

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i5.3512

Predicción de la coloración de la granola, mediante un modelo multivariado para la industria de alimentos

Homero Alonso Jiménez

homero.aj@zacatepec.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0002-1101-5553>

Enrique de Jesús Moreno Carpintero

enrique.mc@zacatepec.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0002-5472-1503>

Victoria Yazmin Atala Campos

victoria.ac@zacatepec.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0002-8469-4630>

Romeo Emmanuel Nuñez Gomez

romeo.ng@zacatepec.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0002-6340-0859>

Alejandro Rojas Ayala

alejandro.ra@zacatepec.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0003-0403-6169>

Tecnológico Nacional de México / IT de Zacatepec
Av. Tecnológico No. 27, Col. Centro, Zacatepec Morelos, C.P. 62780, México

RESUMEN

En el presente trabajo se generó un modelo matemático capaz de predecir el índice de color (I.C.) en la granola. El modelo se determinó con base a un análisis multivariante en función de los datos de L, a y b, obtenidos mediante el colorímetro espectrofotómetro, siendo factores para la creación de dicho modelo. Se tomaron muestras de lotes de producto conforme y no conforme clasificadas como producto conforme, crudo y quemado, con las cuales se llevaron a cabo tres réplicas. Posteriormente, se generó el modelo multivariado con 3 factores mediante el uso del software Minitab® versión 19, a dicho modelo matemático se le realizaron pruebas de correlación y validación mediante un análisis de residuales, realizando pruebas de normalidad, estabilidad e independencia. El modelo generado demostró tener valores de correlación adecuados, superando el 98 % y la validación del mismo cumplió con las pruebas antes mencionadas. Lo anterior permitirá predecir índices de color para mezclas de granos y semillas, en nuestro caso, la granola, contribuyendo a tener estándares y controles de calidad precisos en la fabricación de alimentos.

Palabras clave: *modelo multivariado; modelo matemático; granola.*

Correspondencia enrique.mc@zacatepec.tecnm.mx

Artículo recibido 10 agosto 2022 Aceptado para publicación: 10 septiembre 2022

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

Todo el contenido de **Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar**, publicados en este sitio están disponibles bajo

Licencia [Creative Commons](#) 

Cómo citar: Alonso Jiménez, H., Moreno Carpintero, E. de J., Atala Campos, V. Y., Nuñez Gomez, R. E., & Rojas Ayala, A. (2022). Predicción de la coloración de la granola, mediante un modelo multivariado para la industria de alimentos. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(5), 5412-5428. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i5.3512

Prediction of granola coloration, using a multivariate model for the food industry

ABSTRACT

In the present work, a mathematical model capable of predicting the color index (I.C.) in granola will be followed. The model will be reduced based on a multivariate analysis based on the data of L, a and b, obtained by means of the spectrophotometer colorimeter, being factors for the creation of said model. Samples were taken from batches of conforming and non-conforming product classified as conforming, raw and burnt product, with which three replications were carried out. Subsequently, the multivariate model with 3 factors was presented using Minitab® version 19 software. Confirmation and validation tests were obtained for said mathematical model through a residual analysis, performing normality, stability and independence tests. The generated model failed to have adequate precision values, exceeding 98%, and its validation complied with the aforementioned tests. This will allow predicting color indices for mixtures of grains and seeds, in our case, granola, contributing to precise quality standards and controls in food manufacturing.

Keywords: *multivariate model, mathematical model, granola.*

INTRODUCCIÓN

Actualmente, las industrias que buscan diferenciarse de sus competidores saben que el mercado demanda entre otras cosas, un mejor control de sus procesos, reflejado esto en una producción más uniforme que cumpla con los más altos estándares de calidad y productos consistentes. Las empresas encargadas de procesar granos y semillas no son la excepción, uno de los problemas típicos a los que se enfrentan este tipo de industrias es el aspecto sensorial ya que atributos como el color son el primer filtro que deben cumplir (Chilo Ramos 2020), (Guerrero Zavala and Palacios Ormaza 2022). El aspecto de coloración en productos tales como cereales, granos y semillas es difícil estandarizar ya que las materias primas provienen del campo y por ende existe un intervalo de variabilidad amplio en ellas (Briones Arroyo et al. 2020), La granola, es un producto aún más difícil de estandarizar en cuanto a atributos se refiere, ya que resulta de una mezcla de granos y semillas que suman parte a parte variabilidad (Gutierrez 2013).

El problema en la coloración de estos productos da como resultado el rechazo de lotes de producción que originan pérdidas económicas en las empresas, lo cual es denominado “costos de calidad” (de la Luz González-Reyes and Moreno-Pino 2016), (Arango Cardona 2016), (Telles, Bittencourt, and Pitta 2017), (Escuela Europea de Excelencia 2018). Hoy en día los métodos para estandarizar la coloración correcta en productos alimenticios se basan en patrones o sistemas de identificación, comparación y comunicación del color mediante tarjetas de coloración impreso tipo Pantone® por lo cual se utiliza el criterio del analista u operador (Pereira 2009).

