



Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), Noviembre-Diciembre 2025,
Volumen 9, Número 6.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i6

APLICACIÓN DE UN DISEÑO DE EXPERIMENTOS FACTORIAL, COMO ANÁLISIS DE LA VISCOSIDAD EN UN ALMIDÓN A BASE DE MAIZ

**APPLICATION OF A FACTORIAL EXPERIMENTAL
DESIGN, SUCH AS VISCOSITY ANALYSIS IN A
CORN-BASED STARCH**

Alejandro Rojas Ayala
Tecnológico Nacional de México

Roberto Carlos Cárdenas Valdez
Tecnológico Nacional de México

Abel Flores Moreno
Tecnológico Nacional de México

Nicolas Domínguez Reyes
Tecnológico Nacional de México

Juan Francisco Salgado Delgado
Tecnológico Nacional de México

Ricardo Rodríguez Robledo
Tecnológico Nacional de México

Luis Alberto Arau Roffiel
Tecnológico Nacional de México

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i6.21978

Aplicación de un Diseño de Experimentos Factorial, como Análisis de la Viscosidad en un Almidón a base de Maiz

Alejandro Rojas Ayala¹alejandro.ra@zacatepec.tecnm.mx<https://orcid.org/0000-0003-0403-6169>

Tecnológico Nacional de México

IT de Zacatepec

Zacatepec Morelos, C.P. 62780

México

Roberto Carlos Cárdenas Valdezroberto.cv@zacatepec.tecnm.mx<https://orcid.org/0000-0003-1813-0092>

Tecnológico Nacional de México

IT de Zacatepec

Zacatepec Morelos, C.P. 62780

México

Abel Flores Morenoabel.fm@zacatepec.tecnm.mx<https://orcid.org/0009-0008-3833-167X>

Tecnológico Nacional de México

IT de Zacatepec

Zacatepec Morelos, C.P. 62780

México

Nicolas Domínguez Reyesnicolas.dr@zacatepec.tecnm.mx<https://orcid.org/0009-0004-7282-0988>

Tecnológico Nacional de México

IT de Zacatepec

Zacatepec Morelos, C.P. 62780

México

Juan Francisco Salgado Delgadojuan.sd@zacatepec.tecnm.mx<https://orcid.org/0000-0003-3396-8790>

Tecnológico Nacional de México

IT de Zacatepec

Zacatepec Morelos, C.P. 62780

México

Ricardo Rodríguez Robledor.rr@zacatepec.tecnm.mx<https://orcid.org/0009-0004-7976-6187>

Tecnológico Nacional de México

IT de Zacatepec

Zacatepec Morelos, C.P. 62780

México

Luis Alberto Arau RoffielLuis.ar@zacatepec.tecnm.mx<https://orcid.org/0000-0002-7795-8052>

Tecnológico Nacional de México

IT de Zacatepec

Zacatepec Morelos, C.P. 62780

México

¹ Autor principalCorrespondencia: alejandro.ra@zacatepec.tecnm.mx

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó el análisis de lo que son los Diseños de Experimentos (DOE) en específico un DOE Factorial con 3 factores, con relación a la Viscosidad de un Almidón a base de Maíz. Se sometió el Almidón a tres diferentes pruebas (Factores), las cuales son: Temperatura (A), Concentración (B) y Tiempo (C), y de esta forma obteniendo los valores que nos den la actividad de que el diseño aplicado es el idóneo y considerando que los valores registrados influyen en la variable de interés de estudio. Se utilizaron del factor Temperatura 3 niveles, así como, diferentes Concentraciones (2 niveles) a diversos Tiempos (2 niveles), para observar que efecto significativo se tiene sobre la viscosidad del almidón a base de maíz. Con ello, se usó un modelo estadístico que nos permitió desarrollar un mejor DOE Factorial de 3 factores con una sola réplica, la cual se obtuvo al realizar la fase experimental con los factores ya mencionados. No omitimos mencionar que se trabajó con un Viscosímetro rotacional de Brookfield, el cual permitió medir la viscosidad a una velocidad constante del fluido. Las consideraciones que se tomaron fueron, la identificación del problema y definición de los objetivos, elección de los factores y los niveles a tratar, además, de la selección de la variable de respuesta, elección del diseño experimental, ejecución de la parte experimental, análisis estadístico de los datos, así como, mejoras y control del proceso, toma de decisiones y conclusión. Por lo que los DOE son una herramienta tan concurrida en el ámbito educativo e industrial que permite al investigador ser más eficiente y productivo en la toma de decisiones.

