

# Reducción de la variabilidad en el proceso de fabricación de pastillas de dulce



## Colaboración

Elizabeth Guadalupe Santos Chapa; María de los Ángeles Ramírez Ambriz; Ulises Martínez Contreras; Mirella Parada González, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

Fecha de recepción: 22 de enero del 2021

Fecha de aceptación: 27 de abril del 2021

**RESUMEN:** El presente trabajo se realizó dentro de la industria alimenticia, la cual debe cumplir con estrictas normas de salubridad, el proceso de fabricación de pastillas de dulce se realiza en líneas de producción continua y en la mayoría de estos casos son procesos automatizados.

El desperdicio de producto terminado y materias primas, tiempo muerto, variación en los estándares de producción, y los problemas de calidad, ocasionan la devolución completa de lotes completos de producción al fabricante, esto tiene un impacto financiero para las empresas [1].

Este estudio se centra en la variación de tamaño de las pastillas de caramelo la cual provocaba problemas en el área de empaquetado por lo que se consideró el uso de herramientas de calidad y estadística a través de la metodología de Seis Sigma y el Control Estadístico del Proceso para reducir la variación en el tamaño del dulce.

**PALABRAS CLAVE:** Control estadístico de procesos, fabricación de dulce, pastillas de dulce, Seis Sigma, MSA.

**ABSTRACT:** This case study was conducted on the food industry, which must comply with strict health standards, the hard candy manufacturing process is executed on continuous production lines, and in most of these cases, they are automated processes.

Scrap on finish goods, raw materials, process downtime, process variation, and quality defects, cause the complete return of complete production orders to the manufacturer, this has a financial impact for companies.

This study focused on the variation of the size of the hard candy, which caused problems in the packaging area, so the use of quality tools and statistics were considered by the methodology of Six Sigma and Statistical Control Process to reduce variation in candy size.

**KEYWORDS:** SPC, DMAIC, Seis Sigma, Candy fabrication, MSA.

## INTRODUCCIÓN

La confitería es una de las ramas de la industria alimenticia y dentro de ésta se ubica el proceso de fabricación de pastillas de dulce el cual nos ocupa en este proyecto. Para esta industria aplican diferentes normas que competen a la calidad e inocuidad de los alimentos, en este caso en particular se apega a la normatividad de Estados Unidos (país de destino del producto) a través de la Administración de Medicamentos y Alimentos (FDA, por sus siglas en inglés, Food and Drug Administration) [2] y la certificación de Seguridad y Calidad de los Alimentos (SQF, por sus siglas en inglés, Safe Quality Food) [3]. En nuestro país, la secretaría de salud, a través la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) se encarga de vigilar el cumplimiento de los requerimientos de inocuidad y calidad alimentaria y de manera internacional se busca cumplir con la certificación de ISO 22000 (ISO, por sus siglas en inglés, International Organization for Standardization) [4].

El proceso de producción de pastillas dulce de caramelo macizo consta de varios subprocesos que a continuación se describe.

1. Preparación de Jarabe
2. Amasado
3. Preformado
4. Formado
5. Enfriamiento
6. Empaque

El área de preformado y formado es el centro de este estudio en el cual se controla la forma y dimensión del dulce. dentro de la forma y dimensiones, el espesor del dulce es un parámetro crítico que forma parte del esquema de monitoreo de calidad, esta característica presentaba variación que afectaba de manera directa a la siguiente etapa de procesamiento, el empaquetado.

Las especificaciones del dulce son, diámetro 10 mm, espesor de 6.30 mm con una tolerancia de 6.15 a 6.46 mm como se muestra en la figura 1. El espesor del dulce se logra haciendo ajustes manuales a la maquinaria de formado, ya sea abriendo o cerrando discos (figura 2) hasta encontrar la combinación entre velocidad y abertura, que permita tener un espesor de cuerda y temperatura de dulce adecuados para después llenar las cavidades de los dados en la prensa de formado de dulce.



Figura 2. Discos de formado de cuerda de dulce

De acuerdo con el historial durante el 2018 se registró hasta un 13.6% de desperdicio en la etapa de cocina relacionado con la variación del espesor de las pastillas de dulce, como se muestra en la gráfica de desperdicio de cocina figura 3.



