: una escala de medición al menos de intervalo, normalidad y homogeneidad de residuos, por lo tanto, solamente apropiada el análisis no paramétrico para obtener conclusiones de los resultados.

3.3.3.- Prueba de Page para alternativas ordenadas

Función

La prueba de Page para alternativas ordenadas evalúa la hipótesis de que los grupos (o las medidas) son los mismos contra la hipótesis alterna de que los grupos (o las medidas) están ordenados en una secuencia específica. Para aclarar la hipótesis nula y alterna de manera más explícita, θ_j = mediana de la población para el j-ésimo grupo o medida. Entonces, se debe plantear la hipótesis nula de que las medianas son las mismas como:

$$H_0 : \theta_1 = \theta_2 = \dots = \theta_k$$

Y la hipótesis alterna debe plantearse ordenadas por magnitud:

$$H_1 : \theta_1 \leq \theta_2 \leq \dots \leq \theta_k$$

Si la hipótesis alterna es verdadera, al menos una de las diferencias es una desigualdad estricta (<). Es importante destacar que para asegurar el uso adecuado de esta prueba, el investigador debe ser capaz de especificar el orden de los grupos (medidas o condiciones) a priori. Para aplicar la prueba de Page, los datos de las k muestras o medidas deben encontrarse al menos en escala ordinal.

Método

Para aplicar la prueba de Page para alternativas ordenadas, el

investigador debe especificar primero el ordenamiento, a priori, de los grupos. Los datos se colocan en una tabla de dos entradas con N filas y k columnas. Las filas representan los sujetos o conjuntos igualados, y las columnas representan las k condiciones (grupos o medidas). Los datos para la prueba de Page son rangos. Las puntuaciones en cada fila se ordenan por separado y varían de 1 a k. La hipótesis nula consiste en que el rango promedio en cada una de las columnas es el mismo. La hipótesis alterna es que el rango se incrementa a lo largo de los grupos del 1 al k. Más que utilizar los rangos promedios en los cálculos de la prueba estadística, se utilizan los rangos totales R_j para los j grupos (Siegel y Castellan, 1998). Para realizar la prueba, se calcula el estadístico L tal como presenta la ecuación 16.

$$L = \sum_{j=1}^k jR_j = R_1 + 2R_2 + \dots + kR_k \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde R_j es la sumatoria de las filas en las j columnas. La tabla de valores críticos del estadístico L de la prueba de Page (Tabla 50) proporciona las probabilidades asociadas a valores de L tan grandes como los valores de la tabla para varios tamaños de N y k. Si el valor observado de L es mayor que el valor contenido en el nivel de significación escogido, se debe rechazar la hipótesis H_0 a favor de la H_1 .

Muestras grandes

La tabla del estadístico L de la prueba de Page presenta los valores críticos de L para N 20 con k =3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 (Tabla 50). Para valores mayores de N o k, se utiliza una aproximación de muestras grandes en la evaluación de la hipótesis mediante el estadístico L de la prueba de Page. Para valores grandes de N y k, la distribución muestral de L se distribuye de manera aproximadamente normal aplicando la ecuación 17 que realiza una aproximación de la prueba de Page a la distribución normal.

$$z_L = \frac{12L - 3Nk(k+1)^2}{k(k^2 - 1)} \sqrt{\frac{k-1}{N}}$$

Ecuación 17

Para N grande, el estadístico z_L está distribuido aproximadamente de manera normal, con media igual a cero y desviación estándar igual a uno. La significación de z_L y L puede ser determinada mediante la tabla de distribución normal estándar. Debido a que las alternativas están ordenadas, la prueba de Page es unidireccional.

Tabla 50. Valores críticos del estadístico L de la prueba de Page. ($P(L \geq L_\alpha) = \alpha$).

K=3				K=4			K=5			K=6		
α				α			α			α		
N	0,05	0,01	0,001	0,05	0,01	0,001	0,05	0,01	0,001	0,05	0,01	0,001
2	28			58	60		103	106	109	166	173	178
3	41	42		84	87	89	150	155	160	244	252	260
4	54	55	56	111	114	117	197	204	210	321	331	341
5	66	68	70	137	141	145	244	251	259	397	409	420
6	79	81	83	163	167	172	291	299	307	474	486	499
7	91	93	96	189	193	198	338	346	355	550	563	577
8	104	106	109	214	220	225	384	393	403	625	640	655
9	116	119	121	240	246	252	431	441	451	701	717	733
10	128	131	134	266	272	278	477	487	499	777	793	811
11	141	144	147	292	298	305	523	534	546	852	869	888
12	153	156	160	317	324	331	570	581	593	928	949	965
12	165	169	172									
14	178	181	185									
15	190	194	197									
16	202	206	210									
17	215	218	223									
18	227	231	235									
19	239	243	248									
20	251	256	260									

K=7				K=8			K=9			K=10		
α				α			α			α		
N	0,05	0,01	0,05	0,01	0,05	0,01	0,05	0,01	0,05	0,01	0,05	0,01
2	252	261	252	261	252	261	500	520	544	670	696	726
3	370	382	370	382	370	382	736	761	790	987	1019	1056
4	487	501	487	501	487	501	971	999	1032	1301	1339	1382
5	603	620	603	620	603	620	1204	1236	1273	1614	1656	1704
6	719	737	719	737	719	737	1436	1472	1512	1927	1972	2025
7	835	855	835	855	835	855	1668	1706	1750	2238	2288	2344
8	950	972	950	972	950	972	1900	1940	1987	2549	2602	2662
9	1065	1088	1065	1088	1065	1088	2131	2174	2223	2859	2915	2980
10	1180	1205	1180	1205	1180	1205	2361	2407	2459	3169	3228	3296
11	1295	1321	1348	1868	1905	1943	2592	2639	2694	3478	3541	3612
12	1410	1437	1465	2035	2072	2112	2822	2872	2929	3788	3852	3927

Fuente: Siegel, S.; N. Castellan. 1998. Estadística no Paramétrica; Aplicada a las ciencias de la conducta.

Ejemplo

A tres jueces se les dan seis muestras para ordenarlas de acuerdo a un orden creciente en concentración de sal. En la Tabla 51 se presentan las respuestas para la prueba.

Planteamiento de hipótesis:

H_0 : Todas las soluciones tienen igual concentración,

$$C_A = C_B = C_C = C_D = C_E = C_F.$$

H_1 : Las soluciones fueron ordenadas de menor a mayor por los jueces de acuerdo a la magnitud de sus concentraciones,

$$C_A < C_B < C_C < C_D < C_E < C_F.$$

Condición estadística:

Se selecciona la prueba de Page para alternativas ordenadas, porque el investigador supone un ordenamiento en la exactitud de las respuestas.

Nivel de Significación: $\alpha=0,05$

$N=3, k=6$

Nivel de Significación: $\alpha=0,05$

$N=3, k=6$

Tabla 51. Resultados de la prueba sensorial al ordenar las muestras para aplicar la prueba de Page

Jueces	Orden Creciente de concentración de sal en las muestras					
	A	B	C	D	E	F
1	1	3	2	5	6	4
2	2	1	5	4	3	6
3	1	2	4	3	5	6
$\sum R_j$	4	6	11	12	14	16

$$L \text{ de Page} = \sum iR_i = 1 \times 4 + 2 \times 6 + 3 \times 11 + 4 \times 12 + 5 \times 14 + 6 \times 16 = 263$$

Buscando en la tabla de valores críticos del estadístico L de la prueba de Page para $\alpha=0,05$, $N=3$, $k=6$, $L=244$ (Tabla 50). EL valor calculado $L=263$ es mayor que 244, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula a favor de la hipótesis alternativa, así se puede concluir que los jueces detectan el orden de concentración de las soluciones de manera estadísticamente significativa con $\alpha<0,001$.

Resumen del procedimiento

1. Arregle los datos en una tabla de doble entrada con N filas (sujetos) y k columnas (condiciones o variables). El ordenamiento se debe especificar a priori.
2. Ordene por rangos los datos en cada fila de 1 a k .
3. Determine las sumatorias de los rangos (R_j) en cada columna.
4. Calcule el valor L con la ecuación 16.
5. El método para determinar la probabilidad asociada a L cuando es verdadera, depende del tamaño de N y k .

5.1 La tabla del estadístico L de la prueba de Page proporciona los valores críticos de L seleccionados para $N \leq 20$ cuando $k=3$, $N \leq 12$ y cuando $4 \leq k \leq 10$

5.2 Si el número de observaciones y/o variables excluye el uso de la tabla del estadístico L de la prueba de Page se puede utilizar la tabla de distribución normal. El valor de L puede ser calculado por la ecuación 17 y la distribución normal permite determinar si z_L y, por tanto, L , se encuentran en la región de rechazo. Ya que especifica una hipótesis direccionada, la prueba es de una cola.

3.4.- Pruebas de asociación

3.4.1.- Coeficiente C de Cramer

Función

Es una medida del grado de asociación o relación entre dos series de atributos o variables. Se usa cuando se tiene sólo información categórica (escala nominal) acerca de uno o de ambos conjuntos de atributos o variables.

Método

Para calcular el coeficiente de Cramer entre puntuaciones de dos conjuntos de variables categóricas A con categorías $A_1, A_2, \dots, A_k$, y B con categorías $B_1, B_2, \dots, B_r$, se arreglan las frecuencias dentro de una tabla de contingencia. Los datos pueden consistir en cualquier número de categorías. Es decir, se puede calcular para datos de una tabla 2x2, o cualquier tabla de rxk. Ver Tabla 52.

Tabla 52: Modelo de tabla de contingencia para aplicar Cramer

	A_1	A_2	...	A_k	Total
B_1	n_{11}	n_{12}	...	n_{1k}	R_1
B_2	n_{21}	n_{22}	...	n_{2k}	R_2
.	.	.	...	.	.
.	.	.	...	.	.
.	.	.	...	.	.
B_r	n_{r1}	n_{r2}	...	n_{rk}	R_r
Total	C_1	C_2	...	C_k	N

Se obtienen frecuencias esperadas en cada celda (E_{ij}), bajo el supuesto de que no existiera asociación entre las dos variables; esto es, las frecuencias que se esperarían en cada celda si las variables fueran independientes o no relacionadas. Mientras mayor sea la discrepancia

entre esos valores esperados y los valores observados, más alto es el grado de asociación entre las dos variables y por tanto más grande el valor del coeficiente de Cramer. El grado de asociación entre dos conjuntos de atributos al medirse por medio del coeficiente de Cramer se calcula con la ecuación 18.

$$C = \sqrt{\frac{\chi^2}{N(L-1)}} \quad \text{Ecuación 18}$$

χ^2 se calcula con la ecuación 19 y L es el mínimo del número de filas o columnas en la tabla de contingencia. El coeficiente de Cramer tiene un valor máximo de uno y será igual a cero cuando las variables o los atributos sean independientes, por ende el coeficiente de Cramer no puede ser negativo.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \frac{(n_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} \text{ o } \chi^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \frac{n_{ij}^2}{E_{ij}} - N \quad \text{Ecuación 19}$$

Prueba de significación del coeficiente de Cramer

Para cualquier tabla de contingencia $r \times k$, se puede determinar la significación del grado de asociación (la significación de C) averiguando la probabilidad asociada con la ocurrencia, cuando H_0 es cierta, de valores tan grandes a los valores observados de χ^2 , con $gl=(r-1)(k-1)$. Si esta probabilidad es igual o menor que α , la hipótesis nula se puede rechazar en ese nivel de significación.

La tabla proporciona la probabilidad asociada con la ocurrencia según H_0 de valores tan grandes como una χ^2 observada. Si la χ^2 para el estadístico de la muestra es significativo, entonces se puede concluir que en la población la asociación entre las dos series de atributos no es cero,

es decir, los atributos o las variables no son independientes.

Limitaciones del coeficiente de Cramer

El coeficiente de Cramer es igual a cero cuando no existe asociación entre las variables de la muestra; sin embargo, cuando es igual a la unidad, puede ser que no exista una correlación “perfecta” entre las variables. Existe correlación perfecta si en la tabla de contingencia $r=k$. Si no es cuadrada aún es posible que C sea igual a la unidad, pero en este caso existe asociación perfecta solamente en una dirección. Una segunda limitación de C es que los valores esperados tienen que ser grandes, es decir, más del 20% de las celdas de la tabla de contingencia deben tener frecuencias esperadas menores que cinco y ninguna celda menor que uno.

Resumen del procedimiento:

1. Arregle las frecuencias observadas en una tabla de contingencia $r \times k$; donde r es el número de categorías en las cuales se clasifica una variable y k es el número de categorías en las cuales se clasifica la otra variable.
2. Determine la frecuencia esperada $E_{ij} = R_i C_j / N$ según H_0 para cada celda. Si más del 20% de las celdas tienen frecuencias esperadas menores que cinco o cualquiera menor que uno, combine las categorías (ya sea filas o columnas) para incrementar las frecuencias esperadas que sean deficientes.
3. Mediante la ecuación 19 calcule el valor χ^2 para los datos.
4. Use este valor de χ^2 para calcular el valor de C mediante la ecuación 18.

5. Para probar si el valor observado de C indica que existe una asociación significativa entre las dos variables en la población muestreada, determine la probabilidad asociada según H_0 de un valor tan grande como el observado χ^2 con $gl=(r-1)(c-1)$, consultando la tabla de la distribución ji cuadrada. Si esa probabilidad es igual o menor que α , rechace H_0 a favor H_1 .

Ejemplo

Se desea determinar la preferencia que tienen diferentes grupos de edades con cuatro sabores diferentes de refrescos, para ello se contaron la cantidad de personas que prefirieron determinado sabor de refrescos y se tomó en cuenta la edad de la persona. Para tal estudio se utilizaron 10 semanas y solamente un supermercado de Tulcán en Ecuador. En la Tabla 53 se muestran los datos obtenidos.

Tabla 53. Frecuencia de respuestas de los diferentes sabores de soda en un supermercado

Número de veces que seleccionó la soda	Colita	Naranja	Soda Negra	Manzana	Total
Mayor de 40 años	13	8	10	3	34
Entre 20 y 40 años	20	23	27	18	88
Menores de 20 años	11	12	12	21	56
Total	44	43	49	42	178

Planteamiento de Hipótesis

H_0 =Las dos variables (edad y preferencia de refresco) no están relacionadas o son independientes en la población.

H_1 =Las dos variables están relacionadas o asociadas en la población.

Condición estadística

Evaluación sensorial y metodologías para su análisis

El coeficiente de Cramer es un estadístico apropiado porque las variables empleadas están en escala nominal.

Nivel de significación

$\alpha=0,05$, N =número de personas=178.

Los valores esperados se determinan calculando los $E_{ij} = R_i C_j / NY$ y se presentan en la Tabla 54.

Tabla 54. Frecuencias esperadas y observadas para las diferentes sodas

Categoría de edad	Colita	Naranja	Soda negra	Manzana	Total
Mayor de 40 años	13 <i>8,40</i>	8 <i>8,21</i>	10 <i>9,36</i>	3 <i>8,02</i>	34
Entre 20 y 40 años	20 <i>21,75</i>	23 <i>21,26</i>	27 <i>24,22</i>	18 <i>20,76</i>	88
Menores de 20 años	11 <i>13,84</i>	12 <i>13,53</i>	12 <i>15,42</i>	21 <i>13,21</i>	56
Total	44	43	49	42	178

El tamaño de χ^2 refleja la magnitud de la discrepancia entre los valores observados y los esperados en cada una de las celdillas. Podemos calcular χ^2 para los valores de la Tabla 54 por medio de la ecuación 19:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^k \frac{n_{ij}^2}{E_{ij}} - N = \frac{13^2}{8,40} + \frac{8^2}{8,21} + \frac{10^2}{9,36} + \frac{3^2}{8,02} + \frac{20^2}{21,75} + \frac{23^2}{21,26} + \frac{27^2}{24,22} + \frac{18^2}{20,76} + \frac{11^2}{13,84} + \frac{12^2}{13,53} + \frac{12^2}{15,42} + \frac{21^2}{13,21} - 178 = 12,80$$

Utilizando la ecuación 18 para calcular el coeficiente C de Cramer:

$$C = \sqrt{\frac{\chi^2}{N(L-1)}} = \sqrt{\frac{12,80}{178(3-1)}} = 0,189$$

Así se encuentra que existe poca asociación entre la edad de los jueces con la preferencia del tipo de soda.

Para los datos de la Tabla 54, $\chi^2=12,80$ con $.gl=(r-c)(c-1)=(3-1)(4-1)=6$. La tabla de valores críticos muestra $\chi^2=12,59$. Por lo tanto como el valor calculado (12,80) es mayor que el valor teórico (12,59) se rechaza la H_0 y se concluye que la proporción de sujetos que prefiere los distintos tipos de soda varía conforme a la edad. Aunque el grado de asociación es pequeño ($C = 0,189$ o equivalentemente 18,9%), se puede concluir que es significativamente diferente de cero.

3.4.2.- Coeficiente de concordancia W de Kendall

Función

Cuando se tienen k conjuntos de rangos, se pueden determinar la asociación entre ellos usando el coeficiente de concordancia W de Kendall.

Método

Para calcular W , se arreglan primero los datos en una tabla $k \times N$ con cada fila representando los rangos asignados por un juez particular a los N objetos. Se obtiene la suma de los rangos R_i en cada columna de la tabla y se divide cada una de ellas por k para encontrar el promedio de los rangos. Entonces, se suma los y se divide el total por N para obtener la gran media de los R_i . Cada uno de los R_i puede expresarse como una desviación de la gran media. Mientras más grande sean estas desviaciones, más grande será el grado de asociación entre los k conjuntos de rangos. Se encuentran la suma de cuadrados de estas desviaciones. Con estos valores, se puede calcular el coeficiente de concordancia W de Kendall. (Ecuación 20). El valor de W varía entre cero y uno donde $W=0$ significa discordancia total y $W=1$ significa concordancia total.

$$W = \frac{12 \sum R_i^2 - 3k^2 N(N+1)^2}{k^2 N(N^2 - 1)} \quad \text{Ecuación 20}$$

k= Número de juicios o sujetos evaluadores.

N= número de muestras.

$\sum R_i^2$ = sumas de los cuadrados de los rangos para cada una de las muestras.

Observaciones empatadas

Cuando ocurren observaciones empatadas, se asigna a cada una de las observaciones el promedio de los rangos que les habría asignado si no hubieran ocurrido empates. El efecto de rangos empatados es reducir el valor de W encontrado mediante la ecuación 20. Si la proporción de rangos empatados es pequeña, el efecto es insignificante, sin embargo, si la proporción de empates es grande o el investigador quiere una estimación más precisa, se debe usar una corrección (Ecuación 21). Esta corrección resulta de un ligero incremento en el valor de W comparado con el valor que se habría obtenido si no se hubiera hecho corrección alguna.

$$T_j = \sum_{i=1}^{g_j} (t_i^3 - t_i) \quad \text{Ecuación 21}$$

Donde t_i es el número de rangos empatados en el i-ésimo grupo de empates, y g_j es el número de grupos de empates en el j-ésimo conjunto de rangos. Así, T_j es el factor de corrección requerido para el j-ésimo conjunto de rangos. La fórmula para el coeficiente de concordancia de Kendall corregido por empates, está dada por la ecuación 22.

$$W = \frac{12 \sum R_i^2 - 3k^2 N(N+1)^2}{k^2 N(N^2 - 1) - k \sum T_j}$$

Ecuación 22

Donde $\sum T_j$ es la suma de los valores de T_j para todos los k conjuntos de rangos.

Prueba de la significación de W: El método para probar la significación del coeficiente de concordancia de Kendall, depende del tamaño de muestra.

Muestras pequeñas

Se puede probar la significación de cualquier valor observado de W al determinar la probabilidad asociada con la ocurrencia, cuando H_0 es cierta, de un valor tan grande como el observado. Si se obtiene la distribución muestral de W para todas las permutaciones en los N rangos en todos los posibles modos entre los k rangos, se tiene $(N!)k$ conjunto de posibles rangos. Con esto se puede probar la hipótesis nula de que los k conjuntos de rangos son independientes, al tomar de esta distribución la probabilidad asociada con la ocurrencia según H_0 , de un valor tan grande como una W observada (Tabla 55).

