



SIMPOSIO INTERNACIONAL INDUSTRIA Y ENERGÍA

Estudio de estabilidad y capacidad del proceso de producción de una empresa de pastas alimenticias

Stability and capability study of the production process of a food pasta company

Roxana González Álvarez¹, Aníbal Barrera García², Juan Felipe Medina Mendieta³

- 1- Universidad de Cienfuegos, Cuba. E-mail: rgonzalez@ucf.edu.cu
- 2- Universidad de Cienfuegos, Cuba. E-mail: abarrera@ucf.edu.cu
- 3- Universidad de Cienfuegos, Cuba. E-mail: jfelipemm@ucf.edu.cu

Resumen:

El control estadístico de la calidad es un conjunto de herramientas y técnicas que permiten verificar, monitorear y controlar la variabilidad de los procesos, para mejorar la calidad de los productos y la competitividad empresarial. El objetivo de este estudio fue evaluar el proceso de producción de pastas largas de una empresa perteneciente al sector de la industria alimentaria, en cuanto a estabilidad y cumplimiento de especificaciones de calidad.

Se utilizó la metodología de mejora seis sigma, la que se enfoca en identificar y eliminar las causas de variación de los procesos. Para la recopilación de información se utilizaron: entrevistas, tormenta de ideas, revisión de documentos, trabajo en equipo y observación directa. Se hace uso de técnicas de documentación de procesos y de herramientas clásicas de la calidad, entre las que se encuentran: diagrama de Pareto, gráficos de control, índices de capacidad de procesos, histograma, diagrama Ishikawa y diseño experimental. También se aplicaron técnicas multivariadas de reducción de datos. Los resultados mostraron que para la característica de calidad humedad, el proceso está fuera de control estadístico y es incapaz de cumplir con las especificaciones requeridas, para la que se investigaron las causas y se propusieron acciones de mejora, lográndose un incremento en el nivel de calidad sigma.



Abstract:

Statistical quality control is a set of tools and techniques that allows to verify, monitor and control the variability of processes to improve product quality and business competitiveness. The objective of this study was to evaluate the pasta production process of a company that belongs to the food industry sector in terms of stability and compliance of quality specifications.

The six sigma improvement methodology was used, which focuses on identifying and eliminating the causes of variation in the processes. Data collection was accomplished by the use of different techniques, such as: interviews, brainstorming, review of documents, teamwork and direct observation. In addition, process documentation techniques and classical quality tools including Pareto chart, control charts, process capability analysis, histogram, Ishikawa diagram and experimental design were used. Multivariate data reduction techniques were also applied. The results showed for the humidity quality characteristic that the process is out of statistical control and does not have enough ability to fulfill the required specifications, for which the causes were investigated and improvement actions were proposed, achieving an increase in the sigma quality level.

Palabras Clave: Pasta; Control de calidad; Gráficos de control; Análisis de capacidad de procesos; Seis sigma.

Keywords: Pasta; Quality control; Control charts; Process capability analysis; Six sigma.

1. Introducción

La pasta es un alimento con alta aceptabilidad a nivel mundial, versátil, económica, de fácil preparación y almacenamiento. Posee valor nutricional y sensorial (Biernacka et al., 2017), efecto de bajo índice glucémico (Makhlouf et al., 2019), bajo en sodio y grasas, sin colesterol y rico en carbohidratos complejos (Garsa, 2017). Puede combinarse con gran variedad de salsas y saborizantes.

Se obtiene mediante el mezclado de agua con sémola de trigo o harina de trigo, o mezclas de ellas sometida a los procesos de amasado, prensado, moldeado y secado (NC 935: 2012). Se le pueden añadir enriquecedores o aditivos alimentarios que aumenten su valor nutricional (NC 935: 2012; Bustos, Pérez y León, 2015).



La calidad de las pastas se evalúa mediante la realización de pruebas basadas en la determinación de propiedades físico-químicas (acidez, humedad) y de cocción (Biernacka et al. 2018; Peña, 2019), así como la evaluación nutricional y sensorial (textura, sabor, color, aroma) (Larrosa et al., 2016; Bouasla, Wójtowicz y Zidoune, 2017; Biernacka et al., 2017).