Figura 3. Porcentaje de desperdicio de cocina (reporte de producción, 2018)

En la etapa de empaque durante la temporada alta de producción, se registró hasta un 18 % de desperdicio relacionado con producto que excedió las dimensiones en el empaquetado, como lo muestra la gráfica de desperdicio de empaque figura 4.

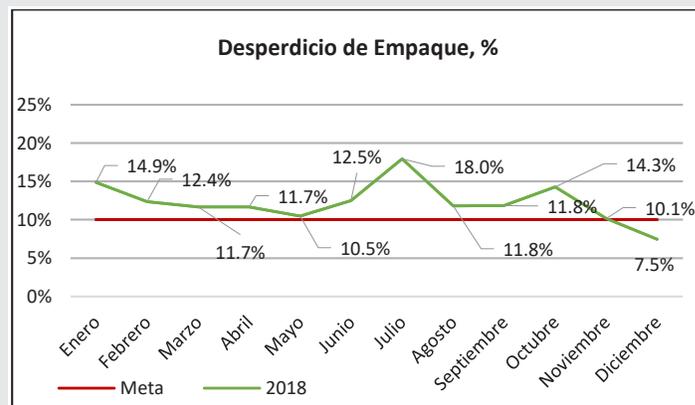


Figura 4. Porcentaje de desperdicio de empaque (reporte de producción, 2018)

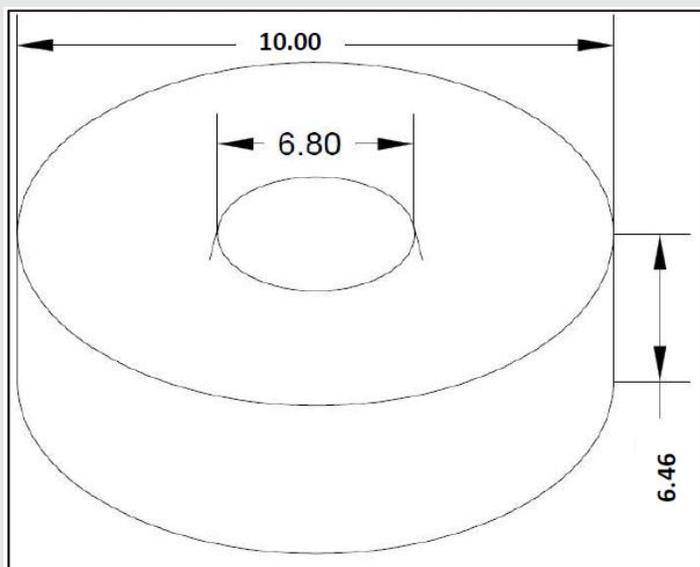


Figura 1. Pastilla de Dulce y sus Dimensiones

Ya que los ajustes de la maquinaria y equipo dependen totalmente de la pericia del operador, no se contaba con el monitoreo de parámetros del proceso, ni las herramientas adecuadas para medir el espesor, además se desconocían los factores que originaban la variación, por lo tanto, se perdía la oportunidad de hacer los ajustes en el momento, provocando con esto desperdicio al no cumplir con las especificaciones de empaque.

**MATERIAL Y MÉTODOS**

Seis Sigma es un programa que se implementa en una compañía con el objetivo principal de mejorar los procesos y por ende la calidad de los productos obteniendo con esto la satisfacción del cliente y la reducción de los costos de procesamiento. Seis Sigma fue desarrollado por Motorola en los años 80 con el objetivo principal de reducir los defectos en las líneas de producción y el incremento la calidad de sus productos lo cual significo mayor satisfacción del cliente. Una vez que Motorola ganó el premio Malcolm Baldrige [5] el programa Seis Sigma se popularizo y fue adoptado por grandes compañías en los años 90 como General Electric, Allied Signal y Honeywell [6].