N = 3		
k	$\alpha=0,05$	0,01
8	0,376	0,522
9	0,333	0,469
10	0,300	0,425
12	0,250	0,359
14	0,214	0,311
15	0,200	0,291
16	0,187	0,274
18	0,166	0,245
20	0,150	0,221

Evaluación sensorial y metodologías para su análisis

	N = 4		N = 5		N = 6		N = 7	
k	0,05	0,01	0,05	0,01	0,05	0,01	0,05	0,01
3	-	-	0,716	0,840	0,660	0,780	0,624	0,737
4	0,619	0,768	0,552	0,683	0,512	0,629	0,484	0,592
5	0,501	0,644	0,449	0,571	0,417	0,524	0,395	0,491
6	0,421	0,553	0,378	0,489	0,351	0,448	0,333	0,419
8	0,318	0,429	0,287	0,379	0,267	0,347	0,253	0,324
10	0,256	0,351	0,231	0,309	0,215	0,282	0,204	0,263
15	0,171	0,240	0,155	0,211	0,145	0,193	0,137	0,179
20	0,129	0,182	0,117	0,160	0,109	0,146	0,103	0,136

Fuente: Siegel, S.; N. Castellan. 1998. Estadística no Paramétrica; Aplicada a las ciencias de la conducta.

Para N=3 y k<8 no existe valor de W en el lado superior que tenga una probabilidad de ocurrencia menor que 0,05

Para la distribución de W según H_0 (la suposición de que los rangos son independientes) se han tabulado ciertos valores. En la tabla de Kendall, se proporcionan los valores críticos para los valores de significación $\alpha=0,05$ y $\alpha=0,01$. Si un valor observado de W es mayor o igual al mostrado para un nivel particular de significación, entonces H_0 puede ser rechazada en ese nivel de significación. Se recuerda que como índice de significación, $0 \leq W \leq 1$, por ello son apropiadas pruebas concernientes a W unidireccional.

Muestras grandes

Cuando N es mayor que 7, no se puede usar la tabla de valores críticos del coeficiente de acuerdos W de Kendall para determinar la significación de una W observada. Está aproximadamente distribuida como la ji cuadrada con N-1 grados de libertad. Es decir, la probabilidad asociada cuando H_0 es cierta, con la ocurrencia de un valor tan grande como una W observada, puede determinarse al encontrar χ^2 usando la ecuación 23 y especificar la probabilidad asociada con un valor tan grande de χ^2 al consultar la tabla de valores críticos de la distribución ji cuadrada.

$$\chi^2 = k(N-1)W$$

Ecuación 23

Si el valor χ^2 de calculado por la ecuación 23, iguala o excede el mostrado para un nivel particular de significación y un valor particular de $gl=N-1$, entonces la hipótesis nula H_0 de que los k rangos no están relacionados (o son independientes), puede rechazarse en ese nivel de significación.

Ejemplo

Para evaluar la concordancia de las respuestas de un grupo de jueces entrenados al degustar y valorar un conjunto de muestras en una prueba de ordenamiento, se utilizó como análisis estadístico el coeficiente de concordancia W de Kendall, esta prueba establece si los jueces presentan acuerdo en la forma en que ordenaron las muestras y por lo tanto, si el criterio utilizado por los jueces para ordenar es el mismo. En la Tabla 56 se presentan los datos obtenidos y ordenados para aplicar Kendall.

Planteamiento de hipótesis

H_0 =Los juicios emitidos por los jueces son independientes y no concordantes.

H_1 =Los juicios emitidos por los jueces no son independientes y concordantes.

Condición estadística

Como se tiene cuatro conjuntos de rangos en la prueba, se puede determinar la asociación entre ellos usando el coeficiente de concordancia de W de Kendall.

Nivel de significación

Evaluación sensorial y metodologías para su análisis

$$\alpha=0,05, \quad gl= N-1=4-1=3$$

Tabla 56. Resultados de una prueba de cuatro soluciones de concentraciones creciente de sal y los datos ordenados para analizar con el coeficiente W de concordancia de Kendall

Juez	Valores promedios de las tres repeticiones para cada condición.				Valores ordenados para aplicar la prueba de Kendall			
	A	B	C	D	A	B	C	D
1	2,33	1,67	3	3	2	1	3,5	3,5
2	1	3	2	4	1	3	2	4
3	1,67	1,67	3	3,67	1,5	1,5	3	4
4	1,67	2,33	2	4	1	3	2	4
5	1	2	3	4	1	2	3	4
6	1	2,33	2,67	4	1	2	3	4
7	1	2,67	2,33	4	1	3	2	4
8	1	2	3	4	1	2	3	4
9	1,67	1,67	2,67	4	1,5	1,5	3	4
10	1	3	2	4	1	3	2	4
11	1	3	2	4	1	3	2	4
12	1	2	3	4	1	2	3	4
13	1	3	2	4	1	3	2	4
14	1,67	2,33	2	4	1	3	2	4
15	2,33	1,67	2	4	3	1	2	4
16	2,33	1,33	2,33	4	2,5	1	2,5	4
17	1,67	2,33	2	4	1	3	2	4
18	1	2,67	2,33	4	1	3	2	4
19	1	2,67	2,33	4	1	3	2	4
20	1	3	2	4	1	3	2	4
21	2,33	1,33	2,67	3,67	2	1	3	4
22	1	2	3	4	1	2	3	4
23	1	3	2	4	1	3	2	4

R_i	29,5	53	56	91,5
R_i^2	870,25	2809	3136	8372,25

$$\sum R_i^2=15187,5$$

Como los jueces 1, 3, 9 y 16 obtuvieron empates en sus rangos, se utiliza la ecuación 21. Por ejemplo, para el caso de T_1 con dos observaciones empatadas. $T_1=(2^3-2)=6$.

Como los tres casos obtuvieron el mismo número de empates, el valor de T_i es el mismo al de T_1 , es decir, $T_3=T_9=T_{16}=6$. Utilizando la ecuación 22, corregida por empates se obtiene:

$$W = \frac{12 \sum R_i^2 - 3k^2 N(N+1)^2}{k^2 N(N^2 - 1) - k \sum T_j} = \frac{12(15187,5) - 3(23^2)(4)(4+1)^2}{23^2(4)(4^2 - 1) - 23(6+6+6+6)} = 0,665$$

Para determinar la significación del valor de W se utiliza la distribución Ji cuadrada, para muestras grandes utilizando la ecuación 23:

$$\chi^2 = k(N-1)W = 23(4-1)(0,665) = 45,88$$

De la tabla J_i cuadrada, con $gl=n-1=4-1=3$ y $\alpha=0,05$, χ^2 tabulado= 7,82. Como el valor de χ^2 calculado es mayor que el valor tabulado de χ^2 (7,82) se concluye que los juicios emitidos por los jueces no son independientes y concordantes; en relación al ordenamiento de las cuatro soluciones.

Resumen del procedimiento

1. Sea N el número de entidades u objetos a los que se les van a asignar rangos y sea k el número de jueces que van a asignar rangos. Coloque los rangos observados en una tabla $k \times N$.
2. Para cada objeto, determine R_i , la suma de los rangos asignados a ese objeto, por cada uno de los k jueces.
3. Determine los valores cuadrados de cada una de las sumas R_i^2 .
4. Si no existen empates o la proporción de rangos empatados es pequeña, calcule el valor de W mediante la ecuación 20. Si la proporción de empates entre los N rangos es grande, use la ecuación 22, para determinar el valor de W .
5. El método para determinar si el valor observado de W es significativamente diferente de cero, depende del tamaño N , el número de objetos a los que se les asignó rangos:

- Si $N \leq 10$, la tabla de valores críticos del coeficiente W de Kendall proporciona los valores para los niveles de significación $\alpha=0,05$ y $\alpha=0,01$.
- Si $N > 10$, se puede usar la ecuación 23 para calcular un valor de W que está aproximadamente distribuido como ji cuadrada, y cuya significación para $gl=n-1$ puede probarse consultando la tabla de valores críticos de la distribución ji cuadrada.

6. Si W es mayor que el valor crítico encontrado al usar la tabla correspondiente, se rechaza la H_0 y se concluye que los rangos no son independientes y concordantes.

Interpretación de W

Un valor alto o significativo de W puede interpretarse como un reflejo de que los k observadores o jueces están aplicando esencialmente los mismos criterios al poner rangos a los N objetos en estudio. Con frecuencia, su ordenamiento de intereses puede utilizarse como un estándar, especialmente cuando no existe un criterio externo relevante para ordenar los objetos.

Cabe destacar que un valor alto o significativo de W no indica que los ordenamientos sean correctos. Para decirlo en otras palabras: un alto grado de acuerdo acerca de un ordenamiento, no necesariamente significa que el orden acordado sobre éste sea el verdadero. Esta prueba se apropia para determinar el grado de acuerdo entre jueces en la clasificación de k muestras.

3.4.3.- Coeficiente de correlación r_s de Spearman para rangos ordenados

Función

Es una medida de asociación entre dos variables que requieren que ambas estén en, al menos, una escala ordinal, de manera tal que los objetos o individuos en estudio puedan ser colocadas en dos series ordenadas.

Método

Para obtener r_s , se hace una lista de los N sujetos u observaciones. A cada sujeto se le asigna el rango para la variable X y el rango para la variable Y , asignando el rango de 1 a la X más pequeña y el rango N a la X mayor y así se sigue. Determine luego los valores de d_i , que es la diferencia entre los rangos X y Y para la i -ésima observación. Obtenga el cuadrado de cada d_i y después sume todos los valores de d_i^2 para obtener $\sum d_i^2$. Luego, coloque este valor y el valor de N (el número de observaciones o sujetos) directamente en la ecuación 24.

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^N d_i^2}{N^3 - N}$$

Ecuación 24

Observaciones empatadas

Ocasionalmente dos o más sujetos reciben la misma puntuación en la misma variable. Cuando ocurren puntuaciones empatadas, a cada una de ellas se le asigna el promedio de los rangos que habrían sido asignados si no hubieran ocurrido los empates.

Si la proporción de las observaciones empatadas no es grande, su efecto sobre es insignificante y la ecuación 24 puede aún usarse para su cálculo. Sin embargo, si la proporción de empates es grande, entonces de incorporarse un factor de corrección en el cálculo de tal como muestra la ecuación 25.

$$T_x = \sum_{i=1}^g (t_i^3 - t_i) \quad \text{Ecuación 25}$$

Donde g es el número de grupos de diferentes rangos empatados y t es el número de rangos empatados en el i -ésimo grupo. Los empates que ocurren en la variable Y requieren corrección de la misma manera, y el factor de corrección se denota T_y . Cuando está presente un número considerable de empates, se calcula r_s con la ecuación 26.

$$r_s = \frac{(N^3 - N) - 6 \sum d^2 - (T_x - T_y)/2}{\sqrt{(N^3 - N)^2 - (T_x - T_y)(N^3 - N) + T_x T_y}} \quad \text{Ecuación 26}$$

Prueba de la significación de r_s

Si los sujetos cuyas puntuaciones se emplean para calcular fueron elegidos aleatoriamente de una población, se puede usar esas puntuaciones para determinar si las dos variables están asociadas en la población. Se puede probar la hipótesis nula de que las dos variables en estudio no están asociadas (es decir, son independientes) en la población y el valor observado de r_s difiere de cero sólo al azar. Se puede probar las hipótesis:

H_0 : no existe asociación entre X y Y

H_1 : existe asociación entre X y Y (una prueba bidireccional) o H_1 : existe una asociación positiva (o negativa) entre X y Y (una prueba unidireccional).

Muestras pequeñas

Se utiliza la ecuación 24 y la tabla de valores críticos del coeficiente de correlación de Spearman r_s de rangos ordenados proporciona los valores críticos de Spearman. Para N desde 4 hasta 50, se proporcionan los valores críticos de la correlación de rangos ordenados r_s de Spearman según H_0 para varios valores de α entre 0,25 y 0,0005. La tabla es unidireccional, es decir, las probabilidades establecidas se aplican cuando el valor observado de r_s está en la dirección predicha, ya sea positiva o negativa. Si un valor observado r_s es igual o excede un valor particular, ese valor observado es significativo (para una prueba unidireccional) al nivel indicado. Para una prueba bidireccional en la cual la hipótesis alterna H_1 es que las dos variables están relacionadas, pero no hace suposiciones acerca de la dirección de la relación entre ellas, las probabilidades de la tabla se duplican. En Tabla 57 se muestran los valores para $N \leq 15$, tabla original cubremuestrass hasta $n=50$.

Tabla 57. Valores críticos del coeficiente de correlación de Spearman r_s de rangos ordenados.

	α 0,25	0,10	0,05	0,025	0,01	0,005	0,0025	0,001	0,0005	Unidireccional
N	α 0,50	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,005	0,002	0,001	bidireccional
4	0,600	1,000	1,000							
5	0,500	0,800	0,900	1,000	1,000					
6	0,371	0,657	0,829	0,886	0,943	1,000	1,000			
7	0,321	0,571	0,714	0,786	0,893	0,929	0,964	1,000	1,000	
8	0,310	0,524	0,643	0,738	0,833	0,881	0,905	0,952	0,976	
9	0,267	0,483	0,600	0,700	0,783	0,833	0,867	0,917	0,933	
10	0,248	0,455	0,564	0,648	0,745	0,794	0,830	0,879	0,903	
11	0,236	0,427	0,536	0,618	0,709	0,755	0,800	0,845	0,873	
12	0,224	0,406	0,503	0,587	0,671	0,727	0,776	0,825	0,860	
13	0,209	0,385	0,484	0,560	0,648	0,703	0,747	0,802	0,835	
14	0,200	0,367	0,464	0,538	0,622	0,675	0,723	0,776	0,811	
15	0,189	0,354	0,443	0,521	0,604	0,654	0,700	0,754	0,786	

Fuente: Siegel, S.; N. Castellan. 1998. Estadística no Paramétrica; Aplicada a las ciencias de la conducta.

Muestras grandes

Cuando N es más grande que 20 o 25, la significación de una obtenida según la hipótesis nula también puede ser probada mediante el estadístico z (aproximación de para muestras grandes) dado en la ecuación 27.

$$z = r_s \sqrt{N-1}$$

Ecuación 27

Para N grande, el valor definido está distribuido de manera aproximada normal con media cero y desviación estándar uno. Así, la probabilidad asociada cuando H_0 es cierta para cualquier valor tan extremo como un valor observado de r_s , puede determinarse al calcular la z asociada con ese valor y después determinando la significación de la z al consultar la tabla de distribución normal. Aunque la prueba de grandes muestras puede emplearse cuando N es tan pequeña como 20, el uso de los valores críticos de Spearman es preferible para $N \leq 50$.

Ejemplo:

En un estudio de almacenamiento de cerezas con películas de PVC y a 0°C se observó que existe cierta asociación lineal entre el sabor dulce detectado por los panelistas y el grado de dulzor que presentaba la cereza. En la Tabla 58 se presentan los datos obtenidos de la mediana de sabor dulce que percibían 15 panelistas, junto con el grado de dulzor que indicaba el equipo de medición (los datos de lectura del equipo no

Tabla 58. Datos para aplicar la prueba de Spearman

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Jueces	5	2	8	9	10	7	1	6	4	3
Lectura equipo	12,0	12,3	13,2	12,9	13,7	13,7	12,0	12,9	13,2	11,8
Rango asignado	2,5	4	7,5	5,5	9,5	9,5	2,5	5,5	7,5	1

habían sido recabados como rangos, por lo que fue necesario transformar los datos en rangos). Se quiere saber si existe una relación a un $\alpha=0,05$.

Planteamiento de hipótesis

H_0 = No existe asociación lineal entre el grado de sabor detectado por los jueces y el detectado por el instrumento.

H_1 = Existe asociación lineal positiva entre el grado de sabor detectado por los jueces y el detectado por el instrumento.

Condición estadística

Como se desea determinar si existe correlación y solamente existen dos variables se utiliza la correlación de Spearman. (Tabla 59)

Tabla 59. Arreglo de los datos para aplicar la prueba de Spearman

Número de pruebas	Dulzor (mediana) detectado por los jueces (X)	Dulzor (rango) detectado por el instrumento (Y)	$X-Y=d_i$	$(X-Y)^2=d_i^2$
1	5	2,5	2,5	6,25
2	2	4	-2	4
3	8	7,5	0,5	0,25
4	9	5,5	3,5	12,25
5	10	9,5	0,5	0,25
6	7	9,5	-2,5	6,25
7	1	2,5	-1,5	2,25
8	6	5,5	0,5	0,25
9	4	7,5	-3,5	12,25
10	3	1	2	4
				$\sum d_i^2=44$

Aplicando la ecuación 24:

$$r_s = 1 - \frac{6 \cdot 44}{10(10^2 - 1)} = 0,73$$

Este resultado sugiere que existe una fuerte correlación entre las dos variables. Aplicando la corrección por empates a la ecuación 24, utilizando la ecuación 25, primero para la variable x.

$$T_x = (2^3 - 2) = 6$$

$$\sum x^2 = \frac{N^3 - N - T_x}{12} = \frac{10^3 - 10 - 6}{12} = 82$$

Para la variable y:

$$T_y = (2^3 - 2) + (2^3 - 2) + (2^3 - 2) + (2^3 - 2) = 24$$

$$\sum y^2 = \frac{10^3 - 10 - 24}{12} = 80,5$$

Utilizando la ecuación 26:

$$r_s = \frac{(10^3 - 10) - 6 * 44 - (82 + 80,5)/2}{\sqrt{(10^3 - 10)^2 - (82 + 80,5)(10^3 - 10) + 82 * 80,5}} = 0,709$$

Nivel de significación $\alpha=0,05$.

La correlación de Spearman es 0,709 y de la tabla de correlación de Spearman para N=10 se muestra que un valor tan grande como éste es significativo en el nivel $P<0,025$ (prueba unidireccional). Así se puede rechazar H_0 en el nivel $\alpha=0,05$ y concluir que existe asociación lineal positiva entre el grado de sabor detectado por los jueces y el detectado por el equipo de medición (instrumento).

Resumen del procedimiento

Estos son los pasos que hay que seguir en el uso del coeficiente de correlación de Spearman de rangos ordenados.

1. Asigne rangos a los sujetos (observaciones) en la variable X desde 1 hasta N. Asigne rangos a las observaciones de la variable Y desde 1 hasta N. Para X empates (o Y), asigne a cada uno el valor promedio de los rangos asociados.

2. Haga una lista de los N sujetos. Coloque el rango de cada sujeto en la variable X y la variable Y.

3. Determine el valor de d_i para cada sujeto sustrayendo el rango de Y del correspondiente rango de X. Eleve al cuadrado este valor para determinar d_i^2 . Sume los d_i^2 . Sume los d_i^2 para los N casos para determinar $\sum d_i^2$.

4. Si la proporción de empates en cualquiera de las dos observaciones de X o Y es grande, use la ecuación 26 para calcular r_s . En otro caso, use la ecuación 24.

5. Si los sujetos constituyen una muestra aleatoria de alguna población, se puede probar si el valor observado de r_s indica una asociación entre las variables X y Y en la población. Las hipótesis son H_0 : no existe asociación entre X y Y, y H_1 : existe una asociación entre X y Y. El método para hacer esto depende del tamaño de la muestra N:

- Para N desde 4 hasta 50, los valores críticos de entre los niveles de significación (unidireccionales) 0,25 y 0,0005, están proporcionadas en la tabla de valores críticos del coeficiente de correlación de Spearman. Para una prueba bidireccional, las probabilidades de significación correspondiente se duplican.
- Para $N > 50$, la probabilidad asociada con un valor tan grande como el valor observado de r_s , puede ser aproximado al calcular la z asociada con ese valor usando la ecuación 27 y determinando después la significación de ese valor de z al consultar la tabla de distribución normal.

6. Si el valor de r_s (o z) excede el valor crítico, rechaza H_0 a favor de H_1 .

Procedimiento con el software

Con el STATISTIX primero se procede a ingresar las variables a estudiar.

1. En primer lugar tiene que crear los nombres de las variables que identifican sus datos. En el menú DATA>INSERT>VARIABLE.
2. Introduzca los nombres de las variables, según tantas variables tenga, separadas por coma en el cuadro de texto que indica, NEW VARIABLES NAMES y teclee el botón OK.
3. Al aparecer los nombres de las variables, cargue los datos en las variables respectivas, separando los decimales con puntos en vez de comas. Guarde los datos ingresando en el menú ARCHIVO>SAVE AS>NOMBRE (coloque el nombre del archivo)>GUARDAR.
4. Ingrese al menú STATISTICS>ASSOCIATION TESTS >SPEARMAN RANK CORRELATIONS.
5. En la ventana del SPEARMAN RANK CORRELATIONS, pase las variables por medio de las flechas al cuadro de texto CORRELATION VARIABLES, y de OK.
6. Aparece entonces el resultado del estadístico de Spearman el cual se puede comparar con el que se obtuvo en el ejemplo. Se puede observar que este valor es el corregido por empates. Sin embargo, el programa da en la salida el valor de p, el cual se compara con el nivel de significación elegido y se determina el rechazo o no de la hipótesis nula.

