

HERRAMIENTA INFORMÁTICA UTILITARIA PARA EL INGENIERO AGROINDUSTRIAL EN LA OPTIMIZACIÓN DE CALIDAD DE UNA MATRIZ ALIMENTO

(Computing utilitarian tool for the agroindustrial engineer in quality optimization of a food matrix)

Yorman Pérez, Paulys Carmona

Ph.D. en Ambiente y Desarrollo-UNELLEZ, Profesor adscrito al Programa Ciencias Del Agro y Del Mar. Instituto de Agroindustria Sustentable. UNELLEZ, San Carlos, estado Cojedes Venezuela. Email: yormanjavier2005@gmail.com

Ph.D. en Ambiente y Desarrollo-UNELLEZ, Profesor adscrito al Programa Ciencias Del Agro y Del Mar. Instituto de Agroindustria Sustentable. UNELLEZ, San Carlos, estado Cojedes Venezuela. E-mail: Paulysnazareth@gmail.com

Autor de Correspondencia: Yorman Pérez. Email: yormanjavier2005@gmail.com

Recibido: 28-02-22

Aceptado: 27-03-22

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo mostrar la utilidad de la herramienta de optimización operativa multiobjetivo en la emulación de la calidad de una matriz alimento, como es la plataforma de regresión de red neuronal integrada a simulador, del programa SAS JMP 8, que muestra visualización gráfica interactiva de múltiples perfiles de respuesta de restricciones de calidad. A tal efecto se elaboró un producto cárnico experimental para hamburguesa, bajo un arreglo de tratamientos del tipo Box-Behnken, con tres factores experimentales: carne de conejo, de ovejo y calcio para incorporar un alto contenido de este mineral al producto cárnico. Se generó un metamodelo de red neuronal, entrenado con validación cruzada, una alta bondad de ajuste fue evidenciado por los coeficientes de regresión (%), iguales a 97,58, 81,36, 98,73 y 97,80 para las respuestas de calidad: contenido de humedad, de grasa, de proteína y calcio, respectivamente. El metamodelo se integró al simulador, realizándose simulaciones de emulaciones de calidad en forma conjunta (maximizar conjuntamente el contenido de humedad, de proteína y el calcio fijado y, simultáneamente minimizar el contenido graso). La condición operativa que optimizó la calidad del producto cárnico, para las restricciones establecidas fue: 80gr de conejo, 48,85 gr de ovejo y 2 mg de calcio; obteniéndose un producto con 63 % de humedad, 0,37 % de grasa, 32 % de proteína y 2 mg de calcio, esto dentro de la simulación. La metodología demostrativa, resultó ser excelente en la optimización operativa de la variable calidad de alimentos, además de su facilidad e interactividad visual que la hace accesible al ingeniero agroindustrial.

Palabras clave: Red neuronal, Simulador, Optimización operativa

SUMMARY

The objective of the research was to show the usefulness of the multiobjective operative optimization tool in the emulation of the quality of a food matrix, such as the integrated neuron

network regression platform to the simulator of the SAS JMP 8 program, which displays interactive graphical visualization multiple response profiles and quality constraints. In this regard an experimental hamburger meat product was prepared under a Box-Behnken treatment arrangement with three experimental factors: goat, sheep, and calcium. A neural network metamodel, trained with cross validation, was generated, a high goodness of fit was evidenced by the regression coefficients (%), equal to 97.58, 81.36, 98.73 and 97.80 for the responses of quality: Moisture content, fat, protein, and calcium, respectively. The metamodel was integrated into the simulator, simulating quality emulations were carried out jointly to maximize moisture content, protein and fixed calcium together, simultaneously minimizing fat content. The operational condition that optimized the quality of the meat product for the established restrictions, was: 80 % of rabbit, 48.85 % of sheep and 2 mg of calcium; Obtaining a product with 63 % of humidity, 0.37 % of fat, 32 % of protein and 2 mg of calcium. The demonstrative methodology proved to be excellent in the operational optimization of the food quality variable, besides its ease and visual interactivity that makes it accessible to the agroindustrial engineer.

