

Metodología 6 sigma para la optimización de procesos agroindustriales

6 sigma methodology for the optimization of agro-industrial processes

SÁNCHEZ QUISPE, Hugo R.¹
CHAVEZ CADENA, Marco I.²
CUCURI PUSHUG, Mirian I.³
ESTANGA BARRIOS, Marisela⁴
MOLINA, Lorena⁵

Resumen

Las fallas en las líneas de producción agroindustrial conllevan a pérdidas económicas, sin embargo el uso del control estadístico de calidad, la metodología 6-sigma apoyada en la herramienta DMAMC (definir, medir, analizar, mejorar y controlar), permitieron identificar el porcentaje de fallas en el llenado irregular de envases de néctares de manzana, mango y durazno, las cuales fueron productos del desgaste de la maquina envasadora, que llevo a un llenado de los envases por debajo de las especificaciones técnicas establecidas.

Palabras clave: eficiencia, mantenimiento mecánico, rendimiento variabilidad.

Abstract

Failures in agro-industrial production lines lead to economic losses, however the use of statistical quality control, for example, 6- sigma methodology supported by the DMAMC tool (define, measure, analyze, improve and control), made it possible to identify the percentage of failures in the irregular filling of nectar containers: apple, mango and peach; which were the result of wear and tear on the packaging machine, which led to containers being filled below the established technical specifications.

Key words: efficiency, mechanical maintenance, variability performance

1. Introducción

Durante los procesos de transformación de materias primas a productos terminados, especialmente en la agroindustria es importante que las empresas analicen los procesos involucrados, de tal manera que si existe alguna anomalía que afecte la homogeneidad del producto bien sea en peso, tamaño o volumen, se puedan establecer los correctivos correspondientes, mejorando y corrigiendo las fallas, para minimizar las perdidas.

Para que un producto cumpla con los requerimientos del cliente, los procesos de fabricación deben garantizar la estabilidad, de tal manera que se produzcan el menor número de fallas posibles y la repetitividad del mismo, es

¹ Docente Investigador. ESPOCH-SEDE Orellana, Ecuador. hugo.sanchez@epoch.edu.ec

² Docente Investigador. ESPOCH-SEDE Orellana, Ecuador. marco.chavez@epoch.edu.ec

³ Docente Investigador. ESPOCH-SEDE Orellana, Ecuador. mirian.cucuri@epoch.edu.ec

⁴ Directora Programa Ingeniería Agroindustrial. Decanato de Agronomía - UCLA, Venezuela. mariselaestanga@ucla.edu.ve

⁵ Ingeniero Agroindustrial. Departamento de Gerencia y estudios generales. Decanato de Agronomía- UCLA, Venezuela.

decir que el proceso se realice la mayor cantidad de veces posibles, con el mínimo porcentaje de error, para garantizar ello, el control estadístico de procesos es una poderosa herramienta para resolver estos tipos de problemas y conseguir la estabilidad de mismo, mediante la reducción de la variabilidad (Hernández y Da Silva, 2016).

Por lo tanto, la implementación de un sistema de control estadístico de procesos en empresas agroindustriales es vital para garantizar el éxito de las mismas, debido a que se pueden identificar las causas de las fallas y plantear soluciones, los paquetes de control estadísticos de calidad están dirigidos al personal involucrado en el proceso de transformación, de tal manera que asuma protocolos de buenas prácticas de manufactura (BPM), y que se asuman protocolos seguros que garanticen la calidad de los productos (Bastías, Cuadra, Muñoz & Quevedo, 2013), el papel de los sistemas estadísticos de control de calidad es garantizar la correcta implementación de estos protocolos, la cuantificación del grado de eficiencia, la identificación y medición de las posibles fallas.

Entre las técnicas que permiten lograr el mejoramiento continuo de los procesos agroindustriales, se encuentran una amplia cantidad de métodos de control estadísticos, cuya aplicación constituye una herramienta eficaz para mejorar los procesos productivos, reduciendo sus defectos y disminuyendo los costos de producción, para así ofrecer productos competitivos a los usuarios. Entre las técnicas empleadas para el control de calidad en procesos industriales, incluyendo empresas agroalimentarias, se encuentran Diagrama de Pareto (De Cassia, De Oliveira & De Souza, 2017; Penna, Vasconcelos, Gomes & Guimarães, 2018); técnica de Grupo Nominal (Oghenewiroro, 2017, Trimajorko et al., 2019) y gráficas o Cartas de Control X-R (Herrera, Hernández, Figueroa, De la Ossa, 2018; Delgadillo., Enríquez, López & Ruiz, 2019), las cuales permiten identificar las causas de variabilidad, los puntos críticos de control y la visualización de la aplicación inadecuada de planes de inspección.