Capítulo 4

Metodologías paramétricas usadas en el análisis sensorial

Los avances e innovación en la industria de alimentos se vuelven cada vez más exigentes, para satisfacer estos requerimientos se han desarrollado equipos e instrumentos específicos como: el penetrómetro, texturómetro, colorímetro, nariz mecánica entre otros. Los datos obtenidos en pruebas instrumentales deben ser analizados estadísticamente con pruebas que aunque tienen ciertas suposiciones como normalidad y escala de medida al menos ordinal, admiten análisis paramétricos los cuales son más potentes que los no paramétricos.

En este capítulo se describen los casos estadísticos paramétricos, en cuanto a aplicabilidad, requisitos mínimos de nivel de medición, hipótesis, nivel de significación y tamaño de muestra. Los estadísticos que se describen corresponden a métodos estadísticos paramétricos usuales para analizar datos sensoriales en los casos donde los datos obtenidos están en escalas de intervalo o de proporción o razón.

4.1.- Pruebas aplicadas a dos muestras

4.1.1.- Prueba t para observaciones pareadas

Función

Las muestras pareadas involucran un procedimiento en el cual varios pares de observaciones se equiparan de la manera más próxima posible, en términos de características relevantes. Los dos grupos de

observaciones son diferentes sólo en un aspecto o “tratamiento”. Las ventajas de las muestras pareadas son: 1) pueden utilizarse muestras más pequeñas, 2) se encuentran varianzas más pequeñas, 3) menos grados de libertad se pierden en el análisis, 4) resulta un error de muestreo más pequeño (la variación entre observaciones se reduce debido a que corresponden de la forma más próxima posible).

Por este motivo se prefieren las muestras pareadas si su aplicación es posible, ya que es necesario que las diferencias d_i estén normalmente distribuidas. Otro uso para muestras pareadas involucra el análisis de las mismas observaciones antes y después del tratamiento. Las muestras pareadas tienen ciertas ventajas ya que con muestras pequeñas con frecuencia conducirán a resultados más preciso si se controlan los demás factores importantes, el investigador no tendrá que tomar muestras grandes para reducir el error de muestreo. La prueba t supone que las diferencias en las puntuaciones obtenidas pertenecen (o fueron extraídas) de una distribución normal (Webster, 2000).

Método

En una prueba de hipótesis hay cuatro pasos involucrados:

1. Plantear las hipótesis.
2. Con base a los resultados de la muestra, calcular el valor del estadístico de prueba. Sea d_i la diferencia en todo par correspondiente.
3. Determinar la regla de decisión con base en los valores críticos.
4. Interpretación y conclusiones.

Tabla 60. Criterios de rechazo para la prueba de hipótesis con respecto a las medias cuando las observaciones están pareadas

Hipótesis Nula	Valor del estadístico de prueba bajo H_0
	$t_0 = \frac{\bar{d} - \delta_0}{s_d / \sqrt{n}}$ Grados de libertad: $n-1$ $\bar{d} = \sum_{i=1}^n d_i / n$ $s_d = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n d_j^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{j=1}^n d_j \right)^2}{n-1}}$
Hipótesis Alternativa	Criterio de Rechazo
$H_1 : \mu_D \neq \delta_0$	Rechazar H_0 cuando $ t_0 > t_{\alpha, n-1}$
$H_1 : \mu_D > \delta_0$	Rechazar H_0 cuando $t_0 \geq t_{1-\alpha, n-1}$
$H_1 : \mu_D < \delta_0$	Rechazar H_0 cuando $t_0 \leq t_{\alpha, n-1}$

Fuente: Canavos, 1988

Para hallar el valor crítico de t se utiliza la tabla de probabilidades de la distribución t de Student.

Ejemplo

Considere una máquina de pruebas de dureza que presiona una punta sobre una barra de chicle con una fuerza conocida. La dureza de la barra del chicle se determina midiendo la profundidad de la marca hecha por la punta. Esta máquina dispone de dos puntas diferentes, aun cuando la precisión (variabilidad) de las dos puntas parece ser la misma. El experimento se realizó de la siguiente manera: Cada barra de chicle se dividió en dos partes iguales, asignando aleatoriamente una punta a una mitad de cada pieza experimental, y la otra punta a la otra mitad. El orden en que las puntas se prueban en un pedazo de barra particular fue también seleccionado aleatoriamente. Los resultados se presentan en la Tabla 61.

Tabla 61. Datos para el experimento de prueba de dureza

Pieza	1	2	3	4	5	6	7	8
Punta 1	74	76	74	69	58	71	66	65
Punta 2	78	79	75	66	63	70	66	67

Planteamiento de Hipótesis

$$H_0 : \mu_D = 0$$

$$H_1 : \mu_D \neq 0$$

Condición estadística

Como $n < 30$ y la desviación estándar de las diferencias de los puntajes σ_d es desconocida, se requiere el uso del estadístico t. Si n hubiera sido mayor que 30 o σ_d fuera conocido, el estadístico z se hubiera podido utilizar. Además, debe asumirse que los valores d siguen una distribución normal. En la Tabla 62 se presentan cálculos necesarios para la prueba.

Nivel de significación

$$\alpha/2=0,025.$$

Dado que $\alpha/2=0,025$, $n=8$ se observa que el valor crítico es

$$t_{\alpha=0,025;7} = 2,365$$

Tabla 62. Diferencias de los datos para aplicar la prueba t

Pieza	Punta 1	Punta 2	d_i	d_i^2
1	74	78	-4	16
2	76	79	-3	9
3	74	75	-1	1
4	69	66	3	9
5	58	63	-5	25
6	71	70	1	1
7	66	66	0	0
8	65	67	-2	4

$$\sum d_i = -11 \quad \sum d_i^2 = 65$$

Dados los datos anteriores se tiene que:

$$\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n d_j = \frac{1}{8}(-11) = -1,38$$

$$s_d = \left[\frac{\sum_{j=1}^n d_j^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{j=1}^n d_j \right)^2}{n-1} \right]^{1/2} = \left[\frac{65 - \frac{1}{8}(-11)^2}{8-1} \right]^{1/2} = 2,67$$

El estadístico de prueba es:

$$t_0 = \frac{\bar{d} - \delta_0}{s_d / \sqrt{n}} = \frac{-1,38}{2,67 / \sqrt{8}} = -1,46$$

Como el valor calculado es menor que el valor crítico; no se puede rechazar la $H_0 : \mu_D = 0$. En otras palabras, no existe evidencia que indique que las dos puntas producen lecturas diferentes de dureza.

Procedimiento con el Software

Con el STATISTIX primero se procede a ingresar las variables.

1. En primer lugar tiene que crear los nombres de las variables que identifican sus datos. En el menú DATA>INSERT>VARIABLE.
2. Introduzca los nombres de las variables, según tantas variables tenga, separadas por coma o un espacio, en el cuadro de texto que indica: NEW VARIABLES NAMES y teclee el botón OK.
3. Al aparecer los nombres de las variables, cargue los datos en las variables respectivas, separando los decimales con puntos en vez de comas. Es necesario cargar los datos correspondientes a las diferencias. Guarde los datos ingresando en el menú ARCHIVO>SAVE AS>NOMBRE (coloque el nombre del archivo)>GUARDAR.
4. En primer lugar se prueba el supuesto de normalidad de los

datos de las diferencias para poder aplicar la prueba t de student. Ingrese en el menú STATISTICS > RANDOMNESS / NORMALITY TESTS> NORMAL PROBABILITY PLOT.

5. En la ventana NORMAL PROBABILITY PLOT pase la variable en estudio por medio de las flechas al cuadro de texto PLOT VARIABLE y presione OK.
6. Para que los datos se puedan considerar de una distribución normal la probabilidad de la gráfica debe ser mayor que 0,05.
7. Luego de demostrar que los datos presentan una distribución normal, ingrese al menú STATISTICS > ONE, TWO, MULTI-SAMPLE TESTS > PAIRED T TEST.
8. En la ventana del ONE-SAMPLE TEST pase la variable por medio de las flechas al cuadro de texto SAMPLE VARIABLES, coloque en el cuadro de texto que indica NULL HYPOTHESIS el valor de la media contra la cual desea comparar la media de los datos, e identifique en ALTERNATE HYPOTHESIS la opción que desea como hipótesis alterna, es decir de desigualdad, mayor o menor que la media de comparación y presione OK.
9. Aparece entonces los resultados del estadístico t de student el valor p asociado, el cual que permite sacar conclusiones sobre la hipótesis nula.

4.2- Pruebas aplicadas a k muestras

El ANAVAR está diseñado específicamente para probar si tres o más muestras tienen la misma media. Aun cuando el propósito del ANAVAR es hacer pruebas para hallar las diferencias en las medias

poblacionales, implica un examen de la varianzas muestrales. El procedimiento se puede utilizar para determinar si cuando se aplica un “tratamiento” en particular a una población, éste tendrá un impacto significativo en su media. En el modelo de efectos fijos se seleccionan los tratamientos antes del estudio.

El análisis de la varianza supone que los errores del modelo (y por ende las observaciones):

1. Tienen distribuciones normales.
2. Tienen distribuciones independientes.
3. Tienen la misma varianza.

Si un número de tratamientos se designa como c , las hipótesis de prueba son:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_c$$

$$H_1 : \text{No todas las medias son iguales.}$$

Verificación de los supuestos

Estos supuestos pueden verificarse examinando los residuales. Se define un residual como la diferencia entre la observación real x_{ij} y el valor que se hubiera obtenido de un ajuste de mínimos cuadrados del modelo del análisis de varianza fundamental de los datos muestrales. Para el tipo de diseño experimental de esta situación, el valor $\bar{x}_i$ es la medida del factor x_i . Por lo tanto, el residual ; $e_{ij} = x_{ij} - \bar{x}_i$ es decir, la diferencia entre una observación y la media del nivel del factor correspondiente.

El supuesto de normalidad puede verificarse construyendo la gráfica de probabilidad normal de los residuales. Se analiza el valor de

W, el cual si está por encima de $W=0,95$, se considera aproximadamente normal. También existe un valor p que le acompaña, el cual debe ser mayor a 0,05 para asegurar normalidad.

Para verificar el supuesto de las varianzas iguales en cada nivel del factor, se grafican los residuales contra los niveles del factor y se compara la dispersión de los residuales. Cuando aparece un patrón en estas gráficas, por lo general sugiere la necesidad de una transformación de los datos, es decir, analizar los datos en una métrica diferente. También se puede verificar haciendo uso de la prueba de Bartlett.

El supuesto de independencia puede verificarse graficando los residuales contra el orden de las corridas en el que se llevó a cabo el experimento. Un patrón en esta gráfica, tal como secuencias de residuales positivos y negativos, podría indicar que las observaciones no son independientes. Esto sugiere que el orden de las corridas es importante o que las variables que cambian con el tiempo son importantes y tendrían que haberse incluido en el diseño experimental. (Webster, 2000)

4.2.1.- Análisis de varianza una vía para k muestras independientes: diseño completamente aleatorizado

Función

El término completamente aleatorizado proviene del hecho que varios sujetos o unidades experimentales se asignan aleatoriamente a diferentes niveles de un solo factor. El análisis de varianza se basa en una comparación de la cantidad de variación en cada uno de los tratamientos. Si de un tratamiento al otro la variación es significativamente alta, puede concluirse que los tratamientos tienen efectos diferentes en las poblaciones. En la Tabla 63 se pueden identificar tres tipos o fuentes de variación:

Evaluación sensorial y metodologías para su análisis

1. Existe variación entre el número total de las observaciones. No todas las observaciones tienen el mismo puntaje. Esto se denomina variación total.
2. Existe variación entre los diferentes tratamientos (muestras).

Las observaciones del tratamiento 1 no tiene el mismo puntaje que los de los tratamientos 2 hasta c. Esto se denomina variación entre muestras.

Tabla 63: Datos típicos de un experimento con un solo factor

		Tratamientos			
		1	2	...	c
Observaciones		x_{11}	x_{12}	...	x_{1c}
		x_{21}	x_{22}	...	x_{2c}
		.	.	...	.
		.	.	...	.
		.	.	...	.
		x_{i1}	x_{i2}	...	x_{ic}
Promedios		$\bar{x}_1$	$\bar{x}_2$	...	$\bar{x}_c$

3. Existe variación dentro de un tratamiento dado (muestra). No todas las observaciones del primer tratamiento tienen el mismo puntaje. Esto es lo que se denomina variación dentro de la muestra.

Para determinar si tratamientos diferentes tienen efectos diferentes en sus respectivas poblaciones, se hace una comparación de la variación dentro de las muestras de un mismo tratamiento y la variación entre muestras (de una muestra a la del siguiente tratamiento). La variación en los puntajes dentro de una muestra dada es producida por el azar. Es diferente con la variación entre muestras (de una muestra a otra), ya que la variación en los puntajes entre muestras puede producirse por el mismo factor aleatorio que la variación entre muestras (azar), más toda influencia adicional que puedan tener los tratamientos. Puede existir un efecto del tratamiento entre muestras debido a que cada muestra tiene

un tratamiento diferente.

Si un efecto del tratamiento existe, puede detectarse comparando la variación entre las muestras y la variación dentro de las muestras. Si la variación entre las muestras es significativamente mayor que la variación dentro de las muestras, un fuerte efecto de tratamiento está presente. Esta diferencia de la variación entre muestras y la variación dentro de las muestras es precisamente lo que mide el análisis de varianza. El análisis de varianza es una razón de la variación entre muestras con la variación dentro de las muestras. Si los tratamientos diferentes tienen efectos diferentes, la variación entre muestras crecerá, haciendo que la razón aumente. Esta razón se basa en la razón F .

La variación dentro de una muestra dada puede ser producida sólo por factores aleatorios. Dicha variación es independiente del tratamiento (ya que todas las observaciones dentro de una muestra tienen el mismo tratamiento) y es el resultado sólo del error de muestreo aleatorizado dentro de la muestra u otro efecto que no está siendo considerado.

La variación total es igual a la variación producida por los tratamientos diferentes, más la variación producida por elementos de error aleatorizados dentro de los tratamientos, es decir: Variación total = variación del tratamiento + variación del error.

Método

Las sumas de cuadrados

El reconocimiento de estas tres fuentes de variación permite la división de suma de cuadrados. Cada uno de los tres tipos de variación produce una suma de cuadrados (Ecuación 28). Existe: 1) la suma de cuadrados total (SCT) (Ecuación 29); 2) la suma de cuadrados del

tratamiento (SCTR) (Ecuación 30); y 3) la suma de cuadrados del error (SCE) (Ecuación 31a y 31b).

$$SCT = SCTR + SCE \quad \text{Ecuación 28}$$

Sea x_{ij} la observación i-ésima en la muestra j-ésima, y $\bar{\bar{x}}$ la gran media que se calcula con todas las n observaciones, se tiene:

$$SCT = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c (x_{ij} - \bar{\bar{x}})^2 \quad \text{Ecuación 29}$$

La gran media se le resta a cada una de las n observaciones. Las diferencias se elevan al cuadrado y se suman. Como lo muestra el signo doble de la sumatoria, esto se hace a través de todas las filas y columnas. La SCT es simplemente la variación de las observaciones alrededor de la gran media. Para la suma de cuadrados de los tratamientos, se tiene:

$$SCTR = \sum r_j (\bar{x}_j - \bar{\bar{x}})^2 \quad \text{Ecuación 30}$$

El número de observaciones en cada tratamiento, r_j , se multiplica por las diferencias cuadradas entre la media de cada tratamiento, $\bar{x}_j$ y la media general ($\bar{\bar{x}}$). Los resultados se suman para todos los tratamientos. La SCTR refleja la variación en las medias de los tratamientos alrededor de la media general. La suma de cuadrados del error se expresa:

$$SCE = \sum \sum (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \quad \text{Ecuación 31a}$$

La media de un tratamiento $\bar{x}_j$, se resta de cada observación en dicho tratamiento. Las diferencias se elevan al cuadrado y se suman. Esto se hace para todos los tratamientos y los resultados se suman. La SCE mide la variación aleatoria de los valores dentro de un tratamiento alrededor de su propia media.

También se puede encontrar la SCE:

$$SCE = SCT - SCTR$$

Ecuación 31b

Cuadrados medios

Una suma de cuadrados dividida por sus grados de libertad produce un cuadrado medio. La ecuación 32 se usa para hallar el cuadrado medio total, CMT.

$$CMT = \frac{SCT}{n-1}$$

Ecuación 32

La ecuación 33 se usa para hallar el cuadrado medio del tratamiento (CMTR) es:

$$CMTR = \frac{SCTR}{c-1}$$

Ecuación 33

La ecuación 34 se usa para hallar el cuadrado medio del error (CME).

$$CME = \frac{SCE}{n-c}$$

Ecuación 34

Estos tres cuadrados medios son sumas de los cuadrados divididas por sus grados de libertad, y como tales son varianzas. Es la razón de las dos últimas CMTR y CME, que se utiliza como base del análisis de la varianza para probar la hipótesis respecto a la igualdad de las medias. Esta razón se ajusta a la distribución F y se expresa en la ecuación 35.

$$F = \frac{CMTR}{CME}$$

Ecuación 35

Si los tratamientos tienen efectos diferentes, CMTR lo reflejará a través de su incremento. Entonces, la razón F en sí misma se incrementará. Por tanto, si la razón F se vuelve “significativamente” grande porque

CMTR excede a CME por una cantidad grande, se reconoce que los efectos del tratamiento probablemente existen y podría rechazarse la hipótesis nula $u_1 = u_2 = \dots = u_c$. El valor F crítico puede encontrarse en la tabla de la distribución F .

Tabla de análisis de la varianza

Es habitual resumir los cálculos del análisis de varianza. El formato general del análisis de varianza aparece en la Tabla 64.

Tabla 64: Análisis de la varianza generalizada

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Valor F
Tratamiento	$SCTR$	$c-1$	$\frac{SCTR}{(c-1)}$	$\frac{CMTR}{CME}$
Error	SCE	$n-c$	$\frac{SCE}{(n-c)}$	
Variación Total	SCT	$n-1$		

Prueba para las diferencias entre pares de medias

Suponga que al efectuar un análisis de varianza para un modelo de efectos fijos la hipótesis nula es rechazada. Se concluye que existe diferencia entre las medias, aunque no se especifique exactamente cuál de ellas es diferente. En esta situación puede ser útil realizar comparaciones adicionales entre grupos de medias de los tratamientos. Estas pruebas consisten en una comparación por pares, de todos los pares de medias posibles. Si el valor absoluto (ignorando los signos) de la diferencia entre dos medias muestrales cualquiera es mayor que algún estándar, se observa como una diferencia significativa, y se concluye que las medias poblacionales respectivas son diferentes.

Si las muestras son del mismo tamaño, la estadística de la prueba

es relativamente insensible a pequeñas desviaciones de la suposición de igualdad de varianzas en los c tratamientos. Éste no es el caso para muestras de tamaños diferentes. En segundo lugar, el poder de la prueba se maximiza si las muestras son del mismo tamaño.

El método de Tukey se puede utilizar si existe igual número de observaciones en cada muestra. El método Tukey requiere el cálculo del criterio Tukey, T , como aparece en la ecuación 36, como valor de criterio para comparar. El criterio estándar de Tukey se compara entonces con la diferencia absoluta entre cada par de medias muestrales. Si cualquier par de medias muestrales tiene una diferencia absoluta mayor que el valor T , se puede concluir, según el nivel de significación elegido, que sus medias poblacionales son diferentes.

$$T = q_{\varepsilon, c, n-c} \sqrt{\frac{CME}{r}} \quad \text{Ecuación 36}$$

En donde q tiene una distribución de rangos estudentizada con c (número de tratamientos) y $n-c$ grados de libertad (n es el número total de observaciones) y α es el valor seleccionado.

La tabla de valores críticos de puntos porcentuales de las estadísticas de estudentizada proporciona los valores de q con $\alpha=0,01$ y $\alpha=0,05$ (Webster, 2000).

Ejemplo

Se ha realizado un experimento para determinar si cuatro temperaturas específicas de horneado afectan la densidad de un cierto tipo de dulce. El experimento proporcionó los datos que se presentan en la Tabla 65.

