

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), marzo-abril 2025,
Volumen 9, Número 2.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2

ESTUDIO ESTADÍSTICO DE REGRESIÓN SOBRE EL SECADO DE BANDEJAS DE ZANAHORIAS (*DAUCUS CAROTA*) EN RODAJAS

**STATISTICAL REGRESSION STUDY ON THE DRYING OF
TRAYS OF SLICED CARROTS (*DAUCUS CAROTA*)**

Homero Alonso Jimenez

Tecnológico Nacional de México Campus Instituto Tecnológico de Zacatepec – México

Victoria Yazmín Atala Campos

Tecnológico Nacional de México Campus Instituto Tecnológico de Zacatepec – México

Melisa Isabel Cervantez Martinez

Tecnológico Nacional de México Campus Instituto Tecnológico de Zacatepec – México

Erik López García

Tecnológico Nacional de México Campus Instituto Tecnológico de Zacatepec – México

Eduardo Sidarta Arriaga Ambriz

Tecnológico Nacional de México Campus Instituto Tecnológico de Zacatepec - México

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2.17104

Estudio estadístico de regresión sobre el secado de bandejas de zanahorias (*Daucus carota*) en rodajas

Homero Alonso Jimenez¹

homero.aj@zacatepec.tecnm.mx

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

Tecnológico Nacional de México
Campus Instituto Tecnológico de Zacatepec
México

Victoria Yazmín Atala Campos

victoria.ac@zacatepec.tecnm.mx

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

Tecnológico Nacional de México
Campus Instituto Tecnológico de Zacatepec
México

Melisa Isabel Cervantez Martínez

L20090484@zacatepec.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0006-0055-7679>

Tecnológico Nacional de México
Campus Instituto Tecnológico de Zacatepec
México

Erik López García

erik.lg@zacatepec.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0003-2667-6474>

Tecnológico Nacional de México
Campus Instituto Tecnológico de Zacatepec
México

Eduardo Sidarta Arriaga Ambriz

eduardo.aa@zacatepec.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0001-4420-1854>

Tecnológico Nacional de México
Campus Instituto Tecnológico de Zacatepec
México

RESUMEN

El proceso de secado es crucial para la conservación y procesamiento de alimentos perecederos como las zanahorias Nantes, conocidas por su alto contenido de agua y susceptibilidad a la descomposición. Este estudio se enfoca en el desarrollo de un modelo de regresión para predecir el comportamiento de la humedad durante el secado de bandejas de zanahorias Nantes, utilizando variables como la temperatura del aire, velocidad del aire, geometría de las bandejas, grosor de las zanahorias y tiempo de secado. La variabilidad en tamaño, contenido de agua y densidad de las zanahorias puede afectar significativamente la velocidad de secado, por lo que es esencial optimizar estas condiciones. Los modelos de regresión proporcionan una herramienta valiosa para analizar y predecir el proceso de secado, permitiendo mejorar la eficiencia y calidad del producto final. Este estudio destaca la importancia de estos modelos para evaluar y comparar diferentes métodos de secado, ofreciendo predicciones precisas y confiables sin necesidad de realizar extensos experimentos físicos.

Palabras clave: secado de alimentos, zanahorias nantes, modelos de regresión, temperatura del aire, humedad

¹ Autor principal

Correspondencia: homero.aj@zacatepec.tecnm.mx

Statistical regression study on the drying of trays of sliced carrots (*daucus carota*)

ABSTRACT

The drying process is crucial for the preservation and processing of perishable foods such as Nantes carrots, known for their high water content and susceptibility to decay. This study focuses on the development of a regression model to predict the behavior of humidity during the drying of trays of Nantes carrots, using variables such as air temperature, air speed, tray geometry, carrot thickness and drying time. Variability in size, water content and density of carrots can significantly affect drying speed, so it is essential to optimize these conditions. Regression models provide a valuable tool to analyze and predict the drying process, allowing the efficiency and quality of the final product to be improved. This study highlights the importance of these models to evaluate and compare different drying methods, offering accurate and reliable predictions without the need to perform extensive physical experiments.

Keywords: food drying, nantes carrots, regression models, air temperatura, humidity

Artículo recibido 05 febrero 2026

Aceptado para publicación: 15 marzo 2025



INTRODUCCIÓN

El secado es una de las técnicas más antiguas y efectivas en la conservación de alimentos, cuyo propósito principal es la eliminación de agua de los productos alimenticios para impedir el crecimiento microbiano y ralentizar las reacciones enzimáticas (Rodiles & Zamora, 2020). En este contexto, la zanahoria (*Daucus carota*), perteneciente a la familia de las Umbelíferas, se destaca por ser una de las hortalizas más cultivadas y consumidas en el mundo debido a su disponibilidad durante todo el año y su alto contenido en caroteno y vitaminas A, B y C (Pérez, et al., 2019). La relevancia de esta técnica para la conservación de zanahorias se debe a su capacidad para prolongar su vida útil, manteniendo sus propiedades nutricionales y organolépticas.

En la investigación del secado de alimentos, los modelos de regresión han demostrado ser herramientas valiosas para optimizar este proceso. Por ejemplo, Ocampo A. (2006) propuso un modelo cinético para el secado de pulpa de mango, utilizando la ecuación de GAB y la ecuación de Fick, demostrando que los resultados experimentales coinciden eficazmente con los obtenidos mediante el modelo propuesto. De manera similar, Vega, A. et al. (n.d.) enfatizaron la importancia del control del proceso en la industria de alimentos deshidratados, utilizando modelos matemáticos para predecir el tiempo de secado y mejorar la calidad del producto final.

Diversos métodos de secado aplicados a las zanahorias, como el secado con aire caliente, han sido investigados para determinar su eficiencia y los efectos sobre la calidad del producto final. Zhang et al. (2006) destacaron que el método de secado elegido influye significativamente en las características físicas y químicas de las zanahorias secas, afectando su textura, color y contenido de nutrientes. Gallardo Arroyo, C. M., et al. (2020) realizaron un estudio sobre la deshidratación de zanahorias y calabazas, calculando los coeficientes de difusión y la energía de activación del proceso, concluyendo que el secado con aire caliente es un método efectivo para la deshidratación de estos vegetales.

Aunque existen investigaciones sobre métodos de secado y el uso de modelos estadísticos básicos, aún se necesita una integración más avanzada de análisis estadísticos para optimizar el proceso de secado de zanahorias rebanadas. Este estudio busca llenar este vacío aplicando modelos de regresión múltiple para evaluar el impacto de diferentes variables en la calidad y eficiencia del secado de zanahorias, contribuyendo así a la mejora continua de esta técnica esencial en la industria alimentaria.

METODOLOGÍA

Se utilizaron los siguientes materiales para el proceso de secado: cuchillo de acero inoxidable, el equipo de secado de bandejas Didacta Italia, un psicrómetro de matraca para determinar las temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo y un anemómetro para determinar la velocidad del aire del proceso.

Para el secado se escogieron zanahorias muy naranjas, poco pálidas, posteriormente se tomaron las zanahorias de manera horizontal y se cortaron en rodajas, cuidando que todas tuvieran el mismo grosor, se pesaron y se tomó nota del peso que fueron 572 g, se acomodaron uniformemente en las bandejas y se inició con el secado a una temperatura de 32°C y una velocidad de aire constante de 4.5 m/s.