En tal sentido se ha documentado, diversas experiencias exitosas sobre la aplicación de los métodos de control estadístico, para la identificación de fallas en los sistemas de producción y el establecimiento de medidas correctivas, por ejemplo Santoyo, López, García, Domínguez & Rodríguez (2017) y De la Ossa, Acosta, Alvear & Gélvez (2018) realizaron un control estadístico de procesos multivalentes en la industria de fabricación de transformadores eléctricos y resortes de comprensión respectivamente, mientras que en la industria alimentaria se ha implementado a través del estadístico T2-Hotelling, y fue aplicado exitosamente al analizar la calidad de manufacturación en el proceso de laminación del endospermo para la elaboración de harina precocida de maíz (Fermín, Valdivieso, Merli & Barreto, 2009), el objetivo esta técnica es minimizar los defectos a un máximo de 3,4 defectos por millón de eventos, entendiendo como defecto a cualquier anomalía durante el proceso de manufactura que impida que los productos no cumplan los requerimientos del cliente, desde el punto de vista cualitativa o cuantitativo.

Ahora bien, la metodología 6 sigma abarca 6 pasos para la identificación del defecto, medición, análisis de los datos, mejoramiento y control, estos procedimientos, pueden ser aplicados a través de 3 metodológicas como son: DMAIC (Pérez & García., 2014), DMADV (Martín, Sánchez & Monarrez, 2017) y PDCA-SDCA (Alvarado & Pumisacho 2017), las cuales se basan en la verificación de los procesos a través de las acciones (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) en el caso de la metodología DMAIC; en el caso del método DMAVC abarca los procesos de Definir, medir, analizar, diseñar y verificar; y en el caso de PDCA-SDCA abarca los procesos de planificar, ejecutar, verificar y actuar; además de estandarizar, ejecutar, verificar y actuar; cuando se combina con el método SDCA.

La mayoría de los países de Latinoamérica se han caracterizado por ser grandes exportadores de hortalizas y frutas como: tomate, cebolla, bananos, piñas, así como cereales como arroz y maíz (Escobar, 2016; FAO-CEPAL-IICA, 2019), sin embargo para garantizar el desarrollo industrial de los mismos es necesario desarrollar una robusta industria alimentaria, por lo que se debe contar con procesos de manufactura con el menor porcentaje

de fallas y con mejores rendimientos, para ello es necesario contar con sólidos sistemas de control de calidad, basado en el uso adecuado de herramientas estadísticas.

En este sentido el objetivo de esta investigación fue evaluar la aplicación de la metodología sigma 6 para la optimización de procesos agroindustriales, la cual fue aplicada en el caso de la investigación con el propósito de identificar las fallas durante el proceso de llenado de néctares y jugos de frutos, donde se han reportado variaciones importantes en el peso final del producto, lo cual desmejora la calidad a nivel del usuario y ocasiona importantes pérdidas económicas.

2. Metodología

2.1. Descripción de la muestra y tipo de muestreo

La toma de muestra se realizó en la línea de envasado de néctar, siendo la muestra envases de aluminio con capacidad de 340 cm³, el procedimiento de muestreo fue de tipo sistemático, el cual se describe a continuación.

2.2. Tamaño y selección de muestra

El número de muestras a tomar se definió de acuerdo a la siguiente fórmula de Weirs: $n = (p.q)/(E^2/Z^2 + (p.q)/N)$; Donde: n: es el tamaño de la muestra; N: es el tamaño de la población; p: es la probabilidad de éxito (50%)= 0,5; q: probabilidad de fracaso (50%)= 0,5; E2: error muestral: (7%)= 0,07 y Z2: Unidades de desviación estándar (1,96)², resultando un tamaño de la muestra de 95 envases por cada lote producido, se seleccionaron 50 lotes.

2.3. Procedimiento de muestreo

La investigación se realizó en el área de envasado de néctares cuya presentación es de aluminio de capacidad de 340m³, para la evaluación se tomaron cuatro (4) muestras al azar por minuto, hasta completar 95 muestras por cada lote producido, cada muestra seleccionada fue pesada y registrada en un formato para control de datos y posteriormente fueron devueltas al almacén.