Tabla 65. Datos de densidad para analizarlos con ANAVAR una vía

Observación	Temperatura (°C)			
	100	125	150	175
1	5,1	1,9	3,6	1,3
2	4,9	1,9	4,2	1,5
3	5,6	2,1	4,5	0,9
4	4,8	2,4	4,8	1,0
5	3,8	2,1	3,9	1,9
6	5,1	3,1	4,1	1,5
7	4,8	2,5	5,1	2,1
Promedio ($\bar{x}_j$)	4,87	2,29	4,31	1,46

¿Afecta la temperatura de horneado la densidad del dulce?

Planteamiento de Hipótesis

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$$

H_1 : Al menos una media difiere del resto.

Condición estadística

Como existen cuatro poblaciones normales, de igual varianza e independientes se puede aplicar el ANAVAR.

Nivel de significación

$$\alpha = 0,05.$$

Para obtener el valor de la media general se suma cada una de las observaciones y se divide entre el número total de observaciones (ecuación 28):

Los valores marcados con asteriscos indican parejas que son significativamente diferentes, al comparar los valores absolutos de

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\sum x_{ij}}{n} = \frac{(5,1 + 4,9 + 5,6 + \dots + 2,1)}{28} = 3,23$$

Utilizando las ecuaciones 29 a 31 se tiene que:

$$SCT = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c (x_{ij} - \bar{\bar{x}})^2 =$$

$$(5,1 - 3,23)^2 + (4,9 - 3,23)^2 + (5,6 - 3,23)^2 + \dots + (2,1 - 3,23)^2$$

$$= 61$$

$$SCTR = \sum r_j (\bar{x}_j - \bar{\bar{x}})^2 =$$

$$7(4,87 - 3,23)^2 + 7(2,29 - 3,23)^2 + 7(4,31 - 3,23)^2 + 7(1,46 - 3,23)^2 = 55,33$$

$$SCE = \sum \sum (x_{ij} - \bar{x}_j)^2$$

$$= (5,1 - 4,87)^2 + \dots + (4,8 - 4,87)^2 \quad \text{Para el primer tratamiento}$$

$$+ (1,9 - 2,29)^2 + \dots + (2,5 - 2,29)^2 \quad \text{Para el segundo tratamiento}$$

$$+ (3,6 - 4,31)^2 + \dots + (5,1 - 4,31)^2 \quad \text{Para el tercer tratamiento}$$

$$+ (1,3 - 1,46)^2 + \dots + (2,1 - 1,46)^2 \quad \text{Para el cuarto tratamiento}$$

$$= 5,67$$

Las ecuaciones 33 y 34 para los cuadrados medios da:

$$CMTR = \frac{55,33}{3} = 18,44 \quad \text{y}$$

$$CME = \frac{5,67}{24} = 0,236$$

Entonces la razón F es:

$$f = \frac{CMTR}{CME} = \frac{18,44}{0,236} = 78,14$$

Se debe utilizar 3 y 24 grados de libertad, que pertenecen a $SCTR$ Y SCE respectivamente, para obtener el valor crítico de la tabla de distribución F . Entonces, $f_{0,05,3,24} = 3,01$. La Tabla 66 resume los resultados del ANAVAR.

Tabla 66. ANAVAR para el experimento de densidad de dulce

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Valor F
Tratamiento	55,33	3	18,44	78,14
Error	5,67	24	0,236	
Variación Total	6,00	27		

Debido a que el valor calculado $f=78,14$ es mayor que el valor crítico $f_{0,05;3,24} = 3,9$ se rechaza la hipótesis nula y se concluye que no todas las medias de los tratamientos son iguales.

Ejemplo para la diferencia entre pares de Medias

Para los datos de la Tabla 65, los grados de libertad del error experimental son 24 y $c=4$, por lo tanto, $q_{0,05,4,24} = 3,90$. Entonces: $T = 3,9 \sqrt{\frac{0,236}{7}} = 0,716$

El criterio estándar de Tukey de 0,716 se compara entonces con la diferencia absoluta entre cada par de medias muestrales.

$$|\bar{x}_1 - \bar{x}_2| = |4,87 - 2,29| = 2,58 > 0,716^*$$

$$|\bar{x}_1 - \bar{x}_3| = |4,87 - 4,31| = 0,56 < 0,716$$

$$|\bar{x}_1 - \bar{x}_4| = |4,87 - 1,46| = 3,41 > 0,716^*$$

$$|\bar{x}_2 - \bar{x}_3| = |2,29 - 4,31| = 2,02 > 0,716^*$$

$$|\bar{x}_2 - \bar{x}_4| = |2,29 - 1,46| = 0,83 > 0,716^*$$

cada diferencia entre los pares de medias muestras con el valor crítico $T=0,716$. Se puede concluir a un $\alpha=0,05$ que solo los tratamientos 1 y 3 tienen igual promedio. Todas las otras diferencias exceden el valor crítico T.

Procedimiento con el Software

Con el STATISTIX primero se procede a ingresar las variables a estudiar.

1. Ingrese los valores de cada tratamiento de temperatura en una columna una para cada tratamiento. En el menú DATA>INSERT>VARIABLE.
2. Introduzca los nombres de las variables, según tantas variables tenga, separadas por coma en el cuadro de texto que indica, NEW VARIABLES NAMES y teclee el botón OK.
3. Al aparecer los nombres de las variables, cargue los datos en las variables respectivas, separando los decimales con puntos en vez de comas. Guarde los datos ingresando en el menú ARCHIVO>SAVE AS>NOMBRE (coloque el nombre del archivo)>GUARDAR.
4. Ingrese al menú STATISTICS>ONE, TWO, MULTI-SAMPLE TESTS >ONE-WAY AOV.
5. En la ventana del ONE-WAY AOV seleccione en MODEL SPECIFICATION la opción TABLE, y pase las variables por medio de las flechas al cuadro de texto TABLE VARIABLES, y presione OK.
8. Aparece entonces los resultados del ANOVA una vía que se presentaron en el cuadro 42, y que permite sacar conclusiones sobre la hipótesis nula.
9. Para probar los supuestos de normalidad y varianzas iguales de los residuos, con la pantalla anterior, se entra en el menú RESULTS>PLOTS>NORMAL PROBABILITY PLOT para verificar el supuesto de normalidad y en RESIDS BY FITTED VALUES, para verificar el supuesto de homogeneidad de varianzas.

Para el análisis de normalidad obtuvo un valor de Wilk Shapiro de 0,9787; usando el programa estadístico lo cual indica que los tratamientos presentan una distribución normal, de la segunda gráfica se observa que no se revela ninguna inadecuación del modelo,

lo que parece indicar homogeneidad de varianzas. El supuesto de independencia se verifica graficando los residuos contra el orden de tiempo en el que se recopilaron los datos. Como no se cuenta con estos datos se garantiza que las pruebas fueron realizadas en orden aleatorio para evitar tendencia de errores.

1. Para realizar la comparación de medias por el método Tukey, con la pantalla del análisis de varianza se entra al menú RESULTS>COMPARISON OF MEANS y pulse la tecla enter.
2. Selecciona la opción TUKEY, coloque el valor α en el cuadro de texto correspondiente y pulse la tecla la tecla OK.
3. A continuación se presentan los resultados de comparación por medias del programa. En estos resultados se observa que solo las medias de la temperatura 1 y la temperatura 3 son iguales a un nivel $\alpha=0,05$. Debido a que son las que presentan en la misma posición de columna la letra I, así es como se lee este resultado. También se puede observar el $q_{0,015,4,24} = 390$.

4.2.2.- Análisis de varianza a dos vías para k Muestras relacionadas: diseño en bloques al azar

Función

Con el análisis de varianza a una vía, se considera que sólo un factor tiene influencia en las unidades experimentales. Sin embargo, con frecuencia se encuentra que una segunda influencia que puede impactar las unidades experimentales. Se desea que el error experimental sea lo más pequeño posible, se busca sustraer del error experimental la variabilidad producida por esa influencia exterior (los bloques). Un diseño que logre esto requiere que el experimentador pruebe cada

bloque, solo una vez, en cada uno de los cuatro tratamientos diferentes. La palabra “repetición completa” indica que todos los tratamientos deben ser probados en cada bloque. Si se usa este diseño, los bloques forman una unidad experimental más homogénea con la cual comparar los tratamientos. Esta estrategia de diseño mejora efectivamente la precisión en las comparaciones. El orden en que los cuatro tratamientos deben ser probados en cada bloque se determina aleatoriamente (Webster, 2000).

Método

Con el análisis a dos vías, la suma de cuadrados total se divide en tres partes: la suma de cuadrados del tratamiento (SCTR), suma de cuadrados del error, y la suma de cuadrados de bloques (SCBL). Por tanto:

$$SCT = SCTR + SCE + SCBL$$

La SCT y SCTR se calculan con la ecuación 29 y 30. Sin embargo, SCE se subdivide en una medida para SCE y SCBL, en donde:

$$SCBL = \sum c_i (\bar{x}_i - \bar{\bar{x}})^2$$

Ecuación 37

El número de tratamientos en cada bloque, c_i , se multiplica por la diferencia al cuadrado entre la media para cada bloque $\bar{x}_i$, y la gran media. Los resultados se suman para todos los bloques. El símbolo c_i , se utiliza para indicar el número de tratamientos en un bloque (fila), porque los tratamientos se registran en las columnas. La suma de los cuadrados del bloque mide el grado de variación de las medidas del bloque (fila) alrededor de la gran media.

La SCE se calcula con la ecuación 38.

$$SCE = SCT - SCTR - SCBL$$

Ecuación 38

Evaluación sensorial y metodologías para su análisis

En donde hay r bloques y c tratamientos, y hay $n=rc$ observaciones. Los grados de libertad para cada una de las sumas de cuadrados de los valores de la ecuación 38 son:

$$SCE = SCT - SCTR - SCBL$$

$$(r-1)(c-1) = (n-1) - (c-1) - (r-1)$$

El cuadrado medio total y el cuadrado medio del tratamiento se calculan con la ecuación 32 y 33, respectivamente. Para calcular el cuadrado medio del error se utiliza la ecuación 39.

$$CME = \frac{SCE}{(r-1)(c-1)} \quad \text{Ecuación 39}$$

Y el cuadrado medio del bloque con la ecuación 40.

$$CMBL = \frac{SCBL}{(r-1)} \quad \text{Ecuación 40}$$

Los valores F se calculan de la misma manera que en el análisis de varianza a una vía. La Tabla 67 resume los datos del ANOVA a dos vías. El valor F crítico puede encontrarse en la tabla de la distribución F . (Webster, 2000).

Tabla 67. Análisis de la varianza generalizada a dos vías

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Valor F
			$\frac{SCTR}{(c-1)}$	$\frac{CMTR}{CME}$
Tratamiento	$SCTR$	$c-1$	$\frac{SCBL}{(r-1)}$	$\frac{CMBL}{CME}$
Bloque	$SCBL$	$r-1$	$\frac{SCE}{(r-1)(c-1)}$	
Error	SCE	$(r-1)(c-1)$		
Total	SCT	$n-1$		

Ejemplo:

Un químico desea probar el efecto que tienen cuatro agentes químicos sobre la resistencia de un tipo particular de tela. Como puede haber variabilidad entre un rollo de tela y otro decide utilizar $\bar{x}_i$, un diseño aleatorizado por bloques, considerando los rollos de tela como bloques. Él selecciona cinco rollos y les aplica los cuatro agentes químicos en orden aleatorio. En la Tabla 68 se proporcionan los resultados de la resistencia a la tensión.

Tabla 68. Datos del experimento de los cuatro agentes químicos sobre las telas

Rollos de tela	Agente químico			
	1	2	3	4
1	31	35	46	38
2	29	32	45	36
3	13	17	35	20
4	28	38	52	39
5	14	20	40	20

Planteamiento de Hipótesis

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$$

H_1 : Al menos una media difiere del resto.

Condición estadística

Como existen cuatro poblaciones normales, de igual varianza e independientes, y además se está bloqueando con los rollos de tela se puede aplicar el ANAVAR a dos vías.

Nivel de significación $\alpha=0,05$.

En la Tabla 69 se presentan los promedios de los datos.

Tabla 69. Promedio de los datos para aplicar ANAVAR a dos vías

Rollo de tela	Agente químico				$\bar{x}_i$
	1	2	3	4	
1	31	35	46	38	37,50
2	29	32	45	36	35,50
3	13	17	35	20	21,25
4	28	38	52	39	39,25
5	14	20	40	20	23,50
$\bar{x}_j$	23	28,4	43,6	30,6	$\bar{\bar{x}} = 31,4$

$$SCT = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c (x_{ij} - \bar{\bar{x}})^2 =$$

$$(31 - 31,4)^2 + (29 - 31,4)^2 + \dots + (39 - 31,4)^2 + (20 - 31,4)^2 = 2344,8$$

$$SCTR = \sum_j r_j (\bar{x}_j - \bar{\bar{x}})^2 =$$

$$5(23 - 31,4)^2 + 5(28,4 - 31,4)^2 + 5(43,6 - 31,4)^2 + 5(30,6 - 31,4)^2 = 1145,2$$

$$SCBL = \sum_i c_i (\bar{x}_i - \bar{\bar{x}})^2 =$$

$$4(37,5 - 31,4)^2 + 4(35,5 - 31,4)^2 + 4(21,25 - 31,4)^2 + 4(39 - 31,4)^2 + 4(23,5 - 31,4)^2 = 1124,3$$

$$SCE = SCT - SCTR - SCBL = 2344,8 - 1145,2 - 1124,3 = 75,3$$

La tabla ANAVAR a dos vías se presenta en la Tabla 70.

Tabla 70. ANAVAR a dos vías

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Valor F
Tratamiento	1145,2	3	381,73	60,79
Bloque	1124,3	4	281,08	44,76
Error	75,3	12	6,28	
Total	2344,8	19		

Si $\alpha=0,05$ el valor crítico de F es $f_{0,05;4,12}=5,91$. El valor F relacionado con la prueba sobre los bloques aparece en el análisis de varianza como $44,76 > 5,91$. La hipótesis nula se rechaza, y se determina a un nivel de significancia del 5%, que los cinco rollos de telas empleados son diferentes y se necesita el bloque.

El químico puede ahora probar su hipótesis inicial respecto a los agentes químicos. El valor F crítico es $f_{0,05;3,12}=8,74$ y es menor que 60,79

por ello la hipótesis nula debe rechazarse a un nivel de significación del 5%. Ello indica que los cuatro agentes químicos difieren en su efecto sobre la resistencia de un tipo particular de tela.

Procedimiento con el software

Con el STATISTIX primero se procede a ingresar las variables a estudiar.

1. Repetir los pasos 1 y 2 del procedimiento para el software de la sección anterior. En este caso para el análisis de tratamientos y bloques, las variables se tienen que introducir de la siguiente forma: una variable para los bloques, una segunda variable para los tratamientos y una tercera variable para las observaciones.
2. Al aparecer los nombres de las variables, cargue los datos en las variables respectivas, separando los decimales con puntos en vez de comas. Ingrese en la primera columna, los números de los bloques, colocando primero el número 1 tantas veces como tratamientos se estén probando, luego el número 2 tantas veces como tratamientos se estén probando y así hasta completar todos los bloques, en la segunda columna coloque los números de los tratamientos que existen para cada bloque, y en la tercera columna, la observación correspondiente al bloque y tratamiento respectivo. La pantalla de los datos cargados se puede guardar ingresando en el menú ARCHIVO>SAVE AS>NOMBRE (coloque el nombre del archivo)>GUARDAR.
3. Ingrese al menú STATISTICS>LINEAR MODELS >GENERAL AOV/AOCV.
4. Coloque en el cuadro de texto DEPENDENT VARIABLE por medio de las flechas, el nombre de la variable que presenta los

datos con las observaciones. Coloque igualmente en el cuadro de texto AOV MODEL STATEMENT, las variables que contienen los números de los tratamientos y la variable que contiene los números de los bloques, y teclee OK.

5. Para probar los supuestos de normalidad y varianzas iguales de los residuos, se entra en el menú RESULTS>PLOTS>NORMAL PROBABILITY PLOT para verificar el supuesto de normalidad y en RESIDS BY FITTED VALUES, para verificar el supuesto de homogeneidad de varianzas.

De estas dos últimas gráficas se puede observar para el análisis de normalidad un valor de Wilk Shapiro de 0,9787; lo cual indica que los tratamientos presentan una distribución normal, de la segunda gráfica se observó que no se revelaba ninguna inadecuación del modelo, lo que parece indicar homogeneidad de varianzas. El supuesto de independencia se verificó graficando los residuos contra el orden de tiempo en el que se recopilaron los datos. Como no se cuenta con estos datos se garantiza que las pruebas fueron realizadas en orden aleatorio para evitar tendencia de errores.

1. Para realizar la comparación de medias por el método Tukey, con la pantalla del análisis de varianza se entra al menú RESULTS>COMPARISON OF MEANS y marque la tecla enter.
2. Selecciona la opción TUKEY, coloque el valor α en el cuadro de texto correspondiente y coloque en el cuadro de texto MAIN EFFECT OR INTERACTION la variable de los tratamientos, marque la tecla OK.
3. En los resultados de comparación de medias, se puede observar que las medias de los tratamientos 2 y 4 son iguales a un nivel $\alpha=0,05$; debido a que son las que presentan en la misma posición de columna la letra I, así es como se lee este resultado, siendo

diferentes para los otros tratamientos.

4.3.- Prueba de Asociación: análisis de correlación de Pearson

Función

El análisis de regresión lineal proporciona la relación lineal que existe entre dos variables aleatorias. Es útil obtener una medida de la fuerza de esa relación. Esta es la función del coeficiente de correlación, algunas veces llamado el coeficiente de correlación producto-momento de Pearson. Representado con una r , el coeficiente de correlación puede asumir cualquier valor entre -1 y $+1$; es decir:

$$-1 \leq r \leq 1$$

Un valor de $r=-1$ indica una relación negativa lineal perfecta entre x y y , con $r=+1$ la recta presenta una relación perfecta positiva entre x y y . En toda relación entre dos variables puede existir alguna variación alrededor de la recta de regresión, las cuales pueden mostrar relaciones fuertes pero no perfectas. Por el contrario cuando existe poca o ninguna relación lineal entre x y y , r se aproxima a cero.

Método

El coeficiente de correlación se calcula con la ecuación 41.

$$r = \sqrt{\frac{\text{Variación explicada}}{\text{Variación total}}} = \sqrt{\frac{SCR}{SCT}} \quad \text{Ecuación 41}$$

Se observa lo que r está midiendo. Está comparando el monto total de la desviación alrededor de $\bar{x}_i$, SCT , con la porción que está explicada por un modelo de regresión SCR . Como raíz cuadrada de SCR/SCT , el coeficiente de correlación proporciona una medida relativa de la

capacidad del modelo para explicar las desviaciones en los valores. Por ende, mide la fuerza de la relación entre y y la variable explicativa x . (Webster, 2000). La ecuación 41 es difícil de calcular manualmente. Una ecuación más conveniente es utilizando las ecuaciones 42 a 45.

$$\text{Suma de Cuadrados de } x: SC_x = \sum (x_i - \bar{x})^2 = \sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n} \quad \text{Ecuación 42}$$

$$\text{Suma de Cuadrados de } y: SC_y = \sum (y_i - \bar{y})^2 = \sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n} \quad \text{Ecuación 43}$$

$$\text{Suma de productos cruzados de } x \text{ y } y: SP_{xy} = \sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad \text{Ecuación 44}$$

$$r = \frac{SP_{xy}}{\sqrt{(SC_x)(SC_y)}} \quad \text{Ecuación 45}$$

Ejemplo:

Se realizó un estudio para determinar el efecto que tiene la rapidez de mezclado sobre la cantidad de impureza en un jugo. El estudio arrojó los datos de las Tablas 71 y 72.

Tabla 71. Valores observados del efecto que tiene la rapidez de mezclado sobre la cantidad de impureza en un jugo

Rapidez de agitación rpm (x)	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42
Impurezas, %, (y)	8,4	9,5	11,8	10,4	13,3	14,8	13,2	14,7	16,4	16,5	18,9	18,5

Tabla 72. Ajuste de los datos para aplicar el coeficiente de Pearson.