Existen varias metodologías principalmente usadas en Seis Sigma que atienden a diferentes situaciones [7] por ejemplo, Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar (DMAIC, por sus siglas en inglés, Define, Measure, Analyze, Improve, Control), es utilizada cuando se quiere reducir la variación y/o defectos en el proceso; Definir, Medir, Analizar, Diseñar y Verificar (DMADV, por sus siglas en inglés, Define Measure, Analyze, Design and Verify), es utilizada en las etapas de planeación de un producto, proceso o servicio; de igual forma la metodología de Mejora Continua es utilizada cuando se requiere reducir el tiempo de ciclo y desperdicios [8].

Los materiales y métodos utilizados en la solución del problema de variación en el espesor de las pastillas de dulce; en el apartado de la metodología se consideró el uso de Seis Sigma, a través de DMAIC, así como el Control Estadístico del Proceso (SPC), entre otras herramientas de calidad para la mejora de procesos.

El material requerido para el desarrollo de esta investigación consistió en el uso de pastillas de dulce para rollos, para la medición de las pastillas de dulce se utilizó un micrómetro electrónico digital de la marca Starret con un rango de 2.54 cm. y una resolución de 0.001 mm; Para el procesamiento estadístico de los datos se hizo uso del "software" Minitab 17.1°

**Definir**

Durante el 2018 se detectó que el porcentaje de desperdicio estaba fuera de lo permitido esto de acuerdo con la meta estipulada en el sistema para el consumo de materiales. En el proceso de cocina se detectó hasta un 13.6 % de desperdicio siendo un 8% lo cuantificado en costos en esta etapa, y en el proceso de empaquetado se detectó hasta un 18 %, siendo un 10% lo cuantificado en costos para esta etapa.

La definición del problema se hizo a través del diagrama de árbol de requerimientos del cliente (figura 5), en el cual se resaltó que una de las características de calidad a evaluar son las dimensiones del dulce, al ser esta una cualidad tanto estética como de desempeño en el producto.

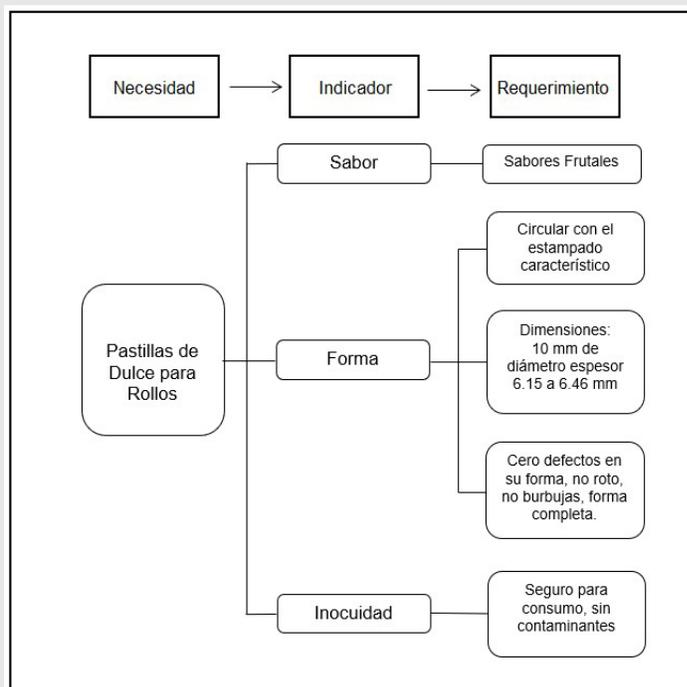


Figura 5. Diagrama de árbol de requerimientos del cliente

Para establecer la ubicación de la característica de calidad de las pastillas de dulce dentro del sistema del proceso de fabricación, se generó el diagrama de Proveedores, Entradas, Procesos, Salidas y Clientes (SIPOC, por sus siglas en inglés, Suppliers, Inputs, Process, Outputs, and Customers), en el cual se resaltó el proceso de producción de pastillas de dulce para rollos como punto medular para analizar el comportamiento de la dimensión del espesor de pastillas de dulce.

Posteriormente se trabajó en la descripción del proceso a través del diagrama de flujo del proceso de fabricación del dulce, con el que se detalló cada etapa a fin de que se tomaran en cuenta durante el análisis de la causa raíz.