Así mismo en la fabricación de alimentos y bebidas es sustancial su aspecto y coloración, ya que son componentes para la aceptación dentro de la misma sociedad (Vega 2022). Debido a que la coloración transmite frescor, gusto y cualidad que las personas gozamos al momento de adquirir dicho alimento o bebida.

La Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) (CIE 1994), menciona que el área de coloración puede estar sujeta a una numeración que define el color está dada por: XYZ, L^*C^*h , y L^*a^*b , este último conocido como CIELAB, ya que evalúa la coloración de un objeto, debido a que asocia la valoración numérica de la coloración dando una sensación ocular humana.

Hoy en día la fabricación de alimentos busca generar diferentes emociones dentro de los consumidores para adquirir sus productos, con el cual puedan tener una satisfacción

amplia al probar ciertos alimentos (Anon n.d.), (De et al. 2022) existiendo diferentes procedimientos y recursos para lograr esto (Valencia Ramírez and Reinoso Hernández 2022).

Así mismo observando la coloración de la granola y seleccionándola se crea un producto conforme hacia el consumidor, los modelos matemáticos consiste en verificar dicha coloración, y tomando en cuenta que para nuestro estudio realizamos un modelo multivariado, nos facilitará a dar los resultados esperados (Rivas-Perez et al. 2016), (Beatriz et al. n.d.).

Por otra parte, un modelo multivariado consiste principalmente en predeterminar en base a una estandarización de diferentes variables, primeramente, definiendo la agrupación independiente de una variable que se puede predecir, respecto a una variable de respuesta. Como segunda parte nos ayuda a precisar si en dicha agrupación hay reciprocidad entre dos o más objetos. Y, por último, aprueba crear modelos (Goldman 2012).

Es por ello que el control estadístico en la industria alimentaria se ha convertido en una herramienta para mejorar la competitividad y rendimiento de estás, creando diferentes estrategias y metodologías que cubran las exigencias de los consumidores, satisfaciendo ampliamente sus necesidades (Fermín et al. 2009), haciendo con esto un monitoreo constante del producto que realizan, tomando en cuenta siempre todas las variables que se puedan controlar y aprovechándolas al máximo para crear un modelos predictivos que nos de la seguridad de dar esa satisfacción al cliente (Dominguez 2011).

El planteamiento de la hipótesis es factible para el desarrollo de esta investigación ya que se pretende obtener un modelo matemático el cual nos ayude a predecir la coloración en la granola con el cual se puedan obtener los estándares y controles de calidad en el área de alimentos.

METODOLOGÍA

En la figura 1 se muestra la metodología empleada para la obtención del modelo matemático multivariado del índice de color de la granola (Lucana Suca and Mamani Gutierrez 2019).

En el proceso de secado de granola existen factores que afectan la calidad final del producto, y que se ven reflejados en un producto no estandarizado en la coloración. Por

tal motivo se decide hacer el análisis de la evaluación del color del producto terminado como una característica crítica de calidad.

(Robert O. Kuehl 2002) establece que el número de réplicas en un estudio de investigación está restringido a un número razonable, esto se debe al costo que pueda implicar llevar a cabo cada una de las réplicas del estudio.

Para poder determinar el tamaño de muestra, primero se obtuvo el espectro completo de coloración, donde se tomaron 3 muestras, partiendo que uno fue el producto conforme, otro el producto crudo y el producto quemado, dichas muestras se tomaron de esa manera debido a los tiempos y costos que éstas representan.

Así mismo, se utilizó un colorímetro Espectrofotómetro, con el que realizamos diversas lecturas en los productos y/o materiales, midiendo su color de la granola, con la finalidad de que en distintos procesos conozcamos las diferencias entre dos o más muestras analizadas, ya que a simple vista no pueden ser estratificables. El colorímetro nos proporcionó los valores de L (escala de luminosidad revelando brillo u opacidad), a (aproximación a tonos rojo-verde) y b (aproximación a tonos azul-amarillo).

Se procedió a realizar 3 réplicas de cada una de las muestras con la finalidad de obtener un promedio del color en las muestras evaluadas y posteriormente se calcularon los I.C. para cada muestra mediante la ecuación (1):

$$I.C = (1000 * a) / L * b \quad \text{Ec. 1}$$

Se recolectaron 27 muestras de la granola tipo 2 estilo Lala (9 de granola OK, 9 de granola quemada y 9 de granola cruda) con réplicas de $n = 3$ como se mencionó anteriormente para reducir el error experimental muestreando un total de $N = 81$ muestras en total. Cada muestra tomada fue de al menos 1 hora de haber salido del proceso.

Las muestras se llevaron al laboratorio en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Zacatepec para su evaluación con el colorímetro espectrofotómetro haciendo tres replicas con cada una de las muestras con la idea de conseguir un promedio más exacto del color de cada muestra.

Para el análisis de datos de la coloración del producto terminado (índices de color y valores L, a y b) se llevó a cabo mediante la técnica estadística análisis de varianza a través del software minitab 19®.