Palabras clave: diseño de experimentos, viscosidad, temperatura, concentraciones



Application of a Factorial Experimental Design, such as Viscosity Analysis in a Corn-Based Starch

ABSTRACT

In this work, an analysis of Designs of Experiments (DOE) was conducted, specifically a factorial DOE with three factors, in relation to the viscosity of a corn-based starch. The starch was subjected to three different tests (factors): temperature (A), concentration (B), and time (C). This allowed us to obtain values that confirmed the suitability of the applied design and considered the influence of the variable of interest. Three levels of temperature were used, as well as different concentrations (two levels) at various times (two levels), to observe the significant effect on the viscosity of the corn-based starch. A statistical model was then used to develop a more refined factorial DOE with three factors and a single replicate, which was obtained by conducting the experimental phase with the aforementioned factors. We should mention that we worked with a Brookfield rotational viscometer, which allowed us to measure the viscosity at a constant fluid speed. The considerations taken into account were problem identification and objective definition, selection of factors and levels to be addressed, selection of the response variable, choice of experimental design, execution of the experimental phase, statistical analysis of the data, process improvements and control, decision-making, and conclusion. Therefore, Design of Experiments (DOE) is such a widely used tool in the educational and industrial fields that it allows researchers to be more efficient and productive in their decision-making.

Keywords: design of experiments, viscosity, temperature, concentrations

*Artículo recibido 30 noviembre 2025
Aceptado para publicación: 30 diciembre 2025*



INTRODUCCIÓN

El diseño de experimentos desde hace muchos años ha sido una herramienta fundamental con el cual podemos aplicar métodos científicos para generar una serie de conocimientos acerca de un proceso o un sistema. Para esto, es necesario conocer nuestros Factores, Tratamientos y Variables a utilizar, así como, las posibles variantes que podemos tener con ellos, con el fin, de determinar un conjunto de pruebas experimentales estadísticas que nos ayuden a resolver diversas problemáticas, con la mayor facilidad posible (Garza Villegas, 2017; Valencia et al., 2020).

El DOE permite analizar datos mediante distintos modelos estadísticos, con el cual podemos observar el comportamiento de las Factores, variables dependientes e independientes, estableciendo la importancia de cada una de ellas dentro de un proceso óptimo con el menor error posible, con el fin de incrementar la producción de servicios y bienes (García & Napolitano, 2010; Gutiérrez Pulido & De La Vara Salazar, 2008).

Algunos investigadores utilizan la estadística como instrumento de medición para la parte experimental que hacen. Los parámetros que se obtienen deben ser óptimos para poder mejorar el proceso y con ello tener la certeza de que los valores obtenidos funcionan adecuadamente, dando como resultado un análisis adecuado de dichos datos. Es evidente que el diseño de experimentos juega un papel muy importante como estrategia para análisis de diversos procesos, ya que nos da la pauta de tener conclusiones estadísticas objetivas y sobre todo comprobar las hipótesis planteadas (Montgomery, 2004; Paz Orozco et al., 2025).