**Medir**

La medición del espesor de las pastillas de dulce se hizo a través de un instrumento para la medición de tamaño, en este caso el micrómetro, con resolución de centésimas de acuerdo con las especificaciones que debe cumplir el dulce. Para la validación del sistema de medición se llevó a cabo un Análisis de Reproducibilidad y Repetibilidad (Gage R&R, por sus siglas en inglés, Gage Repeatability and Reproducibility), el cual se realizó utilizando Minitab 17, esta herramienta proporcionó un análisis gráfico en el cual se observó que existe variación significativa en las mediciones entre las piezas y variación entre los operadores.

**Analizar**

El análisis fue realizado para encontrar la causa (s) raíz del problema a través de la técnica de 5 Por Qué, con

la premisa de un incremento en el porcentaje de desperdicio, tanto en empaquetado como cocina, se llevó con la participación de los departamentos como producción, mantenimiento y calidad.

## Mejorar

Para analizar la causa raíz de la variación en el espesor de las pastillas de dulce se desarrolló el diagrama de causa y efecto para para el cual se contó con la participación de personal de experiencia en el proceso, de las diferentes disciplinas, calidad, mantenimiento y producción.

## Controlar

En la fase de control se consideraron críticas las actividades en las que se necesitaba monitorear los parámetros del proceso, así como la calibración del sorteador, además en este apartado se consideró también la implementación del control estadístico del proceso para el espesor de las pastillas de dulce.

## RESULTADOS

Tras utilizar la metodología DMAIC los resultados fueron los siguientes:

### Define

se generó el diagrama SIPOC en el cual se identificaron los procesos, clientes y proveedores, después se continuo con el diagrama de flujo de proceso.

### Medir

Del reporte analítico se detectó que el porcentaje de contribución del sistema total de "Gage R&R", fue de 16.14% > 1% por lo tanto se concluyó que el sistema de medición no es aceptable y necesitaba ser mejorado.

Se obtuvo la información histórica de las mediciones del espesor de pastillas de dulce de los meses de enero, marzo, junio y septiembre del 2018, se obtuvieron los índices de capacidad  $C_p=0.51$ ,  $C_{pk}=0.33$  mismos que son < 1.33, con estos datos se determinó que el proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones indicadas.

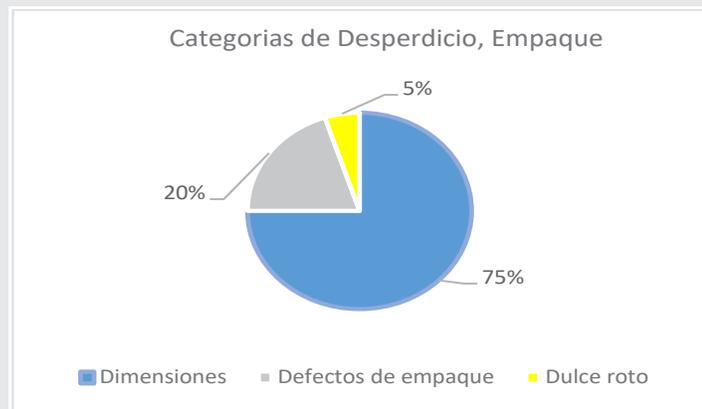


Figura 6. Defectos de empaque

## Analizar

Del área de empaquetado a través de la técnica de 5 Por Qué, se encontró que el desperdicio se debe a dulce roto, dulce fuera de dimensiones y otros defectos de materiales de empaque, para lo cual se midió la cantidad de desperdicio de acuerdo con las categorías descritas y se encontró lo siguiente: del total del desperdicio de empaquetado un 75% corresponde a rollos de dulce que exceden las dimensiones para su empaquetado (figura 6).

Del área de cocina a través de la técnica de 5 Por Qué, se encontró que el desperdicio se debe a pastillas que presentan variación en la dimensión del espesor, dulce que cae al piso, la masa esta cruda, la masa se enfría y otro tipo de defectos como burbujas, variación de color y deformidades, para lo cual se midió la cantidad de desperdicio de acuerdo a las categorías descritas y se encontró lo siguiente: del total del desperdicio de cocina, el 80% corresponde a pastillas que presentan variación en el espesor (figura 7).