Cada 30 minutos se hicieron las mediciones necesarias con el fin de determinar la humedad, para ello se determinó el peso de las zanahorias en el secador solo se leyó en la balanza que viene acoplada y que automáticamente obtiene la cantidad en kg. Con ayuda del psicrómetro se obtuvieron las temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo a la salida del aire y en todas se realizó el siguiente procedimiento, para esto se mojó el paño adherido a uno de los termómetros y se colocó en la entrada de aire (justo detrás del ventilador), el dato que se tomó fue el que señalaron ambos termómetros una vez que se estabilizaron. El siguiente parámetro fue la temperatura dentro del secador, la cual estaba indicada en el panel de control del equipo, conforme pasaba el tiempo incrementaba la temperatura. Para determinar la humedad se recurrió a la fórmula establecida como se describe a continuación:

$$\text{Humedad} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}}$$

El proceso dura aproximadamente 4.5 horas hasta el momento en el que toda la superficie queda seca.

Análisis estadístico

Una vez obtenidos los datos (mostrados en la tabla 1) se procedió al análisis de regresión mediante el uso del software minitab 16®.

Para la obtención del modelo de predicción de la humedad se probaron tres tipos de modelo (lineal, cuadrático y cúbico).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se muestran los valores obtenidos para el cálculo de la humedad absoluta respecto al tiempo, parámetros que fueron utilizados para la obtención de la curva de secado como se muestra en la figura 1.

En la figura 1 se pueden observar los periodos de secado. El periodo de calentamiento se dio en la primera hora del proceso, pues fue en donde la zanahoria perdió más agua; el periodo de velocidad constante se observó entre 0-90 min, mientras que el periodo de velocidad decreciente se dio entre los 60 y 120 minutos, por lo tanto, el secado terminó en ese tiempo.

Análisis estadístico

Para la obtención del modelo de predicción de la humedad se probaron tres tipos de modelo (lineal, cuadrático y cúbico)

El modelo lineal (Figura 2) presentó un ajuste del 94.4% lo cual se considera aceptable.

Continuando con el modelo cuadrático (Figura 3) arrojó un coeficiente de correlación de 99.9% como se muestra en la figura 3.

Sin embargo, al obtener el modelo cúbico (Figura 4) demostró un coeficiente del 100%, que, en comparación con los modelos anteriores, éste representa un mejor ajuste.

Posteriormente para la validación del modelo de regresión se realizaron las pruebas de normalidad de Anderson-Darling, estabilidad e independencia para los tres modelos mencionados anteriormente.

En el modelo lineal la prueba de normalidad el valor P es de 0.402 como lo muestra en la figura 5.

Así mismo la prueba de estabilidad nos muestra un comportamiento parabólico (Figura 6).

La tercer prueba para el modelo lineal es la independencia donde se presentó un comportamiento específico (Figura 7).

En la figura 8 se muestra la prueba de normalidad realizada al modelo cuadrático, donde $P=0.329 > 0.05$ Además, la segunda prueba para este modelo cuadrático demostró un comportamiento controlado en comparación con la prueba de estabilidad del modelo lineal. (Figura 9)

A su vez, la prueba de independencia para el segundo modelo indicó una mayor dispersión entre sus datos como se muestra en la figura 10.

Finalmente se realizaron las mismas pruebas al modelo cúbico que, recordando tenía un ajuste de 100%, por lo que la prueba de normalidad es aprobada con un valor $P=0.666$ como se observa en la figura 11.

Ahora con la prueba de estabilidad para el tercer modelo se percibió un comportamiento más ajustado y centralizado a diferencia de los dos modelos anteriores (Figura 12).

Por último, en la prueba de independencia no se muestra ningún patrón o tendencia específica lo cual es positivo para este modelo.

Análisis de varianza (ANOVA)

Se procedió a realizar el análisis de varianza (ANOVA) mediante el software minitab 16® como se muestra en tabla 2, con la cual podemos observar que los 3 tipos de modelo son significativos para el análisis y predicción.

Por lo tanto, de acuerdo a las pruebas realizadas para la validación del modelo se concluye que el que mejor se ajusta para la predicción de la humedad con un factor de 100% es el modelo cúbico, donde:

$$y = 8.516 - 0.05080 \text{ TIEMPO}(\text{min}) + 0.000134 \text{ TIEMPO}(\text{min}) ** 2 - 0.000000 \text{ TIEMPO}(\text{min})$$

*** 3

Ilustraciones, Tablas, Figuras

Tabla 1 Resultados del proceso de secado de la zanahoria nantes

TIEMPO (min)	PESO (kg)	ENTRADA		SALIDA		T secador	HUMEDAD ABSOLUTA
		Tbs	Tbh	Tbs	Tbh		
0	0.572	25	21	27	22	32	8.50874167
30	0.488	28	19	28	26	35	7.11235303
60	0.418	25	16	28	17	36	5.94869584
90	0.354	25.9	16	27.5	17	36	4.88478068
120	0.306	26	15	29	17	36	4.08684432
150	0.266	23.9	17	28.7	18	37	3.42189735
180	0.232	25	18	26	18	38	2.85669243
210	0.202	29	16	32	18	39	2.3579822
240	0.18	28	16	26	18	40	1.99226136
270	0.158	28.5	18	32	18.2	41	1.62654053