Observación	Rapidez de agitación, rpm (x)	Impurezas, %, (y)	xy	x ²	y ²
1	20	8,4	168,0	400	70,56
2	22	9,5	209,0	484	90,25
3	24	11,8	283,2	576	139,24
4	26	10,4	270,4	676	108,16
5	28	13,3	372,4	784	176,89
6	30	14,8	444,0	900	219,04
7	32	13,2	422,4	1024	174,24
8	34	14,7	499,8	1156	216,09
9	36	16,4	590,4	1296	268,96
10	38	16,5	627,0	1444	272,25
11	40	18,9	756,0	1600	357,21

Evaluación sensorial y metodologías para su análisis

12	42	18,5	777,0	1764	342,25
$\sum$	372	166,4	5419,6	12104	2435,14

De los datos se calculan las siguientes cantidades:

$$n=12, \quad \sum_{j=1}^{12} x_j = 372, \quad \sum_{j=1}^{12} y_j = 166,4; \quad \sum_{j=1}^{12} x_j^2 = 12104 \quad \sum_{j=1}^{12} y_j^2 = 2435,14$$

$$\bar{y} = 13,87; \quad \bar{x} = 31 \quad \sum_{j=1}^{12} x_j y_j = 5419,60$$

Usando las ecuaciones 42, 43, 44 y 45:

$$SC_x = 12104 - \frac{(372)^2}{12} = 572$$

$$SC_y = 2435,14 - \frac{(166,4)^2}{12} = 127,727$$

$$SP_{xy} = 5419,60 - \frac{(372)(166,4)}{12} = 261,20$$

$$r = \frac{261,20}{\sqrt{(572)(127,727)}} = 0,9663$$

Esto indica que en la muestra que se tomó existe una relación positiva fuerte entre la rapidez de mezclado y la cantidad de impureza en un jugo, si una aumenta la otra también.

Coeficiente de determinación

El coeficiente de determinación R^2 , proporciona una medida de bondad de ajuste porque revela qué porcentaje del cambio en y se explica por un cambio en x . (Ecuación 46). Es evidente que $0 < R^2 \leq 1$.

$$R^2 = \frac{(SP_{xy})^2}{(SC_x)(SC_y)} \quad \text{Ecuación 46}$$

Para los datos del ejemplo anterior:

$$R^2 = (0,966)^2 = 0,933$$

Esto establece que el 93,3% del cambio en la cantidad de

impureza en el jugo se explica mediante los cambios en la rapidez de mezclado.

Pruebas para el coeficiente de correlación poblacional ρ

Puede ser que la correlación a nivel poblacional sea cero y que una muestra engañosa hizo que se asumiera equivocadamente una relación. Por consiguiente, se debe probar la hipótesis:

$$H_0 : \rho = 0$$

$$H_1 : \rho \neq 0$$

En donde ρ es el coeficiente de correlación a nivel poblacional. De nuevo se utiliza la prueba t tal como se presenta en la ecuación 47.

$$t = \frac{r - \rho}{s_r} \quad \text{Ecuación 47}$$

En donde s_r es el error estándar del coeficiente de correlación y puede hallarse usando la ecuación 48.

$$s_r = \sqrt{\frac{1 - r^2}{n - 2}} \quad \text{Ecuación 48}$$

Ejemplo

En el caso de la rapidez de mezclado sobre la cantidad de impureza en un jugo, se tiene que:

Planteamiento de Hipótesis

Condición estadística

$$H_0 : \rho = 0$$

$$H_1 : \rho \neq 0$$

Condición estadística

Se puede utilizar la distribución t, para probar la correlación de los datos.

Nivel de significación $\alpha=0,05$

Grados de libertad: $n-2=12-2=10$

$$s_r = \sqrt{\frac{1 - (0,966)^2}{12 - 2}} = 0,0817 \quad \text{y} \quad t = \frac{0,966 - 0}{0,0817} = 11,823$$

El valor crítico de t para $\alpha/2=0,025$ y grados de libertad $n-2=10$, entonces $t_{0,025;10} = 2,2228$, y como t calculado $t = 11,823$ es mayor que 2,228, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que $r \neq 0$. Por lo que asociación lineal positiva que se visualizó en la muestra es válida para la población de la cual se tomó y esta correlación es significativamente diferente de cero.

Capítulo 5

Selección y uso de pruebas estadísticas en la evaluación sensorial de productos

Las pruebas discriminativas se pueden usar para saber si hay diferencia entre los productos producidos en una planta productiva y el patrón esperable de dicho producto, pero no pueden usarse para saber en cuánto se diferencia un producto del otro. Las pruebas descriptivas son aquellas que describen el perfil de un producto o las diferencias (atributos) entre dos productos. Las pruebas afectivas se emplean para definir el grado de aceptación y preferencia de un producto determinado por parte del consumidor. (Hernandez, 2005)

El panel sensorial puede ser utilizado como un instrumento que mide objetivamente las diferencias sensoriales o clasifica la calidad de un producto usando una escala bien definida. Los métodos sensoriales pueden ser divididos de un modo general de acuerdo a su propósito. Por ejemplo, para los problemas sensoriales que piden ¿Existen alguna diferencia? mientras que si el problema es ¿Cuál es la diferencia? o ¿Qué tan grande es la diferencia? entonces son apropiados los métodos que usan escalas o perfiles. Si el problema es de preferencia ¿Cuál prefieres? o ¿Por qué te gusta? son apropiados los métodos hedónicos o de preferencia (Van Oirschot y Tomlins, 2002).

En la Figura 7 se presentan los tipos de pruebas que se recomiendan según el propósito. Dos de los métodos más usuales de evaluación de alimentos por jueces humanos son el perfil sensorial descriptivo y las consultas a consumidores. En el primero, un grupo

PRUEBAS OBJETIVAS



PRUEBA AFECTIVA

¿Estas diferencias son significativas para el consumidor?

Aceptación

Preferencia

Hedónico

PRUEBA DESCRIPTIVA

¿Cuál es la diferencia o el valor absoluto y cuál es su magnitud?



PRUEBAS SUBJETIVAS

PRUEBAS

DISCRIMINATIVAS

¿Existe alguna diferencia?

Figura 7: Esquema de aplicación de pruebas sensoriales

reducido (5-15) de asesores entrenados evalúa la intensidad de una serie de características sensoriales (acidez, astringencia, dulzor, entre otros), de los productos. En el segundo, un grupo representativo (100-300 personas) de la población consumidora evalúa la aceptabilidad del alimento. Cuando para los mismos productos se dispone de los dos tipos de datos, pueden relacionarse ambos para analizar los motivos por los que los consumidores prefieren uno u otro producto. De la misma forma pueden también relacionarse otros datos distintos a los sensoriales (químicos o instrumentales, por ejemplo) con las respuestas de los consumidores.

A continuación se propone una técnica relativamente sencilla para relacionar los datos sensoriales (o instrumentales) con las respuestas de los consumidores.

Perfil sensorial descriptivo

Buena parte de esos estudios se realizan con formularios y pruebas especialmente diseñados para consumidores. Los consumidores generalmente proporcionan una respuesta utilizando una escala hedónica («me gusta mucho», «no me gusta»...). Sin embargo, esa información puede resultar insuficiente. Los descriptores del gusto y de olor más utilizados suman más de un centenar. Así como un instrumento se calibra para disminuir al máximo la variabilidad entre medidas, se entrena a los catadores para aumentar la repetibilidad entre evaluaciones y para distinguir entre las muestras. (Molina, 2011)

Los resultados de los perfiles sensoriales descriptivos suelen permitir diferenciar claramente las muestras juzgadas para todas o la mayoría de las características consideradas. Es lógico ya que, por una parte, los jueces han sido entrenados para encontrar diferencias y por otra, las características se seleccionan con el mismo fin. No se utilizará la acidez para estudiar el efecto de la pasteurización en un zumo de naranja, por ello es más apropiado usar el sabor a cocido.

Consultas a consumidores

Con un enfoque sustancialmente diferente al anterior, en este caso se pretende estimar la respuesta de la población potencial de consumidores del producto respecto a si gusta o no. El catador evalúa simplemente el grado de aceptabilidad del producto. Se consulta a un número considerable de consumidores (100 o más) representativos de la población a la que el alimento va dirigido. No se pretende disminuir la

variabilidad de las respuestas, sino mantenerla al nivel de la existente en la población. Un resultado muy frecuente es que la aceptabilidad media varíe poco entre los productos sometidos a examen, ya que lo que gusta a unos no gusta a otros y los valores se compensan al calcular las medias. Por ello, en las consultas a consumidores los resultados globales pueden tener poco sentido.

Un objetivo más interesante es detectar grupos de consumidores con gustos distintos, estimar si estos grupos son numerosos o reducidos y, si es posible, interpretar las razones por las que diferentes grupos prefieren productos distintos. Por ejemplo, suponga que se pretende conocer la opinión de los consumidores sobre dos productos comerciales de diferentes marcas y precios parecidos. Es bastante probable que las aceptabilidades medias para toda la población sean similares. A los productores les interesará más saber qué grupos de población prefieren un producto u otro y mejor aún, los motivos de las preferencias.

Identificación de grupos de consumidores con gustos diferenciados

Este aspecto puede abordarse con diversas técnicas y todas pueden ser útiles, en mayor o menor grado. La agrupación de los consumidores en función de características tales como sexo, edad, nivel de educación, independientes de las evaluaciones de aceptabilidad que dan al producto, puede ser interesante, pero generalmente no produce resultados espectaculares ya que los gustos suelen estar repartidos de forma parecida dentro de los grupos.

Las técnicas más utilizadas se basan en utilizar los datos de aceptabilidad como base para efectuar las agrupaciones. Una inspección minuciosa de los datos de aceptabilidad obtenidos de cada consumidor sería válida, pero es prácticamente inabordable por la gran cantidad de

consumidores que suele encuestarse y por ello, se utilizan técnicas de análisis para datos numerosos, preferentemente métodos estadísticos descriptivos.

A continuación se presenta en la Tabla 73, pruebas estadísticas no paramétricas de asociación, donde a diferencia de los casos anteriores en que se busca diferencias entre datos, se observa si existe similitud entre dos series de datos.

Tabla 73: Pruebas no paramétricas de asociación.

Medidas de asociación	.- Expresa el grado de asociación entre k variables categóricas.	1.- Coeficiente C de Cramér <u>Nivel de Medición:</u> Nominal	Se puede usar medidas de correlación para probar la relación o asociación entre muestras.
	.- Expresa el grado de asociación entre k variables	2.- Coeficiente de concordancia W de Kendall. <u>Nivel de Medición:</u> Ordinal	En análisis sensorial el coeficiente C de Cramer permite distinguir si existe asociación en grupos de personas (por ejemplo, de diferentes nacionalidades) con la preferencia por algún alimento.
	Para conocer si existe asociación de dos variables medidas al menos en escala ordinal.	3.- Coeficiente de correlación de Spearman por rangos ordenados. <u>Nivel de Medición:</u> Ordinal	El coeficiente de concordancia W de kendall es útil para determinar el acuerdo entre los jueces entrenados para el análisis sensorial. La prueba sirve para verificar la concordancia del panel, que es obligatoria cuando se realizan perfiles con jueces entrenados. El coeficiente de correlación de Spearman mide la asociación entre variables. Este análisis de asociación permite relacionar alguna medida sensorial, con la medida que se realizó del mismo alimento por medio de algún instrumento de medición.

5.1.- Importancia de los supuestos para la aplicación de una prueba estadística

Cuando se ha definido la naturaleza de la población y la forma del muestreo, se ha establecido un modelo estadístico. Para cada prueba estadística se asocia un modelo y un requisito de medida. La prueba es válida en ciertas condiciones, el modelo y el requisito de medida especifican esas condiciones. Algunas veces se prueban si se encuentran condiciones de un modelo estadístico particular, pero la mayoría de las veces se supone que se encuentran. Se debe examinar la situación y determinar si es razonable suponer que el modelo es correcto. Es obvio que mientras más débiles sean las suposiciones que definen un modelo particular, se necesitan simplificar más la decisión alcanzada por la prueba estadística asociada con ese modelo; es decir, mientras más débiles sean las suposiciones, más generales serán las conclusiones.

Sin embargo, las pruebas más potentes son aquellas que tienen las suposiciones más fuertes o extensas. Las pruebas paramétricas, por ejemplo la prueba t o la prueba F , tienen de fuertes suposiciones que subyacen a su uso. Si esas suposiciones son válidas, las pruebas basadas en las mismas son las que tienen mayor probabilidad de rechazar la H_0 cuando H_0 es falsa; esto es, cuando los datos de investigación pueden ser analizados de manera adecuada mediante una prueba paramétrica, ésta será más potente que cualquier otra. Sin embargo, nótese que los requerimientos de los datos de investigación deben ser adecuados para la prueba. Por ejemplo, las condiciones que se deben satisfacer para hacer la prueba t la más potente y aceptar con bastante confianza las conclusiones de probabilidad obtenidas por el uso de la prueba t , son al menos las siguientes:

1. Las observaciones deben ser independientes, es decir, la selección

de un caso de la población para su inclusión en la muestra, no debe sesgar las oportunidades de cualquier otro caso para su inclusión.

2. Las observaciones deben ser derivadas de poblaciones normalmente distribuidas.
3. En el caso de análisis concerniente a dos grupos, las poblaciones deben tener la misma varianza (o, en casos especiales deben tener una razón conocida de varianzas).
4. Las variables deben haber sido medidas por lo menos en una escala de intervalo, de modo que sea posible interpretar los resultados.

Todas las condiciones anteriores son elementos del modelo estadístico paramétrico asociado con la distribución normal. Con la posible excepción de la suposición de varianzas iguales, estas condiciones de ordinario no son probadas en el curso de la ejecución de un análisis estadístico. En lugar de esto, son presunciones aceptadas y su certeza o falsedad determinan la exactitud y significación de la probabilidad establecida mediante la prueba paramétrica.

Cuando no se encuentran las suposiciones que constituyen el modelo estadístico de una prueba, entonces ésta puede no ser válida; esto es, un estadístico de prueba puede caer en la región de rechazo con una probabilidad mayor que el α escogido para esa prueba. Es difícil estimar la extensión en la cual un juicio de probabilidad varía debido a la aplicación inadecuada de la prueba. (Gómez, 2013)

En la Figura 8 se presenta un diagrama que indica los requisitos que se deben considerar para encontrar la prueba estadística más apropiada

al tipo y cantidad de datos obtenidos de las pruebas sensoriales.

En la Tabla 74 se presenta detalladamente un resumen de las pruebas estadísticas no paramétricas que se deben utilizar según la prueba sensorial, cantidad de jueces, cantidad de muestras evaluadas y la escala de medida de la variable respuesta, para obtener la prueba estadística más potente. Se recomienda como una guía de referencia en la cual el investigador en el área pueda utilizar y definido el propósito hacer la selección apropiada.

Las pruebas paramétricas son aplicables para análisis de atributos en alimentos donde se utilicen instrumentos cuyas respuestas sean objetivas y cumplan los supuestos.

Evaluación sensorial y metodologías para su análisis

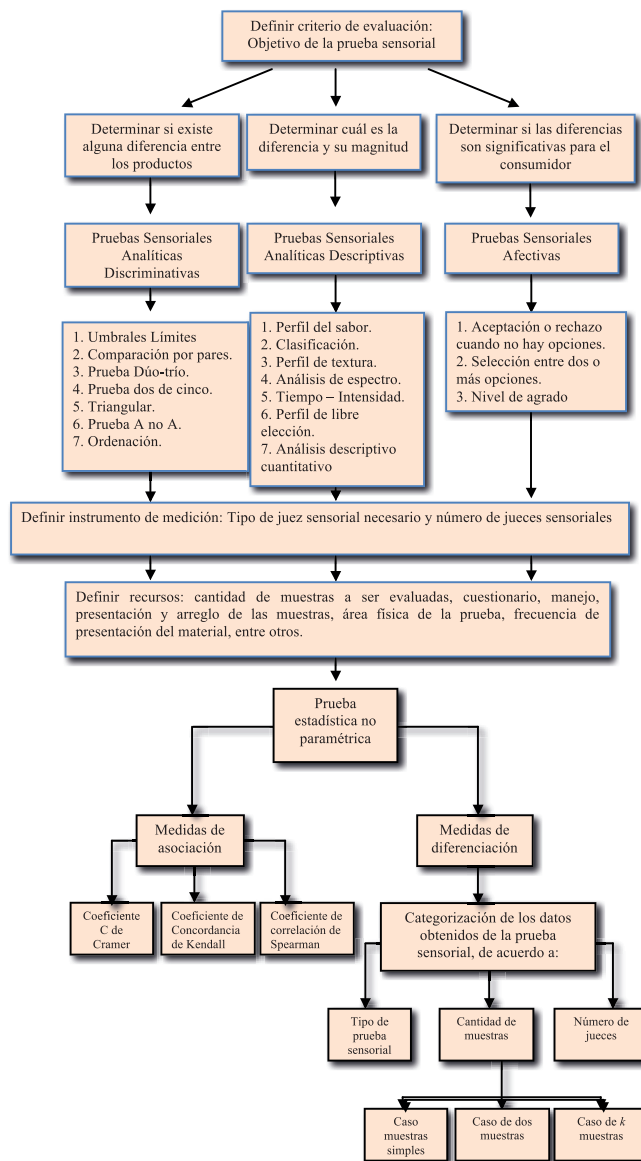


Figura: 8. Diagrama para evaluar datos obtenidos de pruebas sensoriales

Tabla 74: Recomendaciones para la selección y uso de las pruebas estadísticas en la evaluación sensorial de productos

Casos Sensoriales*	Tipo de panel y No. de jueces	No. de muestras por prueba	Pruebas estadísticas	Caracterización
1. Umbrales Límites	N depende de las personas disponibles para entrenar	5-15	Revisión de resultados. Nivel de Medición: Ordinal	Aquí se utiliza una serie ascendente de concentraciones, y se presentan las muestras hasta que los jueces coinciden en un 75% de respuestas, en dos series consecutivas, así se verifica en cual solución se percibió la sustancia problema.
2. Comparación por pares	Expertos: 7 o más. Entrenados: 20 o más. Semientrenados: 30 o más.	2 muestras		Estas pruebas estadísticas se utilizan actualmente para el análisis sensorial en los casos mencionados, porque se obtienen de ellas respuestas con un nivel de medición en escala nominal.
3. Dúo-Trio	Semientrenados: 20 o más.	3 muestras: 2 iguales y 1 diferente	1 - Prueba ji Cuadrada. Nivel de Medición: Nominal u Ordinal	Son pruebas de bondad de ajuste. Miden qué tan cerca se ajustan los datos muestrales observados a una forma de distribución particular planteada como hipótesis. Para decidir cuál prueba usar, se debe tomar en cuenta la cantidad de jueces sensoriales a utilizar.
4. Prueba dos de cinco	Entrenados: 10 o más.	5 muestras: 3 iguales y 2 diferentes	(Solo para un número elevado de jueces, $\geq$ más de 30)	La prueba binomial es adecuada cuando hay justo dos categorías en la clasificación de los datos. Es útil cuando el número de jueces es pequeño.
5. Triangular	Expertos: 6 o más. Entrenados: 15 o más. Semientrenados: 25 o más	3 muestras: 2 iguales y 1 diferente	2 - Prueba Binomial. Nivel de Medición: Nominal u Ordinal	La prueba ji cuadrada debe utilizarse cuando los datos están en categorías discretas y el número de jueces es grande.
6. Prueba A no A	Entrenados: 20 o más. Semientrenados: 30 o más.	2-5 muestras: una muestra es la referencia.		Se recomienda utilizar las pruebas estadísticas: Análisis por rangos de Friedman, al igual que la prueba Q de Cochran para probar más de dos tratamientos con este tipo de pruebas sensoriales.
15. Aceptación o rechazo cuando no hay opciones.	Consumidores: 80 ó más.	1 muestra		