Tomaremos en cuenta, en primera instancia que el almidón es el principal componente del grano de maíz (*Zea mays* L.), haciendo con ello que influya en su funcionalidad de diversas maneras en el uso de la industria alimentaria. Las propiedades específicas del almidón son su textura, volumen, consistencia, humedad y la vida de anaquel de los alimentos. El saber usar el almidón para diferentes procesos, ha sido de interés para la investigación día a día (Castaño et al., 2007; Fernández Bao, 2020). Por otra parte el almidón es una categoría importante de ingredientes alimentarios y funciona como espesante, gelificante, aglutinante, estabilizador, encapsulante y/o emulsionante durante el procesamiento de alimentos y en los productos finales (Ai & Jane, 2014).



Al utilizar el almidón para la preparación de alimentos, el almidón suele hidratar primero, seguido de tratamientos térmicos para gelatinizarlo. Durante el proceso de gelatinización, los gránulos de almidón se hinchan y algunas moléculas (p. ej., amilosa y pequeñas moléculas de amilopectina) se filtran de los gránulos hinchados, y estos cambios contribuyen al desarrollo de la viscosidad (Debet & Gidley, 2006). Este proceso se conoce como empastamiento del almidón, una característica funcional clave que afecta a las aplicaciones del almidón en alimentos. La amilopectina es el componente principal responsable del poder de hinchamiento y el desarrollo de la viscosidad del almidón durante el empastamiento, mientras que la amilosa ha mostrado una correlación inversa con la viscosidad máxima del almidón (Zeng et al., 1997). Cuando la amilosa forma complejos de una sola hélice con lípidos, como en los almidones de trigo y cebada (principalmente fosfolípidos), el almidón de maíz normal (principalmente ácidos grasos libres) y el almidón de arroz normal (principalmente fosfolípidos y algunos ácidos grasos libres), el desarrollo de la viscosidad se ve aún más obstaculizado (Liu et al., 2019).

Por otro parte, los derivados de monoéster de fosfato con carga negativa presentes en el almidón de papas provocan repulsión entre las cadenas de almidón, lo que potencia el hinchamiento de los gránulos de almidón y, por lo tanto, eleva la viscosidad máxima (Shi & Bemiller, 2002). Al enfriar la pasta de almidón, las moléculas de amilosa tienden a reasociarse entre sí y con las moléculas de amilopectina para formar una red sólida, lo que contribuye a una alta viscosidad de retroceso (Jane et al., 1999). Los almidones que contienen más del 50 % de amilosa, como el almidón de maíz con alto contenido de amilosa, presentan una viscosidad insignificante durante el proceso de cocción y enfriamiento en condiciones ambientales debido a las altas temperaturas de gelatinización final (Chen et al., 2017).

La temperatura juega una variable importante dentro de la diferencia de viscosidad en el almidón, ya que al aumentar la temperatura los enlaces de hidrógeno se rompen y la entrada de agua se produce más fácilmente cuando continúa el calentamiento, provocando que se inflen rápidamente de los gránulos de almidón y el consiguiente aumento de la viscosidad de la solución (Lujan et al., 2021; Solarte-Montúfar et al., 2019). El almidón ha ganado importancia en el desarrollo de nuevos productos por el bajo costo y la alta disponibilidad a partir de diferentes fuentes como cereales, tubérculos y leguminosa, además de que su presentación es en partículas discretas, que denominamos gránulos. Estos, suelen ser densos, insolubles y no suelen ser hidratados en agua fría.