2.4. Método de análisis

Para el cumplimiento de los objetivos planteados y el análisis de los datos obtenidos en el estudio, se implementó la metodología 6 Sigma apoyada en la metodología DMAMC, la cual consta de cinco (5) fases; definición, medición, análisis, mejoramiento y control; en esta investigación se ejecutaron las tres primeras, las cuales se describen a continuación:

2.4.1. Etapa de definición

Para la definición del problema se hicieron varios recorridos por la planta, para observar directamente el proceso y familiarizarse con el mismo. Durante los recorridos se realizaron entrevistas no estructuradas a los obreros para conocer sus labores en el área y a su vez observar la realización de sus labores.

2.4.2. Etapa de medición

Para conocer la variación del proceso se prosiguió a la toma de muestras según lo establecido en el método operativo. El tamaño de muestras tomadas permite observar el comportamiento de la variación de peso existente en el producto terminado en la línea de néctares envasados en aluminio 340 cm³. Para el análisis estadístico de los datos obtenidos se emplearon gráficos de control además se realizó un diagrama de causa y efecto con la participación del personal de calidad para determinar las principales causas de los problemas que se presentan.

2.4.3. Etapa de análisis

Para la realización de esta etapa se realizaron gráficas de dispersión y graficas de control a partir de los promedios de los datos tomados por cada 5 lotes de los diferentes néctares registrados a lo largo de la investigación.

2.5. Interpretación de los resultados

Finalizada la etapa de medición y análisis en el desarrollo del estudio de la variación de pesos del producto terminado, el cual se llevó a cabo en la línea de envasado de aluminio 340cm³, se realizó un diagrama de causa y efecto, el cual fue desarrollado al inicio del ensayo y modificado a lo largo del período de realización del mismo, basado en observación directa y encuestas no estructuradas a los analistas de proceso y al jefe de sistemas de la calidad

Para la representación de los datos obtenidos se hizo una gráfica por cada cinco (5) lotes estudiados, promediando diez (10) valores registrados en cada lote, esto con la finalidad de obtener una representación más clara y legible de los resultados, los néctares registrados fueron: manzana, mango y durazno; cada uno de ellos fue representado gráficamente en promedio por cada cinco (5) lotes registrados en la etapa de medición. Para el caso de manzana se hicieron seis (6) gráficos, en los que se representarán treinta (30) lotes registrados; para el caso de néctar de mango se realizaron tres (3) gráficos, los cuales representan quince (15) lotes estudiados, y en el caso de durazno se realizó una gráfica en representación de los cinco (5) lotes registrados.

3. Resultados

Los resultados obtenidos muestran que la variación del peso de los envases está fuera de control estadístico, evidenciándose que en los 6 lotes evaluados el número de envases fuera del límite de control superior estuvo entre 2 y 14 envases, mientras que el número de envases fuera del límite de control inferior, estuvo entre 4 y 10 envases (Cuadro 1), estas variaciones por exceso o defecto representa pérdida para la empresa, entre las causas de la variación están el desajuste observado en la máquina llenadora.