Estas pruebas estadísticas son utilizadas para evaluar los datos sensoriales para <i>k</i> muestras relacionadas, debido a que la evaluación comprende de 3 a 7 muestras simultáneas.				
7. Ordenación	Expertos: 2 o más. Entrenados: 5 o más. Semi-entrenados: 10 o más.	3-7 muestras	1. Prueba de Page <u>Nivel de Medición:</u> Ordinal 2. Análisis por rangos de Friedman <u>Nivel de Medición:</u> Ordinal	<i>La prueba estadística que apropiada para analizar los datos sensoriales de ordenación es la prueba de Friedman</i> cuando las mediciones se encuentran en escala ordinal y el número de muestras que cada juez analiza es el mismo. Además, pueden utilizarse las comparaciones múltiples para determinar cuáles condiciones difieren entre sí cuando la H_0 se rechaza. Sin embargo, se recomienda como primera opción para analizar estadísticamente este tipo de datos sensoriales, la prueba de Page, porque la hipótesis alterna es más precisa y potente, sin embargo para esta prueba el investigador debe ser capaz de especificar el orden de los grupos a priori.
	Expertos: 5 Entrenados: 5-8	1-5 muestras	Gráficas <u>Nivel de Medición:</u> Ordinal	Representación gráfica, como el <u>gráfico tela de araña</u> .
	8. Perfil del sabor			
9. Clasificación. 10. Perfil de textura. 11. Análisis de espectro. 12. Tiempo – Intensidad. 14. Análisis descriptivo- cuantitativo		1 muestra	Discusión de resultados <u>Nivel de Medición:</u> Ordinal	En análisis sensorial se utiliza una sola muestra para determinar el perfil sensorial de un producto. En este caso, el responsable del grupo, inmediatamente después de que los jueces han terminado su análisis, tabula los resultados e inician una discusión para resolver las diferencias si las hubiere. De acuerdo con los resultados de esta discusión y, si es necesario, después de reexaminar las muestras, el grupo llega a una decisión conjunta sobre el perfil del producto. <i>Se recomienda aplicar la prueba estadística W de Kendall</i> para verificar la concordancia del panel, y así poder determinar en cuáles características se encuentran mayores diferencias.
Se utilizan cuando el investigador desea establecer si dos tratamientos son				
2 muestras				

diferentes o si uno es mejor que otro. En análisis sensorial aplica cuando las dos muestras han sido analizadas por un mismo juez. Los datos obtenidos no pueden ser evaluados con la prueba paramétrica <i>t</i> de student para datos pareados, ya que esta prueba supone que las diferencias en las puntuaciones obtenidas o fueron extraídas de una distribución normal con una escala de medida al menos de intervalo. Como la escala obtenida es ordinal <u>la prueba que apropiata es la de Wilcoxon ó la de los signos.</u>	
1 - Prueba de rangos asignados de Wilcoxon. <u>Nivel de Medición:</u> Ordinal	La prueba de Wilcoxon supone que los datos se encuentren en escala ordinal. Su potencia-eficacia es de alrededor del 95,5% en muestras grandes y 95% para muestras pequeñas. La prueba de los signos utiliza una escala ordinal, y se pueden utilizar medidas como “mayor que”, “menor que”. Su potencia-eficacia llega a ser alrededor del 95% para N=6, pero disminuye conforme se incrementa N.
2. Prueba de los signos. <u>Nivel de Medición:</u> Ordinal	Para la descripción de estos casos sensoriales, también se pueden utilizar representaciones gráficas como los diagramas de barras y de tela de araña.
3 o más muestras	Evalúan la hipótesis nula de que <i>k</i> muestras han sido extraídas de la misma población y cuando todas las muestras han sido analizadas por un mismo juez. Se ha usado el ANAVAR dos vías, en forma errónea, para evaluar estos casos sensoriales, donde se evalúa tanto la diferencia en las respuestas de los jueces como de los tratamientos. Sin embargo, este análisis estadístico no se apropia, porque no se cumplen los supuestos, especialmente la escala de medida, ya que estas observaciones usualmente se encuentran en escala de medida ordinal.
9. Clasificación. 10. Perfil de textura. 11. Análisis de espectro. 12. Tiempo – Intensidad. 14. Análisis descriptivo cuantitativo.	<u>Se recomienda la prueba de Friedman.</u> así como también se pueden utilizar representaciones gráficas como los diagramas de barras y de tela de araña.

13. Perfil de libre elección.	Expertos: 2 ó más. Entrenados: 5 ó más. Semientrenados: 20 ó más.	Una, dos o más muestras.	Medidas de asociación no paramétrica.	Para este tipo de análisis sensorial se ha usado equivocadamente el análisis de componentes principales y otros análisis multivariados, sin embargo, algunos de estos análisis estadísticos suponen que las variables medidas están al menos en escala de intervalo y que son continuas. Es recomendable utilizar medidas de asociación como el Coeficiente C de Cramér y el coeficiente W de Kendall; lo cual puede permitir verificar si existe concordancia entre los descriptores que han seleccionado cada uno de los jueces sensoriales y detectar los jueces con mayores desacuerdos.
			Nivel de Medición: Ordinal	
			Descripción gráfica	
17. Nivel de agrado.	Consumidores: 80 ó más.	Una muestra	Nivel de Medición: Nominal u Ordinal	Se puede utilizar el diagrama de barras colocando en el eje horizontal los diferentes niveles de agrado separados una de otra, a partir de aquí se dibujan tantas barras como categorías tiene la variable, de modo que la altura de cada una de ellas sea proporcional a la frecuencia en cada clase. Con este diagrama se determina cuál categoría de la escala hedónica presenta mayor frecuencia.
			1.- Prueba de rangos asignados de Wilcoxon.	
			Nivel de Medición: Ordinal	
				Se utiliza cuando el investigador desea establecer si dos tratamientos son diferentes o si uno es mejor que otro. En análisis sensorial aplica cuando las dos muestras han sido analizadas por un mismo juez. No se recomienda el uso del estadístico <i>t</i> de student para datos pareados ya que la escala en las observaciones es ordinal. Se recomienda utilizar la prueba de Wilcoxon; cuya potencia-eficacia es de alrededor del 95,5% en muestras grandes y 95% para muestras pequeñas. Se puede utilizar diagramas de barras.
			1.- Análisis por rangos de Friedman.	
			Nivel de Medición: Ordinal	
		Tres o más muestras	2.- Prueba de Cochran.	El ANAVAR dos vías se ha usado en forma errada para analizar diferentes tratamientos evaluados por jueces sensoriales afectivos.
			Nivel de Medición:	

		Nominal	Cuando las medidas de los resultados de estas evaluaciones sensoriales se obtienen en escala ordinal, <u>se recomienda la prueba de Friedman</u> que constituye una evaluación acerca de si los datos varían como una función de las condiciones bajo las cuales fueron observados y pueden utilizarse las comparaciones múltiples para determinar cuáles condiciones defieren entre sí cuando la H_0 se rechaza.	
			Cuando las mediciones de la característica de estudio están en escala nominal <u>se recomienda utilizar la prueba de Cochran</u> para evaluar los datos.	
16. Preferencia entre dos o más muestras	Consumidores: 50 o más.	2 muestras	1.- Prueba de rangos asignados de Wilcoxon. Nivel de Medición: Ordinal	Se utilizan cuando el investigador desea establecer si dos tratamientos son diferentes o si uno es mejor que otro, en este caso todas las muestras han sido analizadas por un mismo juez. La prueba paramétrica t de Student para datos pareados no se recomienda porque la escala de la variable respuesta es ordinal. <u>Se recomienda utilizar Wilcoxon o la prueba de los signos</u> . También se puede utilizar representaciones gráficas como el diagrama de barras.
			2. Prueba de los signos. Nivel de Medición: Ordinal	
				Evalúan la hipótesis nula de que k muestras han sido extraídas de la misma población y cuando todas las muestras han sido analizadas por un mismo juez.
	Consumidores: 100 o más.	3 muestras o más muestras	1.- Análisis por rangos de Friedman. Nivel de Medición: Ordinal	No se apropia la utilización del ANAVAR dos vías, donde se evalúa tanto la diferencia en las respuestas de los jueces como de los tratamientos, porque no se cumplen los supuestos del ANAVAR, especialmente por la escala de medida de estas evaluaciones sensoriales están en escala ordinal
				<u>Se recomienda la prueba de Friedman</u>

Es conocido que para las pruebas de diferenciación como triangulares, dúo trío, comparación por pares; las pruebas estadísticas que más se apropian son la Ji Cuadrada y Binomial, dependiendo del tamaño de la muestra, cuando se realiza un solo ensayo. A continuación se presenta una forma alternativa de aplicación de otras pruebas no paramétricas para realizar estos ensayos.

Se presentan dos ejemplos de cómo aplicar pruebas estadísticas no paramétricas como alternativas para evaluar varios tratamientos, con datos sensoriales obtenidos a partir de pruebas de diferenciación como las pruebas triangulares. En el primer ejemplo se utilizó la prueba de Friedman y en el segundo ejemplo la prueba de Cochran.

Ejemplo 1

Se interesa conocer si se puede cambiar la formulación de una pasta de tomate que se prepara con un ingrediente importado por ingredientes de producción nacional. Para ellos se prepararon cuatro fórmulas diferentes con distintos ingredientes nacionales, que serán degustadas por un panel evaluador entrenado conformado por 10 individuos. Se utilizaron pruebas sensoriales triangulares, en las cuales se agregó un cuestionario al final de la prueba, que indica si la sensación de diferencia de la formulación modificada con la que utilizaba ingrediente importado (original) era: Muy débil (1), Débil (2), Moderada (3), Clara (4) e Intensa (5). Los resultados se presentan en la Tabla 75.

Planteamiento de hipótesis

H_0 : Todas las formulaciones no presentan diferencias con respecto a la original.

H_1 : Al menos una de las cuatro formulaciones presenta diferencia marcada con respecto a la original.

Condición estadística

Para este estudio se escogió la prueba de Friedman por tratarse de muestras relacionadas y porque se utilizan observaciones en escala de medida ordinal. Como el tamaño de la muestra es grande, Fr se distribuye aproximadamente como ji cuadrada con grados de libertad . Así, la probabilidad asociada a la ocurrencia según H0 de un valor tan grande como el valor observado de Fr puede ser determinado mediante la utilización de la tabla de valores críticos de la distribución Ji cuadrada.

Nivel de significación

$\alpha=0,05$; N=número de juicios=10, k=número de condiciones a evaluar=4 y gl=3.

El valor asociado al nivel de significación escogido es de $\chi^2=7,82$.

Tabla 75. Respuestas del cuestionario de la prueba triangular para cuatro formulaciones de pasta de tomate.

Juez	Fórmula A	Fórmula B	Fórmula C	Fórmula D
1	4 (3)	5 (4)	1 (1)	3 (2)
2	5 (4)	3 (3)	1 (1)	2 (2)
3	3 (2)	4 (3)	2 (1)	5 (4)
4	3 (3)	5 (4)	2 (1,5)	2 (1,5)
5	1 (1)	4 (3)	5 (4)	2 (2)
6	4 (3)	5 (4)	1 (1)	3 (2)
7	3 (3,5)	3 (3,5)	1 (1)	2 (2)
8	2 (1,5)	3 (3)	2 (1,5)	5 (4)
9	2 (2)	5 (4)	1 (1)	4 (3)
10	3 (2)	4 (3)	2 (1)	5 (4)
Total	25	34,5	14	26,5

El valor del estadístico Friedman es:

$$F_r = \left[\frac{12}{Nk(k+1)} \sum_{j=1}^k R_j^2 \right] - 3N(k+1) =$$

$$\left[\frac{12}{(10)(4)(4+1)} (25^2 + 34,5^2 + 14^2 + 26,5^2) \right] - 3(10)(4+1) = 12,81$$

Evaluación sensorial y metodologías para su análisis

Como el valor de F_r es mayor que χ^2 se rechaza la H_0 y se concluye que los jueces detectan que al menos una de las cuatro formulaciones presenta alguna diferencia marcada con respecto a la original.

Sin embargo, aunque se comprobó la existencia de las diferencias, no se sabe si hay diferencias entre una formulación y otra o si todas son diferentes. Para encontrar dónde están las diferencias, se determinan las comparaciones múltiples para los cuatro grupos.

Primero, se determinan las diferencias entre los valores de la sumatoria de los grupos R_j para cada muestra, para la A=25, para la B=34,5, para la C=14, para la D=26,5.

$$|A - B| = |25 - 34,5| = 9,5 \qquad |B - C| = |34,5 - 14| = 20,5$$

$$|A - C| = |25 - 14| = 11 \qquad |B - D| = |34,5 - 26,5| = 8$$

Se comprueba para cada caso si la diferencia entre la sumatoria de los rangos excede el valor crítico correspondiente a la ecuación 14, si esto sucede se concluye que las dos condiciones son diferentes. Se utilizan los valores críticos de z .

$$\alpha = 0,05; \quad k = 4;$$

Con los valores de α y k se busca en la tabla y se obtiene $z = 2,638$.

Como se puede observar el único valor que es mayor del valor crítico 15,23; es la diferencia entre los rangos B y C, lo que indica que

Evaluación sensorial y metodologías para su análisis

$$\alpha = 0,05; \quad k=4;$$

Con los valores de α y k se busca en la tabla y se obtiene $z = 2,638$.

$$z_{\frac{\alpha}{k(k-1)}} \sqrt{\frac{Nk(k+1)}{6}} = 2,638 \sqrt{\frac{(10)(4)(4+1)}{6}} = 15,23$$

los jueces consideran que la muestra B tiene una diferencia con la importada mayor que la muestra C.

Ejemplo 2

Se realizaron pruebas sensoriales triangulares para una salsa de soya, donde se comparó la formulación original de la salsa con tres formulaciones diferentes de donde solo se cambió la concentración de un ingrediente en pequeñas dosis. Se utilizaron seis jueces semientrenados y se repitió la prueba tres veces para cada uno. Se desea saber si los jueces detectan diferencias en el sabor de la salsa de soya modificada.

Planteamiento de Hipótesis

H_0 = No es posible de no detectar diferencias en las tres formulaciones de salsa de soya formulación original

H_1 = Si es posible de detectar co la diferencias en el sabor para las tres formulaciones con la formulación original.

Condición estadística

Se escogió la prueba Q de Cochran porque los datos pertenecen a más de dos grupos relacionados ($k=3$) y las respuestas son dicotómicas (“sí” y “no”). Siendo “sí” cuando detecta diferencias en la prueba triangular de la salsa de soya y “no” cuando no detecta diferencias.

Nivel de significación

Evaluación sensorial y metodologías para su análisis

$\alpha=0,05$; N =número de juicios=18, k =número de condiciones a evaluar=3 y $gl=2$.

En este ejemplo se representa a los “sí” como 1 y a los “no” como 0. Los datos del estudio se presentan en la Tabla 76. Las puntuaciones están arregladas en $N=18$ filas y $k=3$ columnas. Además se muestran los valores de L_i (número de sí en cada fila) y L_i^2 . Por ejemplo, el primer juez respondió “no”, en todos los tratamientos, entonces $L_1=0+0+0 = 0$, y $L_1^2=0_2+0_2+0_2 = 0$.

En esta tabla se puede observar que el juez 1, en la primera repetición de la prueba triangular no detectó diferencias en ninguno de los casos, mientras que en la segunda y tercera repetición detectó diferencias para la fórmula 2 y 3, y. Este tipo de evaluación estadístico es un indicativo de la reproducibilidad de las respuestas de cada juez.

Se puede observar que $G_1=10$, es el número de respuestas “sí” a la

Tabla 76. Respuestas de jueces semientrenados en una prueba triangular para tres fórmulas de salsa de soya.

Juez	Repetición	Fórmula 1	Fórmula 2	Fórmula 3	L_i	L_i^2
1	1	0	0	0	0	0
	2	0	1	1	2	4
	3	0	1	1	2	4
2	1	1	0	0	1	1
	2	0	0	0	0	0
	3	1	0	0	1	1
3	1	1	1	1	3	9
	2	0	1	0	1	1
	3	1	0	0	1	1
4	1	0	0	0	0	0
	2	1	1	1	3	9
	3	0	1	1	2	4
5	1	1	1	0	2	4
	2	1	1	0	2	4
	3	0	0	0	0	0
6	1	1	1	1	3	9
	2	1	1	0	2	4
	3	1	1	1	3	9
Total		$G_1=10$	$G_2=11$	$G_3=7$	$\sum_{i=1}^{18} L_i = 28$	$\sum_{i=1}^{18} L_i^2 = 64$

fórmula 1, $G_2=11$, es el número de respuestas “sí” a la fórmula 2, y $G_3=7$ es el número de respuestas “sí” a la fórmula 3.

El número total de respuestas “sí” en las tres fórmulas es:

$$\sum_{j=1}^3 G_j = 10 + 11 + 7 = 28$$

Si se sustituyen los valores en la ecuación 12, se tiene:

$$Q = \frac{(k-1) \left[k \sum_{j=1}^k G_j^2 - \left(\sum_{j=1}^k G_j \right)^2 \right]}{k \sum_{i=1}^N L_i - \sum_{i=1}^N L_i^2} = \frac{(3-1) [3(10^2 + 11^2 + 7^2) - 28^2]}{(3)(28) - 64} = 2,6$$

El valor crítico que se obtiene de la tabla para la distribución Ji Cuadrada con dos grados de libertad y $\alpha=0,05$ es $\chi^2=5,99$, como el valor calculado es menor que el valor crítico, no se rechaza la H_0 al nivel de significación elegido, y se concluye que no es posible detectar diferencias por los jueces en el sabor en las tres formulaciones de salsa de soya y la formulación original.

5.2.- Secuencia de las pruebas sensoriales.

Control de calidad de los análisis

Las operaciones de control de calidad de los análisis descriptivos se realizan de manera simultánea a las catas, según un plan de calidad previamente establecido. Los catadores saben que durante la campaña van a catar muestras repetidas en la misma o en diferentes sesiones pero no se les indica en qué sesión. Los controles de calidad de los análisis

son control de la repetibilidad, control de la reproducibilidad y control de la variabilidad interna del panel.

Control de la repetibilidad

Consiste en introducir muestras repetidas en la misma sesión de cata. Para cada juez se evalúa para cada tratamiento de muestras a estudiar por medio de la prueba estadística no paramétrica de Friedman la repetibilidad de los jueces. En el caso de que se detectaran problemas hay que revisar los datos para buscar las causas.

Las condiciones de repetibilidad incluyen: El mismo procedimiento de medición, el mismo observador, un instrumento de medición utilizado en las mismas condiciones, el mismo lugar y repetición dentro de un período de tiempo corto. La repetibilidad se puede expresar en forma cuantitativa, en función de las características de dispersión de los resultados.

El estudio de repetibilidad y reproducibilidad se realiza utilizando el método de promedios y rangos para el aseguramiento de la calidad de los resultados de calibración de acuerdo con la norma técnica NTCISO/IEC 17025 (Llamosa, Meza, & Botero, 2007)

Control de la reproducibilidad

Es similar al anterior pero en este caso se introducen muestras pertenecientes al mismo lote de fabricación en diferentes sesiones de cata. Para que una expresión de la reproducibilidad sea válida, es necesario especificar las condiciones que cambian. Las condiciones que cambian pueden ser entre otras: El principio de medición, el método de medición, el observador, el instrumento de medición, el patrón de referencia, el lugar, las condiciones de uso y el tiempo. La

reproducibilidad se puede expresar en forma cuantitativa, en función de las características de dispersión de los resultados. (Llamosa, Meza, & Botero, 2007)

Control de la variabilidad interna del panel

Este análisis podríamos denominarlo como de evaluación en continuo. Cada dos sesiones de cata se lleva a cabo un análisis de los resultados emitidos por cada catador y se comparan con los resultados del panel. Se puede utilizar la prueba estadística no paramétrica del coeficiente W de Kendall. Con los resultados obtenidos el supervisor de paneles emite un informe en el que se debe informar a determinado catador de sus resultados anómalos. (Torre, 2002)

Esquema de Implementación de pruebas sensoriales para desarrollo de productos

Se presenta un esquema (Figura 9), para el desarrollo de nuevos productos o mejoras de los mismos. Para los análisis químicos se pueden utilizar pruebas estadísticas paramétricas si se cumplen los supuestos, mientras que para análisis descriptivo y prueba de consumidores se recomiendan las pruebas estadísticas no paramétricas que se presentan en la Tabla 74, según la escala de medida, la cantidad y el modo en que se recolectaron los datos.

Identificación de grupos de consumidores con gustos diferenciados

A los productores les interesará saber qué grupos de población prefieren un producto u otro y, mejor aún, los motivos de las preferencias. En la Figura 10, se presenta un modelo que se basa en utilizar los datos de aceptabilidad de jueces afectivos con datos obtenidos del análisis

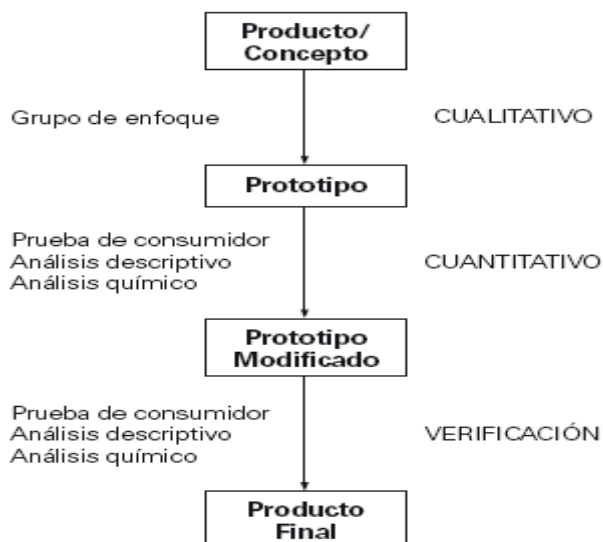


Figura 9: Esquema de Implementación de las diferentes pruebas sensoriales
Fuente: (Castañe e Izquierdo, 2002)

sensorial.