En el caso de las características físico-químicas, el cumplimiento de las especificaciones de calidad contribuye a disminuir los riesgos microbiológicos y mantener las propiedades sensoriales deseadas (Peña, 2019). Por su parte, en el análisis sensorial autores como Biernacka, Dziki, Gawlik-Dziki, Różyło y Siastała (2017) explican que los parámetros de referencia se encuentran fuertemente afectados por el mercado, lo que limita la realización de estudios con un enfoque científico. Tanto el color de la pasta como la textura constituyen características de calidad que dependen en gran medida de las propiedades de la composición de la materia prima (Biernacka et al., 2017).

Es preciso destacar que la pasta de mejor calidad está hecha de sémola de trigo duro, que se comercializa a un precio superior al del trigo blando; es por ello que la pasta a menudo se produce a partir de este último (Fuad y Prabhasankar, 2010). El producto obtenido de dicha harina generalmente se caracteriza por una peor calidad de cocción (Biernacka et al., 2017), por lo que se requiere de un procesamiento adecuado y formulaciones equilibradas para contrarrestar sus pobres propiedades tecnológicas (Fuad y Prabhasankar, 2010).

Fuad y Prabhasankar (2010) y Biernacka, Dziki, Gawlik-Dziki, Różyło y Siastała (2017) indican que para obtener pastas de alta calidad es necesario seleccionar adecuadamente las materias primas, ingredientes y aditivos a utilizar, controlar las variables de entrada de la línea de producción y cumplir los requisitos de empaque establecidos que garantizan la vida útil del producto.

Por su parte Ogawa y Adachi (2017) plantean que la etapa más compleja del proceso de producción de las pastas es el secado. Algunas investigaciones han demostrado como las condiciones de temperatura y humedad de la operación de secado influyen en la calidad de la pasta (Sicignano et al., 2015; Piwińska et al., 2016). También Peña (2019) enfatiza en que un correcto secado le confiere a la pasta estabilidad, fuerza, cohesión, mejor desempeño durante la cocción, menor riesgo de crecimiento microbiológico y una vida útil prolongada.



El monitoreo y control de la calidad en la industria alimentaria requiere de la aplicación de herramientas y técnicas estadísticas que permitan verificar, monitorear y controlar la variabilidad de sus procesos productivos para mejorar la calidad, la competitividad y el desempeño empresarial (Soriano, Oprime y Lizarelli, 2017).

En este sector ha sido ampliamente utilizado el control estadístico de la calidad (Chero, 2019), constituyendo una de sus funciones clave, puesto que se relaciona con la verificación de productos para cumplir con las normativas alimentarias y atraer la confianza de los consumidores.

Un estudio realizado por Abdul, Antony y Arshed, (2016) mostró que la implementación de herramientas del control estadístico de la calidad, brinda a la industria alimentaria las ventajas para mejorar el rendimiento de los procesos, como la calidad y el funcionamiento del producto. No obstante Soriano, Oprime y Lizarelli (2017) plantean que aún faltan revisiones sobre la gestión de la calidad y las prácticas de mejora en este sector, especialmente en la aplicación del control estadístico de la calidad.

Autores como Idrissi y Benazzouz (2019) sugieren que con la utilización de Seis Sigma, se ha fomentado el uso de datos y el pensamiento estadístico, metodología que se enfoca en mejorar el nivel de desempeño y la capacidad de los procesos organizacionales mediante la reducción de la variabilidad.

También Abdul, Antony, Arshed y Albliwi (2017) y Message, Godhino y Fredendall (2018) plantean que la implementación de actividades o programas relacionados con la calidad como Seis Sigma garantiza que la preparación de alimentos sea segura y de calidad y que dicha metodología es efectiva para el sector alimentario, cuya implementación está aún creciendo.

En el caso concreto de Cuba, las empresas de la industria alimentaria requieren poner el énfasis en la mejora de la calidad de sus productos y en el desempeño empresarial, que les permita sobrevivir en un entorno cada vez más competitivo. En este sentido el cumplimiento de las normas alimentarias establecidas y el control de los procesos de producción para garantizar la calidad e inocuidad de los alimentos constituyen problemáticas de actualidad e importancia estratégicas.



Unido a lo anterior, se tiene que existen carencias en la práctica cotidiana empresarial en este sector en Cuba, en cuanto al uso de técnicas y herramientas estadísticas que permitan controlar los procesos de producción, lo que afecta la calidad del producto final.