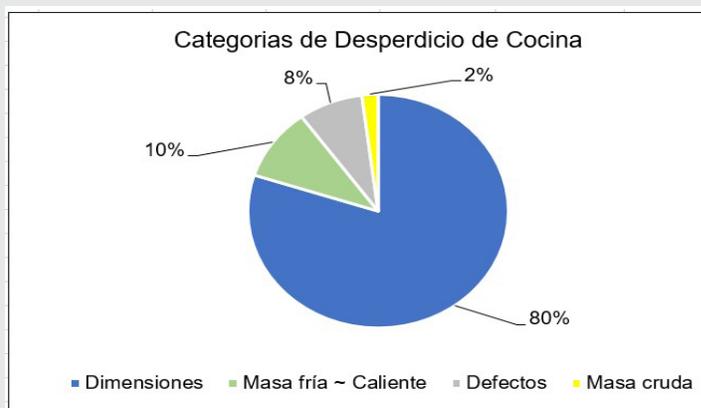


Figura 7. Defectos de cocina

Con los datos ya descritos se concluyó que era necesario hacer un análisis de causa raíz de la variación del espesor de las pastillas de dulce para rollos en el área de cocina que es en donde el proceso de fabricación de pastillas de dulce se lleva a cabo.

## Mejorar

Del diagrama de causa y efecto y del factor de la maquinaria, se seleccionó la causa desgaste de la prensa y desgaste de los dados de formado respectivamente, estas causas obtuvieron una puntuación mayor en la ponderación como las causas principales que estaban ocasionando variación en el espesor de las pastillas de dulce. El departamento de mantenimiento después de una revisión de dimensiones con base a especificaciones de la maquinaria determinó que era necesaria su reparación en las partes principales que son barril, guías y dados (figura 8).

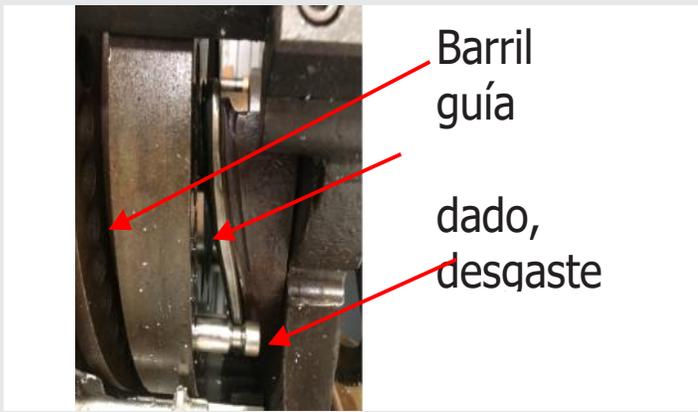


Figura 8. Partes reparadas de la prensa

Posterior a la reparación de las prensas se obtuvo una capacidad del proceso de Cpk 0.98 (figura 9)

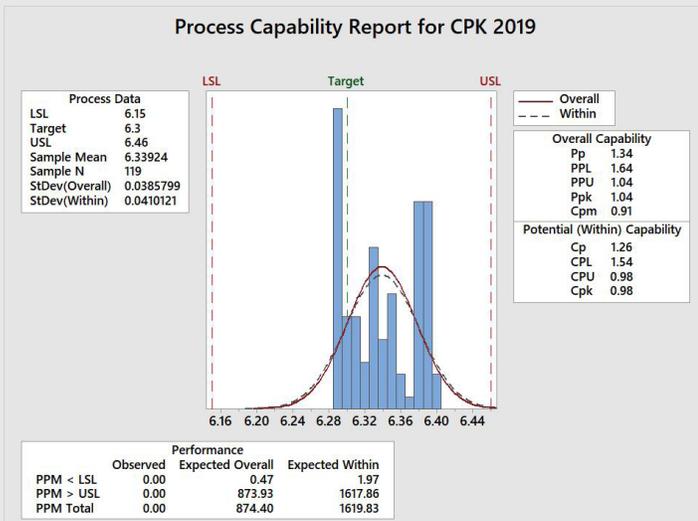


Figura 9. Capacidad del proceso después de las mejoras en las prensas

Esto de acuerdo a la información recabada en los datos de las gráficas de control y haciendo referencia al resultado del 2018 se hace la comparación de los resultados en la tabla 1.

