

Aplicación de las tres primeras etapas de la metodología DMAIC para identificar la causa principal de la merma en el proceso de producción de las tortillas de harina de trigo

Application of the first three stages of the DMAIC methodology to identify the main cause of decline in the production process of wheat flour tortillas

Luís Donderis^{1*}, Aníbal Martínez¹, Roshni Nagrani¹, Carlos Zachrisson¹, Nicole Barría¹
¹ Licenciatura en Ingeniería industrial, Universidad Tecnológica de Panamá

Resumen La merma se define como la reducción de un producto que ocurre durante un proceso de producción, debido a los niveles de temperatura, humedad, niveles de agua, maquinaria, operadores, materia prima y otros factores. Basándonos en que la mayoría de las empresas producen merma, lo que les hace perder dinero y reducir su productividad, el propósito de este estudio es localizar la causa fundamental por la que se produce una cantidad significativa de merma, durante el proceso de producción de las tortillas de harina de trigo, realizando un diseño completamente al azar. Para ubicar la causa fundamental, aplicamos los primeros tres pasos de una metodología DMAIC, cuyo objetivo es que un proceso/situación mejore constantemente. En primer lugar, se definió el proceso de las tortillas de harina de trigo y las posibles causas del nivel de merma. Para esta etapa, se escogió las libras de harina utilizadas y la temperatura ambiente como los factores de interés para nuestro estudio. Seguidamente, se utilizaron la balanza y el termómetro para recolectar los datos de los factores previamente descritos en el paso anterior. Y, por último, se realizó un análisis para determinar si los factores que se eligieron durante el paso anterior tienen alguna relación sobre los niveles de merma de las tortillas de harina de trigo. Concluido este estudio, se pudo determinar a través de los resultados, que uno de los factores de interés que definimos sí tienen una relación con la merma en la producción de tortillas de harina. La relación encontrada fue que a medida que aumentaron las libras de harinas utilizadas, aumentó la merma de producción, pero no encontramos ninguna relación significativa entre la temperatura y merma producida.

Palabras clave DMAIC, causa principal, merma, tortillas de harina de trigo.

Abstract Scrap is defined as the shrinkage or reduction of a product that occurs during a production process due levels of temperature levels, humidity, water, machinery, operators, raw material, and more. Based on the fact that most companies produce shrinkage, which causes them to lose money and reduce their productivity, the purpose of this study is to locate the fundamental cause by which a significant amount of waste is produced, during the production process of the wheat flour tortillas, making a completely random design. To locate the root cause, we apply the first three steps of a DMAIC methodology, which aims to constantly improve a process / situation. In the first place, the process of wheat flour tortillas and the possible causes of the level of shrinkage were defined. For this stage, the pounds of flour used and the ambient temperature were chosen as the factors of interest for our study. Then, the scale and the thermometer were used to collect the data of the factors previously described in the previous step. And finally, an analysis was carried out to determine if the factors that were chosen during the previous step have some relation on the levels of shrinkage of wheat flour tortillas. Once this study was concluded, it was possible to determine through the results that one of the factors of interest that we define does have a relationship with the decline in the production of flour tortillas. The relationship found was that as the pounds of flours used increased, the production decline increased, but we did not find any significant relationship between the temperature and the loss produced

Keywords DMAIC, root cause, scrap, wheat tortillas.

*Corresponding author: luisdonderis@hotmail.com

1. Introducción

La existencia de la merma en las empresas es causante de grandes pérdidas económicas, lo que lleva al desarrollo de esta investigación, donde se determina la relación entre varios factores con la merma en la producción de tortillas de harina de trigo, en la empresa seleccionada. El estudio se realizó mediante la aplicación de las tres primeras etapas de la metodología DMAIC (D-efinir, M-edir y A-nalizar), con el propósito de encontrar las causas por la cual se produce la merma[1].

2. Marco Teórico

2.1 DMAIC

DMAIC es una metodología que busca la mejora constante de un proceso, de manera evolutiva. Fue desarrollada por el ingeniero de Motorola, Bill Smith, en 1984. Funciona a través de una serie de pasos, identificados por las siglas a las que corresponde: “D” de define, “M” de mide, “A” de analiza, “I” de mejora (*improve* en inglés) y “C” de controlar. Se trata de un proceso que se puede aplicar repetitivamente, logrando resultados positivos que llevan a la mejora continua. La metodología DMAIC utiliza una técnica de control y mejora de los procesos, la cual se fundamenta en la dependencia de cada paso en relación a los demás. No se puede mejorar y controlar sin antes haber analizado, no se puede analizar sin haber medido y no se pudo haber medido sin antes haber definido [2].

