



Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos. 2 (1): 142-157. Enero-Junio, 2011
http://www.rvcta.org
ISSN: 2218-4384 (versión en línea)
© Asociación RVCTA, 2011. RIF: J-29910863-4. Depósito Legal: ppi201002CA3536.

Artículo

Aplicación de funciones de decisión multicriterio y diseño Plackett-Burman para el estudio de la calidad sensorial de mortadelas

Multicriteria decision functions and Plackett-Burman design application for the study of sensory quality of mortadellas

Mónica **Tinoco***, Cristian **Rojas**, Piercósimo **Tripaldi**, Mayra **Criollo**, Ligia **Huayasaca**

Universidad del Azuay, Facultad de Ciencia y Tecnología, Escuela de Ingeniería en Alimentos.
Avenida 24 de Mayo 7-77 y Hernán Malo, Apartado Postal 01.01.981, Cuenca, Provincia del Azuay,
Ecuador.

*Autora para correspondencia: mtinoco@uazuay.edu.ec

Aceptado 21-Junio-2011

Resumen

Para evaluar la aceptación sensorial de mortadelas se ha propuesto estudiar simultáneamente 7 factores considerados relevantes para cada una. Para la mortadela de pollo se estudiaron los factores: carne de pollo, grasa de pollo, hielo, almidón de papa, harina de trigo, temperatura de escaldado y tiempo de escaldado. Para la mortadela tradicional se consideraron: carne de cerdo, carne de res, grasa, hielo, relación almidón de papa/harina de trigo, temperatura de escaldado y tiempo de escaldado. Se utilizó el diseño de Plackett-Burman para el estudio de estos factores. La respuesta experimental constituyó la función de utilidad obtenida con la ayuda del programa DART a partir de los atributos sensoriales evaluados con un panel no entrenado constituido por 15 personas. El Half-Normal Plot permitió establecer para cada producto los factores importantes en el diseño. En los dos productos se identificaron factores que influyeron de forma sinérgica.

Palabras claves: diseño de Plackett-Burman, Half-Normal Plot, funciones multicriterio, mortadela, pollo, sensorial.

Abstract

The taste acceptance of mortadellas was evaluated studying 7 relevant factors. For chicken mortadella the factors considered were: poultry, fat, ice, potatoes starch, wheat flour, bleaching temperature and bleaching time. For traditional mortadella the factors were: pork meat, beef meat, fat, ice, potatoes starch/wheat flour rate, bleaching temperature and bleaching time. Plackett-Burman design was used to study these factors. The experimental response was considered as the utility function obtained by means of DART software. This software based its calculation on some taste attributes evaluated by an untrained sensory panel. The Half-Normal Plot allowed establishing the important factors of the product design. Synergic factors were identified for both products.

Key words: chicken, Half-Normal Plot, mortadella, multicriteria decision making, Plackett-Burman design, sensorial.

INTRODUCCIÓN

El diseño de Plackett-Burman, es un diseño de 'screening' (barrido), que permite establecer la relación entre variables de estudio y la variable respuesta. Es un diseño completamente ortogonal que reduce substancialmente el número de experimentos a realizarse con un elevado número de variables (Plackett y Burman, 1946). En este diseño cada factor se coloca a 2 niveles y el número de experimentos N es múltiplo de 4. Las variables pueden ser de tipo cualitativa o cuantitativa. Los niveles se denotan como -1 y +1; pudiendo escribirse en forma simple como (-) y (+). Es muy simple de construir una matriz para este tipo de diseño. En la mayoría de los casos la primera línea de signos esta ya dada y las restantes se obtienen mediante permutaciones, excepto la última, en la cual se introducen todos con signo menos (-). La ventaja que presenta los diseños de Plackett-Burman respecto a otros diseños de 'screening' (factoriales completos, factoriales fraccionarios y Taguchi), son su condición de completa ortogonalidad entre las variables y el número reducido de experimentos cuando se trabaja con muchos factores (Lewis *et al.*, 1999).

La valoración sensorial ha demostrado ser un instrumento de gran eficacia para el

control de calidad y aceptabilidad de un alimento. La evaluación sensorial se ha definido como una disciplina científica usada para evocar, medir, analizar e interpretar las reacciones percibidas por los sentidos de las personas hacia ciertas características intrínsecas de un alimento como son su sabor, olor, color y textura (Stone y Sidel, 2004), que son los indicadores de aceptación o rechazo de un producto, por lo que el resultado de este complejo de sensaciones captadas e interpretadas son usadas para medir la calidad de los mismos. La valoración sensorial es útil además para el control del proceso, tanto como adaptación del alimento a su perfil final, como para realizar modificaciones o correcciones; permitiendo obtener condiciones para conseguir datos que posteriormente serán tratados estadísticamente (Sancho *et al.*, 2002). Es muy común que en el área de los alimentos se tenga que optimizar una respuesta que dependerá de varios atributos. La importancia de la valoración sensorial de los alimentos se concibe en un sentido amplio como el conjunto de técnicas de medida y evaluación de determinadas propiedades de los mismos. En la gran mayoría de los casos las selecciones se basan sobre una serie de preferencias definidas en función de otros criterios (Montedoro, 1985).

Las funciones de decisión multicriterio

(‘Multicriteria Decision Making’) son una disciplina que se ocupa de las decisiones relativas a la elección de la mejor alternativa a partir de varios posibles criterios. Son un instrumento matemático que permite tener una estrategia para tomar decisiones a partir de una gran variedad de fuentes, ya que no requiere ninguna restricción fuerte en las estructuras de preferencia de la fórmula (Pavan and Todeschini, 2008).

La combinación de los métodos estadísticos anteriormente descritos y otras herramientas analíticas han sido utilizados en el área de alimentos con miras a la optimización (Techapun *et al.*, 2002; Franco-Arteaga, 2007; Quintero-Gil y Rueda-Quijano, 2008; Rojas *et al.*, 2010a; Rojas *et al.*, 2010b).

