

Universidad de Morelos

Facultad de Ingeniería y Tecnología

IDENTIFICACION DE FACTORES PREDICTORES
DE LA HUMEDAD EN PROTEINA DE
SOYA TEXTURIZADA

Proyecto de investigación presentado en cumplimiento
parcial los requisitos para el grado de
Ingeniería Industrial y de Sistemas

por

Jennie Lizbeth Martínez Hernández

Abril de 2015

CONSTANCIA DE AUTORIA Y CESIÓN DE DERECHOS DE REPRODUCCIÓN

El abajo firmante, AUTOR del informe de investigación titulado Identificación de factores predictores de la humedad en proteína de soja texturizada.

por intermedio de la presente, DA FE de la autoría y originalidad de la obra mencionada que se presenta ante la Facultad de Ingeniería y Tecnología para ser evaluada con el fin de obtener el Grado Académico de Licenciada/o en Ingeniería Industrial y de Sistemas.

Asimismo, dejo expresada mi conformidad de ceder los derechos de reproducción y circulación de esta obra, en forma NO EXCLUSIVA, a la Facultad de Ingeniería y Tecnología de la Universidad de Morelos. Dicha reproducción y circulación se podrá realizar, en una o varias veces, en cualquier soporte, para todo el mundo, con fines sociales, educativos y científicos.

Entiendo que dicha cesión no entraña obligación alguna para la Facultad de Ingeniería y Tecnología, que podrá o no ejercitar los derechos cedidos.

Se firma la presente en la ciudad de Morelos Nuevo León, a los 16 días del mes de Abril de 2015.

Firma

CURP: MAHJ930506MVZRRN06

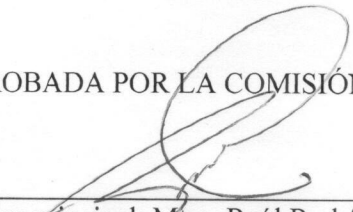
IDENTIFICACIÓN DE FACTORES PREDICTORES
DE LA HUMEDAD EN PROTEÍNA DE
SOYA TEXTURIZADA

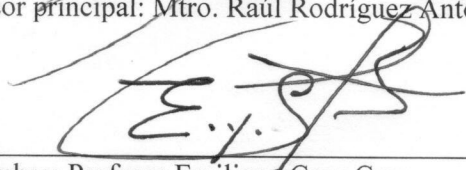
Proyecto de investigación presentado en cumplimiento
parcial de los requisitos para el grado de
Ingeniería Industrial y de Sistemas

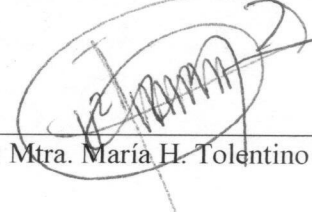
Por

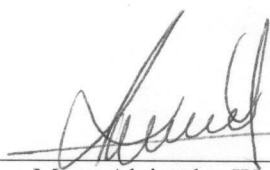
Jennie Lizbeth Martínez Hernández

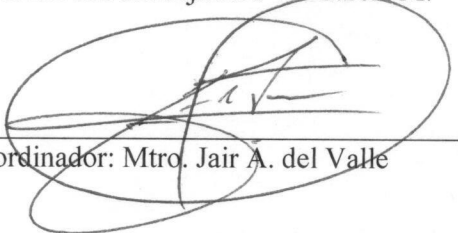
APROBADA POR LA COMISIÓN


Asesor principal: Mtro. Raúl Rodríguez Antonio


Miembro: Profesor Emiliano Cruz Cruz


Miembro: Mtra. María H. Tolentino Hernández


Director: Mtro. Alejandro W. García M.


Coordinador: Mtro. Jair A. del Valle

16 de abril de 2015
Fecha de aprobación

DEDICATORIA

A todos aquellos que me apoyaron moral y económicamente durante la realización de este proyecto

DECLARACIÓN DE INTEGRACIÓN DE LA FE

Cuando la sabiduría entrare en tu corazón, Y la ciencia fuere grata a tu alma, La discreción te guardará; Te preservará la inteligencia, Para librarte del mal camino, De los hombres que hablan perversidades, Prov. 2: 10-12

TABLA DE CONTENIDO

HOJA DE APROBACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
DECLARACIÓN DE INTEGRACIÓN DE LA FE	iv
INTRODUCCIÓN	2
METODOLOGÍA	3
RESULTADOS	5
CONCLUSIONES	7
AGRADECIMIENTOS	7
APENDICE A	
INSTRUMENTO DE EVALUACIÓN	9