Keywords: Neural network, Simulator, Optimization operational

INTRODUCCIÓN

En el mundo real, un producto alimenticio está hecho con múltiples componentes (mezcla de múltiples ingredientes y aditivos), donde la calidad final del producto elaborado depende de ello y además de las condiciones del proceso; así, que la calidad global, es la suma de optimizar todos estos factores y, conjuntamente con satisfacer múltiples aspectos de calidad parcial de un consumidor o consumidores particulares, por lo que un mismo producto debe adaptarse para satisfacer las apetencias de los distintos grupos de panelistas; por ello durante las fases para la Investigación, Desarrollo e innovación (I+D+i) de un producto, SAS JMP (2012), recomienda para la experimentación estocástica, modelación y optimización ajustar modelos matemáticos robustos de alto orden, lo que requiere entonces utilizar arreglos de tratamientos experimentales estadísticos robustos.

Para satisfacer adecuadamente estas necesidades de I+D+i, se requiere de tecnologías informáticas potentes, como son entre otras, la regresión con red neuronal integrada a simuladores.

En el mundo real la calidad final de un alimento está influenciado por múltiples

factores (exigencias y restricciones), por un lado está la calidad intrínseca, como son las variables físicas, química, bioquímicas, fisiológicas y microbiológicas, en segundo lugar están las múltiples calificaciones o exigencias hedónicas particulares, como lo refiere Ramírez (2012), apariencia global, color, aroma, gusto, sabor, textura y por otro lado están los factores del proceso (Calderón y Alvarado, 2016), todas en forma conjunta deben manipularse para así lograr un producto de alta calidad; estas condiciones en I+D+i exige la utilización de metodologías y plataformas informáticas robustas (Interempresas net, 2016).

Para el caso de optimización operativa de la calidad final de un alimento, se requiere construir un modelo matemático para cada respuesta de calidad parcial y entonces este conjunto de ecuaciones, conforman un metamodelo o modelo de simulación, que permitirá a posterior realizar simulaciones con experimentación determinista virtual, resolviendo el sistema de ecuaciones bajo las distintas exigencias de calidad en forma conjunta y encontrar la solución operativa del proceso; es decir encontrar la mezcla de los múltiples factores experimentales (ingredientes, aditivos, condiciones de proceso

y calidad hedónica) que satisfagan en forma conjunta las distintas calidades parciales; por ello se denomina optimización multiobjetivo (Calderón y Alvarado, ob. cit).

Al respecto, Calderón y Alvarado (2016), muestran alternativas de modelos de optimización operativa, tales como: Métodos clásicos adaptados, Métodos heurísticos de optimización, Modelos gaussianos estocásticos y Aproximación de funciones; sin embargo a pesar de ser excelentes herramientas, su tediosidad y dificultad de visualización e interactividad las hace poco accesible.

Lo anteriormente expuesto muestra que la optimización multiobjetivo requiere entonces

OBJETIVO

Mostrar la utilidad de la herramienta de optimización operativa multiobjetivo en la emulación de la calidad de una matriz alimento,

MATERIALES Y MÉTODOS

La experimentación estocástica de la investigación en la obtención de datos, se realizó en el laboratorio LITA de la UNELLEZ-VIPI, elaborando un producto cárnico experimental tipo carne para hamburguesa, bajo un arreglo de tratamientos estadístico económico del tipo Box-Behnken (tabla 1), para tres factores experimentales: carne de conejo, de ovejón y calcio.

Para la construcción de los modelos de regresión de red neuronal y su entrenamiento, de cada respuesta de calidad (Y1: humedad, Y2: grasa, Y3: proteína, Y4: calcio fijado), el

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El arreglo de tratamientos experimentales de Box-Behnken y los datos obtenidos de la

por un lado de herramientas potentes para elaborar modelos robustos y por otro lado de plataformas informáticas de simulación, que permitan resolver sistemas de ecuaciones complejas de alto orden, en forma interactiva y que permitan visualizar todo el sistema en tiempo real.

Dada las necesidades expuestas, esta investigación, se propone entonces mostrar el provecho de la herramienta utilitaria de regresión con red neuronal y el simulador con perfiles de predicción y perfiles de emulación de calidad del programa SAS JMP 8; para lo cual se planteó el siguiente objetivo.

con la plataforma de regresión de red neuronal integrada a simulador, del programa SAS JMP 8

programa utiliza el método de regresión de Gauss Newton, el cual se incorpora a la hoja de cálculo del módulo SIMULATOR e integrado al módulo gráfico PROFILER, que se desempeña con la Función de Deseabilidad de Derringer y Suich (1980), durante la emulación de la calidad deseada con simulación, se muestran los resultados en forma visual e interactiva, en múltiples perfiles de calidad. La operatividad del proceso completo del uso del módulo SIMULATOR y PROFILER del programa SAS JMP 8, se encuentran en forma detallada en Avila (2014).

medición de variables de calidad del producto experimental demostrativo, se muestran en la

tabla 1. Las condiciones experimentales finales de entrenamiento virtual en la obtención del modelo con el mejor ajuste fueron: 5 nodos ocultos, 0,01 de penalidad de sobre ajuste, 16 número de recorridos (tour), 75 interacciones

máximas, un criterio de convergencia de 0,00001, una validación cruzada de 3 veces de reajuste (3 grupos aleatorios); para ello se utilizó el procedimiento y criterios recomendados por Avila (2014).