La mortadela es un fiambre de origen italiano elaborado principalmente con carne de cerdo picada finamente a la que se adiciona condimentos y/o aditivos permitidos; estos ingredientes son mezclados y cocidos a una temperatura determinada por un cierto tiempo (Reichert, 1988). Por lo tanto, el objetivo del trabajo que a continuación se presenta fue mostrar la aplicación de métodos estadísticos multivariantes, como el diseño de Plackett-Burman y funciones de decisión multicriterio para estudiar la influencia y significatividad de los factores considerados sobre la calidad sensorial de la mortadela de pollo y tradicional con miras a su optimización.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materias primas y descripción del proceso de elaboración de las mortadelas

Se elaboraron dos tipos de mortadelas: de pollo y tradicional. En el Cuadro 1 se presentan los ingredientes utilizados en la formulación. Las carnes (cerdo, res, pollo) y las grasas (pollo y cerdo) fueron adquiridas en mercados locales; mientras que los aditivos en la casa comercial Alitecno S. A., ubicada en la ciudad de Quito, bajo la marca comercial Alitecno; y los condimentos, sin marca comer-

cial, al por mayor en la Distribuidora CADELAES, ubicada en la ciudad de Cuenca.

La elaboración de las mortadelas se llevó a cabo en Laboratorio de Tecnología de Cárnicos, perteneciente a la planta piloto de la Escuela de Ingeniería en Alimentos de la Universidad del Azuay, en Cuenca, Ecuador, siguiendo el esquema tecnológico que se muestra en la Fig. 1 y cuyos pasos operacionales se describen brevemente a continuación:

Recepción de materia prima: En la recepción se realizó un control, teniendo en cuenta que la coloración y olor fuesen característicos, especialmente en las carnes y grasas.

Preparación de las carnes: Se trocearon las carnes y grasas en forma de cubos (2 cm de arista), utilizando cuchillos de acero inoxidable.

Pesado de los ingredientes: Se pesaron las carnes, aditivos y condimentos. Para las carnes se utilizó una balanza digital MICRA Basic RK 10, mientras que para los aditivos se empleó una balanza digital marca Ohaus.

Molido: La carne y la grasa fragmentada fueron molidas con un disco de 3/16 pulgadas de diámetro, utilizando un molino marca TORREY.

Mezclado: Las carnes y grasas molidas se mezclaron directamente en un ‘cutter’ vertical, marca Robot Coupe®, donde se agregaron los condimentos, aditivos y se mezclaron hasta obtener una masa homogénea, cuidando que la temperatura de la mezcla no superara los 12 °C.

Embutido: La masa de mortadela obtenida fue embutida en tripas sintéticas (Alifan) en una embutidora neumática de construcción local en los Talleres Armijos (Cuenca, Ecuador).

Escaldado: Las piezas de mortadela fueron escaldadas en una marmita de doble camisa, marca C. C. P. (Quito, Ecuador). El tiempo y la temperatura de escaldado fueron variables que se consideraron en los experimentos.

Enfriado: Se enfriaron con chorro de agua de temperatura entre 15 y 17 °C.

Refrigerado: Las piezas suspendidas en rieles, se almacenaron dentro de un cuarto frío de construcción local (MAFRICO, Cuenca, Ecuador) a temperatura de 4 °C.

Cuadro 1.- Ingredientes utilizados en la formulación de las mortadelas.

Ingredientes	Mortadela de pollo		Mortadela tradicional	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Carne de pollo (g)	500	640	-	-
Carne de cerdo (g)	-	-	250	350
Carne de res (g)	-	-	170	270
Grasa de cerdo (g)	-	-	150	250
Grasa de pollo (g)	100	200	-	-
Hielo (g)	200	300	200	300
Almidón de papa (g)	0	30	-	-
Almidón de papa/Harina de trigo	-	-	1/29	29/1
Harina de trigo (g)	0	30	-	-
Cebolla (g)	1,2	1,2	1,2	1,2
Ajo (g)	1,1	1,1	1,1	1,1
Soya (g)	3	3	3	3
Cardamomo (g)	0,1	0,1	-	-
Pimienta blanca (g)	0,7	0,7	0,7	0,7
Jengibre (g)	-	-	0,08	0,08
Culantro (g)	-	-	0,18	0,18
Sal (g)	8,78	8,78	8,78	8,78
Polifosfatos (g)	2,5	2,5	2,5	2,5
Sorbato (g)	0,4	0,4	0,4	0,4
Nitrito (g)	0,1	0,1	0,1	0,1

Diseño de Plackett-Burman

El diseño de Plackett-Burman se utilizó para planificar la experimentación con la finalidad de reducir sustancialmente el número final de experimentos. Las variables propuestas para el estudio de la mortadela de pollo fueron 7 e igual número de variables fueron propuestas para la mortadela tradicional.

Para la mortadela de pollo: 5 ingredientes con valores abiertos (carne de pollo, grasa de pollo, hielo, almidón de papa y harina de trigo) y 2 variables de proceso (temperatura de escaldado y tiempo de escaldado) (Cuadro 2). Para la mortadela tradicional: 4 ingredientes con valores abiertos (carne de cerdo, carne de res, hielo y grasa), la relación almidón de papa/harina de trigo y 2

variables de proceso (temperatura de escaldado y tiempo de escaldado) (Cuadro 3). En ambos casos, las variables fueron evaluadas a 2 niveles: bajo (-1) y alto (+1).

La matriz del diseño experimental se obtuvo mediante la rutina 'hadamard matrix' del software MATLAB®, versión 7.0 (MathWorks®, Inc., Natick, MA, USA). Mediante este diseño se obtiene el siguiente polinomio general:

Ecuación (1):

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_5X_5 + b_6X_6 + b_7X_7$$

Donde: b_j representa los coeficientes de regresión, cuyos valores absolutos indican el efecto de la variable X_j sobre la variable depen-