Las etapas que se siguen en el DMAIC son:

Define

Se debe definir cuál es el problema que se quiere resolver y localizar en qué proceso se ubica este. Se tiene que describir con profundidad cada área del proceso, desde sus entradas y salidas, los equipos y operarios involucrados, hasta cada factor posible que influya en el proceso. Se logra determinar cuáles son los posibles factores que causen el problema.

Mide (*Measure*)

Consiste en la obtención de los datos necesarios para el futuro análisis. Se logra mediante el diseño y desarrollo de un plan de medición.

Analiza (*Analyze*)

Se analizan los datos recolectados, a través de diferentes técnicas cuantitativas y descriptivas. Se interpretan estos, buscando encontrar el factor causante del problema.

Mejora (*Improve*)

Con esta etapa llega el momento de la aplicación, donde se implementan las diferentes soluciones. El propósito de esta fase es implementar, a gran escala, las soluciones seleccionadas en las fases anteriores. Es en esta donde generamos las potenciales soluciones, seleccionamos y priorizamos soluciones, aplicamos mejoras, realizamos en

análisis de riesgos, administramos y ejecutamos la solución. Es fundamental que se haga un alto y se revise el desarrollo de esta fase de mejora.

Controla (*Control*)

Una vez finalizadas estas dos acciones ya mencionadas, es importante llevar algún tipo de control sobre las mismas para asegurarse de que se implementen correctamente y que los objetivos que habíamos marcado efectivamente se cumplen [3].

3. Hipótesis de la investigación

H_{1i} (hipótesis 1 investigativa): Existe relación directa entre las libras de harina utilizada con la cantidad de merma producida.

H_{2i} (hipótesis 2 investigativa): Existe relación directa entre los rangos de temperatura ambiental con la cantidad de merma producida.

4. Metodología

Se desarrollaron las tres primeras etapas de la metodología DMAIC, definir, medir y analizar, con las que se puede determinar si hay relación entre los factores estudiados y el problema [4].

4.1 Define

El problema a solucionar radica en la fabricación de tortillas de harina de trigo, enfocándose en la merma producida en el proceso. Siendo la merma todo el producto no deseado en el proceso, se define para el experimento como la cantidad de masa (en libras) de tortillas dañadas que se producen.

A través de la observación directa y la descripción de las circunstancias de las etapas de producción de las tortillas de harina de trigo y de los ingredientes necesarios, se pudieron inferir posibles factores causantes de la merma en este proceso.

Ingredientes: harina de trigo, manteca, sal, azúcar, agua, polvo para hornear y aditivos.

Las etapas de producción son:

- **Etapas 1. Dosificación de ingredientes:** Pesado de ingredientes por separado, según fórmula, incluyendo el agua.
- **Etapas 2. Batido:** Batir la harina junto con todos los ingredientes secos durante tres minutos, se agregan los ingredientes húmedos y se bate. Se verifica la consistencia de la masa y la no existencia de grumos.
- **Etapas 3. Pesado, cortado, boleado y reposado:** Se vacía la masa, previamente preparada, en la tolva de la máquina pesadora-cortadora boleadora automática, para obtener las bolas de peso y tamaño requerido. Una vez surtidas de la máquina boleadora, se colocan en bandejas de

panadería, que al llenarse se cubren con plástico omnifilm herméticamente y se colocan en el estibador de reposo.

- **Etapa 4. Laminado:** El producto pasa por la formadora (plancha de resistencia eléctrica) de alta temperatura de 150°C – 200°C. Las bolas previamente reposadas entran de dos en dos a la máquina, de acuerdo a su calibración.
- **Etapa 5. Precocido, cocido:** Una vez laminada, la tortilla es llevada por una banda transportadora de teflón que gira sobre un comal calentado a gas para precocerlas a 250°C. Posteriormente, las tortillas son entregadas automáticamente al cocedor de tres bandas transportadoras, donde son calentadas a gas durante 35 segundos a 350°C.
- **Etapa 5. Enfriamiento:** La banda cocedora entrega automáticamente las tortillas cocidas a la máquina enfriadora de cinco bandas metálicas, con un recorrido de 35 metros, y las entrega a la mesa de empaque.
- **Etapa 6. Empaque y estiba:** A medida que se reciben las tortillas frías en la mesa de empaque, se van contando de diez en diez con separadores circulares y colocándolas en la bolsa de empaque. Estas bolsas se van colocando en estibadores de acero inoxidable, separándolas por lote y fecha de fabricación.