Identificación de factores predictores de la humedad en proteína de soya texturizada

Jennie Lizbeth Martínez Hernández
Facultad de Ingeniería y Tecnología
Universidad de Morelos
Nuevo León, México
lizbeth0846@gmail.com

Raúl Rodríguez Antonio
Facultad de Ingeniería y Tecnología
Universidad de Morelos
Nuevo León, México
rrodriguez@um.edu.mx

Resumen

En la elaboración de proteína de soya texturizada (PST), con base en harina de soya desgrasada, por medio de mezclado, extrusión y secado, una de las características de calidad relevante es el porcentaje de humedad del producto terminado (HPT). Para efectos del control de calidad es de interés determinar los factores que tienen un efecto significativo sobre el HPT. Con base en lluvia de ideas y diagramas de Ishikawa se identificaron factores preliminares, para conformar una hoja de verificación, que conjuntamente con la aplicación de cartas de control para individuales y estudios de capacidad, fue empleada para el monitoreo planificado del proceso de producción. Los factores candidatos fueron el porcentaje de humedad de la materia prima (x1), porcentaje de aceite en la materia prima(x2), cantidad de agua adicionada en la mezcla (x3) y temperatura del horno de secado (x4). El filtrado de factores predictores se llevó a cabo empleando regresión lineal múltiple, por medio de criterios de mejores subconjuntos y regresión por pasos. Se obtuvieron dos modelos de predicción, (x1; x4 y x1; x2 respectivamente). Ambos modelos fueron validados por medio de corridas confirmatorias. El estudio se llevó a cabo en una fábrica de alimentos del estado de Nuevo León, México. El nivel de significancia se fijó en 0.05. Para el análisis estadístico se usó el software Minitab 17.

Palabras claves: proteína de soya texturizada; regresión lineal múltiple; cartas de control; diagrama de causa-efecto (Ishikawa).

I. INTRODUCCIÓN

La industria de alimentos procesados es un gran mercado laboral y ha tenido un gran crecimiento debido a la demanda interna del país. [1] El procesamiento de los alimentos varía de acuerdo a la gran cantidad de alimentos existentes, cada alimento tiene su propio procedimiento y la complejidad de este depende del mismo producto; normalmente el procesamiento de los alimentos se mantiene monitoreado por medio de diagramas de flujos y su control por medio de herramientas de aseguramiento de la calidad, ya sean administrativas o mediante métodos estadísticos. [2]

Para la estadística existe una definición precisa y útil respecto a la calidad, y menciona que “la calidad es inversamente proporcional a la variabilidad”. [9]

Actualmente las demandas de los clientes por productos más saludables han tenido un gran impacto en la industria, por la ideología que ha surgido en la población del cuidado de la salud [3], esto genera en las empresas la necesidad de proporcionar alimentos de calidad. La calidad de un producto se relaciona directamente con la variabilidad que se presente en su elaboración.

La proteína de soya texturizada (PST) es utilizada en el sector alimenticio para sustituir a la proteína de origen animal, presentando altos niveles de proteína (50-60%) y su origen es natural, supliendo una de las necesidades del cliente. [4]

El proceso de elaboración de proteína de soya texturizada es a base de extrusión. Anteriormente este método se utilizaba para las industrias de polímeros pero a partir de los años 50 se introdujo en la industria alimenticia. En 1964 se encuentra una buena forma de procesar la soya con este método que produce partículas de soya esponjosa y elástica. El proceso consiste en mezclar harina de soya desengrasada y agua, la cual se pasa por una picadora extrusora de alimentos, que mantiene la masa ya extrusionada expuesta al calor y cortada para pasar al último punto que es desecarla. [5]

Básicamente un extrusor consiste en un tornillo gigante que rota dentro de un barril cilíndrico. Éste puede ser liso o con muescas. La configuración de las muescas del tornillo se calcula para que el volumen que queda libre decrezca gradualmente según el tornillo se mueva de principio a fin. Lo que pongamos dentro se comprime y se transporta por la parte que va rotando. Se utilizan diferentes ratios de compresión según la aplicación que le queramos dar. El diámetro del orificio por el que sale el producto extrusionado es el que determina la forma del producto. [5]