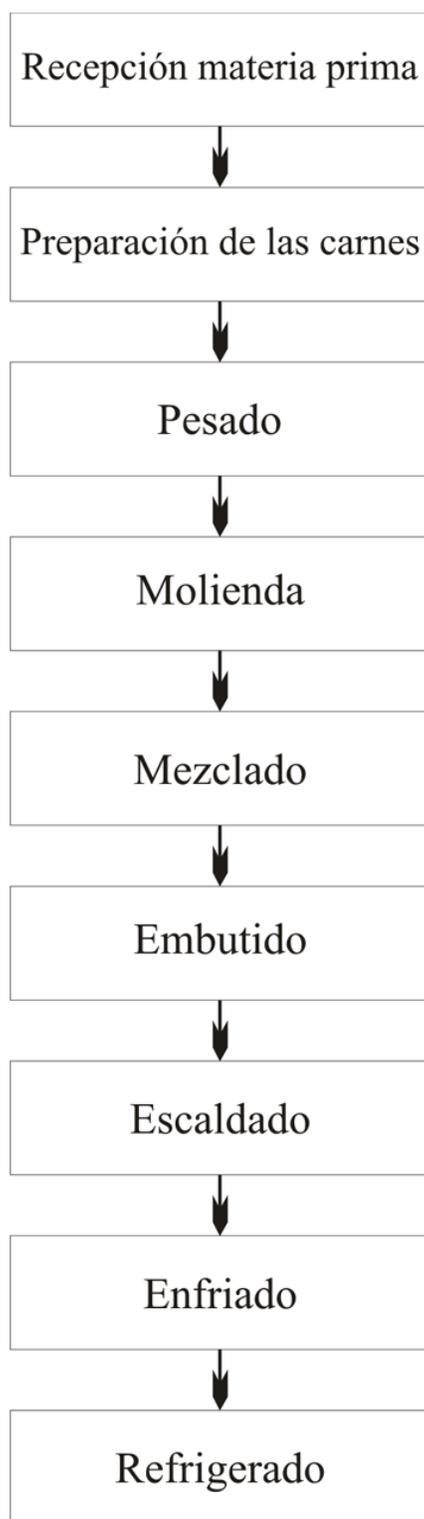


Figura 1.- Esquema tecnológico para la elaboración de la mortadela de pollo y tradicional.

Cuadro 2.- Factores analizados en el diseño de Plackett-Burman para la elaboración de mortadela de pollo.

Variable	Nombre del factor	Niveles del factor	
		Bajo (-1)	Alto (+1)
X_1	Carne de pollo (g)	500	640
X_2	Grasa de pollo (g)	100	200
X_3	Hielo (g)	200	300
X_4	Almidón de papa (g)	0	30
X_5	Harina de trigo (g)	0	30
X_6	Temperatura de escaldado (°C)	70	80
X_7	Tiempo de escaldado (min)	80	94

Cuadro 3.- Factores analizados en el diseño de Plackett-Burman para la elaboración de mortadela tradicional.

Variable	Nombre del factor	Niveles del factor	
		Bajo (-1)	Alto (+1)
X_1	Carne de cerdo (g)	250	350
X_2	Carne de res (g)	170	270
X_3	Grasa de cerdo (g)	150	250
X_4	Hielo (g)	200	300
X_5	Almidón de papa/Harina de trigo (g/g)	1/29	29/1
X_6	Temperatura de escaldado (°C)	70	80
X_7	Tiempo de escaldado (min)	80	94

diente Y . Los valores de los coeficientes se determinan aplicando el algoritmo de regresión multivariante de mínimos cuadrados ordinarios (OLS, 'Ordinary Least Squares') (Draper y Smith, 1981), mediante la aplicación de la Ec. 2.

$$\text{Ecuación (2)} \quad b_{\text{OLS}} = \text{inv}(X^T \cdot X) X^T \cdot Y$$

Donde:

X : matriz del modelo

X^T : la inversa de la matriz del modelo

Y : vector respuesta

$\text{inv}(X^T \cdot X)$: matriz de dispersión del modelo

b_{OLS} : vector columna que contiene los coeficientes del modelo

El cálculo de los coeficientes del modelo de regresión se realizó en el software MATLAB®, versión 7.0 (MathWorks®, Inc.).

Identificación de variables significativas

Para detectar las variables significativas, es decir, las que tienen coeficientes significativamente diversos de cero, en este trabajo se ha optó por utilizar el método gráfico de Half-Normal Plot (Box *et al.*, 1978). El Half-Normal Plot se construye de la siguiente forma:

1. Transformar todos los coeficientes en sus valores absolutos.
2. Ordenar de forma creciente los efectos calculados, excluyendo la intercepción (b_0).
3. Contar el número de coeficientes calculados, este valor se indica con k .
4. Dividir el intervalo de 0 a 100 en número de sub-intervalos de amplitud igual a $100/k$.
5. Representar el punto medio del primer intervalo contra el efecto más pequeño, entonces representar el punto medio del segundo intervalo contra el segundo efecto en orden creciente, y así sucesivamente.

En el eje de las abscisas se grafica el valor del efecto, mientras en el eje de las ordenadas se grafica el valor de la probabilidad acumulada correspondiente a la probabilidad

del punto medio del intervalo considerado. Esta probabilidad se calcula según la Ec. 3.

$$\text{Ecuación (3)} \quad p_i = \frac{100\% (i-0,5)}{k}$$

Donde:

p_i : probabilidad asociada al i -ésimo coeficiente

i : orden del i -ésimo coeficiente (1, 2, 3, ..., k)

k : número total de coeficientes calculados, excluido la intercepción

Si los valores obtenidos pertenecen a una distribución normal con centro en cero (distribución del error), cuando se presenta de esta manera en el Half-Normal Plot se dispondrán según una línea recta, mientras que los que no pertenecen en la distribución del error no se alinearan sobre la recta y estarán alejados de la misma; estos puntos alejados indican que las variables asociadas a estos coeficientes son significativas.

El Half-Normal Plot se construye graficando el valor absoluto de los coeficientes ordenados en forma creciente versus la probabilidad (p_i). En la Fig. 2 se presenta un ejemplo.

Evaluación sensorial

Para la evaluación sensorial se empleó un panel no entrenado conformado por 15 personas. En la selección del panel se llevaron a cabo entrevistas, con la finalidad de conocer el interés de cada candidato por participar en el estudio y su disponibilidad de tiempo. De esta manera, fueron seleccionadas 15 personas, entre 20 y 30 años de edad, de ambos sexos. Al panel seleccionado se le informó sobre el manejo de la muestra así como la forma adecuada de llenar la ficha de análisis sensorial. La aceptación del producto se evaluó basándose en las características sensoriales como: olor, textura, sabor y apariencia general. A través de entrevistas a técnicos que laboran en la indus-