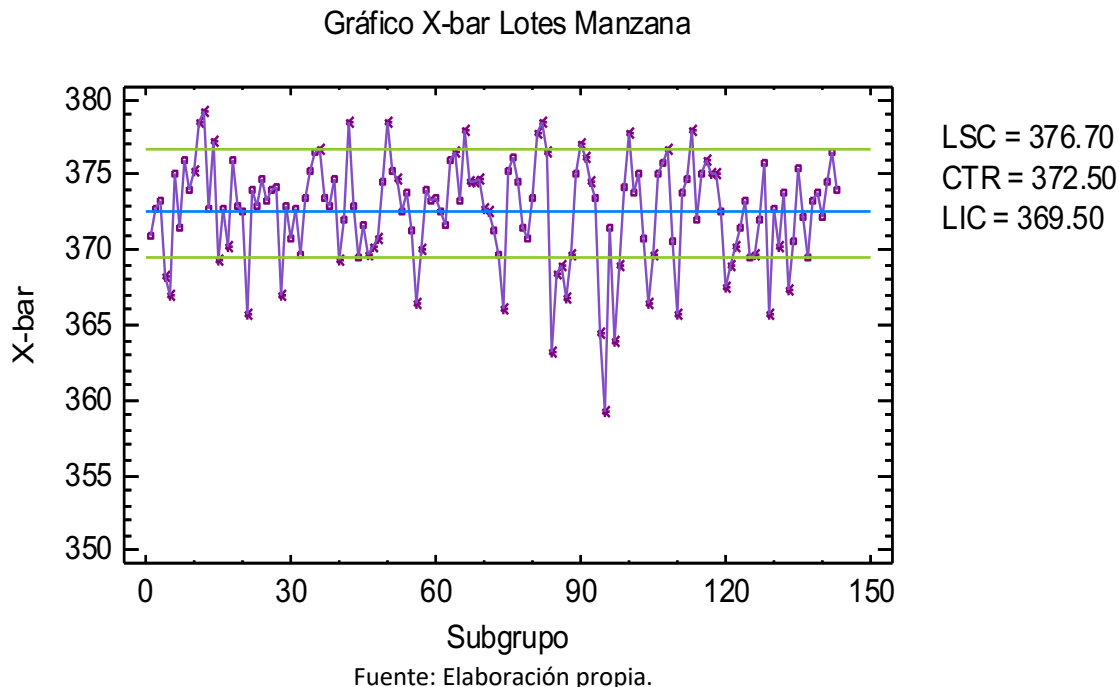
Al representar gráficamente los 6 lotes de néctar de manzana (Figura 1), se observa que en todos los lotes de néctar de manzana estudiados, que la variación de peso ocurre con mayor incidencia por debajo de la línea inferior de control, lo cual se traduce en un anomalía que puede afectar la percepción de los consumidores en relación a la calidad del producto ofertada por la empresa y una pérdida importante desde el punto de vista económico al recibir una cantidad menor del producto por el mismo costo. Este tipo de falla a largo plazo puede afectar las ventas de la empresa, porque si bien en este caso está usando menor cantidad de néctar, se afecta la credibilidad de la organización y con ello las ventas futuras.

Cuadro 1
Número de lotes con valores fuera de los límites críticos superior LCS) e inferior (LCI) durante el envasado de néctar de manzana

Grupo	n	Lotes por encima LS	Lotes Por encima LI
1	50	9	7
2	50	4	8
3	50	7	4
4	50	14	9
5	50	9	9
6	50	2	10

Fuente: Elaboración propia.

Figura 1
Variaciones promedio de peso en 6 lotes de néctar de manzana durante proceso de envasado



Aredo et al. (2017), para minimizar el llenado inadecuado durante el proceso de embotellado, diseñaron un prototipo automatizado para el llenado de botellas de agua, el cual es aplicable a líneas de llenado de néctares, basado en controladores asistido por computadora basado en la lógica difusa, la cual ha sido una alternativa para maximizar el proceso de llenado, evitando los errores comunes de los operarios, con esta técnica se incrementa la producción, se uniformiza el llenado, se reduce el tiempo de operación y se mejoraran las condiciones de trabajo de los operarios.

Al evaluar el comportamiento de 3 lotes de néctares de mango, cuyos resultados se expresan en el Cuadro 2, se observa que en todos los lotes el número de envase están por debajo del límite crítico inferior (LCI), los cuales superan considerablemente a los envases que superan el límite crítico superior (LCS) con valores de 24, 8 y 13 envases en los 3 lotes evaluados, lo que ratifica que durante el proceso se observa un déficit en la cantidad de néctar en relación a la cantidad ofertada en el envase.

Cuadro 2
Número de lotes con valores fuera de los límites críticos superior (LCS) e inferior (LCI) durante el envasado de néctar de mango