Uno de los factores de mayor importancia y que más efecto tiene sobre la PST es la humedad ya que no contar con los

niveles óptimos puede generar bacterias, hongos y levadura, además de limitar el tiempo de anaqueo del producto final. [6]

Es por ello que se debe evaluar cada paso del proceso de elaboración de PST, ya que el proceso consiste en tres etapas: 1) mezclado, 2) extrusión y 3) secado, en cada paso del proceso hay variables o factores que pueden afectar a la variabilidad de la humedad sobre el producto final. [6]

Algunos autores mencionan que mantener un nivel óptimo de humedad más una temperatura de cocción alta da como resultado un producto suave y menos duro, además de cumplir con especificaciones de calidad y ayudando al tiempo de vida de anaqueo. [7] Para lograr esto se debe mantener la variabilidad reducida y controlada, monitoreando los factores de entrada (internos y externos) en el proceso y tener un constante chequeo.

Estudios relacionados con la detección de los factores con influencia sobre la variabilidad de la HPT, hacen mención a la influencia de la temperatura (10, 20, 30 y 40°C) que tiene relación con la humedad debido a que el nivel de agua disminuye conforme aumenta la temperatura, los resultados de humedad obtenidos de la investigación fueron de 4.6 y 7.4% los cuales hacen que disminuya al aumento de la temperatura. [6]

Investigaciones posteriores proponen que los factores de mayor importancia principalmente de la sección de extrusión, afectando directamente a la HPT, pueden ser presión de la matriz, par torcido (extrusor) y temperatura del producto, el estudio determina que la humedad del extrusor es significativa en las tres variables, mientras que la temperatura de cocción solo afecta a la temperatura del producto. Los investigadores encontraron que la disminución de la temperatura y el aumento de humedad eran debido a la fuerza de corte y la entrada de energía mecánica ya que el agua actúa como lubricante. [7]

Estudios más recientes proponen variables como temperatura del extrusor (135, 140, 150, 160, 165 °C), velocidad del tornillo sin fin (110, 125, 150, 175, 190 rpm), contenido de humedad de la materia prima (21,22, 24, 26, 27%), donde identificaron que un aumento continuo de temperatura de extrusión y en la velocidad del tornillo sin fin produjo un aumento en la expansión, el índice de absorción de agua, la capacidad de hidratación de agua y la dureza de los productos extruidos; La velocidad del tornillo presentó un efecto lineal e interacción con la humedad. [8]

Basándonos en lo anterior se puede decir, que un monitoreo continuo de la HPT produce un efecto positivo en la calidad del producto, además de proporcionar valores estándares sobre los factores que están directamente relacionados. No realizar un monitoreo de factores influyentes en la HPT en el proceso de la PST, repercute en el producto final causando problemas de variabilidad en la humedad; ocasionando que la calidad del producto se reduzca, evitando ofrecer productos confiables a los clientes.

Contar con una herramienta de análisis para esta área, ayudara a reducir la variabilidad y controlarla, contribuyendo a la mejora de la calidad del producto relacionando los requerimientos especificados por los clientes y la empresa, para poder obtener un producto de calidad.

Un método eficaz para monitorear y analizar el proceso para la identificación de factores son las herramientas de seis sigma, que es un método eficaz para medir e identificar los factores influyentes en la HPT.

El objetivo de esta investigación es encontrar los factores predictores que interactúen directamente con la HPT, en las tres etapas del proceso de PST, proporcionando un modelo de regresión lineal que ayude a predecir la estabilidad del proceso. Esto se realizó en una empresa de elaboración de proteína de soya texturizada en el estado de Nuevo León, México.

Las bases de esta investigación se derivan de las preguntas: ¿Qué factores del proceso de elaboración afectan la HPT? ¿Cuál es el valor objetivo de la HPT para cumplir las especificaciones del cliente? ¿Cuál es el mejor modelo de regresión para analizar el proceso?

Para realizar las pruebas estadísticas de la investigación se utilizó el software Minitab 17 ®.

II. METODOLOGIA

La observación científica es parte del método científico, la cual consiste en recoger información para la investigación, además de mirar algo sin modificarlo con la intención de examinarlo, estudiarlo y sacar conclusiones sobre ello. [14]

Además de la observación se utilizó la metodología de seis sigma esta metodología fue utilizada en la primera fase del proyecto que consistió en el monitoreo, mediciones e identificación de las etapas y variables relevantes en el proceso, mediante un mapa del proceso de la elaboración de PST, lluvia de ideas, etc., la observación científica ayudo a planificar los posibles factores que pueden interactuar en todo el proceso ya sean internos o externos.