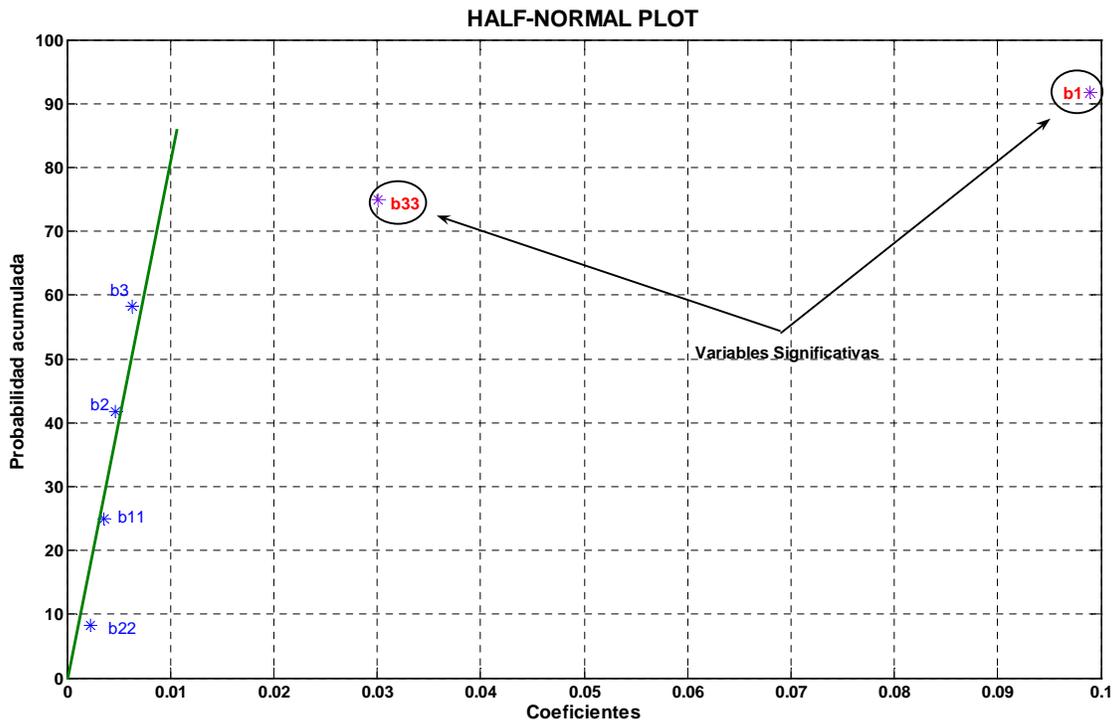


Figura 2.- Half-Normal Plot de los coeficientes de regresión.

tria cárnica en la ciudad de Cuenca en Ecuador; y en base a sus experiencias, éstos sugirieron las características mas comunes que se presentan en los embutidos tipo mortadela, teniendo como resultado 22 atributos a ser evaluados: olor rancio, olor a pescado, olor a grasa, olor ácido, olor putrefacto, textura reseca, textura elástica, textura blanda, mordida fibrosa, mordida pastosa, mordida harinosa, mordida cauchosa, mordida suave, sabor normal agradable, sabor salado, sabor condimentado, sabor a grasa, aceptabilidad general del producto, apariencia, color verdoso, color crema y color rosado.

En la escala hedónica para esta investigación se tomó el número 5 como el puntaje de mayor aceptación y el número 1 como el puntaje de menor aceptación.

La sala en donde se realizaron los análisis sensoriales estuvo provista de mesas blancas con separaciones a manera de cabinas individuales. Las muestras fueron preparadas y

codificadas en un ambiente diferente en donde el panel no tuvo acceso. Se trabajó con vajilla de color blanco para no influenciar la percepción visual con colores fuertes.

Al momento de realizar el análisis sensorial estuvo presente una persona que se desempeñó como director del panel, quien distribuyó las diferentes muestras y esclareció dudas en caso de presentarse.

Funciones de decisión multicriterio

Con el fin de reunir en un solo parámetro que represente la globalidad de la evaluación sensorial, se utilizaron las funciones de decisión multicriterio, específicamente las funciones de utilidad.

Las funciones de utilidad son metodologías muy conocidas de las estrategias de decisión multicriterio (Pavan and Todeschini, 2008). Son algoritmos matemáticos en los que cada criterio se transforma independientemente

en una “utilidad u_r ” mediante una función la cual transforma el valor actual de cada elemento en un nuevo valor comprendido entre 0 y 1 (Ec. 4). Por lo general se necesitan definir la mejor y peor condición para cada criterio.

Ecuación (4):

$$u_{ir} = f_r(y_{ir}) \quad 0 \leq u_{ir} \leq 1$$

Donde:

- u_{ir} : función de utilidad para cada criterio
- r : criterio seleccionado
- f : función establecida
- y_{ir} : valor actual del i -ésimo elemento para el r -ésimo criterio

La función de utilidad pesada (U_i) corresponde al promedio pesado de los valores de las funciones de utilidad (u_{ir}) para cada atributo evaluado y se calcula mediante la Ec. 5.

Ecuación (5):

$$U_i = \sum_{r=1}^R w_r \cdot u_{ir} \quad 0 \leq U_i \leq 1$$

Donde:

- U_i : función de utilidad pesada
- R : total de criterios evaluados
- w_r : peso para cada criterio

En la Fig. 3 se esquematizan tres de las funciones de utilidad (lineal, inversa logarítmica y normal) que fueron utilizadas en el presente trabajo.

La función lineal premia los atributos que se esperan sean los más aceptables en el producto. La función inversa logarítmica se utiliza normalmente cuando se trabaja con atributos no deseables. Por ejemplo, en el caso que una característica sensorial desagradable tenga una puntuación muy alta, la función loga-

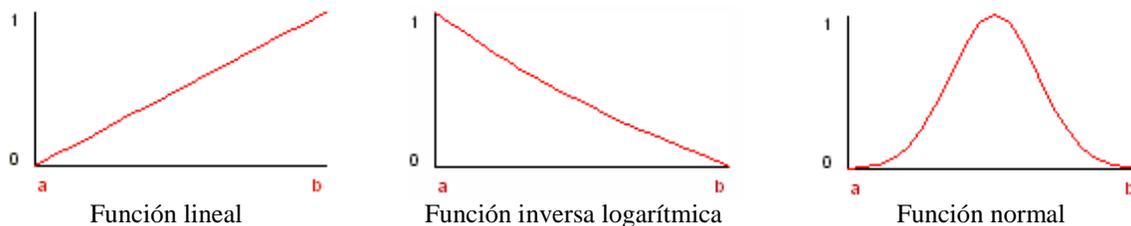


Figura 3.- Funciones de utilidad.

rítmica inversa disminuye la utilidad de ese producto. La función normal premia la presencia intermedia de los atributos, esto quiere decir que no debe existir ausencia, ni una presencia muy marcada de una cierta cualidad.

Los resultados obtenidos del panel de catación fueron tabulados y se calcularon las medianas de cada respuesta sensorial. El programa DART (‘Decision Analysis by Ranking Techniques’), versión 2.0 (Talet S. R. L., Milano, Italia), se utilizó para modular las respuestas sensoriales con funciones de tipo

lineal, inversa logarítmica y normal. El programa brinda la media aritmética de las mismas, la cual constituye la respuesta experimental (Y).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La planificación experimental de Plackett-Burman estableció la ejecución de 8 experimentos para 7 variables. Para determinar la significatividad de los factores se ha utilizado el método gráfico denominado Half-Normal

Plot y por esta razón no se efectuaron repeticiones.

