

## **Diseño de experimentos aplicados a proyectos de estadías en UTSOE**

Miriam Pérez, Jesús Espinoza, Verónica Morales, María López

M. Pérez, J. Espinoza, V. Morales y M. López  
Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato, Carretera Valle de Santiago-Huamimaro Kilómetro 1.2, 20 de  
Noviembre, 38400 Valle de Santiago, Guanajuato  
Cuerpo Académico Manejo Poscosecha  
meperez@utsoe.edu.mx,

M. Ramos., V. Aguilera., (eds.). Ciencias Naturales y Exactas, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato,  
2014.

## Abstract

This paper includes four of more projects, named cases, in which the Design of experiments was used. Although is not accepted the weight of this issues within thematic content for the Food Process program, clearly its potential as a support tool in order to give knowledge both into the Institution, and out when the student has to confront real problems en fabrics and business. Each of the cases was chosen in order to show many scenarios, more than one way to analyze data, as well to confirm the design of experiments importance in the food area. No further rule out the possibility of being used to analyze data generated in other educational projects, intrinsic goal that is left to the reader's consideration.

## 27 Introducción

El Diseño experimental tiene sus orígenes en los trabajos de Fisher y Yates encaminados a la optimización de los procesos agrícolas a inicios del siglo XX. Desde esta época se vio que era insuficiente conocer el promedio de un conjunto de datos, pues el control de un proceso se llevaba a cabo de una mejor manera si era baja la “variabilidad” ; sin embargo hoy en día se han encontrado las bondades del uso del diseño experimental en casi todas las áreas del conocimiento, para la mejora y estandarización de los procesos; pues la forma más adecuada de hacerlo, no sólo es alcanzando el “tarjet”, sino disminuyendo al mínimo la diferencia entre los datos obtenidos (Díaz, 2009).

Actualmente, la mayoría de los autores reconocen a Genichi Taguchi como el gurú que, “con su diseño robusto”, adaptó el concepto original a las nuevas necesidades y ofreció factoriales fraccionados, entre otros, que optimizaron el uso de recursos gracias a la disminución del número de experimentos, sin sacrificar la precisión del resultado (Wu & Wu, 1997). Dentro del programa educativo de Procesos Alimentarios, el tema de Diseño Experimental, se puede abordar en forma voluntaria en la última unidad de la asignatura de Calidad y no es sino hasta la continuación de estudios, en Ingeniería, que se incluye una materia de 4 horas por semana para involucrarse exclusivamente en los diseños experimentales.

Por necesidad del programa educativo fue necesario abordarlo como tema extra desde el segundo cuatrimestre del nivel de Técnico Superior Universitario (TSU), debido a que era necesario planear los experimentos y posteriormente realizar el análisis objetivo de resultados de las pruebas realizadas, tanto en los proyectos cuatrimestrales, como en los de estadía.

En cuanto a los reportes de estadía a nivel de Ingeniería en Procesos Alimentarios, es mucho mayor la necesidad de generar y analizar los datos resultantes de su investigación; aproximadamente el 80% de los proyectos deben validarse estadísticamente con cualquiera de las siguientes herramientas: Gráficos de control de proceso, comparación de dos o más poblaciones, pruebas de hipótesis, cálculo de intervalos de confianza y principalmente, análisis de varianza. En el presente trabajo se muestran algunos de los casos en los que se usó un Diseño experimental como herramienta de mejora durante las estadías, tanto del nivel TSU, como de Ingeniería y la conclusión a la que se llegó después de realizar un análisis de varianza o ANOVA (por sus siglas en inglés).

### 27.1 Materiales y métodos

El uso del diseño experimental tiene las fases descritas en la Figura 1 para su aplicación. Para cada caso los materiales para la elaboración de cada producto fueron distintos; sin embargo en cada caso se señala el soft ware usado para el análisis de los datos, mismo que se indica en la tabla por caso.

**Figura 27** Fases del Diseño Experimental

Para poder elegirlos es necesario conocer el proceso u observarlo para hacer una buena selección de factores. Este paso debe estar a cargo de un experto, o asesorarse de uno de ellos. Los factores son aquellos que durante el experimento pueden ser controlados, como temperatura, velocidad, proveedor, recurso y similares. También debe elegirse la variable de respuesta y el equipo con el que se va a analizar. Esta variable debe ser medible y es el resultado a medir después de llevar a cabo los experimentos, por ejemplo, Dureza, espesor, resistencia a la tensión, días de vida de anaquel y similares.