Cuando para los mismos productos se disponen de dos tipos de datos, perfiles sensoriales y preferencia de consumidores, se pueden relacionar ambos para analizar los motivos por los que los consumidores prefieren uno u otro producto. De la misma forma, puede también relacionarse otros datos distintos a los sensoriales (químicos o instrumentales, por ejemplo) con las respuestas de los consumidores.

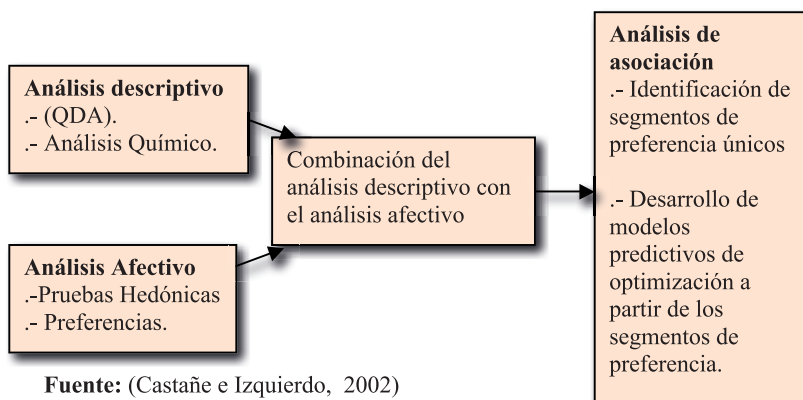


Figura 10: Modelo para identificar grupos de consumidores con gustos diferenciados

Capítulo 6

Propiedades sensoriales de un alimento desde un enfoque basado en su perfil de textura

El análisis sensorial juega un papel preponderante en el posible éxito de la comercialización y aceptación de cualquier tipo de alimento en el mercado; en este sentido la recepción de información que puede captar el cerebro de un consumidor al encontrarse frente a un producto de su posible interés marca la diferencia al momento de un posicionamiento de marcas. El papel de los sentidos se expresa en la Figura 11. Ghio 2011 (según citado en Calderón, 2016) manifiesta que:

“[...] lo que las personas buscan a través del consumo es mucho más que satisfacer una necesidad primaria: buscan vivir una experiencia más profunda sostenida por valores positivos que les permita disfrutar en una dimensión que abarque la totalidad de sus sentidos” (p.32).

Se puede definir a la apariencia como el conjunto de características físicas que posee un alimento desde la óptica del consumidor sin que esto implique necesariamente el contacto físico entre el observador y el producto. Las principales propiedades sensoriales evaluadas en los diferentes tipos de productos alimenticios son la apariencia, el sabor, el aroma y la textura.

El sabor es la sensación que produce un alimento específico una vez que el mismo es introducido en la boca del consumidor e inicia

el proceso de digestión. Está determinado en gran parte por el sentido del olfato en interacción con la asimilación de las sustancias químicas intrínsecas de la composición innata del alimento como tal por parte de las papilas gustativas presentes en la lengua.

El aroma es parte del análisis del perfil olfato-gustativo de un alimento y está dado por la percepción básica de información que recibe el cerebro de una persona acerca de un producto por medio del sentido del olfato quien analiza los diferentes compuestos volátiles emitidos por dicho producto.



Figura 11: Papel de los sentidos durante el proceso de consumo de alimentos

Fuente: (Díaz, 2012)

La textura de acuerdo a Boatella, López, 2004; se define como “el atributo de una sustancia resultante de la combinación de las propiedades físicas y percibidas por los sentidos del tacto, incluidos aspectos cinestésicos y la palatabilidad (mouthfeel), la vista y el oído” (p.16).

La textura de un alimento es el resultado de una percepción sensorial y por tal razón los resultados de la interpretación reológica de un alimento suelen complementarse con el de perfil sensorial como fue expuesto en los capítulos anteriores de este libro.

Para obtener información del perfil de textura de un alimento,

este debe ser evaluado por distintos canales los cuales pueden unirse de forma sinérgica y complementarse para extraer información valiosa acerca del comportamiento de cualquier tipo de producto alimenticio frente a diferentes condiciones de tratamiento físico. Si se toma por ejemplo cualquier tipo de fruta, el tacto proporcionará información si esta es dura o blanda, si existe una percepción de resistencia bajo su exocarpio o por el contrario muestra una resistencia significativa. Esto se complementa con los demás sentidos como la vista, quien evidencia a primera instancia el estado de un producto y su comportamiento frente a los distintos tipos de deformaciones a los cuales se someta al alimento en mención. El resto de atributos se seguirán poniendo de manifiesto durante el desarrollo de las pruebas, tal es el caso del sentido del oído que puede diferenciar si el producto es crujiente o no.

Algunas aplicaciones dentro de la captación de potenciales mercados se sustentan en el Neuromarketing, quien en la industria de los alimentos ha establecido nuevas pautas, tal es el caso de nuevos productos que basan su atractivo en la implementación de nuevas y distintas texturas más que en la generación de nuevos sabores u otras propiedades de tipo sensorial.

Desde la perspectiva reológica son tres los tipos de propiedades que se evalúan en el análisis de perfil de textura de un alimento:

- Atributos mecánicos
- Atributos geométricos
- Atributos de composición

Los atributos mecánicos están relacionados con la respuesta que puede generar un alimento cuando a este se le proporciona una deformación específica. Los atributos geométricos, como el nombre lo indica, están relacionados por la forma y/o disposición molecular

del alimento. Los atributos de composición están relacionados con la apariencia de un alimento en virtud de su similitud con determinados componentes (Jiménez, 2013).

La textura es una propiedad sensorial, por lo que sólo mediante un análisis de este tipo se puede identificar las particularidades de dicha variable. Sin embargo las necesidades industriales por desarrollar productos acordes a la demanda mercantil ha hecho que la ciencia desarrolle una serie de metodologías instrumentales que emulen de la manera menos sesgada la gama de propiedades mecánicas que puede ofrecer un alimento ante tratamientos físicos similares a aquellos que se suscitan de manera natural durante su cata o preparación.

Los métodos instrumentales de evaluación del perfil de textura de un alimento abarcan muchas propiedades como la dureza, la fracturabilidad, la adhesividad o la elasticidad. El hecho de evaluar dichas propiedades está fundamentado en algunas razones como:

- La imperiosa necesidad de generar instrumentos que permitan realizar el control de calidad durante los diferentes procesos y operaciones de una manera sencilla.
- El anhelo de predecir la respuesta de los consumidores ante un cambio de formulación o tecnología.
- El deseo de entender qué es lo que está siendo percibido por los consumidores en la valoración sensorial de la textura.
- La necesidad de desarrollar métodos optimizados de ensayo instrumental que permitan correlacionar la evaluación sensorial con los resultados obtenidos a través de su uso (Díaz, 2012)

Una de las necesidades adicionales de poder manejar una gran variedad de metodologías instrumentales que se podría mencionar en el presente texto tiene su punto de inflexión en el hecho de poder

correlacionar la información cuantitativa que las mismas podrían facilitar, con los atributos no paramétricos evaluados en un análisis sensorial (Figura 12).

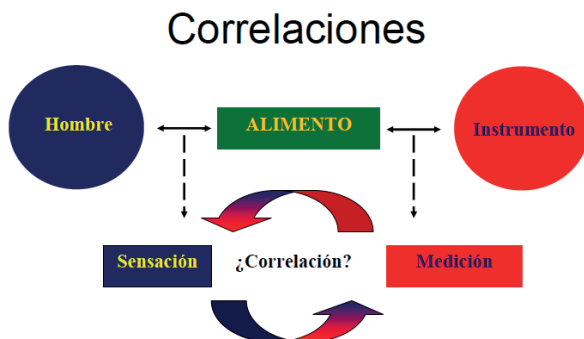


Figura 12: Relación entre las mediciones sensoriales e instrumentales de los alimentos

Fuente: (Díaz, 2012)

6.1 Relación multidisciplinaria entre variables sensoriales, fisiológicas y reológicas

Reforzando lo ya mencionado en el capítulo 1 de este libro, se puede mencionar que: “la pertenencia de un producto a un tipo es definida en función de un conjunto de características que le son propias, que lo diferencian de otros similares y que son reconocidas por un grupo humano de referencia” (Carduza, Champredonde, & Casablanca, 2016, p.27); expuesto desde un enfoque sensorial y que se complementa con argumentos fisiológicos, como el estudio de los cambios que experimenta el mismo durante el consumo y su relación con los procesos orales tanto en el nivel macro (temperatura, motilidad y secreción) como micro (receptores) (Muñoz, González, & Sánchez, 2016). A todo lo ya expuesto es pertinente evaluar los diferentes parámetros reológicos, la microestructura del alimento, otras características relevantes y su interrelación con los dos enfoques ya señalados (Figura 13).

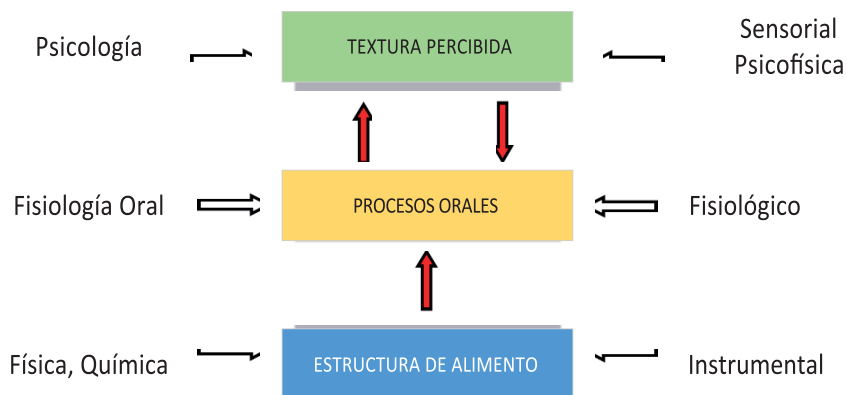


Figura 13: Terminología, disciplinas relacionadas y metodología en el estudio de la textura

Fuente: (Díaz, 2012)

Como se puede apreciar el análisis sensorial apenas se constituye en uno de los eslabones que complementan la “identidad” total de cualquier tipo de alimento; sus características físico químicas, así como su composición bromatológica juegan un rol vital en las respuestas innatas del alimento una vez que este es degustado por el consumidor, ya que de dichas características dependerán parámetros como la consistencia, sabor o textura de la matriz alimenticia analizada.

6.2 Análisis de perfil de textura

El APT (Análisis de perfil de textura) es el análisis sensorial de las características texturales de un alimento en términos de sus atributos mecánicos, geométricos, perfil de grasa y humedad; el grado en que cada uno se presenta, el orden en el que aparecen así como sus implicaciones reológicas a través de metodologías e instrumentación que permite emular procesos básicos e intrínsecos a la naturaleza humana como el proceso de masticación.

Granados, Acevedo, Cabeza, & Lozano (2014) manifiestan que “el estudio y conocimiento de la textura como propiedad física del alimento es de suma importancia para determinar la aceptabilidad del mismo. El consumidor prefiere aquellos alimentos que resulten agradables sensorialmente” (p36). Y es por esta razón que un análisis de perfil de textura se constituye en una herramienta básica para evaluar las principales características que guardan relación con un perfil sensorial preestablecido. Dentro de dichas características se puede establecer una clasificación como la que se presenta en la Figura 14.

6.3 Caso práctico de análisis sensorial de un alimento.

Resultados de un ensayo realizado en la Universidad Politécnica Estatal del Carchi titulado: Evaluación de atributos sensoriales de un

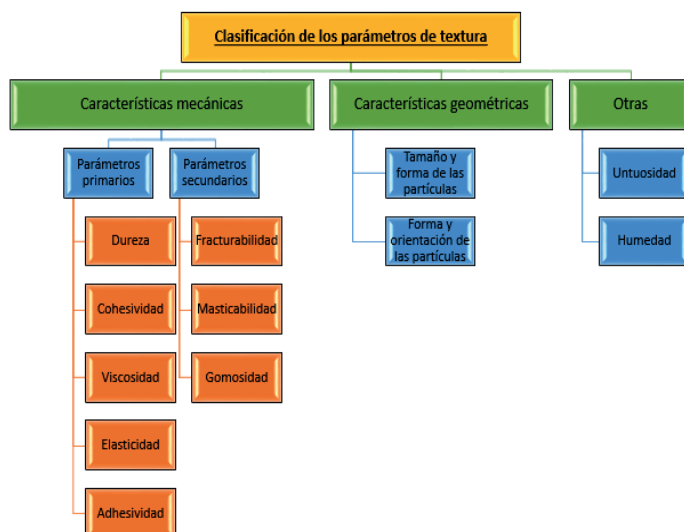


Figura 14: Clasificación de los parámetros de textura

Fuente: (Díaz, 2012)

pan con formulaciones basadas en tubérculos andinos

Introducción.

Se define al pan como un producto alimenticio obtenido por la cocción de una masa fermentada o no, hecha con harina y agua, con o sin el agregado de levadura, con o sin la adición de sal, con o sin la adición de otras sustancias permitidas para esta clase de productos alimenticios (INEN NTE 2945, 2015).

La oca es un tubérculo andino subutilizado, que requiere maduración previa para algunos de sus usos, es decir, que después de ser cosechada se expone al sol para que adquiera un sabor dulce y se transformen los almidones en azúcares. (Mora, 2012).

La papa (*Solanum tuberosum*) es uno de los principales cultivos tradicionales en el Ecuador. Es originaria de la región Andina, se encuentra entre los principales cultivos del mundo después del trigo, arroz y maíz gracias a su alto valor nutricional y gran aporte energético. (Chingal y Herrera 2017). En la Zona 1 de la provincia del Carchi existe alta producción de este cultivo y pocas veces se le añade un valor agregado, convirtiéndose en un problema para el desarrollo económico de la Zona.

Los productos de panificación tiene dos grandes ramas en base a su composición y a la proporción de harina-agua que contengan:

- Los productos elaborados con “pastas” cuya proporción de líquido es mayor, además de requerir moldes para su elaboración.
- Las masas designadas así por la mayor cantidad de sólidos presentes, las mismas que no requieren de moldes para su

cocción (Espino, Alfaro, & Güemes, 2016).

Las masas elaboradas con levadura dulce no requieren de moldes y se las conoce como pambazo; el origen de este producto se remonta a la popularidad del mismo; según Sánchez (2015), durante el virreinato la producción del "pan basso" se lo realizaba a partir de harinas averiadas o mezcla de harinas de media calidad con harinas averiadas. Por esta razón, "basso", es decir "bajo", hace alusión a todo aquello que carece de gracia o refinación. Por ello se cataloga como un pan económico al que la mayoría de la población puede acceder de manera diaria.

La presente investigación tiene como objetivo asociar la dureza medida sensorial e instrumentalmente de tres panes tipo pambazo elaboradas a base de harina de trigo (*Triticum spp*), oca (*Oxalis tuberosa*) y papa (*Solanum tuberosum*) y evaluar su aceptación sensorial.

Materiales y métodos.

Insumos.

- Harina de trigo
- Manteca
- Sal
- Azúcar
- Levadura
- Agua
- Papa (*Solanum tuberosum*)
- Oca (*Oxalis tuberosa*)

Equipos e instrumentos.

- Cuchillos
- Horno semi-industrial
- Cazuela

- Cucharas
- Latas para hornear

Localización del experimento.

La presente investigación fue desarrollada en la planta de panificación del Centro Experimental San Francisco así como en los laboratorios de Análisis de Alimentos de la Universidad Politécnica estatal del Carchi.

Selección de materia prima.

La materia prima fue seleccionada considerando el cumplimiento de la normativa nacional vigente (Normas INEN), de cada uno de los insumos requeridos en la elaboración de los tratamientos en mención. Cumplir con las Buenas Prácticas de Manufactura fue uno de los principios fundamentales dentro del proceso de elaboración del pambazo.

Dosificación y pesaje de los insumos.

Se dosificó para las formulaciones de tres tratamientos, según se indica en la Tabla 77.

Por separado y según la cantidad a prepararse en base a las formulaciones establecidas se procedió a pesar los ingredientes para realizar la masa y que puedan activarse las levaduras y exista una mejor fermentación. Después de este proceso y de haber sido mezclado todos los ingredientes se dejó leudar la masa durante dos horas.

Tabla 77. Formulaciones de los tratamientos de los panes tipo pambazo

Ingredientes	T1 %	T2 %	T3 %
Harina trigo	100	70	65
Oca	-	30	-
Papa	-	-	35

Preparación del puré de oca.

Para preparar el pambazo con puré de oca se procedió a cocinar la oca para la obtención del puré, después se mezclaron todos los ingredientes, hasta que se logró una homogenización con una consistencia adecuada y de color característico.

Preparación del puré de papa.

Para la obtención del puré se procedió a cocinar las papas, seguidamente se realizó el proceso anteriormente señalado hasta obtener una masa homogénea con una consistencia adecuada y de color característico.

Mezclado.

En un recipiente hondo se colocaron manteca, azúcar, sal, agua, levadura y harina, previamente pesados según las formulaciones establecidas y se procedió a mezclarlas. Para el pambazo de oca y papa, se procedió a integrar los purés en cada muestra.

Amasado y moldeado.

Se amasó la mezcla hasta obtener una masa compacta y homogénea, la cual se colocó en las respectivas bandejas de hornear, las mismas que fueron previamente engrasadas para evitar que se adhieran los panes; se dio una forma redonda con un peso de 50g cada uno, obteniéndose 12 unidades de pan para cada tratamiento.

Horneado.

Se horneó por un tiempo de 40 a 60 min, a una temperatura de 180 °C, se dejó enfriar para eliminar el CO₂ contenido en el pan.

Almacenado.

El producto terminado fue almacenado en un lugar fresco y seco, se evitó que el pambazo entrara en contacto con el ambiente ya que esto hubiese ocasionado un cambio en su textura, provocando que el pan se endurezca y pierda sus peculiares características tanto de textura como de sabor.

Análisis de dureza.

Se utilizó un penetrómetro digital, al cual se le adaptó un pin metálico con un radio de 4,5 cm, con el que se obtuvo la dureza del pan expresada en Newtons (N).

Análisis sensorial.

Los datos sensoriales se obtuvieron con la participación de 12 catadores, a los cuales se les presentaron las muestras y realizaron la degustación para brindar su opinión, utilizando una escala de Likert siendo las categorías:

- 1: no me gusta,
- 2: me gusta poco,
- 3: ni me gusta ni me disgusta,
- 4: me agrada,
- 5: me gusta mucho.

Excepto para dureza donde

- 1: muy duro
- 2: duro
- 3: duro ni suave
- 4: suave
- 5: muy suave

Se utilizaron los sentidos de la vista para el color y la esponjosidad; el tacto para la textura y la dureza, el olfato para el olor y el gusto para el sabor.

Análisis estadístico.

Para los resultados de análisis instrumental realizado con el penetrómetro se utilizó el ANAVAR para diseños completamente al azar, ya que se comparó la dureza en tres tratamientos (tipos de pan) en condiciones controladas.

Se realizó un análisis de correlación entre la dureza medida sensorialmente y los datos obtenidos por el penetrómetro digital. Se utilizó la prueba de Spearman debido a que esta es una medida de asociación entre dos variables que requieren que ambas estén en al menos una escala ordinal. Los datos se procesaron en el software Statistix 9.0.

Adicionalmente se realizó la prueba de Kruskal Wallis para comparar los atributos sensoriales en los tres tratamientos evaluados. Se utilizó esta prueba por que se apropia a la escala de medida de las variables en estudio, la cuales son todas ordinales.

Finalmente se compararon los porcentajes obtenidos en cada categoría para cada tratamiento (tipo de pan).

Resultados y Discusión

Análisis de la dureza de los panes utilizando ANAVAR en los resultados del análisis instrumental.

Los promedios de dureza obtenidos por el penetrómetro fueron 48,2 N para el Tratamiento 1 y 33,03 N para el Tratamiento 2 y el 3; existiendo diferencias estadísticamente significativas entre el Tratamiento 1 con el 2 y 3. No hay diferencias entre el 2 y 3. Se utilizó un nivel de significación de 0,05. El coeficiente de variación resultó 9,89% lo cual es aceptable para las condiciones del ensayo.