Mortadela de Pollo

La función lineal se utilizó para los atributos: sabor normal agradable, aceptabilidad general del producto. La función inversa logarítmica se usó para modular las características: olor rancio, olor a pescado, textura reseca, mordida fibrosa, mordida pastosa, mordida harinosa, sabor salado. Con la función normal se evaluó los atributos: olor a grasa, textura elástica, mordida cauchosa, sabor condimentado, sabor a grasa.

Otros atributos fueron excluidos debido a que durante toda la evaluación sensorial se mantuvieron constantes, estos fueron: apariencia, color crema, color verdoso, color rosado, olor putrefacto, olor ácido, textura blanda y mordida suave. La respuesta experimental constituyó la función de utilidad obtenida a partir de 14 caracteres sensoriales.

El Cuadro 4 muestra los valores medianos de las respuestas sensoriales y la función de utilidad calculada.

La función de utilidad calculada representó la aceptación global del producto, representada por cada una de las modulaciones de los atributos. Esta función utilidad corresponde a la respuesta experimental (Y) de cada experimento. En el Cuadro 5 se muestra la matriz del modelo y su respuesta.

Aplicando regresión de mínimos cuadrados ordinarios (OLS) se obtuvieron los coeficientes del modelo, que se muestran en el Cuadro 6.

Para observar las variables influyentes en el modelo, se utilizó el Half-Normal Plot. El Cuadro 7 muestra los valores para la construcción de la gráfica y la Fig. 4 muestra su gráfica respectiva.

Se observa en la Fig. 4 ($b = X$) que existen 4 valores alejados de la recta de distribución normal, indicando que corresponden a los coeficientes de las variables

significativas en el estudio. Estos factores corresponden a: hielo (X_3), almidón de papa (X_4), temperatura de escaldado (X_7) y grasa de pollo (X_2). Las demás variables al no tener relevancia significa que se les puede mantener constante en cualquier valor dentro del intervalo de dominio experimental. El polinomio final resultó ser:

Ecuación (6):

$$Y = 0,4084 + 0,0506X_3 + 0,0581X_4 + 0,0669X_7 + 0,0834X_2$$

Al ser los coeficientes en su totalidad positivos, significa que mientras sus respectivas variables van hacia el valor máximo (+1), la mortadela de pollo tendrá una mejor aceptación sensorial. Esto se debe a que la presencia de almidón, grasa y agua favorece la textura del embutido a no ser tan fibroso, ofreciendo una emulsión suave y cremosa al momento de formación de la masa de mortadela. El almidón mejora la capacidad de retención de agua en el producto y estabiliza la emulsión de humedad, grasa y proteínas (Álvarez *et al.*, 2007).

La influencia de la temperatura también tiene su importancia ya que a mayores temperaturas de cocción los tejidos de la carne serán mas blandos. Cuando los gránulos de almidón se hidratan y se exponen al calor, se da una gelatinización; a partir de los 55-70 °C, los gránulos se hinchan debido a la absorción de agua y en ese momento la viscosidad de la suspensión aumenta considerablemente, por adhesión de los gránulos hinchados los unos a los otros. A mayor cantidad de amilosa, mayor temperatura de gelatinización. Si se prolonga el tratamiento hidrotérmico, puede surgir una ruptura de los gránulos (hidrólisis parcial), lo que origina un descenso en la viscosidad, produciéndose una exudación o efecto de retrogradación (Guerra y Cepero, 2006). Los ligadores utilizados en la industria cárnica son mezclas de 2 ó más almidones y la temperatura de gelatinización de ellos dependerá de la composición química.

Cuadro 4.- Resultados sensoriales para la mortadela de pollo.

Experimento	Olor rancio	Olor a pescado	Olor a grasa	Textura reseca	Textura elástica	Mordida fibrosa	Mordida pastosa	Mordida harinosa	Mordida cauchosa	Sabor normal agradable	Sabor salado	Sabor condimentado	Sabor a grasa	Aceptabilidad del producto	Función de utilidad
1	0	0	1	0	2	1	1	0	1	4	1	2	1	4	0,673
2	0	1	2	0	2	2	1	0	2	3	2	1	1	4	0,382
3	1	0	1	1	3	2	1	0	3	2	1	1	2	3	0,316
4	1	0	2	0	3	2	1	0	3	3	1	2	1	4	0,495
5	0	1	2	1	2	1	1	0	2	3	1	2	1	4	0,453
6	0	1	1	1	2	1	0	0	2	2	1	2	1	4	0,459
7	1	0	2	1	2	1	1	1	2	2	1	1	1	3	0,274
8	0	0	2	1	2	1	2	1	3	2	2	2	1	3	0,215

Cuadro 5.- Matriz del modelo de regresión y vector respuesta para la mortadela de pollo.

Experimento	<i>I</i>	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	<i>Y</i>
1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,673
2	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	0,382
3	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	0,316
4	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	0,495
5	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	0,453
6	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	0,459
7	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	0,274
8	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	0,215

La columna "*I*" corresponde a la intersección del plano multivariante con el eje de la respuesta (*Y*), en otras palabras, el valor máximo que adquiere la respuesta cuando todas las variables codificadas son igual a cero.

Cuadro 6.- Coeficientes de las variables para la mortadela de pollo.

b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7
0,4084	0,0206	0,0834	0,0506	0,0581	0,0074	-0,0224	0,0699

Cuadro 7.- Coeficientes y probabilidad acumulada para el Half-Normal Plot.