Tabla 1. Comparación de resultados, 2018 y 2019

Año	Índice Cp	Índice Cpk	Observación
2018	0.51	0.33	No cumple con el requerimiento mínimo de 1.33
2019	1.26	0.98	Se observa una mejora significativa pero no cumple el requerimiento mínimo de 1.33

Así mismo se observó un mejor desempeño del espesor de pastillas de dulce dentro de las tolerancias especificadas, esto ha sido el resultado de la actividad de control, ya que se ha monitoreado la dimensión del espesor de las pastillas; los datos muestran consistencia y tendencia a estar cargados a el límite superior mostrando un nivel sigma (figura 10).

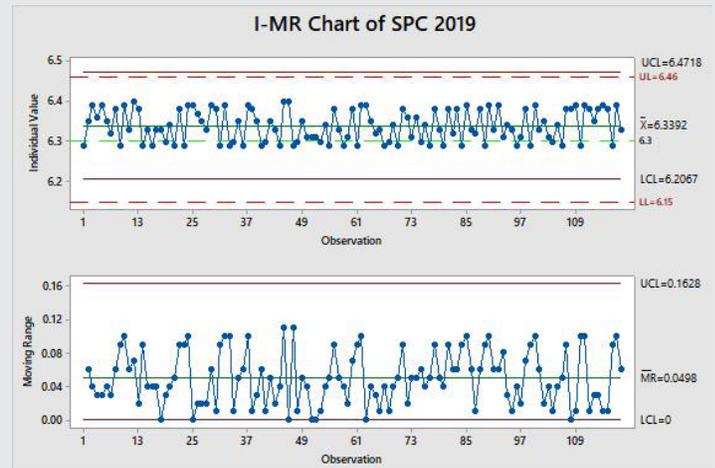


Figura 10. Gráfico de SPC 2019

Del factor de maquinaria, la falta de escalas de medición en los "sizers", se trabajó en la reposición de las escalas de los "sizers" (figura 11). Esta causa es una de las contribuyentes principales al espesor de las pastillas de dulce, ya que de ésta depende el ajuste de la alimentación de la cuerda de dulce hacia la prensa.



Figura 11. Escalas de los "Sizers"

Otro factor de la maquinaria, es la la velocidad de la prensa no estaba estandarizada; se revisó la velocidad de la prensa, ya que se tenía la idea de que trabajaba a velocidades diferentes cada semana. Se encontró que el maquinista no tiene acceso a este parámetro, ya que es un ajuste interno con un controlador dentro de un panel de control, al que solo los técnicos de mantenimiento tienen acceso, además este ajuste no esta permitido modificarlo, ya que ocasiona otros ajustes mayores para la sincronia de los mecanismos de la prensa.

Del factor de medición, se seleccionó la causa el micrómetro falla, este presentaba fallas a la vista, ya que se apreciaba una falta de repetitibilidad en las lecturas. El instrumento se mandó a calibrar y el proveedor sugirió en base al proceso de producción y las condiciones detectadas en el equipo algunas mejoras, mismas que siguen pendientes de implementar. Así mismo se observó que los maquinistas tomaban las lecturas de manera incorrecta, por lo que se les explicó y se colocó una ayuda visual del método de medición de pastillas de dulce. Posteriormente se procedió a realizar de nue-

va cuenta el análisis de reproducibilidad y repetitibilidad para el cual se obtuvo un estudio satisfactorio al tener  $0.56\% < 1\%$  de porcentaje de contribución del sistema total de "Gage R&R"

### CONTROLAR

Para la actividad revisión de temperaturas de las etapas del proceso de mezclado, templado, preformado se implementó un formato de revisión de temperaturas para cada uno, en el cual se estableció una revisión cada dos horas para cada etapa del proceso. Para la actividad revisión de la calibración del sorteador, se estableció el formato de revisión de calibración, el cual consistió en revisar cada lunes, antes del inicio de la producción, con la finalidad de que los ajustes se hicieran de manera oportuna. Se dio capacitación en el llenado del gráfico de control del espesor de pastillas de dulce, al ser esta información vital para los ajustes oportunos de las temperaturas del proceso y ajustes de las escalas de los "sizers". Los puntos que abarcó el entrenamiento consistieron en la forma correcta de hacer la medición de las pastillas de dulce usando el micrómetro, así como los pasos a seguir cuando se detectan puntos fuera de control (especificaciones) en las gráficas.