Para la obtención del modelo se utilizó la técnica de regresión multivariada mediante el software Minitab 19® en un análisis de 3 factores L, a y b y considerando la variable respuesta como el índice de color.

Para la validación del modelo se aplicaron 3 pruebas estadísticas a los residuales: prueba de normalidad, prueba de independencia y prueba de estabilidad, posteriormente se determinaron los intervalos de confianza y de predicción del modelo mediante el uso de Minitab 19®.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se muestran los datos obtenidos para Índice de Color, y con base a dichos datos experimentales, se procedió al análisis de regresión multivariado mediante el uso del software minitab 19®.

En Figura 2 se muestra los resultados obtenidos en el análisis de la medición del color en la muestra producto ok, determinando el modelo de regresión múltiple. Así mismo se puede observar el modelo multivariado obtenido para la respuesta (Índice de color) en función de las variables L, a y b, con un coeficiente de correlación del 100%, el cual representa un buen ajuste. Cabe mencionar que el modelo de regresión es significativo con un valor $P=0.000$ siendo menor que el nivel de significancia ($\alpha=0.05$) en el análisis de la varianza, entrando en una zona de rechazo y mostrando que el modelo de regresión si tiene influencia en la respuesta índice de color.

Posteriormente para la validación del modelo obtenido de regresión multivariada, se realizaron las pruebas de normalidad, estabilidad e independencia (hacer referencias), en la variable error del modelo (EM). Donde la prueba de normalidad es aprobada con un valor de $P=0.088$ (Ver figura 3). Así mismo, en la prueba de estabilidad, nos mostró un comportamiento controlado, ya que la variable se comportó dentro de los límites de control (Ver figura 4). Finalmente, en la prueba de independencia los valores ajustados no siguen un comportamiento específico, al no poder observar ningún patrón (Ver Figura 5).

En Figura 6 se muestra los resultados obtenidos en el análisis de la medición del color en la muestra producto **CRUDO**, determinando el modelo de regresión múltiple. Así mismo se puede observar el modelo multivariado obtenido para la respuesta (Índice de color) en función de las variables L, a y b, con un coeficiente de correlación del 99.8 %, el cual representa un buen ajuste. Cabe mencionar que el modelo de regresión es significativo

con un valor $P=0.000$ siendo menor que el nivel de significancia ($\alpha=0.05$) en el análisis de la varianza, entrando en una zona de rechazo y mostrando que el modelo de regresión si tiene influencia en la respuesta índice de color.

Posteriormente para la validación del modelo obtenido de regresión multivariada, se realizaron las pruebas de normalidad, estabilidad e independencia (hacer referencias), en la variable error del modelo (EM). Donde la prueba de normalidad es aprobada con un valor de $P=0.362$ (Ver figura 7). Así mismo, en la prueba de estabilidad, nos mostró un comportamiento controlado, ya que la variable se comportó dentro de los límites de control (Ver figura 8). Finalmente, en la prueba de independencia los valores ajustados no siguen un comportamiento específico, al no poder observar ningún patrón (Ver Figura 9).

En Figura 10 se muestra los resultados obtenidos en el análisis de la medición del color en la muestra producto **QUEMADO**, determinando el modelo de regresión múltiple. Así mismo se puede observar el modelo multivariado obtenido para la respuesta (Índice de color) en función de las variables L, a y b, con un coeficiente de correlación del 98.5 %, el cual representa un buen ajuste. Cabe mencionar que el modelo de regresión es significativo con un valor $P=0.000$ siendo menor que el nivel de significancia ($\alpha=0.05$) en el análisis de la varianza, entrando en una zona de rechazo y mostrando que el modelo de regresión si tiene influencia en la respuesta índice de color.

Posteriormente para la validación del modelo obtenido de regresión multivariada, se realizaron las pruebas de normalidad, estabilidad e independencia (hacer referencias), en la variable error del modelo (EM). Donde la prueba de normalidad es aprobada con un valor de $P=0.555$ (Ver figura 11). Así mismo, en la prueba de estabilidad, nos mostró un comportamiento controlado, ya que la variable se comportó dentro de los límites de control (Ver figura 12). Finalmente, en la prueba de independencia los valores ajustados no siguen un comportamiento específico, al no poder observar ningún patrón (Ver Figura 13).

ILUSTRACIONES, TABLAS, FIGURAS.

Figura 1.

Representación de las etapas empleadas en la metodología de esta investigación.