Variable	Coeficiente	Probabilidad
X_2	0,0834	0,143
X_4	0,0581	0,286
X_3	0,0506	0,429
X_5	0,0074	0,571
X_7	0,0669	0,714
X_6	0,0224	0,857
X_1	0,0206	1,000

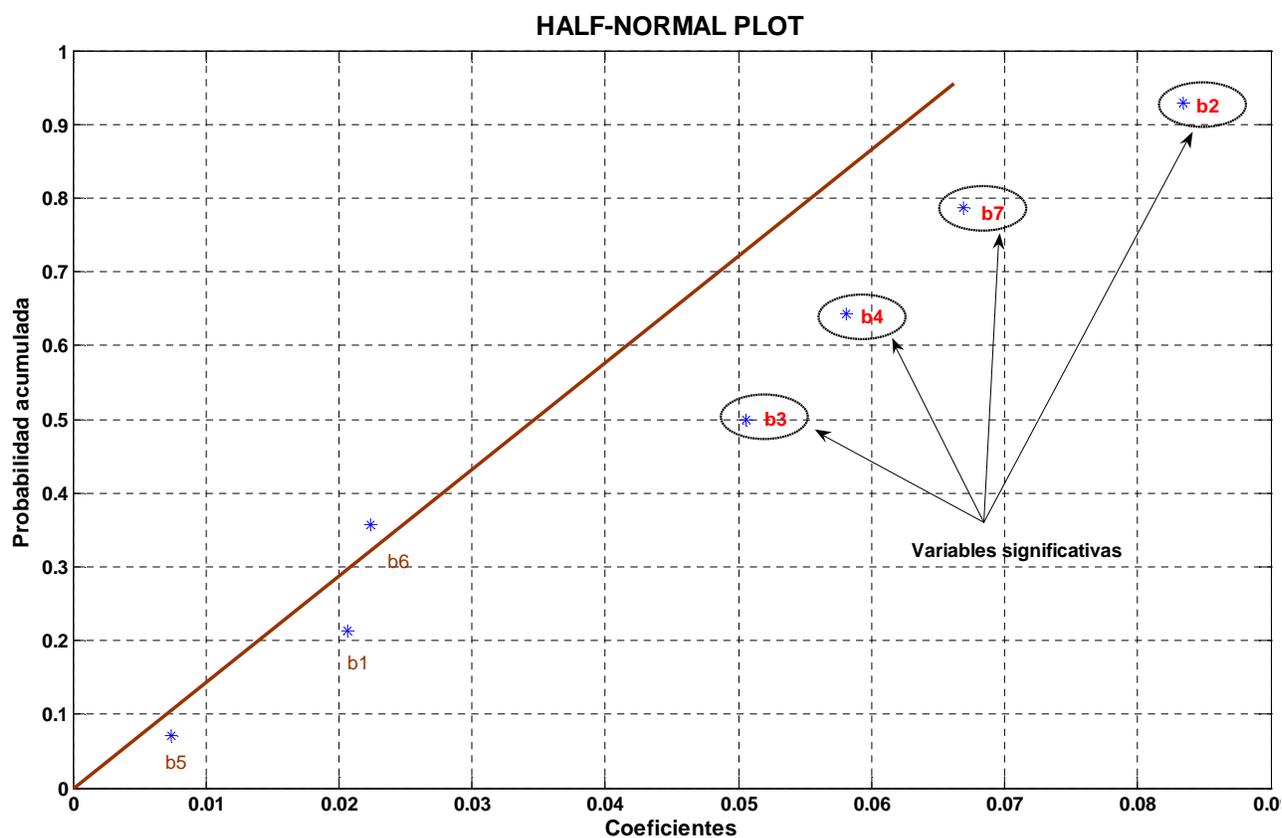


Figura 4.- Half-Normal Plot de los coeficientes de regresión para la mortadela de pollo.

Mortadela tradicional

Con la función lineal se han modulado los atributos: color rosado, sabor normal agradable, apariencia y aceptabilidad general del producto. La función inversa logarítmica se utilizó para evaluar: color verdoso, olor rancio, olor ácido, textura reseca, mordida fibrosa, mordida pastosa, mordida harinosa y sabor salado. La función normal evaluó los atributos: olor a grasa, textura blanda, textura elástica, mordida cauchosa, mordida suave, sabor condimentado y sabor a grasa.

El atributo olor putrefacto fue eliminado de la lista de atributos debido a que es un producto recién elaborado y por ende no pudo ser detectados por parte de los jueces. En cuanto al color crema y olor a pescado, estos atributos fueron evaluados únicamente en la mortadela de pollo, razón por la cual no estuvieron incluidos en la ficha para análisis de la mortadela tradicional.

El Cuadro 8 permite apreciar los valores medianos de las respuestas sensoriales y la función de utilidad calculada.

La respuesta experimental (Y) constituyó la función de utilidad obtenida a partir de 19 caracteres sensoriales evaluados. En el Cuadro 9 se muestra la matriz del modelo y su respuesta.

La regresión de mínimos cuadrados ordinarios (OLS) permitió obtener los coeficientes del modelo (Cuadro 10).

Utilizando el Half-Normal Plot, se identificaron las variables significativas para el diseño. En el Cuadro 11 se presentan los valores para la construcción de la gráfica y la Fig. 5 muestra la gráfica.

En la Fig. 5 ($b = X$) se evidencia que existen 3 puntos alejados de la recta de distribución, que corresponden a los coeficientes de las variables que tienen importancia en la investigación y se deben controlar en el diseño. Los mismos son la grasa (X_3), relación almidón de papa/harina de trigo (X_5) y temperatura de escaldado (X_6). Todas

actúan de forma sinérgica; es decir, a medida que existe un aumento de sus valores dentro del dominio experimental, la respuesta (aceptación sensorial) se ve favorecida. Por otro lado, las demás variables no presentaron influencia significativa dentro de las condiciones experimentales propuestas, por lo que para optimización se mantendrían a un valor constante. El polinomio de 'screening' para este producto fue el siguiente:

Ecuación (7):

$$Y = 0,5131 + 0,0594X_3 + 0,0431X_5 + 0,0694X_6$$

La grasa conjuntamente con el hielo o agua incorporada, sales, aditivos y condimentos ejercen gran influencia sobre la calidad y características adecuadas del producto; también influye sobre la consistencia y conservación del color del embutido (Frey, 1985).

El calentamiento (escaldado) modifica el producto en sus características sensoriales y nutritivas, lográndose mayor asimilación de los nutrientes presentes y en especial de las proteínas, cuya desnaturalización las hace más susceptibles a la hidrólisis enzimática digestiva. También permite obtener una textura lasqueable, mediante el hinchamiento y gelificación de las fibras colagenosas (de la Mella *et al.*, 2009) y mejora la aceptación sensorial de la mortadela debido a que a mayores temperaturas de cocción los tejidos de la carne serán más blandos. Por otro lado, la relación almidón de papa/harina de trigo (almidón), tiene un comportamiento peculiar frente a los tratamientos térmicos, resultando de gran importancia para el proceso del embutido; ya que cuando los gránulos de almidón se hidratan y se exponen a temperaturas de 50 °C comienza la gelatinización de los mismos completándose cuando alcanzan una temperatura específica de 65 °C. Es decir, cuando las temperaturas de los almidones se sitúan en las proximidades de los 70 °C, se for-

Cuadro 8.- Resultados sensoriales para la mortadela tradicional.