Figura 1. Curva de secado de zanahorias. Tiempo vs. Humedad

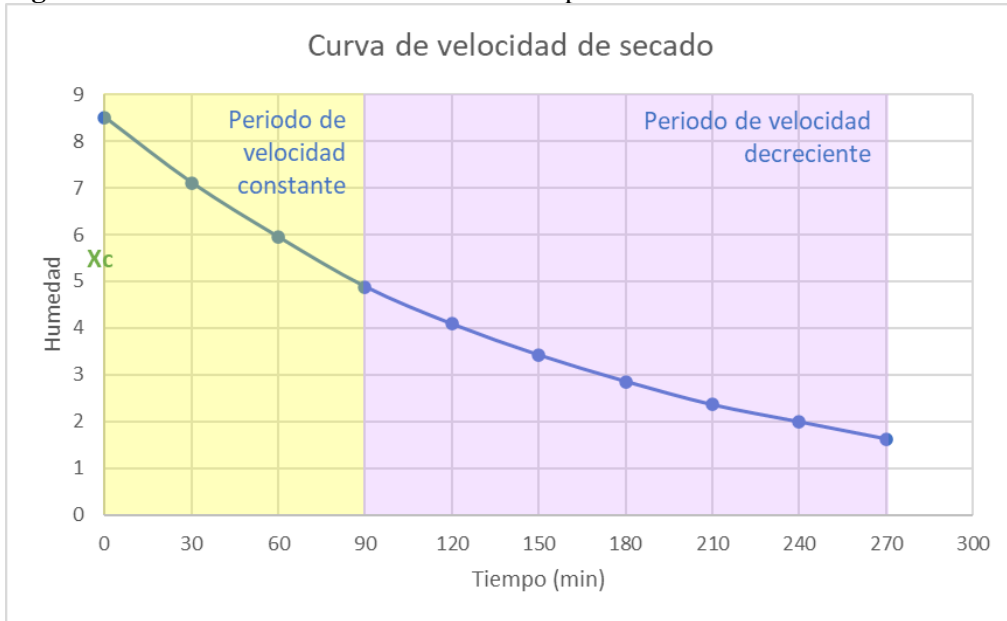


Figura 2. Gráfico del modelo lineal

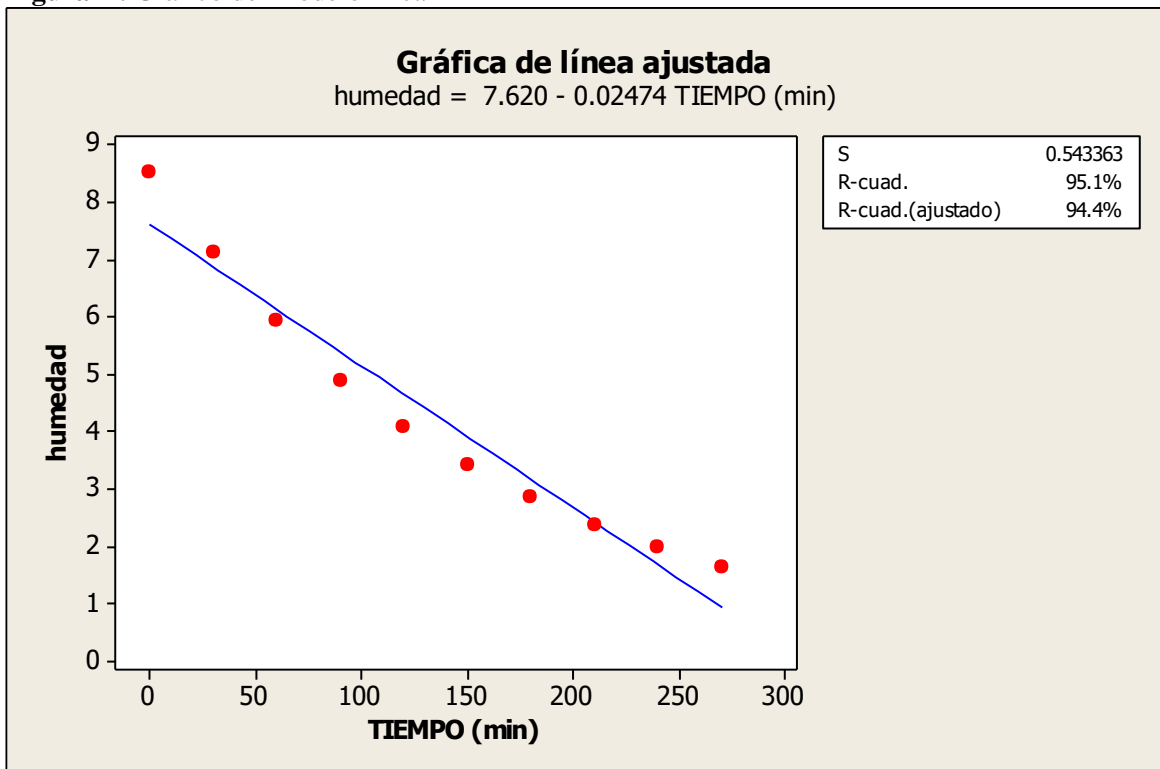


Figura 3 Gráfico del modelo cuadrático

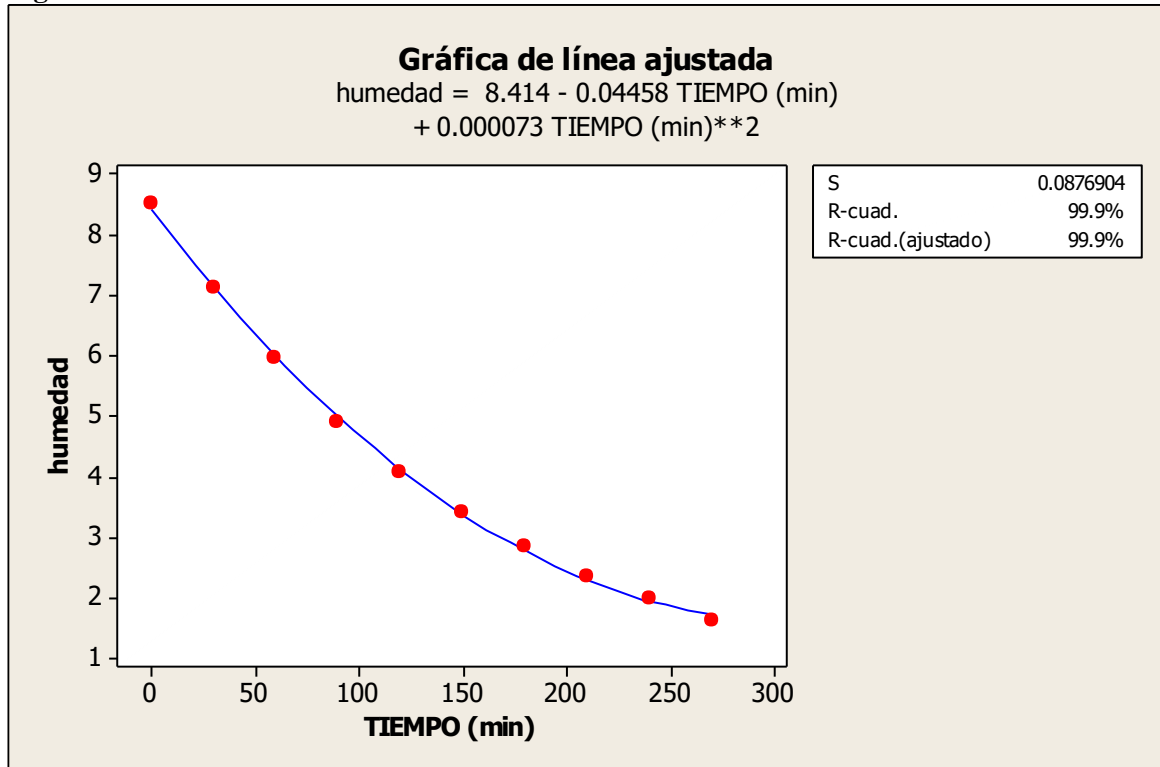


Figura 4 Gráfico del modelo cúbico

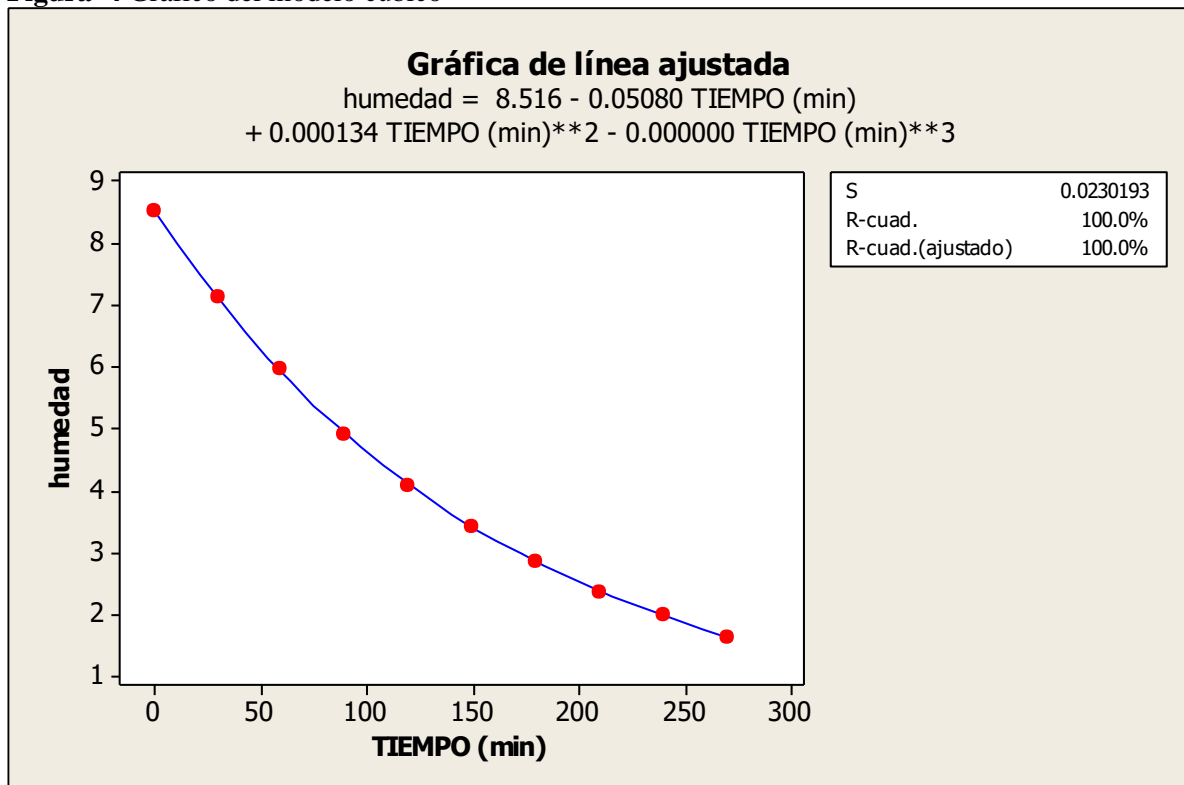