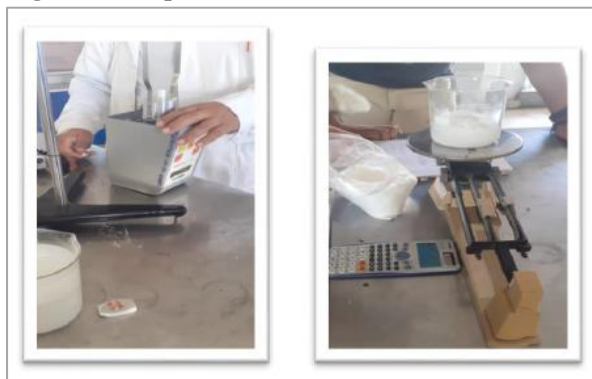
Sin embargo, estos pueden ser dispersados en agua, formando suspensiones de baja viscosidad que son fácilmente mezcladas o bombeadas, incluso a concentraciones arriba del 30% (*Evaluación Del Efecto de La Temperatura y El Tiempo de Calentamiento En La Capacidad Aglutinante de Dos Tipos de Almidones Para La Formulación de Comprimidos Orales . Evaluación Del Efecto de La Temperatura y El Tiempo de Calentamiento En La Capacidad Agl*, 2010).

El propósito de esta investigación es analizar la viscosidad del almidón, con base a las variaciones de los factores considerados y que pueden afectar de manera significativa la variable de repuesta, los cuales son la temperatura, el tiempo y la concentración del almidón a base de maíz. Este análisis nos permitirá conocer las diferentes viscosidades mediante un DOE Factorial de 3 factores y el análisis de varianza (ANOVA) correspondiente, que permita conocer si alguno de los 3 factores o ninguno afectan de manera significativa la viscosidad del almidón como variable de propuesta.

METODOLOGÍA

Para la preparación de la solución se pesan 25 gr de almidón en base seca, disolviendolo en agua destilada y aforando a 500 ml. (figura 1). Para las pruebas se tomaron en cuenta 3 temperaturas, medio ambiente a 28°C, 35°C y 45°C respectivamente. Temperaturas que eran menos a su punto de gelatinización.

Figura 1. Preparación de la solución de almidón a base de maíz con agua destilada.



Para la prueba en donde la temperatura es de 35°C y 45°C, se llevo hasta alcanzar el punto de ebullición con un agitador magnético, aproximadamente durante 5 minutos, para lograr la disolución del almidón en el agua destilada, posteriormente se procedio a enfriar a tempeptuara ambiente alcanzando 35 y 45°C para ambas pruebas, quedando una solución tipo gel.

Se procedió a tomar una submuestra de nuestra solución tipo gel de unos 15 ml. Levandola a un Viscosímetro Brookfield y tomando la lectura de viscosidad a una velocidad de 10 RPM (ver figura 2).

Figura 2. Toma de lectura de la viscosidad de la muestra a 28, 35 y 45°C.



Para nuestra investigación, nos interesa saber el efecto de la viscosidad de nuestro almidón a base de maíz al interactuar con otros factores. Tomamos en cuenta como el factor A a la temperatura, el factor B la concentración y el factor C el tiempo. Así mismo, se seleccionaron 3 niveles de Temperatura (A) A1, A2 y A3, para la Concentración (B) se consideraron 3 niveles B1, B2 y B3, y por ultimo el Tiempo (C) a 2 niveles que se denotaron por C1 y C2. Por lo tanto, se supone que se consideraron que $a = 3$ niveles para el factor A, $b = 3$ niveles para el factor B y $c = 2$ niveles para el factor C, de esta forma tenemos un arreglo de $3 \times 3 \times 2$ de un DOE Factorial. Es pertinente mencionar que se utilizo un modelo estadístico con una sola replica para resolver la parte de nuestra problemática.

El Modelo Estadístico se puede expresar de la siguiente forma:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

$$i = 1, 2, \dots, a; j = 1, 2, \dots, b; k = 1, 2, \dots, c$$

Las Hipótesis se plantean de la siguiente manera:

$$H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_a = 0$$

$$H_1: \alpha_i \neq 0 \text{ para algún } i$$

$$H_0: (\alpha\gamma)_{ik} = 0 \text{ para todo } ik$$

$$H_1: (\alpha\gamma)_{ik} \neq 0 \text{ para algún } ik$$

$$H_0: (\alpha\beta\gamma)_{ijk} = 0 \text{ para todo } ijk$$

$$H_1: (\alpha\beta\gamma)_{ijk} \neq 0 \text{ para algún } ijk$$

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_b = 0$$

$$H_1: \beta_j \neq 0 \text{ para algún } j$$

$$H_0: (\beta\gamma)_{jk} = 0 \text{ para todo } jk$$

$$H_1: (\beta\gamma)_{jk} \neq 0 \text{ para algún } jk$$

$$H_0: \gamma_1 = \gamma_2 = \dots = \gamma_c = 0$$

$$H_1: \gamma_k \neq 0 \text{ para algún } k$$

$$H_0: (\alpha\beta)_{ij} = 0 \text{ para todo } ij$$

$$H_1: (\alpha\beta)_{ij} \neq 0 \text{ para algún } ij$$

Los resultados obtenidos por medio del Método de Mínimos Cuadrados se calculan de las formulas y se representan en la Tabla 1 ANOVA siguiente.

Tabla 1. Tabla ANOVA del análisis de Varianza obtenido.

<i>F.V.</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>F₀</i>
Temperatura A	SC _A	a-1	CM _A = SC _A /(a-1)	CM _A / CM _{R(ABC)}
Concentración B	SC _B	b-1	CM _B = SC _B /(b-1)	CM _B / CM _{R(ABC)}
Tiempo C	SC _C	c-1	CM _C = SC _C /(c-1)	CM _C / CM _{R(ABC)}
Interacción AXB	SC _{AB}	(a-1)(b-1)	CM _{AB} = SC _{AB} /(a-1)(b-1)	CM _{AB} / CM _{R(ABC)}
Interacción AXC	SC _{AC}	(a-1)(c-1)	CM _{AC} = SC _{AC} /(a-1)(c-1)	CM _{AC} / CM _{R(ABC)}
Interacción BXC	SC _{BC}	(b-1)(c-1)	CM _{BC} = SC _{BC} /(b-1)(c-1)	CM _{BC} / CM _{R(ABC)}
Interacción AXBXC	SC _{R(ABC)}	(a-1)(b-1)(c-1)	CM _{R(ABC)} = SC _{R(ABC)} /(a-1)(b-1)(c-1)	
Total	SC _T	[(a)(b)(c)]-1	CM _T = SC _T /[(a)(b)(c)]-1	

Fijado un nivel de significancia α se rechaza H_0 correspondiente mediante la condición de que, si $F_0 > F_\alpha$. Al tratarse de un modelo sin replicación, los contrastes solo se pueden realizar si se supone que la interacción de tercer orden $AxBxC$ es cero. Es decir la hipótesis, $CM_{ABC} = CM_{R(ABC)}$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos del DOE Factorial de 3 factores aplicados en el laboratorio y con el Viscosímetro Brookfield.

Tabla 2. Obtención de datos de la Variable de respuesta en laboratorio

Tiempo						
Temperatura		C1 (1 min)			C2 (3min)	
			Concentración			
	B1 (75g)	B2 (100g)	B3 (120g)	B1 (75g)	B2 (100g)	B3 (120g)
A1(28°C)	2.5	3.5	4	3	4	5
A2(35°C)	7.0	3	3	7.2	5.5	5.5
A3(45°C)	3.5	4.8	7.8	4.5	5.2	8.2

En las siguientes Tabla 3 y Tabla 4 se obtienen los datos de la interacción de los factores A y B, así como tamb A y C:

Tabla 3. Interacción AxB

AXB	B1	B2	B3	Yi.....
A1	5.5	7.5	9	22
A2	14.2	8.5	8.5	31.2
A3	8	10	16	34
Y.j.	27.7	26	33.5	Y....=87.2

Tabla 4. Interacción AxC

AXC	C1	C2
A1	10	12
A2	13	18.2
A3	16.1	17.9
Y..k	39.1	48.1

En la siguiente Tabla 5 se obtienen los datos de la interacción de los factores B y C:

Tabla 5. Interacción BxC

BXC	C1	C2
B1	13	14.7
B2	11.3	14.7
B3	14.8	18.7

En una tabla ANOVA, la Suma de Cuadrados (SC) cuantifica la variabilidad total de los datos y se descompone en la Suma de Cuadrados de los Totales (SC_T) y la Suma de Cuadrados del Error (SC_E). Estas sumas se usan para calcular los Cuadrados Medios (CM) y el Estadístico de Prueba F, que determinan la significancia de las diferencias entre grupos.

$$SC_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^n Y_{ijkl}^2 - \frac{Y_{....}^2}{N} = 474.5 - 422.44 = 52.06$$

$$SC_A = \sum_{i=1}^a \frac{Y_{i...}^2}{bcn} - \frac{Y_{....}^2}{N} = \left(\frac{2613.44}{6} \right) - 422.44 = 13.13$$

$$SC_B = \sum_{j=1}^b \frac{Y_{.j..}^2}{acn} - \frac{Y_{....}^2}{N} = \left(\frac{2565.546}{6} \right) - 422.44 = 5.15$$

$$SC_C = \sum_{k=1}^c \frac{Y_{..k.}^2}{abn} - \frac{Y_{....}^2}{N} = \left(\frac{3842.429}{9} \right) - 422.44 = 4.5$$

$$SC_{AB} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{Y_{ij..}^2}{cn} - \frac{Y_{....}^2}{N} - SC_A - SC_B = \left(\frac{933.64}{2} \right) - 422.44 - 13.13 - 5.15 = 26.1$$

$$SC_{AC} = \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c \frac{Y_{i.k.}^2}{bn} - \frac{Y_{....}^2}{N} - SC_A - SC_C = \left(\frac{1323.86}{3} \right) - 422.44 - 13.13 - 4.5 = 1.22$$

$$SC_{BC} = \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \frac{Y_{jk}^2}{an} - \frac{Y_{...}^2}{N} - SC_B - SC_C = \left(\frac{1297.6}{3} \right) - 422.44 - 5.15 - 4.5 = 0.4433$$

$$SC_{R(ABC)} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c Y_{ijk}^2 - \frac{Y_{...}^2}{N} - SC_A - SC_B - SC_C - SC_{AB} - SC_{AC} - SC_{BC}$$

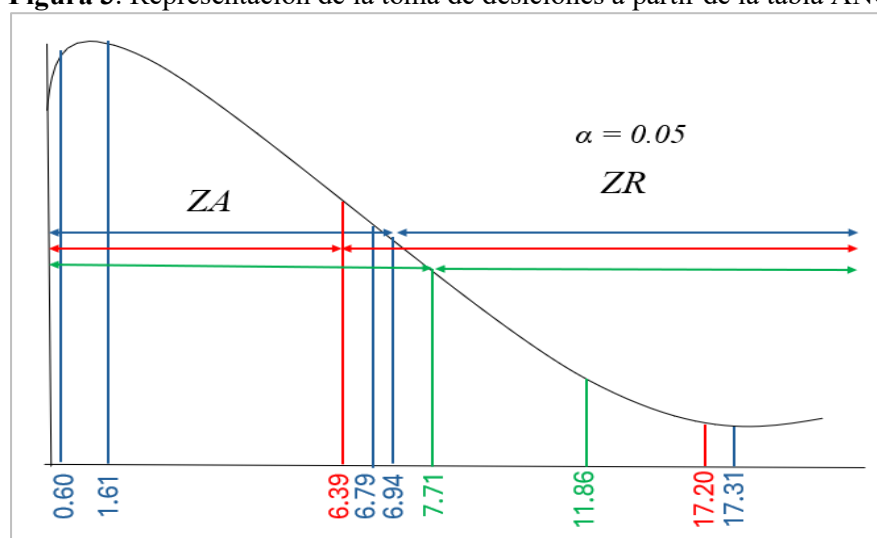
$$SC_{R(ABC)} = 52.06 - 13.13 - 5.15 - 4.5 - 26.1 - 1.22 - 0.4433 = 1.5167$$