Experimento	Color rosado	Color verdoso	Olor rancio	Olor ácido	Olor a grasa	Apariencia	Textura reseca	Textura blanda	Textura elástica	Mordida fibrosa	Mordida pastosa	M. harinosa	Mordida cauchosa	Mordida suave	Sabor normal	Sabor salado	Sabor condimentado	Sabor a grasa	Aceptabilidad del producto	Función de utilidad
1	2	0	0	0	1,5	3	0	2	3	2	1	1	2,5	2	2,5	2	2	1	4	0,752
2	2	0	0	1	2	3	0	2,5	2,5	1	3	2	1,5	3	2	1,5	1	1	3,5	0,501
3	1	0	1	0,5	1,5	2	0	2,5	3	1,5	1,5	1	1,5	3	2,5	2	2,5	2	3	0,431
4	2	0	1	0,5	2	2	0	2	2	1	1	0	2,5	1	2	1,5	2	1	3	0,447
5	2	0	0	0	2	2,5	2	1	3	2	2	1,5	3	2	3	2	1	0,5	4	0,473
6	2	0	1	0,5	2	2	0	2	2,5	1	1,5	1	2	2,5	2	1,5	2	1,5	3	0,424
7	2	0	1	0	1,5	2	1,5	1	3	2	2	1	3	2	3	2	1	0	4	0,459
8	2	0	0	0	2	2,5	0,5	2	3	1	2	0	2	2,5	2,5	2	2	1,5	3,5	0,618

Cuadro 9.- Matriz del modelo de regresión y vector respuesta para la mortadela tradicional.

Experimento	I	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	Y
1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,752
2	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	0,501
3	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	0,431
4	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	0,447
5	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	0,473
6	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	0,424
7	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	0,459
8	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	0,618

La columna " I " corresponde a la intersección del plano multivariante con el eje de la respuesta (Y), en otras palabras, el valor máximo que adquiere la respuesta cuando todas las variables codificadas son igual a cero.

Cuadro 10.- Coeficientes de las variables para la mortadela tradicional.

b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7
0,5131	0,0156	0,0244	0,0594	0,0196	0,0431	0,0694	0,0074

Cuadro 11.- Coeficientes y probabilidad acumulada para el Half-Normal Plot.

Variable	Coeficiente	Probabilidad
X ₇	0,0074	0,071
X ₁	0,0156	0,214
X ₄	0,0196	0,357
X ₂	0,0244	0,500
X ₅	0,0431	0,643
X ₃	0,0594	0,789
X ₆	0,0694	0,929

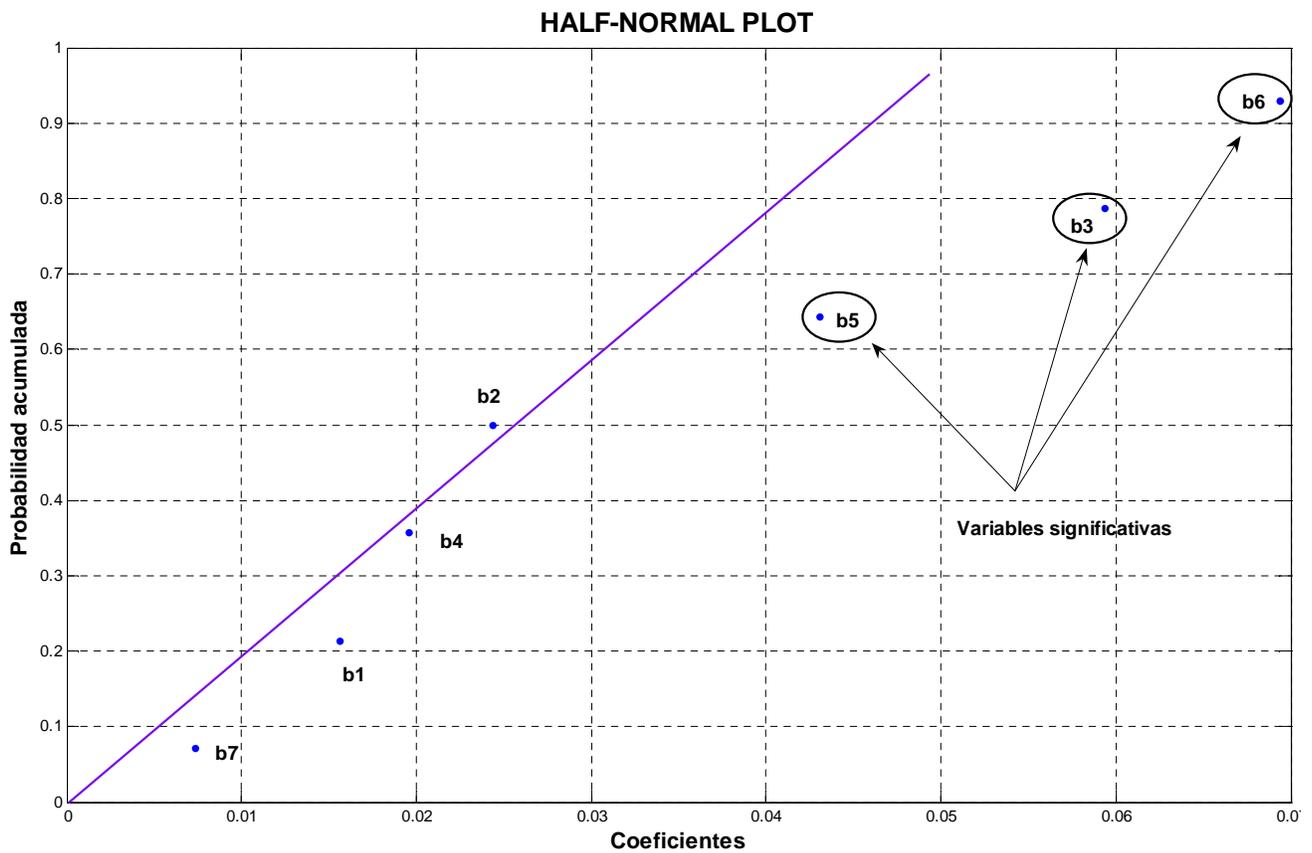


Figura 5.- Half-Normal Plot de los coeficientes de regresión para la mortadela tradicional.

forma una solución coloidal espesa, lo que se conoce como “gel”. Cada grano de almidón se hincha hasta aumentar unas treinta veces su volumen, pero su comportamiento resulta diferente cuando se calienta de modo prolongado, o en un medio ácido, ya que puede provocar una hidrólisis parcial de su molécula, produciéndose una exudación en el producto cocido (Bello-Gutiérrez, 1998).