Figura 5 Prueba de normalidad a los residuos del modelo lineal

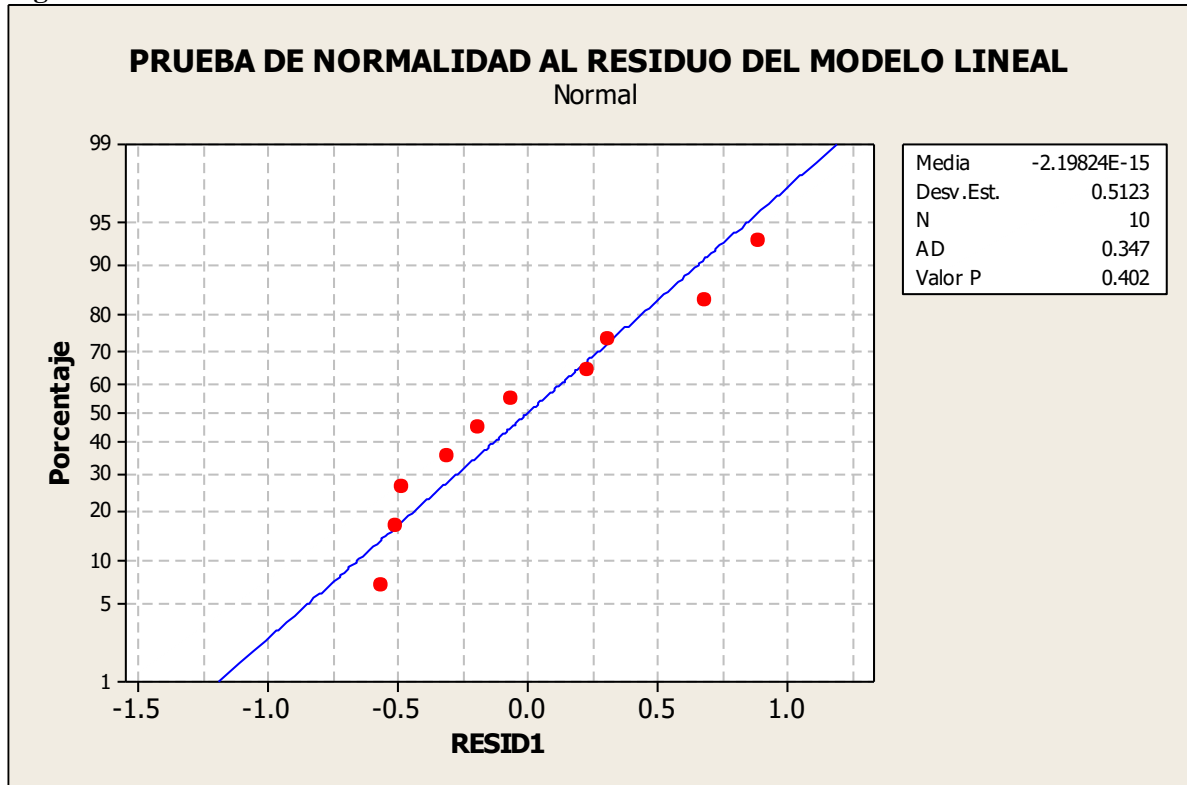


Figura 6 Prueba de estabilidad del modelo lineal

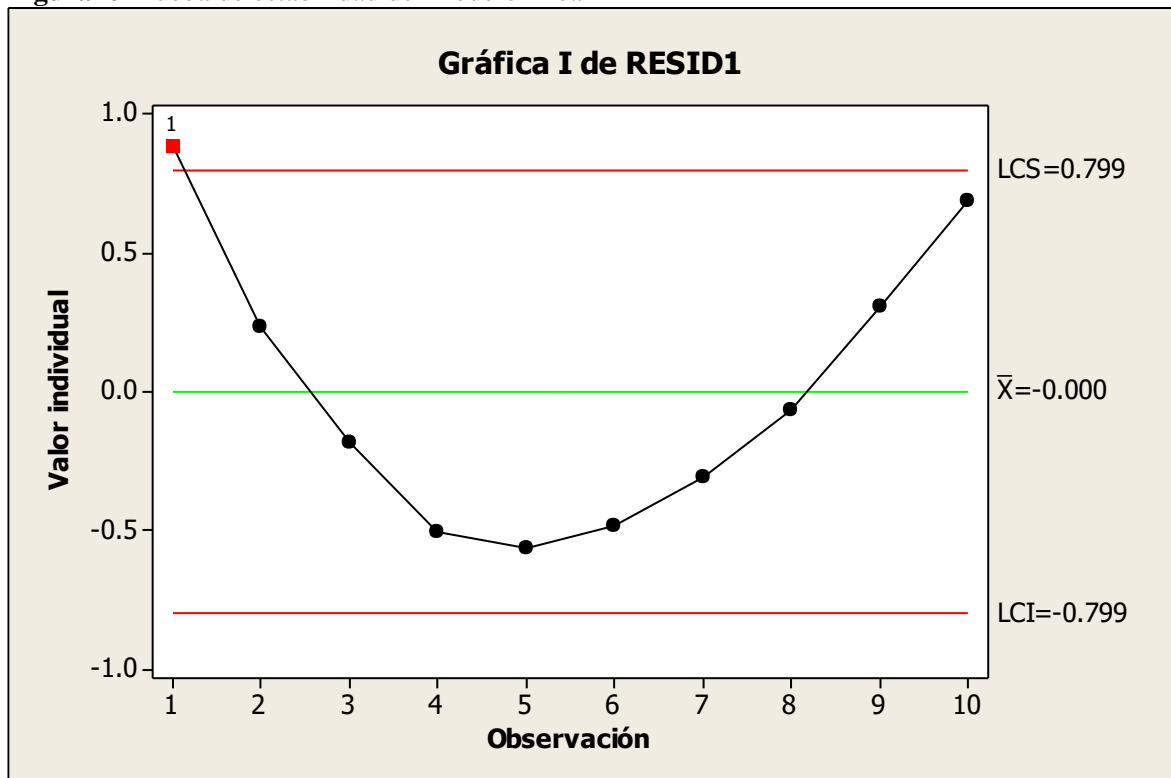


Figura 7 Prueba de independencia para el modelo lineal

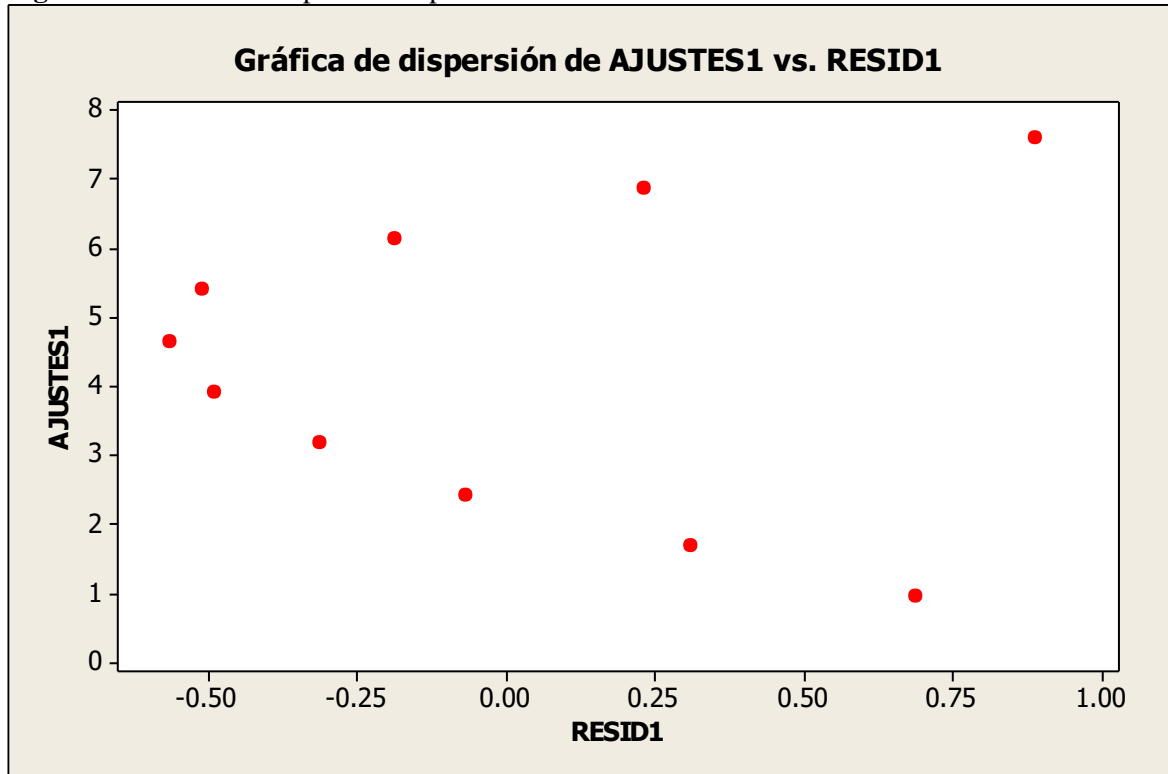