Análisis de correlación entre las pruebas instrumental y sensorial para la dureza.

Se obtuvo como estadístico de correlación de Spearman $r_s = 0,1487$ con un valor p de 0,0289, que está por debajo del 0,05; lo que explica la existencia de una correlación estadísticamente significativa entre la prueba sensorial y la prueba instrumental para la dureza.

Existen múltiples causas de una limitada correlación entre las variables obtenidas mediante un análisis sensorial y aquellas obtenidas

en una medición sustentada en el uso de instrumentos, como las que a continuación se detallan:

- Las condiciones físicas en las que se produce el proceso de degustación e ingesta del alimento difieren de las instrumentales como por ejemplo, algunas medidas realizadas a través de los distintos instrumentos se desarrollan a temperaturas más bajas que las existentes en la boca y sin la lubricación característica que proporciona la saliva.
- La escala temporal de valoración de la textura es otro parámetro a considerar, ya que se obtienen mediciones simples que no toman en cuenta aspectos relativos a la dinámica de la masticación en sí y los cambios que se suscitan en la percepción de la textura durante dicho proceso.
- Las medidas instrumentales no toman en cuenta las variaciones individuales de los procesos orales.

Comparación de los atributos evaluados utilizando la prueba de Kruskal Wallis para muestras independientes.

En la Tabla 78 se pueden apreciar los resultados de la prueba de Kruskal Wallis para la comparación de las tres formulaciones para la elaboración de los panes, considerando los atributos Olor, Sabor, Color,

Tabla 78. Resultados obtenidos en las pruebas sensoriales

Panes	Olor	Sabor	Color	Dureza	Textura	Esponjosidad
Tratamientos ordenados por preferencia	1 A	1 A	1 A	1 A	2 A	2 A
	3 B	3 AB	3 A	3 AB	3 A	3 B
	2 B	2 B	2 A	2 B	1 B	1 B
Valor p	0,00001	0,00001	0,10000	0,00001	0,00001	0,00001

T1= pan blanco, T2= pan con puré de oca, T3= pan con puré de papa
Letras diferentes por columna indican que los tratamientos son estadísticamente diferentes. Los tratamientos con la letra A son los de mayor aceptación

Dureza, Textura y Esponjosidad evaluados por los panelistas. En el atributo sensorial del olor, el mejor es el pan blanco, los panes con puré de oca y con puré de papa no presentan diferencias entre sí pero son inferiores al pan blanco. En el sabor el pan blanco es el más aceptado por los panelistas pero no difiere del pan con puré de papa. En el color no se presentaron diferencias significativas entre los panes.

En el aspecto sensorial de dureza, el pan blanco fue quien arrojó mayor dureza pero no difiere del pan con puré de papa. El pan blanco fue el menos aceptado. En esponjosidad el pan con puré de oca tuvo la mayor aceptación.

Análisis descriptivo de la aceptación de varios atributos en cada uno de los panes.

Pan blanco

En las Tablas 79, 80 y 81 se presentan los porcentajes de aceptación expresados por categorías para los tratamientos 1 (pan blanco), 2 (pan con puré de oca) y 3 (pan con puré de papa) respectivamente.

El sabor, olor y color del pan blanco son de muy buena aceptación por los catadores; el 25% manifestaron que la textura del pan blanco fue desagradable pero el 75% restante opinaron diferente; aunque solo el

Tabla 79. Resultados de aceptación sensorial expresados en porcentajes para el pan blanco (T1)

Categoría	Olor	Sabor	Color	Textura	Esponjosidad	Dureza
5	18,1	8,3	26,4	16,7	9,7	9,7
4	36,1	40,3	22,2	16,7	25,0	31,9
3	34,7	41,7	38,9	22,2	23,6	41,7
2	11,1	9,7	11,1	19,4	23,6	15,3
1	0	0	1,4	25	18,1	1,4
Mediana	4	3	3	3	3	3

16,7% le asignaron la calificación 5 a este atributo. Solamente 9,7% afirmó que su esponjosidad le gustaba mucho y un 41,7% de los encuestados afirman que la dureza le agrada o le gusta mucho (categorías 4 o 5).

Pan puré de oca

En el pan con puré de oca, el 50% de los catadores aseguraron que el olor no es aceptable (categorías 1 o 2); su sabor tiene porcentaje bajo en la categoría 5 y el color presenta mayores porcentajes en las categorías 3 y 4. El 100% opinaron que la textura del pan es buena y le dio calificaciones de 3 o más. El 66,7% manifiesta que la esponjosidad ni le gusta ni le disgusta y el resto declara que le agrada. La dureza para este tipo de pan fue 29,1 en categoría 4 y 5 o sea suave o muy suave. Sus mejores atributos son textura y esponjosidad.

Tabla 80. Resultados de aceptación sensorial expresados en porcentajes para el pan con puré de oca (T2)

Categoría	Olor	Sabor	Color	Textura	Esponjosidad	Dureza
5	2,8	2,8	8,3	15,3	0	8,3
4	20,8	27,8	40,3	44,4	33,3	20,8
3	26,4	33,3	26,4	40,3	66,7	31,9
2	27,8	23,6	12,5	0	0	18,1
1	22,2	12,5	12,5	0	0	20,8
Mediana	2,6	3	3	4	3	3

Pan con puré de papa

Los encuestados manifestaron que en el pan con puré de papa el sabor, color y textura ni le gusta ni le disgusta, ya que presentan porcentajes como 41,7%; 54,2% y 31,9% en la categoría 3. El olor presenta un porcentaje aceptable con un valor de 30,6%; la dureza del pan con puré de papa presenta en la categoría 3 ni duro ni suave un 51,4% y en el caso de la esponjosidad 48,6% de los encuestados opina que es un pan regularmente aceptable para su gusto.

Tabla 81. Resultados de aceptación sensorial expresados en porcentajes para el pan con puré de papa (T3)

Categoría	Olor	Sabor	Color	Textura	Esponjosidad	Dureza
5	5,6	2,8	6,9	20,8	0	1,4
4	29,2	41,7	54,2	31,9	23,6	26,4
3	30,6	25,0	25,0	30,6	48,6	51,4
2	25,0	19,4	11,1	13,9	23,6	12,5
1	9,7	11,1	2,8	2,8	4,2	8,3
Mediana	3	3	4	4	3	3

En general, uno de los aspectos por el cual el pan con puré de oca, presentó aceptación en esponjosidad se debe a que es un tubérculo diferente a la papa, ya que la oca presenta mayor cantidad de agua que la papa y por eso su textura va a ser diferente al momento de ser mezclado en la masa, lo que no sucede en el pan con puré de papa ya que antes de la cocción presenta una textura diferente no tan seca pero no muy húmeda. En el pan blanco se presenta menor esponjosidad porque no se le añade ningún adicional y por ello presenta una textura seca antes y después de la cocción.

Conclusiones

- Los resultados del ANAVAR en los datos obtenidos con el penetrómetro indicaron que el pan blanco presentó mayor dureza.
- Los resultados de dureza obtenidos con el penetrómetro y los de aceptación utilizando el tacto presentan una asociación lineal estadísticamente significativa, con un valor de $rs = 0,1487$.
- El pan con la mayor aceptación sensorial fue el pambazo blanco, ya que los atributos evaluados tienen las más altas ponderaciones.
- El pan con puré de oca presentó mayor esponjosidad y mejor textura, pero el atributo con menor aceptación fue el olor.

Anexos Fotográficos

Fotografía 1: Grupo de catadores	Fotografía 2: Muestras con puré de papa para el análisis instrumental
	
Fotografía 3: Muestras de pambazo blanco para el análisis instrumental	Fotografía 4: Muestras con puré de oca para el análisis instrumental
	
Fotografía 5: Lectura del penetrómetro digital con adaptación para el pambazo con puré de oca	Fotografía 6: Lectura del penetrómetro digital con adaptación para el pambazo blanco
	

6.4 Recomendaciones finales

La correcta aplicación de las técnicas de evaluación sensorial puede proporcionar información sobre el producto desde las perspectivas sensoriales y sobre el consumidor desde la perspectiva del producto. De aquí la importancia del conocimiento de cómo y dónde debe aplicarse cada una de ellas.

Un programa empleado en la selección y entrenamiento del panel de jueces sensoriales para pruebas analíticas permite evaluar en forma objetiva y confiable la calidad de los productos y sus resultados reflejan los aspectos de calidad que deben mejorarse para lograr alimentos más aceptados por los consumidores.

Es importante que el diseño para las pruebas sensoriales sea apropiado y conocer de antemano el análisis estadístico que se va a utilizar con los resultados obtenidos. De lo contrario se puede caer en el error de seleccionar tamaños de muestras y condiciones experimentales no adecuadas para lograr el propósito que se persigue.

Los resultados que se obtienen del análisis sensorial generalmente se encuentran en un nivel de medición nominal y ordinal. Por lo tanto, se deben analizar los datos sensoriales con pruebas estadísticas no paramétricas, las cuales deben ser seleccionadas de acuerdo al propósito del investigador.

Se debe enfatizar que las pruebas estadísticas paramétricas suponen que las puntuaciones estén al menos en una escala de intervalo y tienen una distribución normal. Cuando se usan técnicas paramétricas de la inferencia estadística con datos en escala nominal u ordinal, cualquier decisión acerca de las hipótesis es dudosa.

El panel de jueces sensoriales debe mantenerse en actividad y en caso de interrumpir las actividades se debe verificar que el panel sigue siendo confiable. Se deben incorporar nuevos panelistas que cumplan con las mismas etapas de selección y entrenamiento que se proponen, con el fin de reponer la participación de aquellos jueces que vayan abandonando. De esta forma se podrá seguir contando con un panel entrenado confiable.

En la planificación de las pruebas sensoriales se debe considerar la cantidad necesaria de muestras, el ambiente donde se realizará la evaluación sensorial, el estado físico de los evaluadores, horario de catación, entre otros; de esta manera se disminuye la variabilidad.

Una vez que el usuario establece el propósito de su análisis, en la Tabla 74 se indica la prueba sensorial apropiada, el tamaño de muestra, el tipo de jueces necesarios y finalmente con que prueba estadística deben ser analizados los datos.

Este libro será de mucha utilidad para las empresas de alimentos en la conformación de paneles de jueces y la realización de pruebas sensoriales de insumos y productos terminados. También es importante la información que puede prestar a la academia, investigación y emprendimientos tanto de docentes como de estudiantes de la carrera de alimentos en la conformación de un panel, capacitación de jueces, análisis sensorial y evaluación estadística de los datos obtenidos, para diferentes tipos de alimentos.

Referencias Bibliográficas

- Aguirre, M. (2011). Selección y entrenamiento de un panel de cata para análisis discriminativo de productos cárnicos con recubrimientos antimicrobianos. Navarra: upna.
- Aula de Productos Lácteos Galicia, España. 03 de Febrero de 2005. Análisis Sensorial. [on-line]:<http://Documents%20and%20Settings/Usuario/Análisis Sensorial.htm>
- Bertinet, R. (2007). Panes: 5 tipos de masa para elaborar 50 tipos de pan. Singapore: Blume.
- Boatella, J., Rafael, C., & López, P. (2004). Química y Bioquímica de los Alimentos II. Barcelona: Publicaciones i Edicions.
- Calderón, G. (2016). El aroma como recurso clave en la construcción de marca y generador de experiencia en el punto de venta. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/6774/RIVERA_VICENTE_JANNIS_AROMA_RECURSO.pdf?sequence=1
- Carduza, F., Champredonde, M., & Casablanca, F. (2016). Paneles de evaluación sensorial en la identificación y caracterización de alimentos típicos. Aprendizajes a partir de la construcción de la IG del Salame de Colonia Caroya, Argentina. 3(8), 24-40. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/4695/469546449003.pdf>
- Castañe, X. y L. Izquierdo. 2002. Aplicaciones industriales y control de calidad, [On-line]: www.percepnnet.com/documenta/

Canavos, G. 1988. Probabilidad y Estadística. Primera edición. Naucalpan de Juárez, México, Editorial McGraw Hill. 651 p.

Centro de Investigación del Estado para la Producción Experimental Agroindustrial (CIEPE). 2003. Curso de Selección y Entrenamiento de Jueces Sensoriales, instructora Ingrid Flores de Márquez. Ministerio de Ciencia y Tecnología. 61 p.

Centro de Información y Documentación Científica (CINDOC). (3 de Febrero del 2005). Publicado por Centro de Difusión Tecnológica para las PYME del sector de la Alimentación en la Comunidad de Madrid. Estudios de consumidores: Las Pruebas Hedónicas. [on-line]:

<http://pci204.cindoc.csic.es/cdta/especiales/consumidores/2.htm>.

Chingal, E. y Herrera, D. (2017). “Evaluación de controladores biológicos para el combate del gusano blanco (*Premnotrypes vorax*) en papa (*Solanum tuberosum*), mediante trampas en el Centro Experimental San Francisco.” Trabajo de titulación previo a la obtención de Ingeniero Agropecuario.

Cordero, G. (2013). Aplicación del Análisis Sensorial en la cocina y en la industria alimentaria. Madrid/Salamanca: Universidad Pablo de Olavide.

CTCOR-Subervin . (2015). Manual de analisis sensorial. Sta. Maria de Lamas: Subervin.

Díaz, R. (2012). Reología de Alimentos. La Habana: Universidad de la

Habana.

Espino, S., Alfaro, R., & Güemes, N. (2016). Evaluación de los atributos de textura: suavidad y esponjosidad de un pan tipo pambazo con distintas formulaciones. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(1), 606-611. Obtenido de <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume1/1/6/105.pdf>

Espinosa, J. (2007). *Evaluación sensorial de los alimentos*. La Habana: Universitaria.

Flores, N. (2015). *Entrenamiento de un Panel de Evaluación Sensorial, para el Departamento de Nutrición de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile*. Santiago: Universidad de Chile.

FRRO-UTN. (2013). Facultad Regional de Rosario - Universidad Tecnológica Nacional. Recuperado el 06 de agosto de 2017, de https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/quimica/5_anio/ca/Metodologia_analitica_de_evaluacion_sensorial%5B1%5D.pdf

Gómez, M. (2013). Cómo seleccionar una prueba estadística. *Revista mexicana de Pediatría*, 80(2), 81-85.

Gonzales, M. (2011). *Umbral de detección*. Madrid: UAM.

Granados, C., Acevedo, D., Cabeza, A., & Lozano, A. (2014). Análisis de Perfil de Textura en plátanos Pelipita, Hartón y Topocho. *Información Tecnológica*, 25(5), 35-40. Obtenido de <http://www.scielo.cl/pdf/infotec/v25n5/art06.pdf>

Hernández, E. (2005). *Análisis Sensorial*. Bogotá: UNAD.

- Herrera, G. (2005). Entrenamiento de un Panel para la Evaluación Sensorial del Jamón Endiabrado en una empresa del Estado Aragua. Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Maracay, Venezuela; Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela.
- INEN NTE 2945. (2015). Norma INEN Tecnología de los Alimentos productos de panificación, panadería, pan. Quito: ICS.
- Jiménez, I. (2013). Elaboración de productos vegetales. Antequera: IC Editorial.
- ISO-INEN. (2014). Análisis Sensorial De Alimentos. Metodología. Guía General. (ISO 6658:2005, IDT). Ginebra-Quito: INEN.
- ISO-INEN. (2014). Análisis Sensorial. Directrices Para La Utilización De Escalas De Respuestas Cuantitativas. (ISO 4121:2003, IDT). Ginebra-Quito: INEN.
- ISO-INEN. (2014). Análisis Sensorial. Metodología. Ensayo Dúo-Trío. (ISO 10399:2004, IDT). Ginebra-Quito: INEN.
- ISO-INEN. (2014). Análisis Sensorial. Metodología. Prueba De Comparación Por Parejas. (ISO 5495:2005 E ISO 5495:2005/ COR 1:2006, IDT). Ginebra-Quito: INEN.
- ISO-INEN. (2014). Análisis Sensorial. Metodología. Prueba Triangular (ISO 4120:2004, IDT). Ginebra-Quito: INEN.
- ISO-INEN. (2014). Análisis Sensorial. Vocabulario. (ISO 5492:2008, IDT). Ginebra-Quito: INEN.

- Llamosa, L., Meza, L., & Botero, M. (2007). Estudio de repetibilidad y reproducibilidad utilizando el método de promedios y rangos para el aseguramiento de la calidad de los resultados de calibración de acuerdo con la norma técnica NTCISO/IEC 17025. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Mackey, A.C.; I. Flores; M. Sosa. (1984). Evaluación Sensorial de los Alimentos. Segunda Edición. San Felipe, Venezuela. Centro de Investigación del Estado para la Producción Experimental Agroindustrial (CIEPE). 135 p.
- Manzano, S., Alfaro, R., Guemes, N. (2016). Evaluación de los atributos de textura: suavidad y esponjosidad de un pan tipo pambazo con distintas formulaciones. Investigación y desarrollo en ciencia y tecnología de alimentos, I, 606-611.
- Molina, E. (2011). Sensores Humanos Versus Sensores Analíticos. Madrid: CSIC-UAM.
- Mora, A. (2012). Universidad Técnica Del Norte. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/2132/1/03%20EIA%20323TESIS%20%20PAN%20DULCE.pdf>
- Muñoz, C., González, C., & Sánchez, Y. (2016). Aproximación a una formulación de un alimento tipo galleta, bajo en calorías y que genere sensación de saciedad para consumo de población adulta. Caldas: Corporación Universitaria Lasallista. Obtenido de <http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/1/>
- Aproximacion_Formulacion_Alimento_Tipo_Galleta.Pdf Norma Española, UNE 87-008-92. (1992). G Análisis Sensorial de los

Alimentos. Metodología. Guía General.

Pedrero, F.D; R.M. Pangborn. (1989). Evaluación sensorial de los alimentos; Métodos analíticos. D.F., México, Editorial Alambra Mexicana. 249 p.

Ramón, G. (2008). Sensación y percepción . Medellín: UA.

Reglero, G. (2011). Conceptos básicos. importancia del análisis sensorial en la industria alimentaria . Madrid: CSIC-UAM .

Rodríguez, L. T. (2013). Elaboración de una guía para la selección, entrenamiento y monitoreo de jueces sensoriales para productos de confitería. Guatemala: USCG.

Salinas, R., Almendares, L., Grossi, M., Huilipan, C., Ramírez, C. (2014). Evaluación Sensorial en Productos Innovativos, Obtenidos de Subproductos de Arroz, Utilizando una Metodología de Extrusión. Santiago: IICTA.

Sancho, J.; E. Bota; J. De Castro. (2002). Introducción al Análisis Sensorial de los Alimentos. D.F., México. Alfaomega Grupo Editor.

Siegel, S.; N. Castellán. (1998). Estadística no Paramétrica; Aplicada a las ciencias de la conducta. Cuarta Edición. Editorial Trillas. D.F., México. 436 p.

Silva, L. (2009). Formulación de una goma de mascar con ingredientes funcionales. Sartenejas: USB.

Torre, P. (2002). Análisis sensorial del espárrago de Navarra con denominación específica: un caso práctico. Pamplona.

- Triviño, Á., Garzón, N. (2014). Aceptación sensorial de productos comestibles, elaborados a partir de semillas de pepepan (*Artocarpus camansi* Blanco), árbol frutal cultivado en Tumaco-Nariño. Bogotá: IICA.
- Ureña, M.; M D'arrigo y O. Girón, O. 1999. Evaluación sensorial de los alimentos, Aplicación Didáctica. Editorial Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima Perú. 199p.
- Van Oirschot, Q. y K. Tomlins. (2002). Applying analytical sensory evaluation techniques, which translate qualitative perceptions to numerical data to research on development issues, [On-line]: www.swan.ac.uk/cds/pdffiles/OIRSCHOT.pdf
- Villanueva, S. (2003). Puntos Críticos de la Evaluación Sensorial de Carne de Cerdo[On-line]: <http://sci.agr.ca/crda/international/cong/pdf/villanueva.pdf>
- Webster, A. (2000). Estadística aplicada a los negocios y la economía. Tercera Edición. Editorial Mc Graw Hill. Santa Fe de Bogotá, Colombia. 640 p.



ISBN 978-9942-914-43-9



9 789942 914439

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI

Calle Antisana y Av. Universitaria.

Tels.: 06 2 224 079 / 06 2 224 080 / 06 2 224 081

Tulcán Ecuador

Email: publicacionesupec@upec.edu.ec

www.upec.edu.ec