Grupo	n	Lotes por encima LS	Lotes Por encima LI
1	50	2	24
2	50	4	8
3	50	8	13

Fuente: Elaboración propia

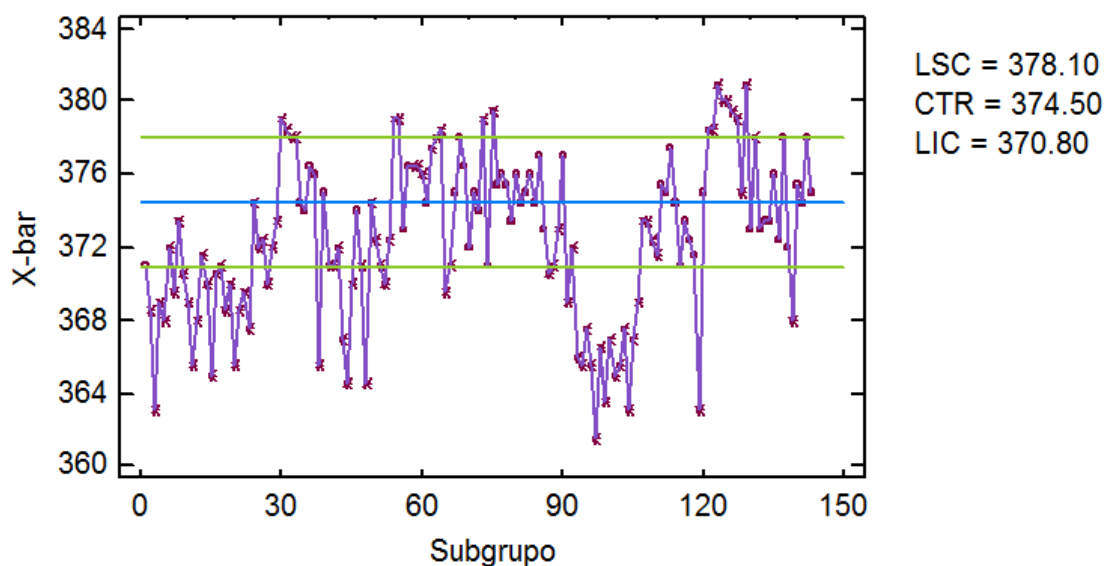
En la Figura 2, se representa la variación del peso de los envases de los 15 lotes de néctar de mango evaluados durante el ensayo, se observa que la variación de peso ocurre con mayor frecuencia por debajo de la línea inferior de control, lo que se traduce en un error que puede afectar como se mencionó previamente la imagen y valores de la empresas, a pesar de que el fallo no es un proceso deliberado y son causados por averías mecánicas durante

el proceso operativo, así mismo se observa que existen puntos fuera del límite del control superior, lo que representan pérdidas para la empresa.

Entre las causas de las variaciones, se encuentra a una calibración inadecuada del tanque de llenado, el cual se encontraba por está por debajo del nivel medio requerido, lo que conlleva a una disminución de la presión al momento del llenado, que afecta el correcto funcionamiento de las válvulas, haciendo que las misma se encuentre por debajo de los estándares de funcionamiento, una oferta de néctar por debajo de lo establecido en el envase representa una falta grave por parte de la empresa pudiendo incurrir en daños a la imagen de la misma e incluso sanciones por entes legales.

Schilling (2017) afirma que las técnicas de llenado en tanque a nivel industrial producen riesgos a los operarios y deterioro en el ambiente, en el caso de la agroindustria se traduce en pérdidas o llenado inadecuado de los envases, para lograr un llenado óptimo de los tanques se propone uso de sistemas automático de prevención de sobre llenado, a través del uso de sensores, lo que permitirá regular el nivel del tanque evitando las fallas en la cantidad de producto ofertado.

Figura 2
Variaciones promedio de peso en 6 lotes de néctar de mango durante proceso de envasado
Gráfico X-bar para Lotes Mango



Fuente: Elaboración propia.

Cabe destacar, que la viscosidad del néctar también afecta el volumen dispensado por la máquina llenadora, particularmente cuando el tanque de la misma está por debajo del nivel medio, en este caso el néctar de mango es un producto de mayor viscosidad, lo que ocasiona que, en condiciones inadecuadas de llenado del tanque, los volúmenes de producto varíen significativamente a valores inferiores de los requeridos en las especificaciones técnicas del producto.

Sin embargo, el problema de la viscosidad se puede reducir mediante la aplicación de enzimas peptolíticas, que permiten que néctares con mayor viscosidad se lleven a una viscosidad estándar, lo cual reduciría los problemas de llenado inadecuado de los envases (Quintero, Cifuentes & Giraldo, 2012)

Con relación al néctar de durazno se evaluó un único lote (Cuadro 3), donde se observa que el número de envase está por debajo del límite crítico inferior (LCI), superando al número de envases que superan el límite crítico

superior (LCS) con 17 envases, lo que ratifica lo expresado previamente, el problema más importante durante el proceso de envasado es un llenado incompleto de la cantidad de néctar por debajo de las especificaciones técnicas del producto.

En la Figura 3, se representa la variación del peso de los envases de los 5 lotes de néctar de durazno, donde se observan que 11 puntos están fuera del límite de control superior (LCS) y 17 puntos se encuentran fuera del límite de control inferior (LCI), el envasado de una cantidad menor a lo establecido técnica y comercialmente representa una falta grave por parte de la empresa pudiendo acarrear en sanciones legales.

Para identificar las causas de un correcto llenado de los envases de néctar de manzana, mango y durazno se realizó un diagrama de causa-efecto cuyo resultado se representa en la Figura 4.