Figura 8 Prueba de normalidad al residuo del modelo cuadrático

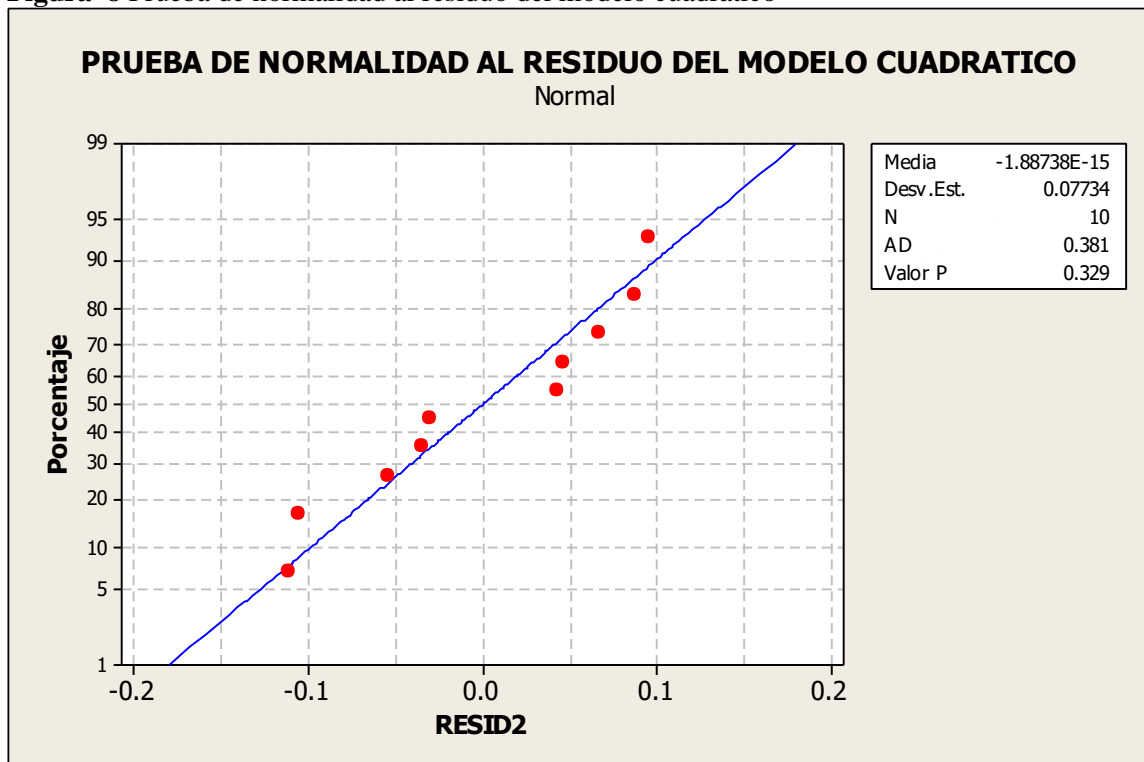


Figura 9 Prueba de estabilidad del modelo cuadrático

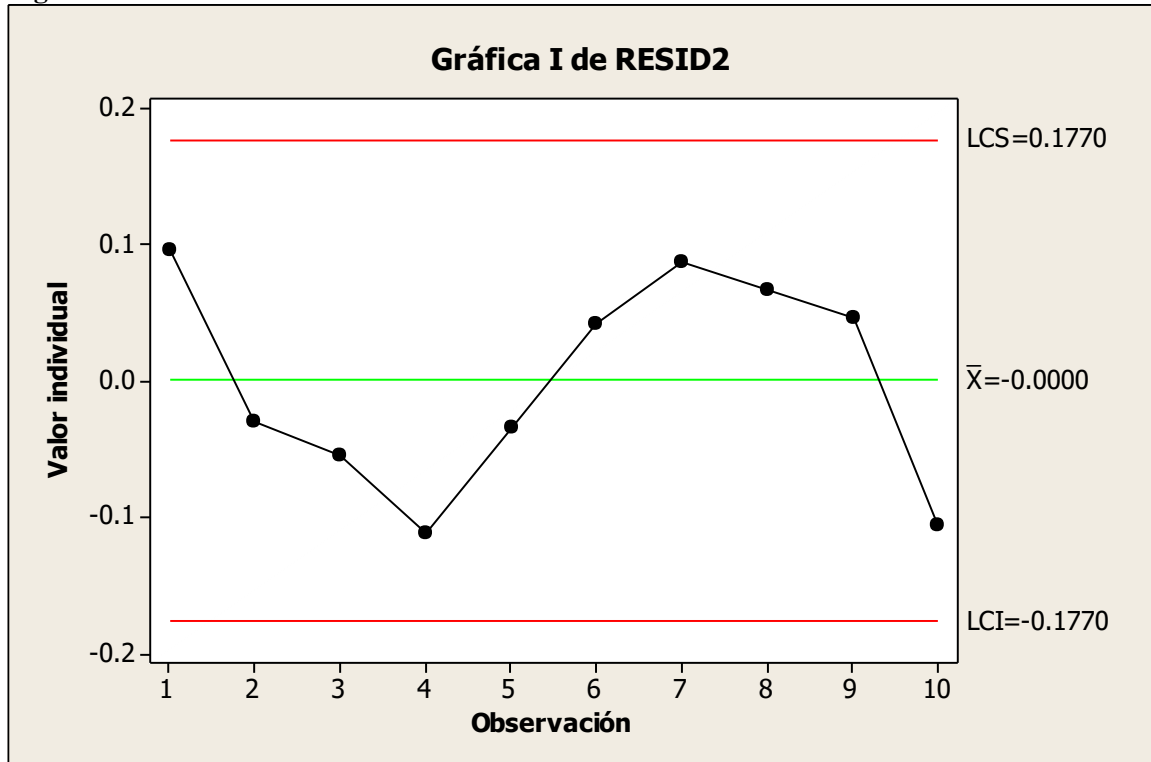


Figura 10 Prueba de independencia del modelo cuadrático

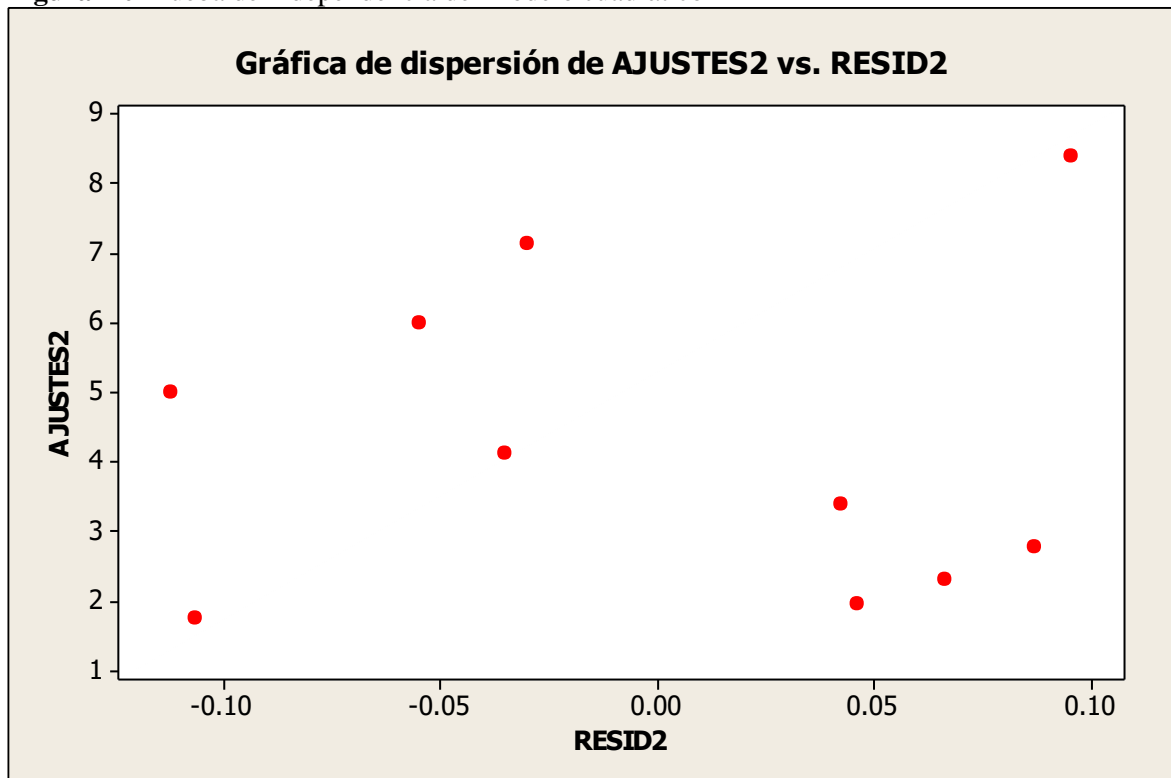


Figura 11 Prueba de normalidad del modelo cúbico