Tabla 1. Arreglo experimental y respuestas de calidad de la matriz alimento

Factores experimentales			Respuestas de la variable calidad medida											
			Repeticiones Y1			Repeticiones Y2			Repeticiones Y3			Repeticiones Y4		
X1	X2	X3	Y11	Y12	Y13	Y21	Y22	Y23	Y31	Y32	Y33	Y41	Y42	Y43
45	45	1,5	61,5	61,6	62	0,38	0,39	0,38	14,8	14,4	15,4	1,6	1,62	1,6
80	62,5	2	62	62,2	62	0,37	0,38	0,36	30,62	30,31	31,23	2	2,1	2
80	80	1,5	61,75	62	62	0,38	0,39	0,37	14,82	14,71	15,41	1,7	1,81	1,7
62,5	62,5	1,5	61,5	61,7	62	0,38	0,39	0,37	14,8	14,8	15,43	1,6	1,62	1,6
65,5	80	1	61,25	61,3	62	0,39	0,4	0,38	14,5	14,19	15,12	1,1	1,1	1,4
45	62,5	2	61	61,3	60	0,38	0,39	0,37	14,55	14,54	15,1	1,8	1,9	1,45
45	62,5	1	61	61	61	0,4	0,41	0,4	14,5	14,59	15,3	1,1	1,15	1,45
62,5	45	2	62	62	62	0,37	0,38	0,36	23,5	23,54	24	2	2	1,81
80	45	1,5	63	63,25	63,35	0,38	0,39	0,38	23	23	23,3	1,7	1,81	1,7
62,5	62,5	1,5	61,5	61,5	62	0,38	0,39	0,37	14,81	14,64	15,34	1,6	1,62	1,6
62,5	45	1	62,95	63	63	0,37	0,38	0,37	23,61	23,62	24,1	1,2	1,25	1,2
45	80	1,5	61	61	61,35	0,4	0,41	0,4	14,45	14,44	14,98	1,6	1,63	1,62
80	62,5	1	63	62,56	62,7	0,37	0,38	0,37	23	23	23,3	1,2	1,32	1,22
62,5	80	2	60	60	60	0,39	0,4	0,38	14,51	14,61	15,4	1,8	1,83	1,78
62,5	62,5	1,5	61,75	62	61,55	0,39	0,4	0,38	14,82	14,81	15,35	1,5	1,55	1,52

Fuente: Elaboración propia.

El modelo de simulación de red obtenido fue:

$$Y_1 = +61,75 + 0,85*(4.07 - 4.28*H_1 + 0.56*H_2 - 2.72*H_3 + 0.11*H_4 - 1.38*H_5). \quad \text{Ec. 1}$$

$$Y_2 = +0,38 + 0,01* ((-0.38) + 3.65*H_1 + 0.99*H_2 - 0.40*H_3 + 2.53*H_4 - 5.34*H_5). \quad \text{Ec. 2.}$$

$$Y_3 = +18,18 + 5,09* (3.91 - 3.67*H_1 - 1.10*H_2 - 2.87*H_3 + 2.83*H_4 + 0.35*H_5). \quad \text{Ec. 3}$$

$$Y_4 = +1,59 + 0,27* ((-0.94) - 0.17*H_1 + 2.65*H_2 - 0.51*H_3 + 1.60*H_4 - 1.28*H_5). \quad \text{Ec. 4}$$