Para determinar si las diferencias entre las medias de los grupos son estadísticamente significativas utilizamos la Tabla ANOVA (Boqué & Maroto, 2004; Otero et al., 2005). Además, de que nos ayuda a decidir si se rechaza la hipótesis nula (que todas las medias son iguales) mediante la comparación del Estadístico de Prueba y el Valor Crítico. Así como también, identifica las fuentes de variación, es decir, muestra cómo se distribuye la variabilidad total entre los factores estudiados y el error aleatorio.

Tabla 6. Resultados de la Tabla ANOVA

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Estadístico de Prueba (Fo)	Valor Critico $\alpha = 0.05$
Temperatura A	13.13	2	6.565	17.31	6.94
Concentración B	5.15	2	2.575	6.7906	6.94
Tiempo C	4.5	1	4.5	11.8671	7.71
Interacción AXB	26.1	4	6.525	17.2073	6.39
Interacción AXC	1.22	2	0.61	1.6087	6.94
Interacción BXC	0.4433	2	0.2217	0.6009	6.94
Interacción AXBXC	1.5167	4	0.3792		
SST	52.06	17	3.06		

Figura 3. Representación de la toma de decisiones a partir de la tabla ANOVA.



CONCLUSIONES

Con el Diseño de Experimentos Factorial de 3 factores, permitio determinar los factores que afectan significativamente la viscosidad del almidón de maíz. Se analizaron diferentes factores, como son: la Temperatura, la Concentración y el Tiempo.

Se determino la variabilidad de la respuesta, con el fin de dar a conocer el impacto que causa cada uno de los factores, sus efectos y las interacciones entre sí.

Con un $\alpha=0.05$ se concluye que el factor Concentración, la interacciones AC y BC no tiene un efecto significativo en la viscosidad de un almidón de maíz. Todos los demás factores si afectan de manera significativa o considerable la variabilidad de la viscosidad de la variable de respuesta.

Así mismo el modelo estadístico utilizado nos permitio desarrollar un mejor DOE Factorial de 3 factores con una sola replica, la cual se obtuvo al realizar la fase experimental con los factores ya mencionados. Al usar el Viscosímetro rotacional de Brookfield, nos permitio medir la viscosidad a una velocidad constante del fluido.

Con las consideración tomadas, como la la identificación del problema y definición de los objetivos, elección de los factores y los niveles a tratar, además, de la selección de la variable de respuesta, elección del diseño experimental, ejecución de la parte experimental, análisis estadístico de los datos, así como, mejoras y control del proceso, toma de decisiones y conclusión; nos dieron la pauta para determinar correctamente las variates que afectan o no afectan nuestro análisis Factorial

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Ai, Y., & Jane, J. (2014). *Gelatinization and rheological properties of starch* †.

Boqué, R., & Maroto, A. (2004). El análisis de la varianza (ANOVA) 1. Comparación de múltiples poblaciones. *Téc. Lab*, 294, 680–683.

Castaño, E., Álvarez, R., & Peniche, M. (2007). *Jerónimo* -. 30(3), 269–277.

Chen, X., Du, X., Chen, P., Guo, L., Xu, Y., & Zhou, X. (2017). Morphologies and gelatinization behaviours of high-amylose maize starches during heat treatment. *Carbohydrate Polymers*, 157, 637–642. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.10.024>

Debet, M. R., & Gidley, M. J. (2006). *Three classes of starch granule swelling: Influence of surface proteins and lipids*. 64, 452–465. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.12.011>



Evaluación del efecto de la temperatura y el tiempo de calentamiento en la capacidad aglutinante de dos tipos de almidones para la formulación de comprimidos orales . Evaluación del efecto de la temperatura y el tiempo de calentamiento en la capacidad agl. (2010).