Seis sigma se basa en métodos estadísticos rigurosos que emplean herramientas de calidad y análisis matemáticos, ya sea para diseñar productos y procesos o mejorar los ya existentes. Esta estrategia se enfoca en optimizar las salidas observando las entradas y procesos involucrados. [9]

Algunas de las herramientas que utiliza seis sigma son diagrama de flujo de procesos, diagrama de causa y efecto (Ishikawa), diagrama de Pareto, histogramas, grafica de corrida, cartas de control, modelo de regresión. [9]

El diagrama de causa y efecto también conocido como diagrama de Ishikawa, es un gráfico que muestra la relación sistemática entre un resultado fijo (problema) y sus causas. El

diagrama funciona buscando las posibles causas (factores) que ocasionan el problema identificado, basándose en lluvia de ideas para proponer las posibles causas desde un panorama completo; este diagrama cuenta con seis supuestos llamados las 6's M que son: Métodos, Materiales, Medio ambiente, Maquinaria, Mano de obra, Mediciones. [10]

Se llevó a cabo una reunión con el personal del departamento de control de calidad y el departamento de producción, realizando una lluvia de ideas para clasificar las observaciones de acuerdo a las especificaciones del diagrama de causa- efecto (Ishikawa), se dividieron las posibles causas que afectan a la humedad de acuerdo a las 6'M ya antes mencionadas.

Se identificaron los factores predictores 1) % de humedad de la materia prima, 2) % de aceite de la materia prima, 3) nivel de agua en el proceso, 4) temperatura del horno.

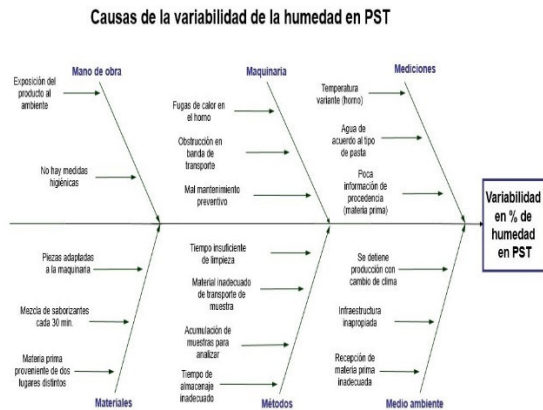


Figura 1. Diagrama de Causa-Efecto del proceso de la PST

Con los factores identificados se procedió a realizar la bitácora de registro (hoja de verificación), la cual se realizó mediante modificaciones en la bitácora de la misma empresa (ver anexo al final del documento); en donde se registraron cuantitativamente las mediciones de los factores incluyendo densidad y humedad del producto final. Los datos de la densidad y humedad se obtuvieron del departamento de control de calidad utilizando la máquina AND Infrared Moisture Determination AD-4714.

Las muestras se obtuvieron mediante el procedimiento establecido por la empresa y el departamento de control de calidad, con un periodo de media hora entre muestra; colaborando para el registro de los datos. La medición de la HPT fue realizado en el laboratorio de control de calidad. Los datos se recolectaron en un periodo de cuatro meses (noviembre de 2014 a febrero de 2015), creando una base de datos clasificado por mes.

La segunda fase fue la identificación de los factores más significativos utilizando modelos de regresión lineal múltiple, construyendo modelos de observación (por mes) así como un modelo global.

Se aplicaron cartas de control por mes ya que no se tenían el número de muestras necesarias para realizar la prueba por semana, como es recomendable, y también se realizó una carta de control global (cuatro meses); se realizó esta prueba para analizar y observar si los datos presentaban algún patrón o presentaba puntos fuera de los límites de control. También se realizaron pruebas de normalidad para corroborar si se tenía que realizar alguna transformación a los datos.