La presente investigación se realizó en una empresa de producción de pastas largas que distribuye sus productos en la red de comercio minorista del país, centros de consumo social (hospitales, escuelas) e instituciones turísticas. Durante el primer cuatrimestre del año 2019 se identificaron pérdidas por concepto de mala calidad que están en el orden de 66,60 toneladas equivalentes a 95 160 pesos.

La organización tiene entre sus prioridades, fomentar el uso de herramientas y técnicas estadísticas que permitan el control de la calidad de sus producciones con un enfoque de mejora continua. El objetivo del presente trabajo es evaluar la estabilidad y capacidad del proceso de producción de pastas largas. Con la realización del mismo se determinan los principales problemas relacionados con la inestabilidad y la baja capacidad del proceso para cumplir con especificaciones, así como la propuesta de acciones de mejora, que se visualizan en un incremento en el nivel de calidad sigma.

2. Metodología

El procedimiento empleado para el desarrollo de la investigación es la metodología Seis Sigma (Ver Figura 1). Este se organiza metodológicamente en cinco etapas.



Figura 1. Secuencia Seis Sigma DMAIC

Fuente: ISO 13053: 2011

A continuación se explican cada una de estas etapas a partir de lo expuesto por García (2014):

Etapa I Definir: Consiste en realizar un diagnóstico de la situación actual de la empresa identificando cuáles son los elementos seleccionados para aplicar la metodología. Ello puede partir de sus objetivos estratégicos, desempeño de los procesos y los aspectos deficientes de servicio al cliente que dan respuesta a los requisitos del producto y/o servicio.



Etapa II Medir: Se deben determinar cuáles son las características críticas que influyen sobre las variables resultantes del proceso y medirlas. Se debe preparar un plan de recolección de datos, para lo cual es importante asegurarse de la confiabilidad de los dispositivos de medición que pueden ser instrumentos de medición o cuestionarios de evaluación para el servicio.

Etapa III Analizar: Consiste en analizar los datos obtenidos de la etapa de medición identificando las fuentes de variabilidad. En la misma se deducen las relaciones existentes entre las variables de entrada y salida del proceso. Esta etapa es la de mayor contenido técnico ya que se comprueban las teorías o hipótesis sobre el funcionamiento del proceso, donde es necesario acudir a herramientas estadísticas avanzadas. Como salidas de esta etapa se tiene el análisis de la influencia de estas variables, capacidad de procesos, identificación de las fuentes de variabilidad y preparación de la etapa de mejora a partir de las causas raíces.

Etapa IV Mejorar: Comienza una vez que se han identificado las citadas causas vitales. Se desarrolla un plan de implantación de mejoras que aporte soluciones sólidas para eliminar los defectos en los que incurre el proceso y se realiza un análisis costo-beneficio de las soluciones, de forma que puedan ser una ayuda a la toma de decisiones de la dirección de la empresa. Generalmente, antes de ser implantadas las mejoras, es recomendable hacer una prueba piloto de las mismas para determinar su alcance.

Etapa V Controlar: Se comprueba la validez de las soluciones propuestas y probadas en escala piloto. Se deben establecer controles, no sólo sobre las salidas del proceso sino también sobre las causas vitales que inciden en su consecución. En ocasiones los procesos, pasado un tiempo pierden regularidad en su comportamiento, por lo que para evitarlo, la metodología Seis Sigma impone controles que monitorizan permanentemente los procesos con el fin de mantener las ganancias conseguidas.

3. Resultados y discusión

Para la aplicación se tomó como objeto de estudio una empresa de producción de pastas largas, perteneciente al sector de la industria alimentaria.

Etapa I: Definir

La empresa produce tres tipos de pastas largas secas (Espaguetis). Las diferencias entre estas radican en la composición y el tipo de materia prima a utilizar. Atendiendo a la



clasificación que se establece en la NC 935: 2012, las pastas alimenticias secas se clasifican en seis grados de calidad. Las que se describen a continuación corresponden a las producciones de la empresa objeto de estudio:

- **Grado A:** Pastas alimenticias secas elaboradas con sémola o harina granular de trigo duro.
- **Grado B:** Pastas alimenticias secas elaboradas con mezcla de sémolas y harina granular de trigo común en las proporciones 50 % sémola - 50 % harina y 30 % sémola - 70 % harina.
- **Grado C:** Pastas integrales con sémola y salvado con la proporción de hasta 5 % de salvado.