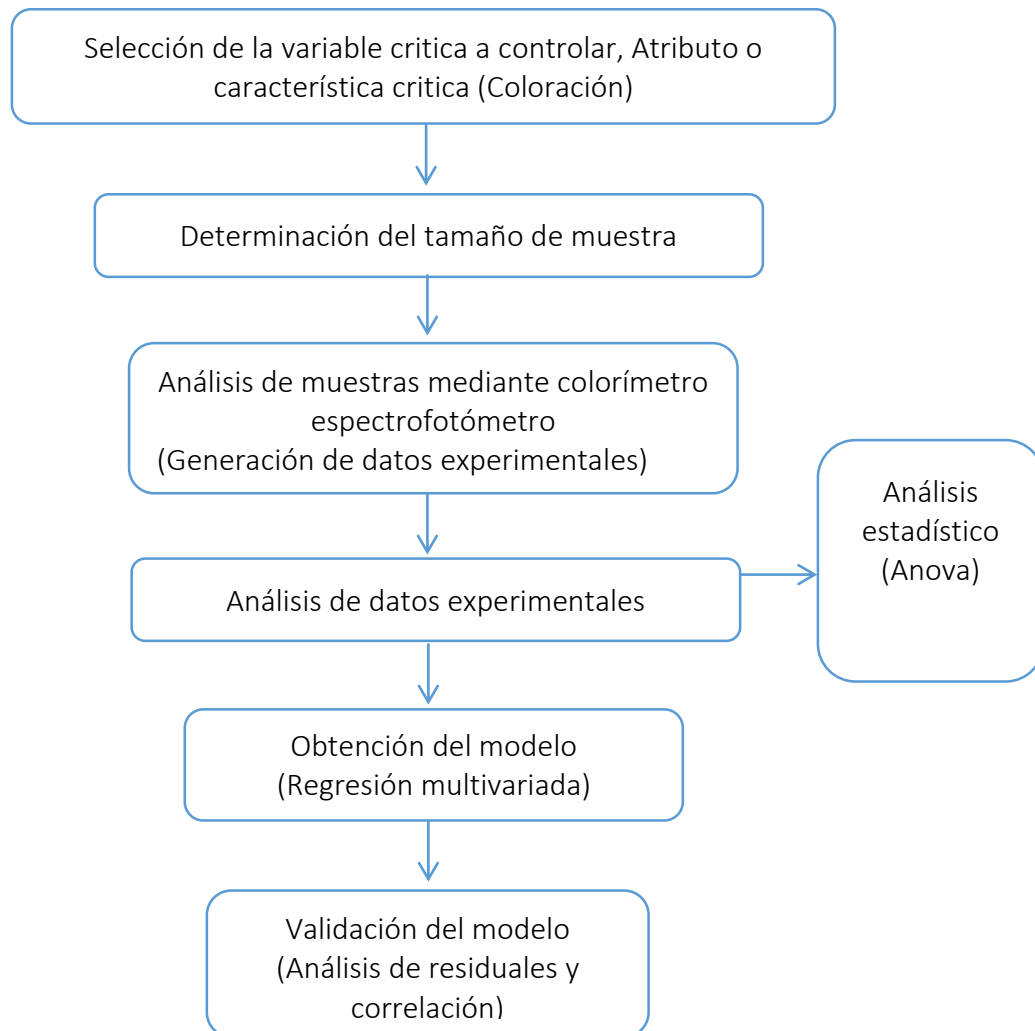


Tabla 1.

Índices de Color Obtenidos para los diferentes Índices de Granola.

GRANOLA OK				
Índice de color	Nivel	L	a	b
8.08	1	46.44	10.27	27.31
7.33	1	47.85	9.35	26.55
8.25	1	44.59	10.36	28.14
7.39	1	46.57	9.87	28.67
6.83	1	47.14	8.94	27.68
8.57	1	43.54	10.64	28.7
8.26	1	43.92	10.2	27.35
7.49	1	46.57	9.35	27.13
7.87	1	44.82	9.47	26.72
Media del índice de color: 7.785				
GRANOLA QUEMADA				
12.52	2	41.33	13.01	25.18
12.91	2	40.51	13.15	25.08
18.57	2	32.68	11.46	18.89
9.63	2	45.40	12.66	28.9
14.81	2	38.19	12.23	21.6
17.56	2	31.55	11.28	20.4
11.43	2	42.64	12.89	26.49
15.12	2	33.84	11.39	22.33
17.22	2	31.57	11.61	20.67
Media del Índice de color: 14.87				
GRANOLA CRUDA				
6.13	3	49.82	8.74	28.69
6.35	3	49.56	8.53	27.19
6.31	3	50.05	8.38	26.55
8.77	3	41.31	9.42	26.04
8.79	3	43.39	9.27	24.36
6.85	3	46.54	8.91	28
7.83	3	44.34	8.87	25.57
7.44	3	45.18	8.98	26.81
8.1	3	42.09	9.21	27.13
Media del Índice de color: 7.40				

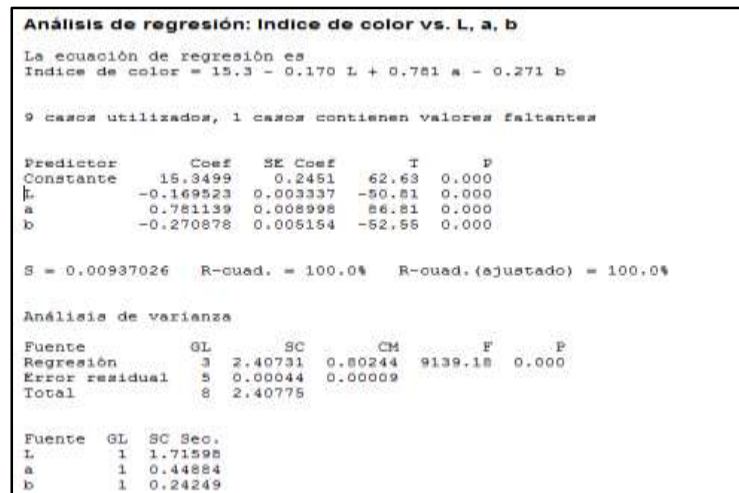


Figura 2. Análisis de Regresión Múltiple mediante el uso del Software Minitab 19 en granola OK.