Las cartas de control son una herramienta de calidad que ayuda a observar y analizar la variabilidad junto con el comportamiento de un proceso a través del tiempo. [11] Existen cartas de control para variables y para atributos, para esta investigación se utilizaron las cartas de control para variables (X-bar R), y se utiliza para el control promedio del proceso o el nivel medio de calidad. [12] El cálculo del rango promedio se define de la siguiente manera:

$$R = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_m}{m} = \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{m}$$

Toda carta presenta límites de control, con los cuales se determina las condiciones del proceso, la estimación de los límites de control para la carta X-bar R, se determinan como:

$$UCL = D_4 R$$

$$Linea\ central = R$$

$$LCL = D_3 R$$

Donde D₄ y D₃ dependen del tamaño n de la muestra, estos valores ya se encuentran especificados los cuales se presentan en tablas estandarizadas. El uso adecuado de una carta de control requiere de una revisión periódica de los límites de control y línea central. [11]

Los límites de especificación y el valor objetivo (target) fueron proporcionados por la empresa ya que cuentan con un rango específico de humedad (4%-8.5%), estos fueron utilizados para correr la prueba de análisis de capacidad del proceso, y validamos su capacidad y estabilidad de la variabilidad utilizando los supuestos de los índices de capacidad.

Análisis de capacidad del proceso, es una herramienta que ayuda analizar la variabilidad respecto a las especificaciones del producto; esta variabilidad puede ser natural o instantánea y variabilidad con el tiempo. [12]

Este análisis cuenta con supuestos de confiabilidad llamados índices de capacidad: Cp, Cpk, Cpm, Pp, Ppm. El índice Cp llamado índice de capacidad potencial del proceso, ayuda a determinar si el proceso es potencialmente capaz de cumplir con las especificaciones bajo las condiciones: Cp>1: el proceso es potencialmente capaz de cumplir con las especificaciones; Cp<1: el proceso no cumple con las especificaciones, estimado por la fórmula: [12]

$$\hat{C}_p = \frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}}$$

El índice Cpk considera la media del proceso con respecto a las especificaciones del proceso, es decir, si se encuentra centrado respecto a los límites de especificaciones, de manera que evalúa la capacidad real del proceso; mediante:

$$C_{pk} = \min(C_{pu}, C_{pl})$$

El índice de Taguchi (Cpm), tiene mayor exactitud con respecto al centrado del proceso ya que también considera la variabilidad enfocándose a reducirla respecto a un valor objetivo (target) y no solo con las especificaciones; para eso utiliza el siguiente estimador:

$$\hat{C}_{pm} = \frac{USL - LSL}{6\sqrt{S^2 + (\bar{X} - T)^2}}$$

Este índice de capacidad utiliza el supuesto de $C_{pm} < 1$ no es capaz, $C_{pm} > 1$ cumple con ciertas especificaciones, $C_{pm} > 1.33$ cumple con la quinta parte de las especificaciones. [12]

La regresión lineal múltiple es un método estadístico de calidad que se utiliza cuando se presentan más de una variable explicativa, es decir, variables que afecten directamente a la variable de respuesta y . Sirve para identificar los factores predictores de cualquier proceso.

Este modelo matemático estudia la relación entre la variable dependiente o variable de respuesta y , y las variables independientes x , [13]

$$y_n = \beta_0 + \beta_1 x_{1n} + \beta_2 x_{2n} + \dots + \beta_p x_{pn} + e_n$$

La regresión lineal nos muestra las variables que tienen relación con la variable de respuesta y , para determinar cuáles son las más significativas este análisis se complementa con las pruebas regresión por pasos y por mejores subconjuntos, con el fin de seleccionar los factores más influyentes. La estimación de los parámetros por medio de mínimos cuadrados consiste en la aprobación de los supuestos del modelo: normalidad de datos, correlación e independencia de los residuales.

Estas pruebas consisten en proponer los mejores predictores candidatos, los cuales se estimaron con el software Minitab 17®, mediante los criterios de selección: de R-Sq, R-Sq (adj) y los Cp de Mallows, los cuales indican la efectividad del modelo de regresión. [13]

Se seleccionaron modelos candidatos por medio de las pruebas regresión por pasos y mejores subconjuntos. Con los resultados de las pruebas obtuvimos tres modelos de regresión, para identificar cual es el más adecuado se corrieron las mismas pruebas con los nuevos modelos considerando las variables que