Observaciones del proceso:

- El operador modifica la receta a la hora de preparar la masa para satisfacer la contextura y calidad de la mezcla.
- Posibles factores causantes: falta de capacitación y falta de equipo adecuado.
- Al salir del horno las tortillas se hinchan, luego se aplastan en el proceso de enfriamiento. No siempre quedan con la forma deseada. Posibles factores causantes: humedad en el ambiente, temperatura ambiente, cantidad irregular de harina utilizada.
- Cocimiento inconstante de las tortillas. Posibles factores causantes: cantidad irregular de harina utilizada, calor del horno, temperatura ambiente.

Esto lleva a que los posibles factores causantes de la producción de merma sean: la temperatura ambiente en el momento de la producción y la cantidad de harina de trigo que se utilizó por día.

4.1.1 Diseño del experimento

Problema: Determinar si la existencia de merma en la producción de tortillas de harina de trigo se debe a la cantidad de harina utilizada y/o a la temperatura ambiente en la producción.

Unidad experimental: Producción de tortillas.

Variable de respuesta: cantidad de masa de tortillas de harina de trigo que resulta dañada. Se encuentra en unidades de libras.

Se tienen dos factores de interés, cada uno analizado por separado con un diseño de experimentos.

Los factores de interés son:

- Diseño 1. Libras de harina utilizada: Cantidad de libras de harina utilizada en un día de producción.
- Diseño 2. Temperatura ambiente: Temperatura del ambiente en el momento de la producción.

Hipótesis para el Diseño 1.

H₀: A mayor la cantidad de libras de harina utilizada, mayor merma producida.

H₁: A mayor cantidad de libras de harina, menor merma producida.

H₂: No hay relación entre las libras de harina utilizadas y la producción de merma.

Hipótesis para el Diseño 2.

H₀: A menor temperatura ambiente, mayor merma producida.

H₁: A mayor temperatura ambiente, menor merma producida.

H₂: No hay relación entre la temperatura ambiente y la producción de merma.

4.2 Medir

Se realizó la recolección de los datos correspondientes a las variables de estudio que se muestran en la tabla 1. Los datos fueron medidos en 43 días de producción, en diferentes fechas y circunstancias, mediante el registro de un formulario.

Tabla 1. Datos recolectados para el estudio

Merma de Producción (lbs)	Harina utilizada (lbs)	Rango de Temperatura (°C)
0.38	200	33-35
0.77	200	33-35
1.82	200	33-35
1.12	250	30-32
0.39	200	33-35
0.45	150	27-29
0.40	200	33-35
0.79	250	27-29
0.39	250	33-35
0.38	150	33-35
0.24	150	33-35
0.45	150	33-35
0.59	150	33-35
0.39	150	33-35
0.62	200	33-35
1.48	200	30-32
0.23	150	27-29
0.20	150	30-32
0.63	200	30-32
0.73	200	33-35
3.44	200	30-32

2.30	250	27-29
1.05	150	30-32
0.87	200	33-35
0.00	150	30-32
0.83	150	30-32
0.46	150	30-32
0.42	150	30-32
0.54	150	27-29
1.38	200	30-32
1.19	200	30-32
0.40	200	30-32
0.79	200	27-29
0.98	250	27-29
0.00	200	30-32
1.81	250	27-29
0.74	200	30-32
0.48	200	30-32
1.03	250	33-35
0.47	150	30-32
0.27	200	30-32
0.74	200	27-29
0.31	200	30-32

Una vez determinada la población se determinó el tamaño de la muestra mediante la utilización de la siguiente fórmula:

$$n = \frac{z^2(pq)}{e^2 + \frac{z^2(pq)}{N}} \quad (1)$$

Donde:

n: tamaño de la muestra

z: nivel de confianza

p: proporción de la población con la característica deseada.

q: proporción de la población sin la característica deseada.

e: nivel de error dispuesto a cometer.

n: tamaño de la población.

Aplicamos la formula No.1 a continuación:

$$n = \frac{0.95^2(0.5*0.5)}{0.05^2 + \frac{1.96^2(0.5*0.5)}{43}} \quad (1)$$

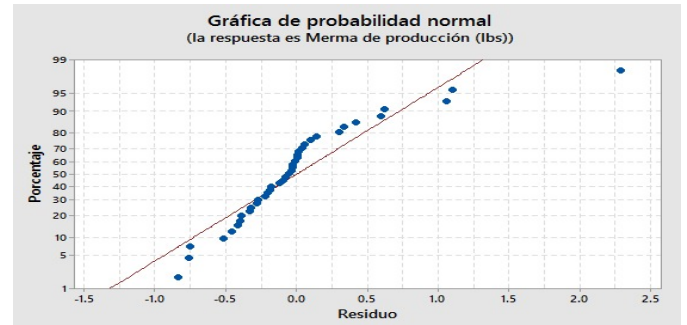
$$n=10$$

4.3 Analizar

Una vez completados los dos pasos anteriores de la metodología DMAIC, se procedió a identificar las características de nuestra muestra, con las que determinamos las pruebas estadísticas necesarias para el estudio.