Donde, los modelos logísticos intrínsecos H_i , fueron:

$$H_1 = \text{Squish} ((-0.65) - 2.35*((X_{1n} - 62.7)/12.95) + 2.13*((X_{2n} - 62.5) / 12.92) + 1.48*((X_{3n} - 1.5)/0.37)).$$

$$H_2 = \text{Squish} (0.80 + 0.16*((X_{1n} - 62.7)/12.95) + 0.19*((X_{2n} - 62.5)/12.92) + 2.65*((X_{3n} - 1.5)/0.37)).$$

$$H_3 = \text{Squish} (3.2 + 2.49*((X_{1n} - 62.7)/12.95) - 1.40*((X_{2n} - 62.5)/12.92) - 1.07*((X_{3n} - 1.5)/ 0.37)).$$

$$H_4 = \text{Squish} ((-3.74) + 1.64*((X_{1n} - 62.7)/12.95) - 0.29*((X_{2n} - 62.5)/12.92) + 2.83*((X_{3n} - 1.5)/0.37)).$$

$$H_5 = \text{Squish} ((-1.12) - 0.25*((X_{1n} - 62.7)/12.95) + 0.41*((X_{2n} - 62.5)/12.92) + 1.83*((X_{3n} - 1.5)/0.37)).$$

Cada H_i se corresponde con el modelo logístico , $\frac{1}{1+e^{-z}}$ y en la tabla 2, siguiente, se muestra una descripción de los interceptos y coeficientes del modelo completo.

Tabla 2. Descripción de interceptos y coeficientes del modelo

Parámetros	Coeficientes			
H ₁ :Intercepto	-0,65			Interceptos de la ecuación logística (z)
H ₂ : Intercepto	0,80			
H ₃ :Intercepto	3,24			
H ₄ :Intercepto	-3,75			
H ₅ :Intercepto	-1,12			
H ₁ :X ₁	-2,35	H ₃ :X ₃	-1,07	Coeficientes de estandarización de cada variable Xi
H ₁ :X ₂	2,13	H ₄ :X ₁	1,64	
H ₁ :X ₃	1,48	H ₄ :X ₂	-0,30	
H ₂ :X ₁	0,16	H ₄ :X ₃	2,83	
H ₂ :X ₂	0,19	H ₅ :X ₁	-0,25	
H ₂ :X ₃	2,65	H ₅ :X ₂	0,41	
H ₃ :X ₁	2,49	H ₅ :X ₃	1,83	
H ₃ :X ₂	-1,40			
Y ₁ :Intercepto	4,07			Interceptos internos de cada modelo Yi
Y ₂ :Intercepto	-0,38			
Y ₃ :Intercepto	3,91			
Y ₄ :Intercepto	-0,94			
Y ₁ :H ₁	-4,28	Y ₃ :H ₁	-3,67	Coeficiente del numerador de cada Fórmula Hi
Y ₁ :H ₂	0,56	Y ₃ :H ₂	-1,10	
Y ₁ :H ₃	-2,72	Y ₃ :H ₃	-2,87	
Y ₁ :H ₄	0,11	Y ₃ :H ₄	2,83	
Y ₁ :H ₅	-1,38	Y ₃ :H ₅	0,35	
Y ₂ :H ₁	3,65	Y ₄ :H ₁	-0,17	
Y ₂ :H ₂	0,99	Y ₄ :H ₂	2,65	
Y ₂ :H ₃	-0,40	Y ₄ :H ₃	-0,51	
Y ₂ :H ₄	2,54	Y ₄ :H ₄	1,60	
Y ₂ :H ₅	-5,34	Y ₄ :H ₅	-1,28	

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 1, se muestra una visual de la gráfica de perfiles de respuesta y de restricciones de calidad, del simulador del Programa SAS JMP 8, obtenida siguiendo el procedimiento recomendado por Ávila (2014). La condición operativa que optimizó la calidad del producto cárnico experimental para la deseabilidad de

calidad establecida: maximizar conjuntamente: el contenido de humedad, de proteína y el calcio fijado y, simultáneamente minimizar el contenido graso, fue: 80 gr De carne de conejo, 48,85gr carne de ovejo y 2 mg de calcio; obteniéndose un producto con 63 % de humedad, 0,37 % de grasa, 32 % de proteína y 2 mg de calcio.