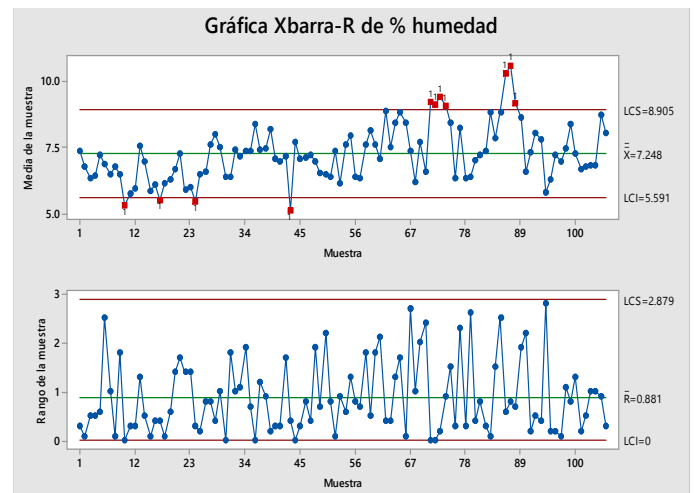
proponía cada uno. Se realizaron pruebas confirmatorias para corroborar que los modelos de regresión obtenidos puedan predecir la humedad de acuerdo a los predictores seleccionados. La prueba consistió en dar valores a los factores establecidos en el modelo de regresión y el resultado se comparó con los valores de los intervalos de capacidad y pronóstico, y se comparó el promedio de humedad correspondiente a los días en que duro un lote de materia prima.

III. RESULTADOS

Se obtuvo mediante las cartas de control que el proceso no está bajo control, ya que grupos de datos están por encima del límite de 3 desviaciones estándar.

En base a los registros de las bitácoras, se encontró que los puntos fuera de control registran cambios bruscos de temperatura del horno y nivel del agua.

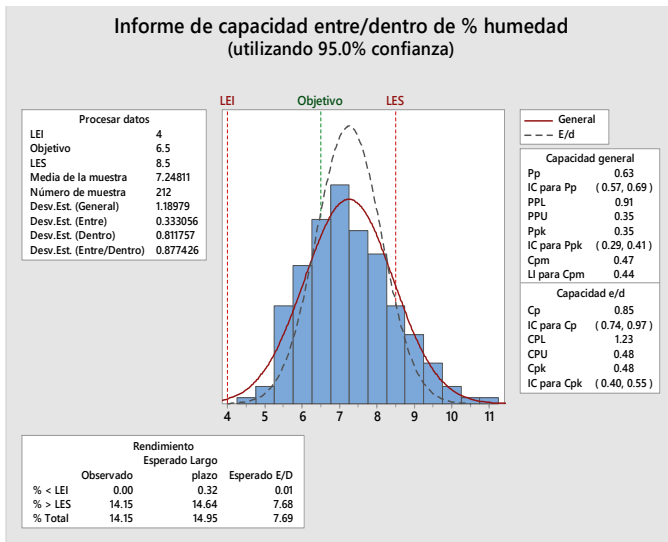
Se realizaron gráficos de control por mes para la humedad, en donde se observó que la mayoría de las cartas estaban bajo control. Aunque el análisis de los todos los datos revelan que pudiera existir mas factores predictores que afectan al proceso generando la variabilidad de humedad.



Gráfica 1. Carta de control para la humedad (noviembre-febrero)

Se encontró que los puntos fuera del límite control superior, presentan cambios bruscos de nivel de agua lo que ocasiona humedad en los registros de la muestra, y los puntos que se encuentran fuera del límite de control inferior se debe a cambios grandes de temperatura del horno en la sección de secado.

Los resultados obtenidos de la prueba de análisis de capacidad del proceso, demuestran un sesgo hacia la derecha, lo que indica descentralización del proceso.



Gráfica 2. Análisis de capacidad del proceso para la humedad

Como se puede observar en la gráfica 2, el sesgo nos indica que el proceso presenta alta variabilidad de humedad, se corroboró mediante los resultados de los índices de capacidad que el proceso no es potencialmente capaz de cumplir con las especificaciones ya que se presentan valores de $Cp=0.85$, $Cpm=0.48$.

Se obtuvo de las pruebas de regresión lineal múltiple que todos los factores son significativos de acuerdo con el supuesto de confianza de 0.05, ya que los valores p de los factores son mayores a este, aunque el ajuste para el modelo es muy pobre puesto que se registró un valor de 7.95% para R-cuad (ajustada) y un 5.27% para R-cuad de predicción.