Durante el período de enero a abril de 2019 la empresa de producción de pastas largas seleccionada produjo un total de 2 308,37 toneladas. De ellas 1769,91 toneladas corresponden al espagueti de 400 g Grado B, lo que representa el 76,67% del total, según se muestra en el Diagrama de Pareto de la Figura 2.

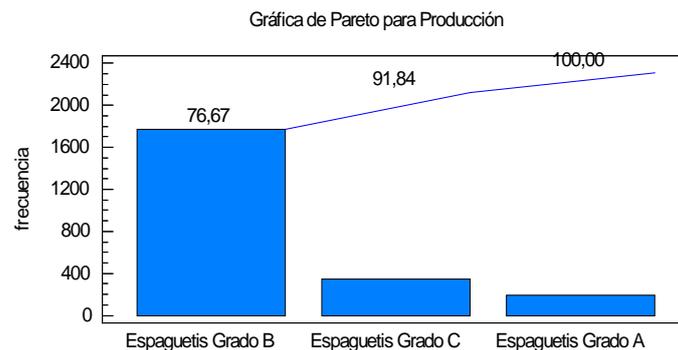


Figura 2: Diagrama de Pareto para Producción (Ton) en el período de enero - abril 2019

Fuente: Elaboración propia

En ese mismo período se identificaron 66,60 toneladas de pérdidas asociados a la mala calidad de las pastas, equivalente a 95 160 pesos. En la Figura 3 se muestran las pérdidas por tipo de producto, donde el espagueti Grado B representa el 84,94% del total.

A partir de la situación expuesta se hace evidente la necesidad de aplicar herramientas de control estadístico de la calidad para conocer el estado actual del proceso de producción de pastas en cuanto a estabilidad y capacidad para cumplir con especificaciones.

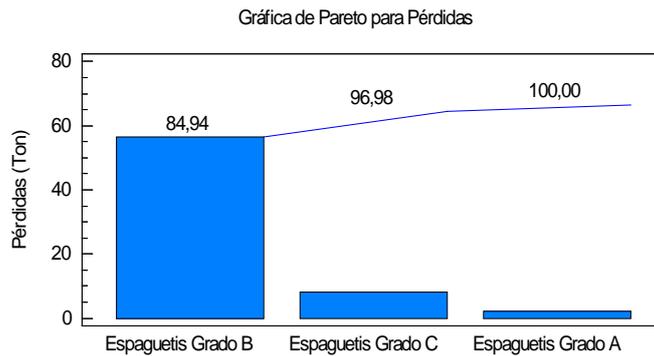


Figura 3: Diagrama de Pareto para Pérdidas (Ton) en el período de enero - abril 2019

Fuente: Elaboración propia

Las características de calidad por las que un lote es aceptado así como sus especificaciones se encuentran establecidas en la Norma Ramal de la Industria Alimentaria NRIAL 168: 2001 Pastas Alimenticias - Especificaciones.

Es importante destacar que los especialistas consideran que el principal problema asociado a las pérdidas por concepto de mala calidad de las pastas se debe a incumplimiento de las características físico-químicas. La Tabla 1 muestra dichas características.

Tabla 1: Características de calidad físico-químicas de las pastas alimenticias secas Grado B.

Fuente: NRIAL 168: 2001

Características de calidad	Grado B
Humedad (%)	Especificación Inferior (EI) = 11% Valor Nominal (N)=12% Especificación Superior (ES) = 13%
Acidez (%)	ES = 0,4%

Un alto contenido de humedad (>13%) potencia el riesgo de alteraciones microbiológicas del producto, ya que el mismo se hace más propenso a la descomposición y como consecuencia aparecen las toxiinfecciones, además de perder las características sensoriales deseadas. Mientras tanto una humedad muy baja (<11%), además de alterar el proceso de cocción de la pasta implica un elevado incremento en los costos para la empresa y una disminución del rendimiento.

La acidez también garantiza la inocuidad de las pastas previniendo enfermedades. Valores de 0,4% o menores, permiten obtener un producto inocuo listo para el consumo humano.



En esta etapa también se documentó el proceso de producción de pastas mediante un diagrama SIPOC (proveedores-entradas-proceso-salidas-clientes), un diagrama de flujo básico y la ficha correspondiente, herramientas de utilidad para entender y describir dicho proceso.