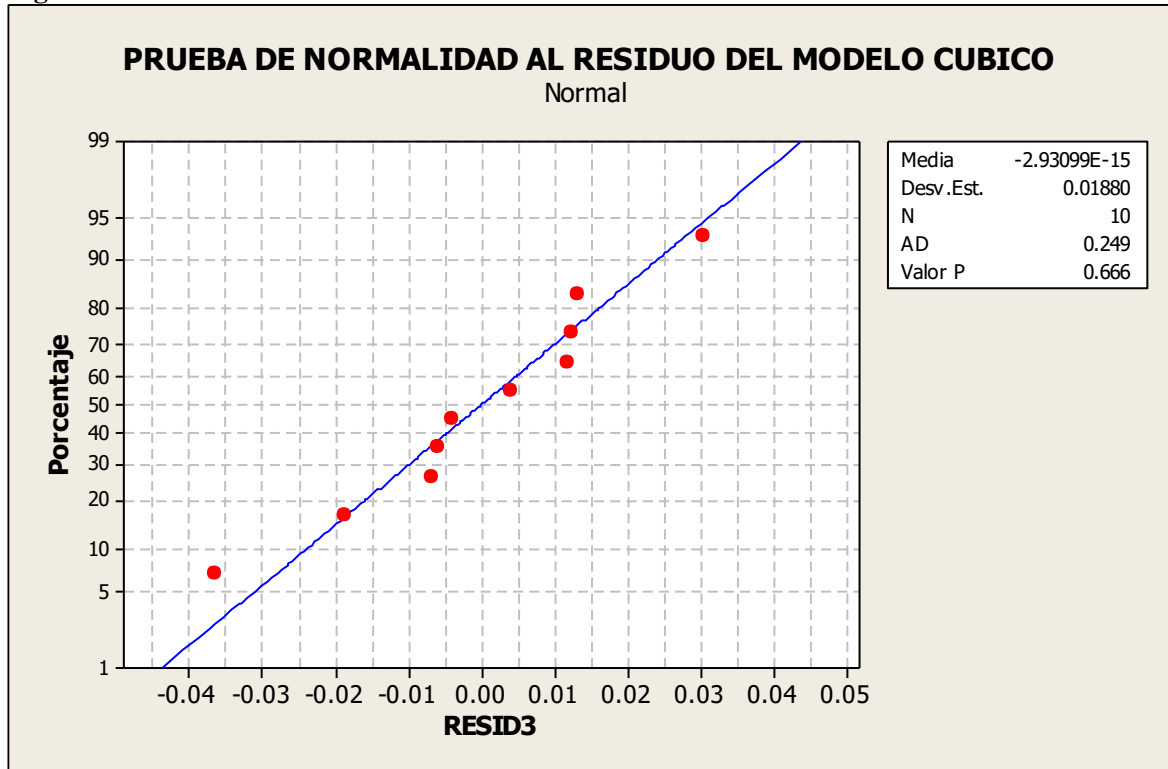


Figura 12 Prueba de estabilidad del modelo cúbico

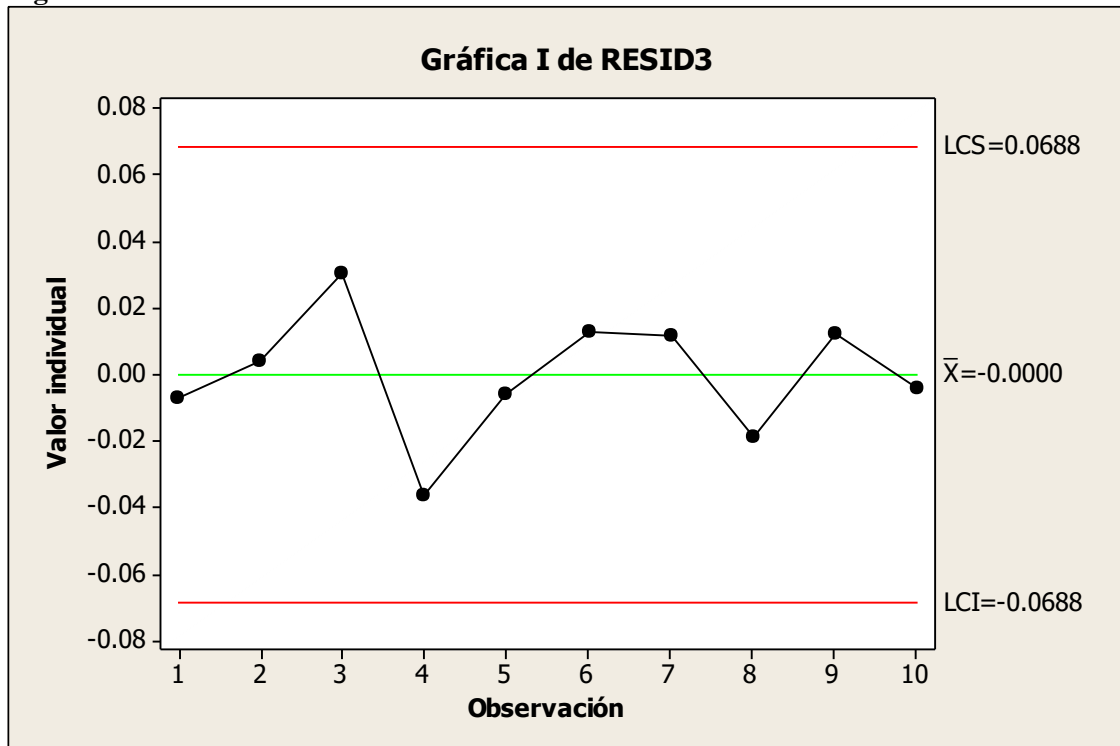


Figura 13 Prueba de independencia del modelo cúbico

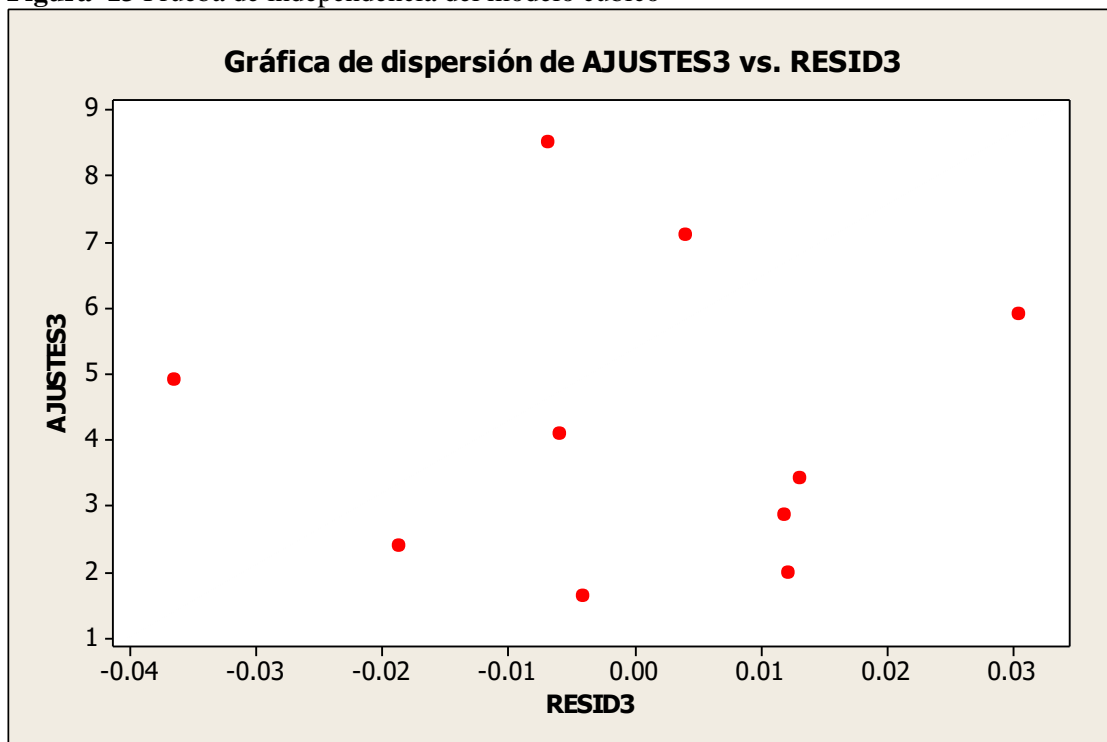


Tabla 2 Análisis ANOVA

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Lineal	1	45.461	45.461	153.98	0.000
Cuadrático	2	47.7692	23.8846	3106.08	0.000
Cúbico	3	47.8198	15.9399	30081.61	0.000

CONCLUSIONES

Es posible realizar un estudio estadístico satisfactorio enfocado en el proceso de secado de bandejas de Zanahorias (*Daucus carota*) en rodajas aplicando análisis de regresión unifactorial con orden lineal, cuadrático y cúbico.