Análisis de regresión: % humedad vs. x1, x2, x3, x4-general

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	4	36.698	9.1746	6.14	0.000
x1	1	14.405	14.4048	9.64	0.002
x2	1	0.646	0.6460	0.43	0.512
x3	1	1.065	1.0645	0.71	0.400
x4	1	4.150	4.1499	2.78	0.097
Error	234	349.688	1.4944		
Falta de ajuste	57	148.882	2.6120	2.30	0.000
Error puro	177	200.806	1.1345		
Total	238	386.386			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.22245	9.50%	7.95%	5.27%

Coefficientes

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante	3.88	3.29	1.18	0.240	
x1	0.561	0.181	3.10	0.002	1.40
x2	-0.375	0.570	-0.66	0.512	1.04
x3	-0.0148	0.0175	-0.84	0.400	2.16
x4	-0.0227	0.0136	-1.67	0.097	2.58

Figura 2. Análisis de regresión lineal múltiple

Se encontró presencia de multicolinealidad entre la variable regresora y al menos uno de los factores, ya que los valores del factor de inflación de la varianza (VIF) son mayor a 1 por lo que

lo que se considera que existe más de una variable relacionada con la variable de respuesta.

Por ello se realizó la prueba de mejores subconjuntos, para determinar cuáles son los factores predictores y obtener un modelo de regresión adecuado:

Regresión de los mejores subconjuntos: % humedad vs. x1, x2, x3, x4

la respuesta es % humedad

Vars	R-cuad.	R-cuad. (ajust.)	R-cuad. (pred.)	Cp de Mallows	S	x	x	x	x
1	8.1	7.7	6.7	2.7	1.2241	X			
1	4.2	3.8	0.9	12.8	1.2499				X
2	9.0	8.3	7.0	2.2	1.2203	X	X		
2	8.3	7.5	6.4	4.1	1.2253	X	X		
3	9.3	8.2	6.4	3.4	1.2210	X	X	X	
3	9.2	8.1	6.6	3.7	1.2217	X	X	X	
4	9.5	8.0	5.3	5.0	1.2225	X	X	X	X

Figura 3. Mejor subconjunto de regresión

Se obtuvieron dos modelos de regresión, elegidos según los supuestos de confiabilidad (R-cuad, Cp), el primer modelo presenta dos factores candidatos x_1 , x_4 , que son % de humedad en materia prima y temperatura del horno; el segundo modelo considera los factores x_1 , x_2 , siendo esta última el % de aceite en la materia prima.

Análisis de regresión: % humedad vs. x1, x2

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	2	32.094	16.0470	10.69	0.000
x1	1	32.087	32.0866	21.37	0.000
x2	1	0.859	0.8593	0.57	0.450
Error	236	354.292	1.5012		
Falta de ajuste	7	39.557	5.6510	4.11	0.000
Error puro	229	314.735	1.3744		
Total	238	386.386			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.22525	8.31%	7.53%	6.40%

Coefficientes

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante	-0.67	1.78	-0.38	0.707	
x1	0.719	0.156	4.62	0.000	1.03
x2	-0.431	0.570	-0.76	0.450	1.03

Figura 4. Análisis de regresión para primer modelo

El resultado del análisis de regresión lineal múltiple para observar el comportamiento del modelo, se encontró que el factor x_1 sigue siendo significativo de acuerdo a su valor p, mientras que x_2 no es significativo ya que muestra un valor p mayor a 0.05, presentando ajuste es muy bajo ya que se presenta un valor de R-cuad de predicción de 6.40%.

Los resultados para el segundo modelo determinan que x_1 se presenta significativo, mientras que x_4 presenta un valor p de

0.115 por lo tanto no es significativo ya que es mayor al valor de significancia de 0.05.

IV. CONCLUSIONES

Se concluye que los factores más significativos son el porcentaje de la humedad en el producto final, temperatura del horno y porcentaje de aceite en el producto final; las predicciones obtenidas de las pruebas de validación determinan una aproximación a los promedios de humedad del proceso.

Por lo que se recomienda considerar nuevos factores predictores como la velocidad del tornillo extrusor, que no se consideró en el estudio porque se consideraba era una velocidad predeterminada.

Se concluye que el proceso no cumple con las especificaciones ya establecidas de acuerdo con el índice de capacidad Cmp y Cp aunque se presenta control de variabilidad en la humedad, lo cual indica que existen otros factores que están afectando el proceso, por lo que requiere de estrictas modificaciones, para eliminar los valores atípicos que están fuera de control.