Etapa II: Medir

Evaluación de la estabilidad del proceso

Para evaluar la estabilidad se utilizaron los gráficos de control, en este caso en particular se seleccionó la carta de medias para evaluar la estabilidad en cuanto a tendencia central y la carta de rangos para evaluar la estabilidad de la amplitud de la variación. A tal efecto se tomaron ocho observaciones diarias de humedad y acidez durante 24 días del mes de abril de 2019.

Se seleccionaron estas cartas dado que se aplican a características de calidad de tipo continuo como lo son la humedad y la acidez, se considera como tamaño del subgrupo el total de observaciones que se realizan diariamente, siendo ocho. Este tipo de análisis permite identificar si el proceso está trabajando con causas comunes o especiales de variación.

- Característica de calidad: Humedad (%)

La Figura 4 muestra las cartas de medias y de rangos para la humedad (%) correspondiente al mes de abril de 2019.

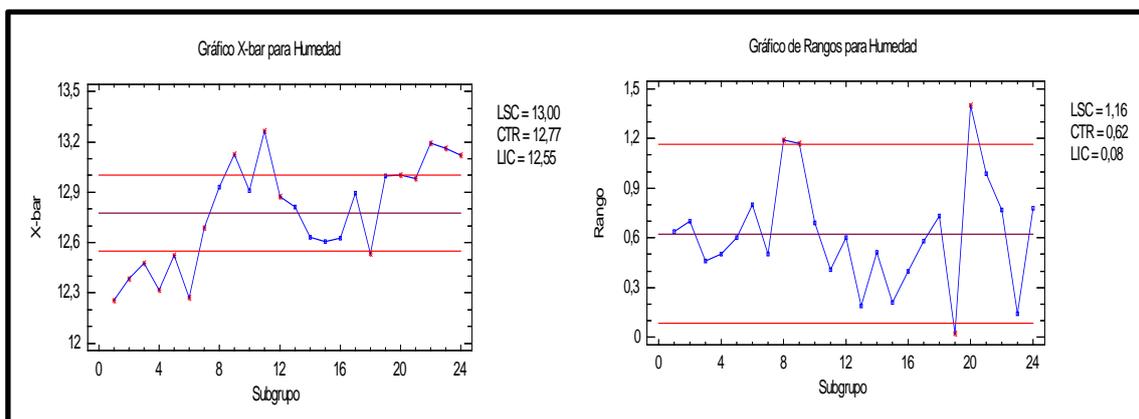


Figura 4: Gráficos de control de medias y rangos para la característica de calidad Humedad (%) en el mes de abril de 2019. Fuente: Elaboración propia

Para esta característica de calidad se tiene que el proceso se encuentra trabajando con causas especiales de variación puesto que se observan puntos fuera de los límites de control y comportamientos no aleatorios. Las pruebas de corridas buscan e identifican



cualquier patrón inusual en los datos. La Tabla 2 muestra el subgrupo en el que se detectó el patrón inusual, así como la regla particular que se ha violado. Se identificaron un total de 23 secuencias inusuales en el gráfico de medias y una en el gráfico de rangos.

Tabla 2: Pruebas de corridas para Humedad (%). Fuente: Elaboración propia

Pruebas de Corridas			
Violaciones			Reglas
Subgrupo	Gráfico X-bar	Gráfico de Rangos	
2	D		(A) Secuencias arriba o abajo de la línea central con longitud 8 o mayor. (B) Secuencias arriba o abajo de longitud 8 o mayor. (C) Conjuntos de 5 subgrupos con al menos 4 más allá de 1,0 sigma. (D) Conjuntos de 3 subgrupos con al menos 2 más allá de 2,0 sigma. (E) Conjuntos de 15 subgrupos en o dentro de 1,0 sigma. (F) Conjuntos de 8 subgrupos más allá de 2,0 sigma. (G) Conjuntos de 8 observaciones alternando arriba y abajo.
3	D		
4	CD		
5	CD		
6	CD		
7	C		
9	D	D	
11	CD		
12	C		
18	C		
20	D		
21	CD		
22	CD		
23	CD		
24	CD		

En el caso del gráfico de medias se observan desplazamientos o cambios en el nivel promedio del proceso, lo que indica en este caso que el proceso ha empeorado. Esto ocurre cuando uno o más puntos se salen de los límites de control o cuando hay una tendencia larga y clara a que los puntos consecutivos caigan de un sólo lado de la línea central.