Se analizaron que las fallas pudieron ocurrir en 3 momentos del proceso en la operación, durante el mezclado, y durante el traslado en las tuberías, debido a fallas en el funcionamiento de la maquina o técnicas inadecuadas de llenado. Durante el proceso de operación, se identificó que los operadores realizaron una inadecuada graduación de la máquina, además de observar distracción en sus labores, adicionalmente durante el proceso de mezclado las variaciones son explicadas por diferencias en la viscosidad del néctar, mientras que durante el transporte, las fallas son debidas a la presencia de remanente de néctar en las tuberías, que van disminuyendo la cantidad requerida en los envases.

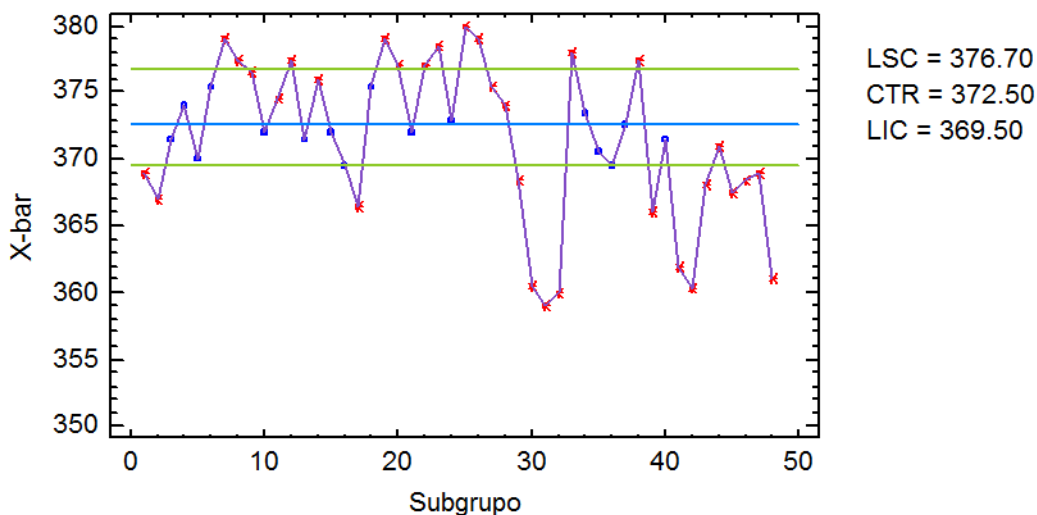
Cuadro 3
Número de lotes con valores fuera de los límites críticos superior LCS) e inferior (LCI) durante el envasado de néctar de durazno.

Grupo	n	Lotes por encima LS	Lotes Por encima LI
1	50	11	17

Fuente: Elaboración propia

Figura 3
Variaciones promedio de peso en un lote (1) de néctar de durazno durante proceso de envasado

Gráfico X-bar para Durazno 1



Fuente: Elaboración propia

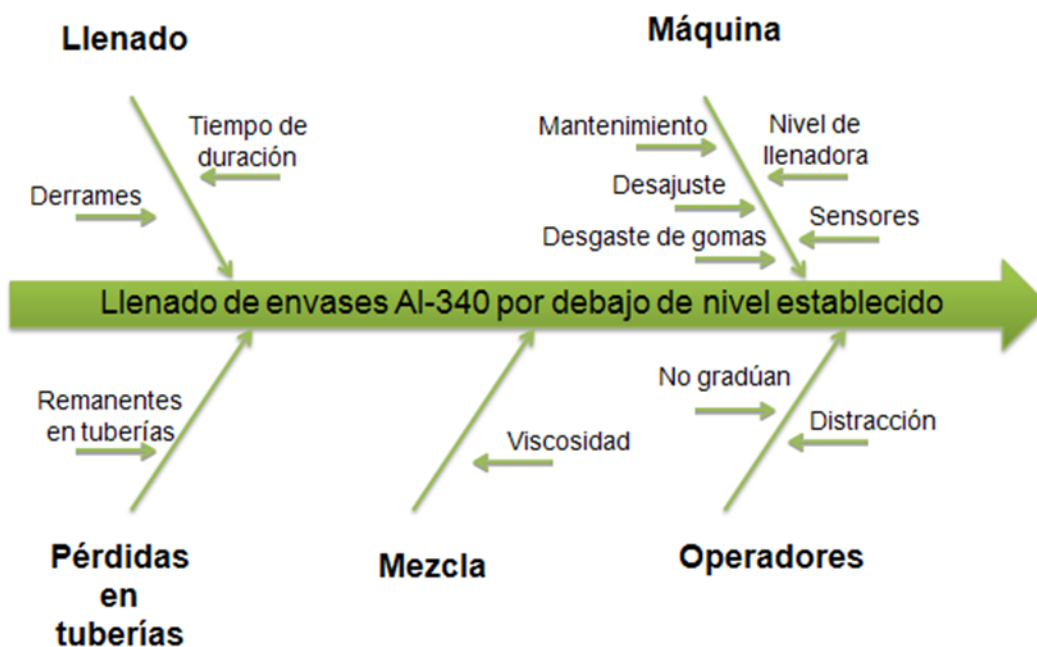
En relación al funcionamiento de la máquina, las causas del inadecuado llenado son debidas a fallas en los sensores, inadecuado nivel de la llenadora, desgaste de la goma, desajuste de la máquina y falta de mantenimiento, cabe destacar que este tipo de maquinaria es sometida a constantes vibraciones mecánicas las cuales a largo plazo si no existe un mantenimiento preventivo de la maquinaria, conllevan a un desgaste y a un inadecuado funcionamiento de las mismas, causando en este caso llenado de envases por debajo o por encima de los valores requeridos.