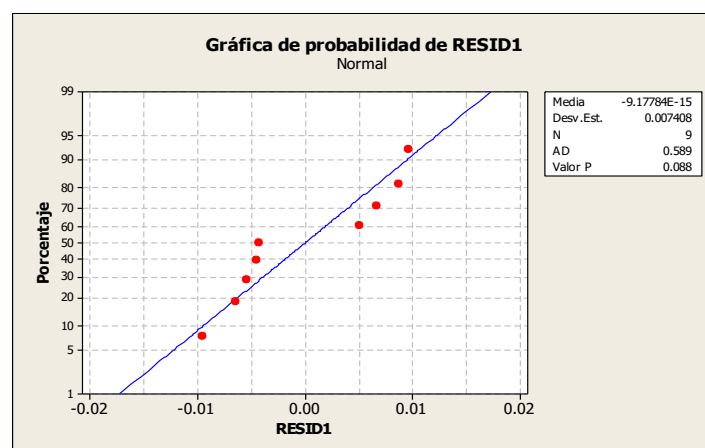


Figura 3. Prueba de Normalidad a los residuos del modelo obtenido.

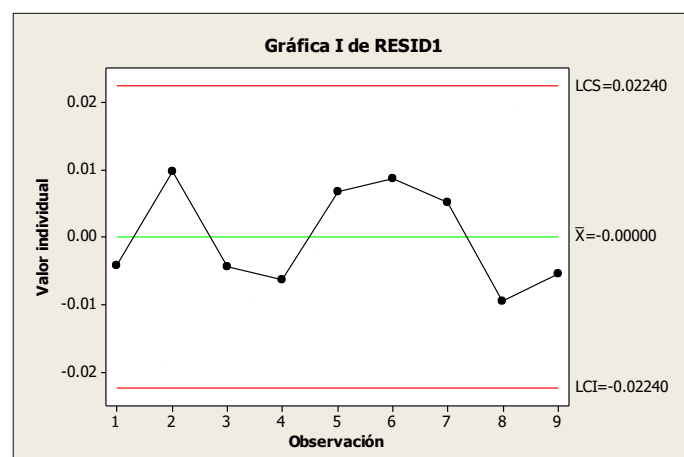


Figura 4. Prueba de Estabilidad.

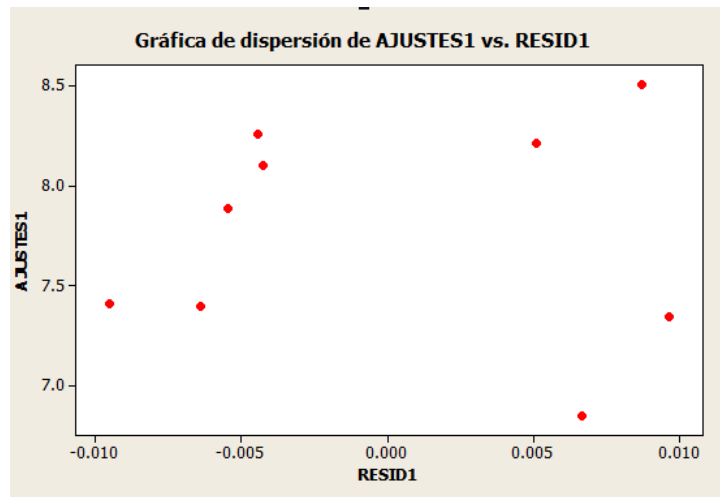


Figura 5. Prueba de Independencia a los residuales.

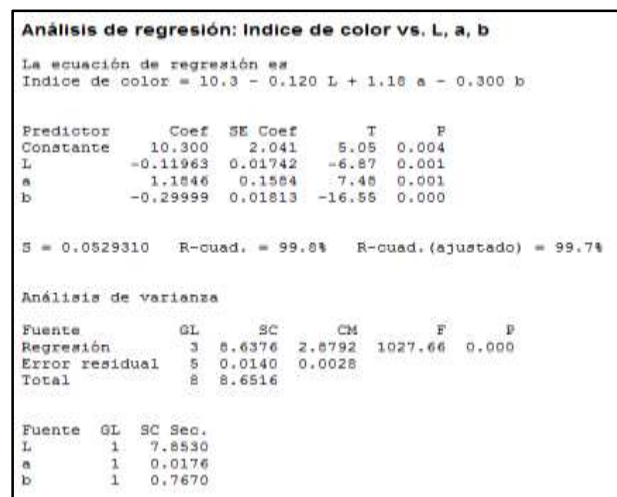


Figura 6. Análisis de Regresión Múltiple mediante el uso del Software Minitab 19® en granola cruda.