Si el número  $k$  de factores elegidos es bajo (menor a 4), es recomendable decidirse por un factorial completo, el número de pruebas está dado por  $2^k$ , donde el 2 representa al número de niveles usados por factor. Pero si se son muchos los factores que pueden intervenir, pueden usarse los arreglos ortogonales de Taguchi, para disminuir el número de pruebas.

En este paso se describen completamente los experimentos o tratamientos a llevarse a cabo, se indica el factor y el nivel al que se va a controlar.

Se realizan totalmente al azar, para evitar llegar a conclusiones espurias.

El ANOVA puede calcularse con ayuda de paquetería especializada en estadística (JMP o Minitav) o en su defecto en una hoja de cálculo por Excel. Las conclusiones a la que se llegan con la tabla ANOVA es si hay diferencia significativa entre un tratamiento y otro; pero si se analizan varios factores puede conocerse cuál de ellos afecta más a la característica de calidad que se está tratando de mejorar.

Fuente: elaboración propia basada en (Saderra, 1993)

En el presente trabajo se describen para cada caso los parámetros de las fases explicadas anteriormente, además del objetivo, giro de la empresa, y nivel del programa educativo. Para efectos de mejorar la comprensión de cada caso, se presenta cada uno en una tabla en donde se sintetiza cada uno de los trabajos realizados. Los valores explícitos de los niveles de cada factor se mantienen confidencialmente a resguardo del empresario.

## 27.2 Resultados y discusión

**Tabla 27** Caso 1 “Rendimiento de requesón” 1 (Herández, 2012)

Objetivo: determinar qué factores afectan al rendimiento del requesón en empresa láctea durante la estadía de 2012 de TSU

Factores a analizar: Temperatura de cocción, tiempo de reposo y tipo de vinagre

Variable de respuesta: rendimiento del requesón en porcentaje

Tipo de diseño: factorial completo con  $2^3 = 8$  pruebas

Planeación de pruebas requesón							
Factor	Fuente	Nivel 1	Nivel 2	Prueba	A	B	C
A	Temperatura de cocción	Baja	Alta	1	1	1	1
B	Tiempo de reposo	1	2	2	1	1	2
C	Tipo de vinagre	B	M	3	1	2	1
				4	1	2	2
				5	2	1	1
				6	2	1	2
				7	2	2	1
				8	2	2	2

Tabla ANOVA obtenida con el JMP 5.0

Factor	Fuente	Suma de cuadrados	F calculada	F crítica
A	Temperatura de cocción	8893.5	24.89	3.97
B	Tiempo de reposo	8970.67	25.1	
C	Tipo de vinagre	2773.5	7.76	
	Interacción A - B - C	10.67	0.03	

Discusión de resultados Caso 1: debido a que la F calculada es mayor a la F crítica se determinó que los 3 factores elegidos afectan en el rendimiento del requesón, no así la interacción entre ellos. Se recomendó trabajar cada uno de los factores en el nivel correspondiente al mayor rendimiento, A y C en el nivel 1 y el B en el nivel 2

**Tabla 27.1** Caso 2 “Productos de Nopal” (Moreno, 2012)

Objetivo: determinar qué factores afectan a las características sensoriales de tres nuevos productos elaborados con Nopal (*Opuntia ficus indica*): mermelada, licor y cristalizado de nopal en una microempresa de Valle de Santiago, Gto. durante la estadías de TSU en 2012

Factores a analizar:

Mermelada: tiempo de cocción fruto, tipo de azúcar, tiempo de cocción mermelada.

Licor: tiempo de concentración de jarabe, cantidad de alcohol, cantidad de jarabe.

Cristalizados: tiempo de cocción en jarabe, tiempo de reposo y tiempo de deshidratación.

Variable de respuesta: promedio de evaluación sensorial con 40 jueces no entrenados

**Tabla 27.2** Caso 2 “Productos de Nopal”

Tipo de diseño: factorial fraccionado Taguchi  $L_8$

Planeación de pruebas mermelada

Factor	Fuente	Nivel 1	Nivel 2
A	Tiempo de cocción nopal (min)	Bajo	Alto
B	Tipo de azúcar	B	M
C	Tiempo de cocción mermelada	Bajo	Alto

Para los tres productos se usó un arreglo  $L_8$ :

Prueba	A	B	c	e1	e2	e3	e4
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Planeación de pruebas Licor

Factor	Fuente	Nivel 1	Nivel 2
A	Tiempo concentración jarabe	Bajo	Alto
B	Cantidad de alcohol	Bajo	Alto
C	Cantidad de jarabe	1:2	1:1