4.3.1 Distribución normal de los datos

En la gráfica 2 de probabilidad normal se observa la merma producida (en libras), la cual nos sirvió para identificar si este estudio sigue una normalidad o no.



Gráfica 2. Probabilidad normal de la cantidad de tortillas de harina dañadas.

En base a la gráfica, se pudo observar que nuestro estudio no posee una distribución normal en la merma de producción de tortillas de harina de trigo dañada. Esto pasa debido a que la mayoría de los puntos se alejan de la línea de tendencia.

Adicionalmente, se pudo comprobar que los datos no siguen una distribución normal a la hora de comparar valor p con el nivel de significancia de 0.05. En nuestro caso, el valor p (0.010) es menor que el nivel de significancia, por lo que se concluye que los datos no están distribuidos normalmente.

Tomando en cuenta que nuestros datos no siguen una normalidad, la mejor forma para proceder es mediante una prueba que tome en cuenta las variables no paramétricas (se determinan por los datos observados).

4.3.2 Análisis del coeficiente de correlación de Pearson

Gracias a la correlación de Pearson, en la tabla 2 se puede observar el coeficiente de correlación entre la merma de producción, temperatura (Celsius) y la harina utilizada para las tortillas de harina de trigo.

Tabla 2. Resultados del coeficiente de correlación de Pearson.

Correlaciones: Merma de producción, harina utilizada, temperatura (Celsius)

	Merma de Producción
Harina utilizada	0.394
P value	0.013
Temperatura (Celsius)	-0.283
	0.081

Se analizó el coeficiente de correlación de Pearson, en el cual se obtuvo un valor de 0.394 entre la relación de la harina utilizada con la merma de producción, que comprueba que existe una relación entre las mismas y que a medida que aumenta la harina utilizada, aumenta la merma de producción.

De igual manera, se realizó la comparación entre el valor p con el nivel de confianza ($\alpha=0.05$) de la merma de producción y la harina utilizada, y como resultado se observó que existe una relación significativa entre las dos variables, ya que el valor p es menor que el nivel de significancia.

Por otra parte, cuando se analizó el coeficiente de correlación entre la temperatura (Celsius) y la merma de producción, se obtuvo un valor de -0.283, lo cual significa que a medida que la temperatura aumenta, la merma de la producción disminuye.

Finalmente, se interpretó el valor p entre la temperatura (Celsius) y la merma de producción, donde se dedujo que no existe una relación significativa entre estas dos variables, ya que el valor p (0.081) es mayor que el nivel de significancia ($\alpha=0.05$).

4.3.3 Análisis de la prueba de Kruskal-Wallis

En la tabla 3 se pueden observar los resultados de la prueba de Kruskal-Wallis, la cual es utilizada para estudiar poblaciones con distribución anormal, la cual se realizó con el propósito de determinar si las medianas de la población eran iguales o no.

Para esta prueba se establecieron las siguientes hipótesis:
 Hipótesis Nula \rightarrow H0: Todas las medianas son iguales.
 $Me_{150\text{ lb}} = Me_{200\text{ lb}} = Me_{250\text{ lb}}$
 Hipótesis Alternativa \rightarrow H1: Al menos una de las medianas es diferente a las otras.

Tabla 3. Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis

Merma de producción (lb) vs libras de harina utilizadas

Estadísticas descriptivas

Libras de harina utilizada	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
150	13	0.45272	14.4	-2.16
200	20	0.68285	20.9	0.49
250	6	1.04703	29.2	2.14
General	39		20.0	

Prueba

Hipótesis nula	H ₀ : Todas las medianas son iguales		
Hipótesis alterna	H ₁ : Al menos una mediana es diferente		
Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	2	7.11	0.029
Ajustado para empates	2	7.11	0.029

Para confirmar los resultados de la correlación de Pearson entre la merma de producción y las libras de harina utilizadas se realizó la prueba de Kruskal-Wallis, representada en la tabla No. 3, la cual se utiliza en poblaciones con distribución anormal, cuyo resultado brindó un valor p de 0.029 para las libras de harina utilizadas, en relación con la merma de

producción. Como nuestra significancia es de 0.05 y el valor p es menor a la misma, se rechaza la hipótesis nula, por lo que al menos una de las medianas del factor libras de harina utilizadas es diferente al resto.