Comprender el estudio de las vibraciones mecánicas sobre el comportamiento óptimo de la maquinaria, es necesario para realizar el mantenimiento preventivo y evitar el desgaste de las piezas, Salokyová, Krehel, Pollák & Kočiško (2016), señalan en este sentido que los procesos industriales deben estar basados en un proceso constante de control y medición para establecer mantenimientos preventivos; pudiendo estimar el estado actual y futuro de los equipos.

Durante el llenado, el incumplimiento de las buenas prácticas de manufactura (BPM) puede llevar a un tiempo de llenado no adecuado, de acuerdo a las características técnicas establecidas para cada néctar, tiempo inferior a lo requerido causa un llenado incompleto del néctar y tiempos superiores al requerido ocasionan derrames del producto.

Los resultados de esta investigación demuestran que el uso de un sistema de control basado en técnicas estadísticas confiables como el 6-Sigma son necesarias para garantizar un adecuado cumplimiento de los estándares de calidad dentro de los proceso agroindustriales, no solo para garantizar los rendimientos de la organización, sino parara ofrecer productos que en calidad y cantidad satisfagan los requerimientos de los consumidores, manteniendo los valores e imagen institucional de las organizaciones.

Figura 4
Diagrama de Causa y Efecto para la Variación de los pesos de producto terminado AI-340



Fuente: Elaboración propia

4. Conclusiones

El análisis del proceso productivo, usando la metodología 6-sigma apoyada en la herramienta DMAMC, para la elaboración de los diferentes néctares en presentación de envases de aluminio con volumen de 340 cm³, permitió identificar que el mismo está fuera de control estadístico, observando que la mayoría de las variaciones la variable peso se encuentran por debajo de la línea de control inferior. Indicando un incumplimiento del volumen ofrecido por la empresa.

Las mayores irregularidades en la homogeneidad del peso de los envases de fueron observadas en los néctares de mango y durazno, donde la mayoría de los envases estuvieron por debajo del límite inferior crítico (LCI), mientras que la mayor cantidad de envases por encima del límite de control superior (LCS) se observaron en el néctar de manzana. Cabe destacarse que el proceso de llenado fue afectado por los cambios en la viscosidad de los néctares.

La principal causa de las variaciones en los pesos del producto terminado, fueron los desajustes de la máquina llenadora, por frecuentes fallas en las válvulas y la inadecuada calibración del nivel del tanque de la llenadora, que afecta significativamente la cantidad de producto adicionado en cada uno de los envases de aluminio 340cm³.