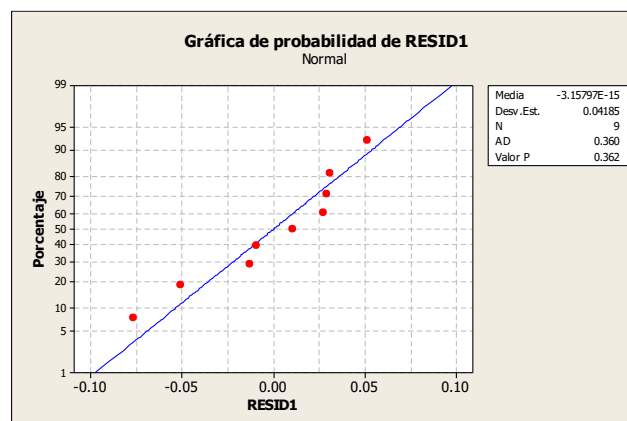


Figura 7. Prueba de Normalidad a los residuos del modelo obtenido.

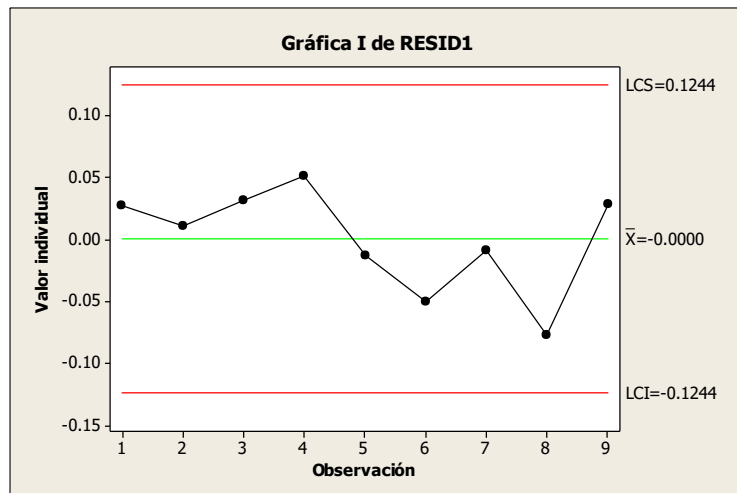


Figura 8. Prueba de Estabilidad.

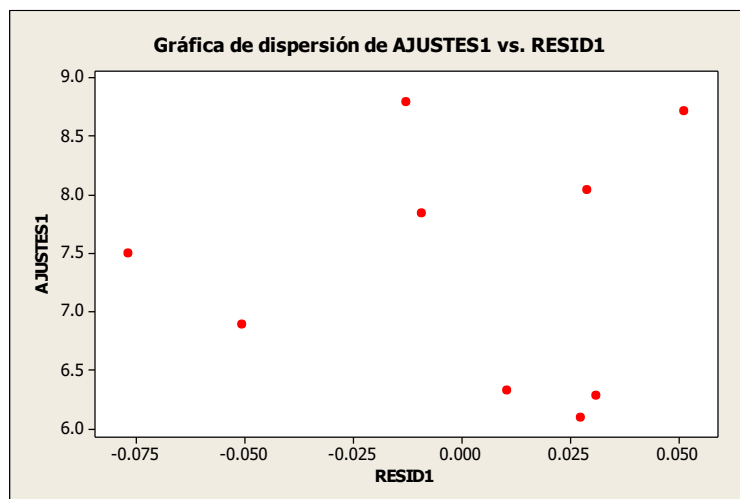


Figura 9. Prueba de Independencia a los residuales.

Análisis de regresión: Índice de color vs. L, a, b

La ecuación de regresión es
 Índice de color = 34.6 - 0.238 L + 0.225 a - 0.599 b

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constante	34.558	3.947	8.76	0.000
L	-0.2376	0.1371	-1.73	0.144
a	0.2255	0.5235	0.43	0.685
b	-0.5992	0.1565	-3.83	0.012

S = 0.466039 R-cuad. = 98.5% R-cuad. (ajustado) = 97.6%

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Regresión	3	72.007	24.002	110.51	0.000
Error residual	5	1.086	0.217		
Total	8	73.093			

Fuente	GL	SC	Sec.
L	1	68.286	
a	1	0.537	
b	1	3.184	

Figura 10. Análisis de Regresión Múltiple mediante el uso del Software Minitab 19® em granola QUEMADA.