Para corroborar estos resultados también se obtuvieron las estadísticas descriptivas, donde pudimos ver las medianas de merma de producción para las libras de harina utilizadas de 150 libras, 200 libras y 250 libras, que fueron 0.45272, 0.68285 y 1.04703, respectivamente. Estos datos demuestran que a medida que aumentan las libras de harina utilizadas, aumenta la merma de producción.

5. Posibles soluciones

El objetivo de esta investigación era comprobar si existe una relación entre la cantidad de merma en tortillas de harina de trigo, con la cantidad de harina utilizada en su receta y la temperatura ambiental. Al final de este estudio se determinó que, si bien existe una relación entre la merma y las libras de harina utilizadas, esta relación no es lo suficientemente fuerte como para concluir que es una causa principal de la producción de esta merma. Por lo tanto, podemos recomendar que para futuros estudios se tomen en cuenta los factores que, a lo largo de nuestra investigación, observamos como posibles causas de la merma.

- La cantidad de agua que se utiliza en el proceso: Observamos que en algunos casos es variable, ya que el chef no sigue una receta estándar, sino que utiliza su intuición y experiencia para confeccionar la mezcla diaria.
- La calibración de los equipos utilizados: Para estos procesos, la calibración puede ser uno de los factores importantes que influyen en la producción de merma, ya que no existe un histórico de mantenimiento de la maquinaria, pues existe la posibilidad de que los mantenimientos no se estén llevando a cabo en el tiempo adecuado y, por lo tanto, la maquinaria puede estar presentando fallas que podrían ser una de las causas importantes de las mermas.
- La humedad ambiental: Panamá es un país tropical con mucha variación en la humedad. Siendo este un proceso que depende de la composición de la masa con la que se prepara la tortilla, existe la posibilidad de que la masa está siendo sobre-hidratada y el proceso del cocido no se está llevando adecuadamente, ya que algunas tortillas están quedando crudas, como pudimos constatar al revisar la merma.
- Temperatura del horno: En las visitas realizadas se observó que, a pesar de contar con los instrumentos adecuados para medir la temperatura del horno y registrarla, este proceso no se está llevando a cabo.

6. Conclusiones

- Se confirmó que existe relación directa entre las libras de harina utilizadas y la producción de merma, como fue planteado en la primera hipótesis investigativa.
- Se rechazó la existencia de una relación directa entre los rangos de temperatura ambiental y la producción de merma.
- Pudimos inferir que otros factores que posiblemente influyen la producción de la merma son: el calibrado de la temperatura del horno, la humedad ambiental y la dosificación incorrecta de ingredientes.

- [3] R. Jos, H. A. Tom, and F. Herrera, "Seis Sigma Métodos Estadísticos y Sus Aplicaciones."
- [4] F. Ecatlán, "DE MAÍCES DE ECATLÁN , PUEBLA , MÉXICO ALKALINE COOKING , PREPARATION AND QUALITY OF CORN TORTILLA," 2004.

RECOMENDACIONES

- Agregar más factores al diseño de experimentos, tales como:
 - Realizarlo controlando la humedad.
 - Realizarlos controlando la temperatura dentro del horno.
 - Realizarlo controlando la cantidad de agua utilizada.
- Realizar el experimento en un periodo de tiempo más largo, buscando ver el impacto del mantenimiento de la maquinaria, así como el deterioro del equipo en la producción de merma.
- Capacitaciones al personal, donde aprendan a manejar el equipo y manipular el material.
- Definición de una ficha técnica con porcentajes de ingredientes más precisos.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, le queremos agradecer a Dios por habernos acompañado y guiado en estos meses, dándonos la fortaleza en los momentos de desespero y por regalarnos momentos de alegría en este grupo.

A la familia Jaramillo por ofrecernos su empresa como objeto de estudio y tratarnos como parte de su familia, dándonos la confianza para estar en su tan preciada empresa.

A los profesores, con cariño, queremos darle las gracias por todo el apoyo brindado al aceptar este proyecto, por guiarnos y brindarnos su tiempo y, sobre todo, por aconsejarnos para tomar mejores decisiones a la hora de realizar esta investigación.

REFERENCIAS

- [1] X. Jornadas, "Fabricación de tortillas de Trigo," 2017.
- [2] J. R. Ocampo, U. T. Centroamericana, S. P. Sula, A. E. Pavón, U. T. Centroamericana, and S. P. Sula Integrando la Metodología DMAIC de Seis Sigma *con la Simulación de Eventos Discretos en Flexsim*. 2012.