Referencias bibliográficas

- Alvarado, K.; Pumisacho, A. (2017). Prácticas de mejora continua, con enfoque Kaizen, en empresas del Distrito Metropolitano de Quito: Un estudio exploratorio. *Intangible capital*, 13 (2): 479-497.
- Aredo, F.; Cueva, A; García, K.; Costa, I.; Mantilla, I.; Rivera, Y. ; & Gonzales, J. S. (2017). Diseño de un prototipo semi-automatizado con sistema Arduino para llenado de botellas de vidrio. *EXPOTEC?*, 10.
- Bastías, J. M.; Cuadra, M.; Muñoz, O., & Quevedo, R. (2013). Correlación entre las buenas prácticas de manufactura y el cumplimiento de los criterios microbiológicos en la fabricación de helados en Chile. *Revista chilena de nutrición*, 40(2), 161-168. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182013000200011>
- De Cassia P, K.; De Oliveira, M. L., & De Souza, F. A. (2017). Levantamento das reclamações de clientes de uma indústria de autopeças por meio da aplicação do diagrama de Pareto. *Revista Produção Industrial e Serviços*, 4(1), 102-112.
- De la Ossa, J. J.; Acosta, R. J. H.; Alvear, K. H., & Gélvez, E. F. (2018). Application of multivariate statistical control to measure the process capability of compression springs in stainless Steel. *Prospectiva*. 16(2), 49-58. <http://dx.doi.org/10.15665/rp.v16i2.1495>
- Delgadillo R., S. I.; Enriquez G., A.; Lopez O., S. D. J., & Ruiz L., I. (2019). Sistematización del proceso de emisión de licencias para fuentes radiactivas basado en ISO 9001: 2015. (Tesis de pregrado). Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México.
- Escobar, G. (2016). La relevancia de la agricultura en América Latina y el Caribe. Fundación Friedrich Eber. Buenos Aires, Argentina, 22 p.
- FAO-CEPAL-IICA. (2019). Perspectivas de la agricultura de desarrollo rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe 2019-2020. San José, Costa Rica, 144 p.
- Fermín, J. S.; Valdivieso, M.; Merli, G. O., & Barreto, S. (2009). Control estadístico de procesos multivariantes en la industria alimentaria: implementación a través del estadístico T2-Hotelling. *Revista agroalimentaria*, 15(28), 91-105.

- Hernández-Pedrerá, C. & Da Silva-Portofelipe, F. (2016) Aplicación del control estadístico de procesos (CEP) en el control de calidas. *Tecnología Química*, 35(1):130-145.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543786011>
- Herrera, R.; Hernández, K.; Figueroa, E.; De la Ossa, J. (2018). Aplicación del control estadístico multivariado para medir la capacidad del proceso de fabricación de resortes de compresión en acero inoxidable. *Prospectiva* 16 (2): 49 - 58
- Martín, L. E. M.; Sánchez, A. R., & Monarrez, F. L. (2017). La innovación y el proceso de desarrollo de dispositivos médicos. *Cultura Científica y Tecnológica*, (58).
- Oghenewiroro, G. (2017). Relationship between Nominal Group Techniques and Concurrent Engineering: A Review. *International Journal of Latest Research in Engineering and Technology (IJLRET)*, 3 (3): 47-62.
- Penna, E.; Vasconcelos, M. E. S.; Gomes, B., & Guimarães, S. (2018). Aplicação dos diagramas de ishikawa e pareto para análise de não conformidades em uma empresa de processamento de aço e caldeiraria em campos dos goytacazes. *Exatas & Engenharias*, 8(22). <https://doi.org/10.25242/885X82220181524>
- Pérez-López, E., & García-Cerdas, M. (2014). Implementación de la metodología DMAIC-Seis Sigma en el envasado de licores en Fanal. *Revista tecnología en Marcha*, 27(3): 80-88.
<https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v27n3/a10v27n3.pdf>
- Quintero, V. D.; Cifuentes, A. L. D., & Giraldo, G. A. (2012). Evaluación de viscosidad y color en la pulpa de mango común (*Mangifera indica* L.) tratada enzimáticamente. *Temas agrarios*, 17(2): 66-76.
- Salokyová, Š.; Krehel' R; Pollák M. & Kočiško M. 2016. Research on impacts of mechanical vibrations on the production machine to its rate of change of technical state", *Advances in mechanical engineering*, , 8 (7): 1-10, <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/1687814016655778>
- Santoyo, E. A. R.; López, J. A. V.; García, J. A. J.; Domínguez, O. C., & Rodríguez, B. L. V. (2017). Sistema para el monitoreo y control de procesos multivariantes a través del estadístico t2 de hotelling y la red neuronal artificial fuzzy artmap. *DYNA Management*, 5(1). <http://dx.doi.org/10.6036/MN8206>
- Schilling, M.; Sanchez, M.; Town, T., & Smart, W. (2017). U.S. Patent No. 9,679,669. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Trimarjoko, A.; Saroso, D.; Purba, H.; Hasibuan, S.; Jaqin, C., & Aisyah, S. (2019). Integration of nominal group technique, Shainin system and DMAIC methods to reduce defective products: A case study of tire manufacturing industry in Indonesia. *Management Science Letters*, 9(13), 2421-2432. doi: 10.5267/j.msl.2019.7.013