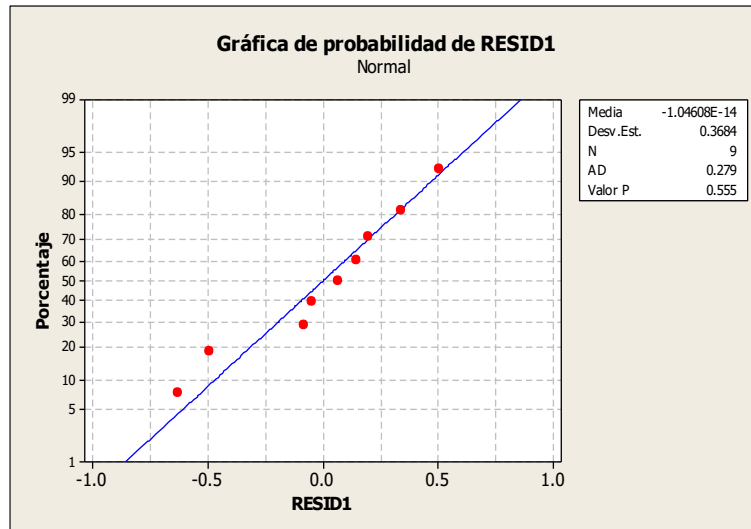


Figura 11. Prueba de Normalidad a los residuos del modelo obtenido.

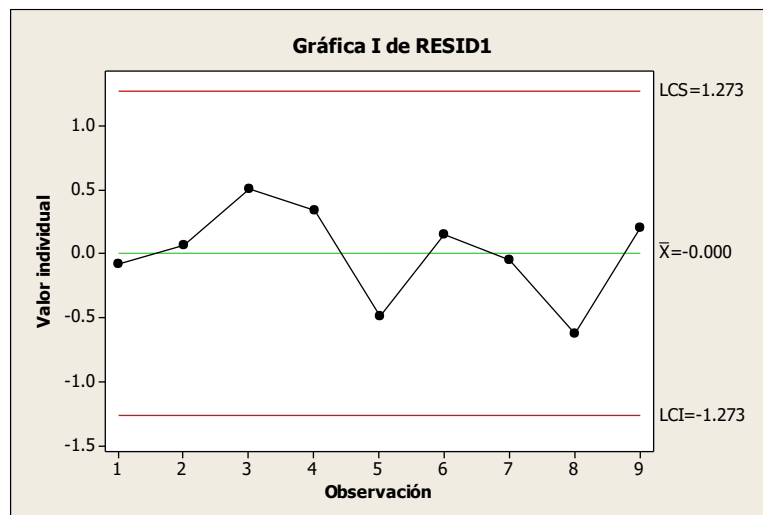


Figura 12. Prueba de Estabilidad.

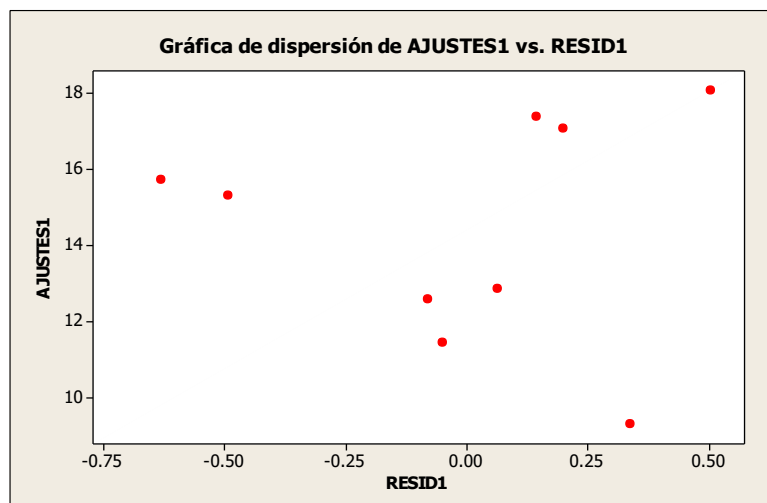


Figura 13. Prueba de Independencia a los residuales.

CONCLUSIONES.

Mediante el uso de un análisis de regresión multivariado aplicado a muestras de granola cruda, quemada y conforme analizadas en un colorímetro espectrofotómetro se pudo obtener un modelo matemático que pronostica adecuadamente el índice de color en función de los factores L, a y b con un coeficiente de correlación del 98.1 %, por lo tanto, es factible la utilización de este modelo para determinar la coloración en la granola proporcionando estándares que contribuyan a un control de calidad exacto y preciso en atributos de alimentos.

Por otra parte, el monitorear los índices de color de los 3 tipos de granola podremos mencionar que entre la granola cruda y la granola Ok, no existe una diferencia significativa con base al análisis de varianza con un nivel de significancia de 0.05, sin embargo, ambas son muy diferentes en cuanto al color de la granola quemada.