La utilización del software Minitab V.16 permitió la obtención de diferentes modelos matemáticos los cuales predicen la humedad de las zanahorias, variable clave en el proceso de secado de bndejas.

Los diferentes modelos matemáticos fueron validados estadísticamente mediante las pruebas de normalidad, estabilidad e independencia en la variable “residuos” arrojados por cada modelo matemático.

El modelo matemático con mejor ajuste y menor error residual y por tanto el que mejor predicción de humedad determina fue el modelo cúbico:

$$y = 8.516 - 0.05080 \text{ TIEMPO}(\text{min}) + 0.000134 \text{ TIEMPO}(\text{min}) ** 2 \\ - 0.000000 \text{ TIEMPO}(\text{min}) *** 3$$

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Carreira, M. (2021, September 2). Zanahoria: ¿Cuáles son sus propiedades y beneficios? -canalSALUD.

Blog Salud MAPFRE. Retrieved June 10, 2024, from <https://www.salud.mapfre.es/nutricion/alimentos/zanahoria-beneficios-salud/>

Crear modelo de regresión. (2023). Crear modelo de regresión—ArcGIS Insights | Documentación.

Retrieved June 11, 2024, from <https://doc.arcgis.com/es/insights/latest/analyze/create-regression-model.htm>

De los Santos García, F. M. I., & Suárez Rodríguez, C. d. P. (2023). Aprendizaje de las ciencias: Secado

de alimentos como proyecto STEM. CULCYT. Cultura Científica y Tecnológica, 20(3), E49-59. 10.20983/culcyt.2023.3.2e.5

Ebru Kavak, A. (2006). Determination of suitable thin layer drying curve model for some vegetables

and fruits. Journal of Food Engineering, 73(1), 75-84. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.01.007>

Ertekin, C., & Yaldiz, O. (2004). Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model.

Journal of Food Engineering, 63(3), 349-359. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2003.08.007>

Fito Maupoey, P. Andrés Grau, A. M. & Barat Baviera, J. M. (2020). Introducción al secado de alimentos

por aire caliente: (ed.). Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia. <https://elibro.net/es/ereader/itzacatepec/129677?>

Gallardo Arroyo, C. M., Gómez Salazar, J. A., & Sosa Morales, M. E. (2020). Cinética de deshidratación

de rebanadas de zanahoria (*Daucus carota*) y calabaza (*Curcubita pepo*) con aire caliente. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos, 5, 180-183.

<http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume5/5/3/36.pdf>



- Gan Acosta, A., & Sandoval Carrero, N. S. (2003). DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DEL PROCESO DE SECADO DE PASTAS ALIMENTICIAS. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 2(2), 80-84.
https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portaIG/home_40/recursos/01_general/revista_2/09102011/v02_11.pdf
- Kudra, T., y Mujumdar, A. (2009). *Advanced drying technologies* (2a ed.). CR Press.
- Modelos estadísticos. (2021, AGOSTO 17). IBM. Retrieved June 11, 2024, from <https://www.ibm.com/docs/es/spss-modeler/saas?topic=nodes-statistical-models>
- Moral Peláez, I. (2006, December 3). Modelos de regresión: lineal simple y regresión logística. *REVISTA SEDEN*. Retrieved June 11, 2024, from <https://revistaseden.org/files/14-CAP%2014.pdf>
- Ortega-Quintana, F. A., Pérez-Sierra, O. A., Tarrá-Lozano, L. L., & López-Acosta, E. A. (2017, DICIEMBRE). Modelado Matemático de la Transferencia de Calor del Proceso de Escaldado de Zanahoria (*Daucus carota* L.). *SciELO Chile*. Retrieved June 11, 2024, from https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642017000600002&lng=en&nrm=iso&tlng=en
- Pabón Beltrán, J. A., Ayala Padilla, L. E., & Correa-Mahecha, F. (2019, Junio 24). UN ACERCAMIENTO A LOS DIFERENTES EQUIPOS DE SECADO INDUSTRIAL. INTRODUCCIÓN AL SECADO DE ALIMENTOS POR AIRE CALIENTE. Retrieved June 10, 2024, from https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/e8b523c5-4970-4ae6-b2a3-86f576e81359/TOC_4092_02_01.pdf?guest=true
- Pangavhane, D. R., Sawhney, R. L., & Sarsavadi, P. N. (1999). Effect of various dipping pretreatment on drying kinetics of Thompson seedless grapes. *Journal of Food Engineering*, 39(2), 211-216.
[https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(98\)00168-X](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(98)00168-X)
- Par Gramajo, M. G. (2019). “Aplicación de los métodos de conservación de alimentos”, *Revista Ingeniería y Ciencia*, vol. 1, n.º 15.



- Pérez Lozano, L., Carrera Arellano, E. U., García González, J. M., & Carranza Téllez, J. (2019). Deshidratado de zanahoria (*Daucus carota*) empleando secado solar. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos, 4. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume4/4/3/56.pdf>
- Rodiles López, J. O., & Zamora Vega, R. (2020, September 9). Secado en la industria de alimentos | No. 143 | 2020. TecnoAgro. Retrieved June 16, 2024, from <https://tecnoagro.com.mx/no.-143/secado-en-la-industria-de-alimentos>
- Torres, M. D., Kraan, S., & Dominguez, H. (Eds.). (2020). Sustainable Seaweed Technologies: Cultivation, Biorefinery, and Applications. Elsevier Science.
- Umaña Cerros, E. (2012, Febrero 20). Conservación de alimentos por frío. FUSADES https://fusades.org/publicaciones/conservacion_alimentos_frio.pdf
- Vega, A., Chacana, M., & Lemus, R. (n.d.). LA INDUSTRIA DE LOS ALIMENTOS DESHIDRATADOS Y LA IMPORTANCIA DEL CONTROL DEL PROCESO. <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/61977919/Indualimentos20200203-85582-sr7gov.pdf?1580748170=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DIndualimentos.pdf&Expires=1718132393&Signature=WZ43vDJO9xklKQNs-0DBWsQsbliw2zKeJ9K4MO2gtq98SumOs0QdUy1IjqyT>
- Vilaplana Batalla, M. (2004, Febrero). Verduras y hortalizas. Elsevier, 23(2), 130. <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-verduras-hortalizas-13057699#:~:text=El%20agua%20es%20el%20componente,el%20betacaroteno%20o%20provitamina%20A>
- Zhang, M., Zhang, J., Mujumdar, A. S., & Wang, S. (2006). Tendencias en el secado de frutas y verduras relacionado con el microondas. Tendencias en ciencia y tecnología de los alimentos, 17(10), 524-534. ISSN 0924-2244