Planeación de pruebas Cristalizados

Factor	Fuente	Nivel 1	Nivel 2
A	Tiempo de cocción en jarabe	Bajo	Alto
B	Tiempo de reposo	Alto	Bajo
C	Tiempo de deshidratado	Bajo	Alto

Tabla ANOVA obtenida con Excel 2007

ANOVA para la Mermelada

Factor	Fuente	Suma de cuadrados	F calculada	F crítica
A	Tiempo de cocción del nopal	0.10125	3.52	Mayor a 2.0
B	Tipo de azúcar	0.78125	27.17	
C	Tiempo de cocción de la mermelada	0.06125	2.13	

Discusión de resultados: debido a que la F calculada es mayor a 2, se determinó que los 3 factores elegidos tienen efecto en la evaluación sensorial de la mermelada. Con los resultados puntuales obtenidos se recomendó trabajar el factor A en el nivel 1 y el B y C en el nivel 2

Tabla ANOVA obtenida con Excel 2007

ANOVA para el licor

Factor	Fuente	Suma de cuadrados	F calculada	F crítica
A	Tiempo de concentración del jarabe	0.32	3.314	Mayor a 2.0
B	Cantidad de alcohol	0.005	0.05178	
C	Cantidad de jarabe	0.245	2.5372	

Discusión de resultados: de acuerdo a los resultados se encontró que de los factores elegidos solamente uno no tiene influencia en la evaluación sensorial del licor: la cantidad de alcohol. Con los resultados puntuales obtenidos se recomendó trabajar el factor A y C en el nivel 2 y el factor B en el nivel 1

Tabla ANOVA obtenida con Excel 2007

ANOVA para el cristalizado				
Factor	Fuente	Suma de cuadrados	F calculada	F crítica
A	Tiempo de cocción en jarabe	0.91125	4.16571	Mayor a 2.0
B	Tiempo de reposo	0.00125	0.00571	
C	Tiempo de deshidratado	0.28125	1.28571	

Discusión de resultados: debido a que la F calculada es menor a 2 se determinó que los 3 factores elegidos no tienen efecto en la evaluación sensorial del cristalizado. Se recomendó trabajar cada factor en los niveles de menor costo.

**Tabla 27.3** Caso 3 “Nopal en escabeche” (Delgado & Ávila, 2011)

---

Objetivo: determinar si existe diferencia significativa en las características sensoriales entre dos materias utilizadas primas para la elaboración de nopal en escabeche en las instalaciones de la UTSOE.

Estadía realizada dentro de la Institución durante 2011 para obtención del título de TSU

---

Factores a analizar: Nopal blanco (*Opuntia ficus indica*) y Nopal F6 (*Opuntia ficus indica* variedad F6)

---

Variable de respuesta: evaluación sensorial promedio realizada por 50 jueces no entrenados

---

Tipo de diseño: factorial completo con  $2^1 = 2$  pruebas, con 8 repeticiones cada una

---

Tabla ANOVA obtenida con Excel 2007

ANOVA para el nopal en escabeche				
Factor	Fuente	Suma de cuadrados	F calculada	F crítica
	Entre grupos	105.0625	8.5	4.6
	Dentro de los grupos	172.515		

---

Discusión de resultados Caso 3: debido a que la F calculada es mayor a la F crítica se determinó que si existe diferencia significativa entre ambas materia primas sobre la evaluación sensorial del producto Nopal en escabeche, siendo el nopal blanco el mejor evaluado por los jueces. Se recomendó además realizar análisis físico químico simultáneo a los materiales.

**Tabla 27.4** Caso 4 “Chile jalapeño” (Delgado, 2011)

---

Objetivo: determinar qué factores afectan en la rancidez del chile jalapeño en escabeche envasado en bolsas.

Estadía realizada durante 2011, para una PYME de Valle de Santiago, para la obtención del título de Ing. en Procesos Alimentarios.