Fernández Bao, S. (2020). Diseño de Experimentos: Diseño Factorial. *Upc*, 73.
https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/339723/TFM_Fernandez_Bao_Sheila.pdf?sequence=1&isAllowed=y

García, V., & Napolitano, H. (2010). Educación en Ciencias Químicas Diseño de Experimentos. *Idrustria&Quimica*, 354, 62–78.
https://www.academia.edu/download/46255110/disenos_fases.pdf

Garza Villegas, J. B. (2017). Aplicación de diseño de experimentos para el análisis de secado de un producto. *Revista Innovaciones de Negocios*, 10(19), 145–158.
<https://doi.org/10.29105/rinn10.19-7>

Gutiérrez Pulido, H., & De La Vara Salazar, R. (2008). Analisis y diseños de experimentos. In *Turkish Journal of Medical Sciences*.
https://drive.google.com/drive/folders/1oik5mjyU9JvAWP_vHfdmcfWDcwQX9BR

Jane, J., Chen, Y. Y., Lee, L. F., Mcpherson, A. E., Wong, K. S., Radosavljevic, M., & Kasemsuwan, T. (1999). *Effects of Amylopectin Branch Chain Length and Amylose Content on the Gelatinization and Pasting Properties of Starch 1*. 3258.

Liu, S., Yuan, T. Z., Wang, X., Reimer, M., Isaak, C., & Ai, Y. (2019). Food Hydrocolloids Behaviors of starches evaluated at high heating temperatures using a new model of Rapid Visco Analyzer – RVA 4800. *Food Hydrocolloids*, 94(November 2018), 217–228.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.03.015>

Lujan, A. I. B., Cabezas, Y. R., Ccaccya, R. A., Quijano, J. C. A., Pardo, F. T., & Carrión, M. L. H. (2021). Efecto de temperatura y almidón de papa nativa sobre la viscosidad y ácido ascórbico del néctar de *Carica pubescens*. *Revista Científica Guacamaya*, 6(1), 1–19.

Montgomery, D. C. (2004). Diseño y análisis de experimentos. 2da. Ed. México DF Limusa Wiley.

Otero, J., Sánchez, A. H., & Moral, E. M. (2005). Análisis de la varianza (ANOVA). *DOCPLAYER*.
Obtenido de <https://Docplayer.es/10487925-Analisis-de-La-Varianza-Anova-Jose-Vicens->



Otero-Ainhua-Herrarte-Sanchez-Eva-Medina-Moral. Html.

- Paz Orozco, H., Paz Ruiz, N. E., & Melendez Bermudez, O. (2025). Diseño factorial de experimentos para determinar los factores significativos en el sobrepeso de una línea de embutidos en una empresa de alimentos. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 24(47), 1–17. <https://doi.org/10.22395/rium.v24n47a5>
- Shi, X., & Bemiller, J. N. (2002). *Effects of food gums on viscosities of starch suspensions during pasting*. 50.
- Solarte-Montúfar, J. G., Díaz-Murangal, A. E., Osorio-Mora, O., & Mejía-España, D. F. (2019). Propiedades reológicas y funcionales del almidón. procedente de tres variedades de papa criolla. *Información Tecnológica*, 30(6), 35–44.
- Valencia, T. E. S., Caballero, L. E. U., Anguiano, A. del C. T., Hernández, H. J. V., & Robles, D. R. (2020). Análisis Estadístico en Aplicación de Soldadura GTAW Usando Diseño de Experimentos Factorial Completo. *Soldagem & Inspeção*, 25, 1–10. <https://doi.org/10.1590/0104-9224/si25.16>
- Zeng, M., Morris, C. F., Batey, I. A. N. L., & Wrigley, C. W. (1997). *Sources of Variation for Starch Gelatinization , Pasting , and Gelation Properties in Wheat*. 74(1), 63–71.