### CONCLUSIONES

Al utilizar la metodología de DMAIC, se logró conocer los factores que afectaban la variación en el espesor de pastillas de dulce. Específicamente al haber estudiado cada una de las etapas del proceso y por ende haber desarrollado el diagrama de causa y efecto se logró detectar como factor principal la maquinaria, específicamente con las causas de desgaste en algunos de los componentes mecánicos de la máquina prensadora, así como de los dados de formado. Otros factores como la reposición de indicadores de medición de la maquinaria, mejora del sistema de medición, así como el monitoreo de los parámetros importantes del proceso como la temperatura, contribuyeron también a mejorar la variación en el espesor de las pastillas de dulce.

El trabajo previamente mencionado se complementó con la capacitación de los maquinistas en el proceso y en el uso de gráficas de control, que ayudaron a mantener información en tiempo real del proceso, que ayudó a hacer los ajustes de manera oportuna en el proceso, dando lo anterior como resultado los siguientes indicadores, una mejora en la capacidad del proceso de un Cpk de 0.33 (2018) a un 0.98 (2019), esto a su vez se reflejó en el porcentaje de desperdicio, ya que en el área de cocina el porcentaje más alto detectado fue un 6.9% en el 2019, comparado con el 2018 en donde se había registrado hasta un 13 %, de igual forma para el área de empaquetado los datos de cantidad de producción y desperdicio obtenidos durante el 2019 fueron hasta en un 7.6 % comparado con el 2018 en donde se registró hasta un 18%.

Existe aún la oportunidad de mejora, que sería ayudar a disminuir la variación del espesor de pastillas de dulce y porcentaje de desperdicio, al trabajar con cada uno de los sabores y conocer los ajustes en la maquinaria que estos necesitan en específico, esto por lo detectado en los sabores de piña y mantequilla al presentar diferencias en el espesor promedio de las pastillas al ser trabajados bajo condiciones iguales.

De igual forma continúan pendientes por desarrollarse algunas actividades provenientes del diagrama de causa y efecto, con las que se presume pudiera haber una mejora, como lo es el análisis del impacto de la humedad en el espesor de la pastilla de dulce. Con lo descrito hasta el momento se da por concluido el proyecto de reducción de la variación en el espesor de pastillas de dulce.

### BIBLIOGRAFÍA

[1] Van Heerden, M., & Josste, J. (2018). *A Guide For Integrating Total Quality Management and Physical Asset Management in The Food Industry*. *South African Journal of Industrial Engineering*, 155-170.

[2] Center for Food Safety and Applied Nutrition. *Documento Web*, noviembre del 2018. <https://www.fda.gov/Food/GuidanceRegulation/ImportsExports/Importing/default.htm>

[3] Safe Quality Food Institute. *Documento Web*, noviembre del 2018. <https://www.sqfi.com/what-is-the-sqf-program/>

[4] ISO 22000. *ISO International Organization for Standardization*. *Documento Web*, noviembre del 2018. <https://www.iso.org/iso-22000-food-safety-management.html>.

[5] Kaushik, P., & Khanduja, D. (2009). *Application of Six Sigma DMAIC Methodology in Thermal Power Plants: A Case of Study*. *Total Quality Management & Business Excellence*, 197-207.

[6] Kaid, H., & Noman, M. A. (2016). *Six Sigma DMAIC Phases Application in Y Company: A Case Study*. *Collaborative Enterprise*, 181-197.

[7] Smetkowska, M., & Mrugalska, B. (2018). *Using Six Sigma DMAIC to Improve the Quality of the Production Process: A Case of Study*. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 590-596.

[8] Snee, R. D. (2010). *Lean Six Sigma Getting Better all the Time*. *International Journal of Lean Six Sigma*, 9-29.