Finalmente, en otro sentido, pero en consonancia y en líneas generales con la discusión de resultados planteada, Moskowitz (1995) hizo un análisis paso a paso del uso del diseño experimental y la optimización de productos, donde menciona que en los años de 1940 a 1980 se utilizaban para los estudios de mercado métodos estadísticos tradicionales y los mismos eran costosos, lentos y difíciles de traducir en una mejora de la fórmula de cualquier producto. Por otra parte, Modi y Prakash (2008) presentaron una aplicación del diseño de Plackett-Burman para un estudio de ‘screening’ de 11 potenciales ingredientes en la formulación de cubos de carne extendida, de los cuales, únicamente los relevantes fueron tomados en consideración para posteriores estudios de optimización. Utilizaron un panel sensorial para evaluar los atributos de firmeza, jugosidad, aroma a carne y la calidad total aplicando un test de ranqueo de intensidad. Determinaron los parámetros del modelo de regresión estudiando los cuatro atributos, uno a la vez, determinando el efecto cuantitativo de cada ingrediente sobre los atributos evaluados en función de si cada uno aumentaba o disminuía, asignando de esa manera una deseabilidad o indeseabilidad para cada atributo, y asociaron el coeficiente de regresión del ingrediente para su respectivo atributo. No obstante, estos autores en su investigación no realizaron un estudio multicriterio de los cuatro atributos con miras a obtener un solo polinomio de regresión que permitiera evidenciar el efecto de los ingredientes sobre la calidad global en la formulación de los cubos de carne extendida.

CONCLUSIONES

- El diseño de Plackett-Burman combinado con funciones de utilidad resultó ser una herramienta muy útil para estudiar comportamientos de variables de proceso y composición de productos escaldados.
- En los dos tipos de mortadela se estableció que la temperatura de escaldado y el efecto del almidón (almidón de papa o la relación almidón de papa/harina de trigo), tuvo una importancia significativa en la calidad sensorial de las mortadelas.
- Tanto en la mortadela tradicional como en la mortadela de pollo se estableció la importancia de la grasa de cerdo y pollo, respectivamente. La materia grasa confiere características propias de consistencia y color a los productos.
- Este estudio representa un punto de partida para una posterior optimización, que permitiría obtener condiciones más satisfactorias para una mejor aceptación sensorial en mortadelas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, D.; Castillo, M.; Garrido, M.D.; Bañón, S.; Nieto, G.; Díaz, P. y Payne, F.A. 2007. Efecto de la composición y el tiempo de procesado sobre las propiedades tecnológicas y ópticas de las emulsiones cárnicas. *Anales de Veterinaria de Murcia*. 23:25-34.
- Bello-Gutiérrez; José, 1998. *Ciencia y Tecnología Culinaria*. España, Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S. A.
- Box, George E.P.; Hunter, William G. and Hunter, J. Stuart. 1978. *Statistics for experimenters. An introduction to design, data analysis, and model building*. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc.

- de la Mella, R.M.; Santos, R.; Yáñez, J.; Volumen, S. y Pacheco, D. 2009. Conservación de productos cárnicos por calor. Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia. Ciudad de La Habana, Cuba.
- Draper, Norman and Smith, Harry. 1981. Applied regression analysis. (2nd. ed.). New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Franco-Arteaga, Claudia Imelda. 2007. Optimización de la producción de fitasa por *Aspergillus niger* en fermentación en estado sólido utilizando métodos estadísticos. Tesis de Maestría. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional, México, D. F., México.
- Frey, Werner. 1985. Fabricación fiable de embutidos. Zaragoza, España: Editorial Acribia, S. A.
- Guerra, María Aloida. y Cepero, Yamira. 2006. Utilización de almidones y gomas en productos cárnicos. Ciencia y Tecnología de Alimentos (Cuba). 16(3):69-77.
- Lewis, Gareth A.; Mathieu, Didier and Phan-Tan-Luu, Roger. 1999. Pharmaceutical experimental design. New York, NY, USA: Marcel Dekker, Inc.
- Modi, V.K. and Prakash, Maya. 2008. Quick and reliable screening of compatible ingredients for the formulation of extended meat cubes using Plackett-Burman design. Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie (LWT) - Food Science and Technology. 41(5):878-882.
- Montedoro, G. 1985. Definizione ed analisi delle caratteristiche olfattive e gustative degli alimenti. Pinerolo, Italia: Chiriotti Editori.
- Moskowitz, Howard R. 1995. One practitioner's overview to applied product optimization. Food Quality and Preference. 6(2):75-81.
- Pavan, Manuela and Todeschini, Roberto. 2008. Scientific data ranking methods: theory and applications. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier B.V.
- Plackett, R.L. and Burman, J.P. 1946. The design of optimum multifactorial experiments. Biometrika. 33(4):305-325.
- Quintero-Gil, Claudia Marcela y Rueda-Quijano, Helio. 2008. Optimización de las condiciones de proceso para la elaboración de la esponja líquida de pan de molde a través de un diseño factorial de experimentos. Revista Publicaciones e Investigación (Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Bogotá, D. C., Colombia). 2(1):43-50.
- Reichert, J.E. 1988. Tratamiento térmico de productos cárnicos. Zaragoza, España: Editorial Acribia, S. A.
- Rojas, C.; Aguilar, L. y Tripaldi, P. 2010a. Desarrollo y optimización de un producto untable a base de soya. Revista Tecnológica ESPOL. 23(2):33-40.
- Rojas, Cristian; Tripaldi, Piero y Dután, Hugo. 2010b. Desarrollo y optimización de una infusión aromática tipo tisana aplicando diseño de Plackett-Burman y optimización de máxima pendiente. Revista de Ciencias (Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad del Valle, Cali, Colombia). 14:103-115.
- Sancho, J.; Bota, E. y de Castro, J.J. 2002. Introducción al análisis sensorial de los alimentos. México D. F., México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
- Stone, Herbert and Sidel, Joel L. 2004. Sensory evaluation practices. (3rd. ed.). San Diego, CA, USA: Elsevier Academic Press. pp. 13.
- Techapun, Charin; Sinsuwongwat, Suphawat; Watanabe, Masanori; Sasaki, Ken and Poosaran, Naiyatat . 2002. Production of cellulase-free xylanase by a thermotolerant *Streptomyces* sp. grown on agricultural waste and media optimization using mixture design and Plackett-Burman experimental design methods. Biotechnology Letters. 24(17):1437-1442.