LISTA DE REFERENCIAS

- Anon. n.d. "Emociones: Son Básicas Para La Creación de Nuevos Productos." Retrieved November 2, 2022 (<https://thefoodtech.com/marketing/las-emociones-contribuyen-a-la-eleccion-y-consumo-de-alimentos/>).
- Arango Cardona, Luis Javier. 2016. "Importancia de Los Costos de La Calidad y No Calidad En Las Empresas de Salud Como Herramienta de Gestión Para La Competitividad." *Revista Ean* (67):75–94.
- Beatriz, Ana, Guerra Morffi, Juan Felipe, and Medina Mendieta. n.d. "Evaluación de La Estabilidad y Análisis de La Capacidad Del Proceso de Producción de Una Empresa de Pastas Alimenticias." 206–30.
- Briones Arroyo, A., Juan Manuel Adame Rodríguez, R. Rodríguez Villarreal, M. Elizondo Zertuche, R. Treviño Rangel, and E. Robledo Leal. 2020. "Estandarización Del Protocolo Para Elaborar Tempeh Con Diversos Granos (y Su Adaptación a La Comida Regional Mexicana)." *Investigación y Desarrollo En Ciencia y Tecnología de Alimentos* 5:432–36.
- Chilo Ramos, Deisy Liliana. 2020. "Evaluación de Las Condiciones de Proceso Para La Elaboración de Una Bebida Fermentada de Quinoa (*Chenopodium Quinoa Wild*) Con Inclusión de Bacterias Ácido Lácticas."
- CIE. 1994. "Commission Internationale De L'Éclairage International Commission on Illumination Internationale Beleuchtungskommission." CIE 108-1994.

- De, Diseño, Programación Didáctica, Profesional Control, Microbiológico Y. Sensorial, D. E. L. O. S. Alimentos, De U. T. Control, Trabajo De Fin De Máster, Especialidad D. E. Tecnología Agraria, and Alimentaria Y. Forestal. 2022. "Control Microbiológico y Sensorial de Los Alimentos."
- Dominguez, Carlos Mario Zuluaga. 2011. "Análisis Estadístico Multivariado Como Herramienta Estratégica Para El Control de Procesos de Calidad En La Industria Agroalimentaria." *Publicaciones e Investigación* 5:143–57.
- Escuela Europea de Excelencia. 2018. "El Coste de La Calidad, ¿qué Significa Realmente?" Retrieved November 3, 2022 (<https://www.escuelaeuropeaexcelencia.com/2018/11/el-coste-de-la-calidad-que-significa-realmente/>).
- Fermín, José Simón, Martha Valdiviezo, Orlandoni Giampaolo, and Barreto Simón. 2009. "Control Estadístico de Procesos Multivariantes En La Industria Alimentaria: Implementación a Través Del Estadístico T^2 -Hotelling." *Agroalimentaria* 15(28):91–105.
- Goldman, Daniel. 2012. "¿Qué Es Un Modelo?" *Innmentor* 1–12.
- Guerrero Zavala, Martha María, and Robbie Fernando Palacios Ormaza. 2022. "Diseño Del Proceso de Fabricación de Infusiones de Frutas Deshidratadas Para Una Microempresa de La Ciudad de Guayaquil."
- Gutierrez. 2013. *Control Estadístico de La Calidad y Seis Sigma*. MCGRAW-HILL INTERAMERICANA-MUA.
- de la Luz González-Reyes, Lisandra, and Maira Moreno-Pino. 2016. "Procedimiento Para Implementación de Un Sistema de Gestión de Costos de Calidad." *Ciencias Holguín* 22(2):1–14.
- Lucana Suca, Nely, and Leslie Shirley Mamani Gutierrez. 2019. "Elaboración, Estandarización y Costeo de La Formulación de Granola En Barra Con Cultivos Andinos."
- Pereira, Carlos Alberto Padrón. 2009. "Sistema de Visión Computarizada y Herramientas de Diseño Gráfico Para La Obtención de Imágenes de Muestras de Alimentos Segmentadas y Promediadas En Coordenadas CIE-L* A* B." *Agronomía Costarricense* 33(2):283–301.
- Rivas-Perez, R., J. Sotomayor-Moriano, C. G. Perez-Zuñiga, and E. M. Calderon-Mendoza.

2016. "Diseño de Un GPC Multivariable Basado En Una PC Industrial Para El Control de Una Unidad de Ósmosis Inversa de Una Industria Farmacéutica." *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 15(1):259–73.

Robert O. Kuehl. 2002. *Diseño de Experimentos*. Vol. 1.

Telles, Leomara Battisti, Juliana Vitória Messias Bittencourt, and Christiano Santos Rocha Pitta. 2017. "Herramientas y Sistema de Costos Aplicados a La Gestión de La Calidad En El Agronegocio." *Interciencia* 42(5):301–6.

Valencia Ramírez, Julián, and Yenny Viviana Reinoso Hernández. 2022. "PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS 6 SIGMA EN LA ESTAPA DE EMPAQUE PARA REDUCIR LA VARIABILIDAD DE PESO EN LA GALLETA SALADA TIPO CRACKER EN LA EMPRESA DE COMESTIBLES INTEGRALES S.A.S."

Vega, Griselda. 2022. "Medición de Color En Alimentos: Estas Son Las Principales Razones Para Su Uso En La Industria Alimentaria." *The Food Tech*. Retrieved November 2, 2022 (<https://thefoodtech.com/tecnologia-de-los-alimentos/medicion-de-color-en-alimentos-para-una-mejor-calidad-consistencia-y-apariencia/>).