---

Factores a analizar: Tipo de empaque del producto, tipo de aceite usado y tratamiento de la hortaliza

---

Variable de respuesta: Índice de peróxidos (relacionado con la rancidez) del chile, evaluado por titulación, a nueve diferentes tiempos de reposo: 0, 1, 2, 3, 5, 8, 24 y 48 horas

---

Tipo de diseño: factorial completo con  $2^3 = 8$  pruebas, con 3 repeticiones cada una

---

Planeación de pruebas para chile en escabeche							
Factor	Fuente	Nivel 1	Nivel 2	Prueba	A	B	C
A	Empaque	Actual	Laminado	1	1	1	1
B	Aceite	Soya	Mezcla (soya + cártamo)	2	1	1	2
C	Proceso	Sofreído	Sin Sofreído	3	1	2	1
				4	1	2	2
				5	2	1	1
				6	2	1	2
				7	2	2	1
				8	2	2	2

Tabla ANOVA obtenida con Excel 2007

Para el análisis de los datos, se sometieron los resultados obtenidos a los nueve tiempos de reposo; sin embargo, el valor último (a las 48 horas) fue el más representativo, debido a que el índice de peróxidos es proporcional el tiempo de reposo. Para verificar la veracidad de los análisis se evaluó a los mismos tiempos muestras del aceite de soya y mezcla soya – cártamo

#### ANOVA para chile en escabeche

Factor	Fuente	Suma de cuadrados	F calculada	F crítica
A	Empaque	105.0625	8.82692712	3.97
B	Aceite	71.4025	5.9989498	
C	Proceso	11.9025	0.01	
	Interacción A - B- C	20.3	2.01	

Discusión de resultados Caso 4: debido a que la F calculada es mayor a la F crítica para los factores A y B, se concluyó que estos dos factores son los que tienen influencia en el índice de peróxidos (y por lo tanto rancidez) del producto. Con el análisis puntual de los resultados se encontró que debe usarse empaque laminado y la mezcla de aceite y como el tratamiento de la hortaliza no afectó, se recomendó no sofreír, para abatir el costo que representa ese paso del proceso.

### 27.3 Conclusiones

El diseño experimental ayudó a los alumnos a una mejor planeación de los experimentos para su estadía, facilitó el análisis de resultados y representó un marco de referencia para la realización de sugerencias al empresario, mismas que están encaminadas a la mejora de los productos y/o los procesos analizados, se dejó a consideración del mismo la decisión de su implementación. Al respecto, cabe destacar:

En el caso 1, Requesón, los resultados encontrados coadyuvaron a visualizar otras investigaciones que pueden representar trabajos de estadía para generaciones venideras.

En el Caso 2, productos de nopal, el análisis ayudó a que el empresario se decidiera por el proceso óptimo y de mejor aceptación por parte del consumidor. Adicionalmente, se realizaron pruebas para dejar algunos procesos para la reutilización de desechos y obtener cuatro subproductos adicionales a los de línea de la empresa.

En el caso 3, se encontró que, aunque el nopal verdura variedad F6 es de fácil adquisición como materia prima, no está aún bien evaluada comparativamente con la variedad más vendida en la región.

En el caso 4, el análisis mostró que el empaque es primordial para mantener estables las características físico químicas de los chiles en escabeche y como resultado actualmente el producto se vende en un envase sellado y protegido de los factores ambientales que puedan provocar cambios en el producto.

El hecho de analizar el alto nivel de utilización de esta herramienta dentro de los proyectos de estadía de los programas educativos de TSU e Ingeniería en Procesos Alimentarios, es un parámetro que se debe utilizar para justificar la sugerencia a las instancias competentes de incluir obligatoriamente este tema dentro de las asignaturas de Calidad y/o Estadística para el Control de procesos, del nivel de TSU en los programas educativo mencionados.

Para futuros proyectos y cuando se tengan los datos suficientes, se recomienda realizar una corrida de comprobación o realizar una propuesta de mejora, que puede ser el punto de partida para la generación de otro proyecto de investigación.

#### **27.4 Referencias**

Delgado, J. A., (2011). *Estabilidad de los lípidos frente a la oxidación sobre los chiles jalapeños en escabeche*. Valle de Santiago, Gto.

Delgado, G. V., & Ávila, S. B. (2011). *Estandarización del proceso para la elaboración del nopal verdura en escabeche (Opuntia ficus- indica variedad F6)*. Valle de Santiago, Gto.

Díaz, A. (2009). *Diseño Estadístico de Experimentos*. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquía, pp. 6-7.

Herández, S. A. (2012). *Elaboración de requesón con lactosuero fortalecido*. Valle de Santiago, Gto.

Moreno, F. I. (2012). *Estandarización e innovación de productos derivados del nopal y xoconostle*. Valle de Santiago, Gto.

Saderra, L. (1993). *El secreto de la Calidad Japonesa: el diseño de experimentos clásico, Taguchi y Shainin*. Barcelona, España: Productica, pp. 47 - 53.

Wu, Y., & Wu, A. (1997). *Diseños robustos utilizando los Métodos Taguchi*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, pp. 3-4.