Se propone crear un diseño de experimentos para identificar los valores óptimos de los factores significativos y analizar a profundidad el comportamiento de las variables encontradas; también se recomienda realizar proceso para la toma de la muestra de manera que se puedan evitar afectaciones externas y repercuta en los resultados.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la empresa de alimentos que nos brindó su apoyo para la realización de este proyecto, brindándonos información además de la colaboración del personal tanto del departamento de control de calidad como de la línea de producción.

Análisis de regresión: % humedad vs. x1, x4

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	2	34.964	17.482	11.74	0.000
x1	1	18.853	18.853	12.66	0.000
x4	1	3.729	3.729	2.50	0.115
Error	236	351.422	1.489		
Falta de ajuste	46	133.440	2.901	2.53	0.000
Error puro	190	217.983	1.147		
Total	238	386.386			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.22028	9.05%	8.28%	6.96%

Coefficientes

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante	2.00	2.52	0.79	0.429	
x1	0.592	0.166	3.56	0.000	1.19
x4	-0.01462	0.00924	-1.58	0.115	1.19

Figura 5. Análisis de regresión para segundo modelo

Los dos modelos se validaron individualmente

$$y = 2 + 0.592x_1 - 0.01462x_4 \dots\dots\dots(1)$$

$$y = -0.67 + 0.719x_1 - 0.431x_2 \dots\dots\dots(2)$$

Los resultados obtenidos de las pruebas de validación se pueden observar en las tablas 1 y 2.

Modelo 1	X1	X4	Y	% humedad
$y = 2 + 0.592x_1 - 0.01462x_4$	11.52	130°	6.9% (6.56741, 7.26842)	7.25%
	11.96	120°	7.3% (7.04192, 7.60749)	6.8%

Tabla 1. Resultados de validación primer modelo

Modelo 2	X1	X2	Y	% humedad
$y = -0.67 + 0.719x_1 - 0.431x_2$	11.52	1.22	7.08% (6.81670, 7.35523)	7.5%
	11.96	1.23	7.39% (7.10330, 7.69271)	8.1%

Tabla 2. Resultados de validación segundo modelo

REFERENCIAS

- [1] B. M. Lizeth Anais, "Alimentos procesados: unidad de inteligencia de negocio", primera edición, 2013, pp. 13-14
- [2] ProMéxico, "El sector de los alimentos procesados, primera edición", 2013, pp. 1-2
- [3] A. C. José, "El mercado internacional de productos orgánicos" Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, No. 7, AC-IICA Costa Rica, 2001, pp. 8-13.
- [4] Insudtria Alimenticia, "Proteína de Soya Texturizada," 2010.
- [5] Gastronomía Vegana, *¿Como se hace la soja texturizada?*, primera edición, 2010, disponible en: <http://www.gastronomiavegana.org/el-laboratorio/%C2%BFcomo-se-hace-la-soja-texturizada/>.
- [6] Cassini Aline S., Marczak Ligia D. F., Noreña Caciano P. Z. (2007), Drying Characteristics of Textured Soy Protein: A Comparison between Three Different Products, Brazil, Taylor & Francis Group, LLC, pp. 3-6
- [7] Lin S., Huff H. E., Sieh F. H (2000), Texture and Chemical Characteristics of Soy Protein Meat Analog Extruded at High Moisture, Tiwan, Journal of Food Science —Vol. 65, No. 2, pp. 4-7
- [8] Rueda Jhonny, Kil-Chang Y., Martínez B. F., 2004, "Características funcionales de soya desengrasada texturizada", México, pp. 1-6
- [9] Catarina L, *Metodología six-sigma: calidad insdustrial* [online], México, 2004 disponible en: http://caterina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmnm/elizondo_c_a/ca_pitulo2.pdf
- [10] Ikeda K., Pailamilla G. L., Allende V. P., *7 herramientas para el control de la calidad*, [online], Chile: Universidad de Santiago de Chile, disponible en: http://www.asimet.cl/pdf/7_herramientas.pdf
- [11] D. Montgomery, "Cartas da control para variables", *Control estaístico de la calidad*, Limusa Wiley, 2004, pp. 206-265.
- [12] Rodríguez R., "Introducción a las cartas de control", presentación de clase, Facultad de Ingeniería y Tecnología, Universidad de Montemorelos, Montemorelos, 2012.
- [13] D. Montgomery, "Regreesión Lineal Múltiple", *Probabilidad y estadística para ingenieros*, Roig P., Pearson Educación, 1999, pp. 405-420.