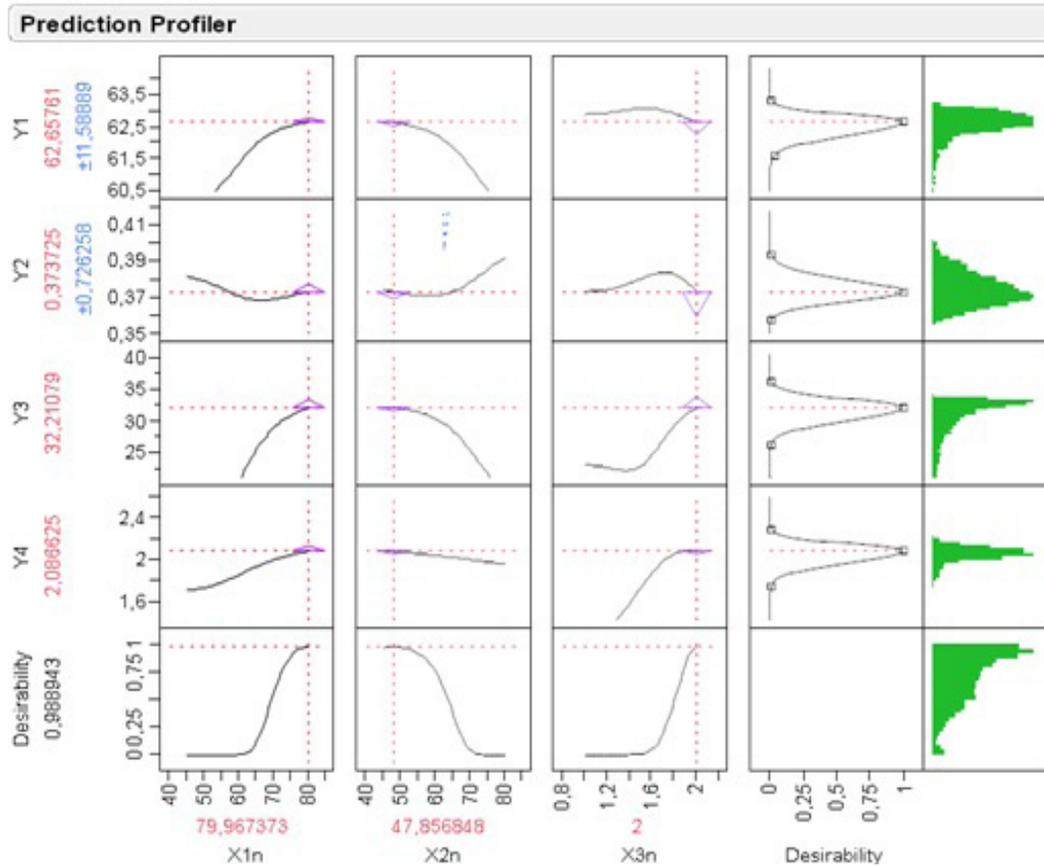


Figura 1. Visual gráfica de resultados del simulador del SAS JMP 8.

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIÓN

La optimización operativa, vía simulación con la plataforma Neural net del programa SAS JMP 8, usando un arreglo de tratamientos estadístico económico del tipo Box-Behnken, resulta muy útil en la experimentación exploratoria de emulación de la calidad de una matriz alimento. La co-optimización consistió

en maximizar el contenido de humedad, de proteína y el calcio fijado y, simultáneamente minimizar el contenido graso, logrando de esta forma un nivel de deseabilidad 98,89%, para obtener un producto con las siguientes características: 63 % de humedad, 0,37 % de grasa, 32 % de proteína y 2 mg de calcio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ávila, E. C. (2014). Co-Optimización estadística de criterios multiobjetivo de calidad de procesos agroindustriales: Perfiles de Respuesta y Funciones de Deseabilidad. Guía de estudio. Avances en Metodología de Investigación en Ingeniería Agroindustrial.
- Calderón, A. C. y Alvarado, M. P. (2016). Optimización multiobjetivo con funciones de alto costo computacional. Revisión del estado del arte. Tecnología en Marcha. Edición especial. Matemática Aplicada. Pág. 16-24.
- Derringer G, Suich R (1980) Simultaneous optimization of several response variables. J. Qual. Technol. 12: 214-219.
- Domínguez, D. J. (2006). Optimización simultánea para la mejora continua y reducción de costos en procesos. Ingeniería y Ciencias. 2 (4): 145-162. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/835/83520408.pdf>.
- Interempresas net. (2016). Investigación, desarrollo e innovación. [Blog en línea]. Recuperado de: <http://www.interempresas.net/Alimentaria/Articulos/163000-Investigacion-desarrollo-e-innovacion.html>. [Consulta Enero 15, 2017].
- MathWorks. (2014). Optimization Toolbox. R2014b For Use with MATLAB®, MATLAB, USA. Recuperado de: <http://www.mathworks.com/>.
- Ramírez, J. S. (2012). Análisis sensorial: pruebas orientadas al consumidor. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/257890512_Analisis_sensorial_pruebas_orientadas_al_consumidor.
- SAS JMP 8. (2012) Software SAS Institute Inc. JMP business unit SAS.JMP: Jonhn'smacintosh program.