Un proceso muy inestable es un proceso con pobre estandarización, donde hay cambios continuos o mucha variación atribuible a materiales, mediciones, diferencias en la condiciones de operación de la maquinaria y desajustes, distintos criterios y falta de capacitación de los operarios, entre otras.

- Característica de calidad: Acidez (%)

La Figura 5 muestra las cartas de medias y rangos para la Acidez (%). Para esta característica de calidad se observa que el proceso se encuentra trabajando con causas comunes de variación, puesto que sus puntos caen dentro de los límites de control y

fluctúan o varían de manera aleatoria a lo ancho de la carta. Puede decirse que el proceso está en un estado de control estadístico, es decir, su comportamiento es predecible en el futuro inmediato.

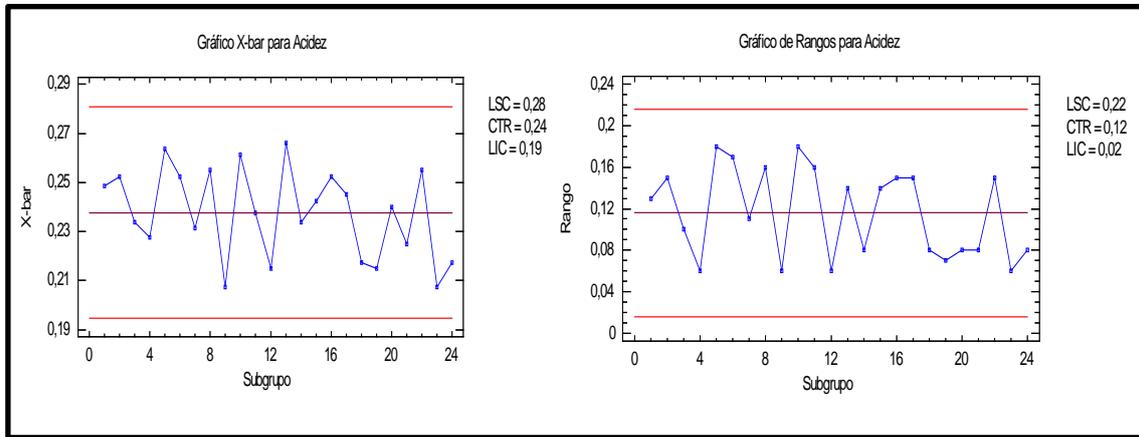


Figura 5: Gráficos de control de medias y rangos para la característica de calidad Acidez (%) en el mes de abril de 2019. Fuente: Elaboración propia

Evaluación de la capacidad del proceso

La evaluación de la capacidad del proceso, es decir, de la habilidad para cumplir con las especificaciones de calidad, se evalúa a partir de los índices de capacidad para variables continuas.

- Característica de calidad: Humedad (%)

En este caso se tiene una variable del tipo valor nominal es mejor, donde para considerar que hay calidad las mediciones deben ser iguales a cierto valor nominal o ideal (N=12%), o al menos tienen que estar con holgura dentro de las especificaciones inferior (EI=11%) y superior (ES=13%). Lo que se busca es ver si el proceso es capaz de cumplir con dichas especificaciones.

La Figura 6 muestra el gráfico de capacidad para la humedad y los índices de capacidad estimados de corto y largo plazos. La capacidad de corto plazo representa el potencial del proceso, es decir, lo mejor que se puede esperar del mismo. Se evidencia que el proceso es potencialmente capaz de cumplir con especificaciones si estuviera centrado (Clase 1: Adecuado para el trabajo) puesto que el valor de $C_p=1,55$ es mayor que 1,33 según lo que establecen Gutiérrez y De la Vara (2013).

El análisis de los índices unilaterales permite concluir que el proceso es capaz de cumplir con la EI al ser el índice C_{pk} (inferior) mayor que 1,25, mientras que el C_{pk} (superior) indica que el proceso no es capaz de cumplir con la ES según el criterio de



Gutiérrez y De la Vara (2013). Además de acuerdo al índice K, el proceso está descentrado a la derecha del valor nominal en un 77%, lo que influye en su baja capacidad.

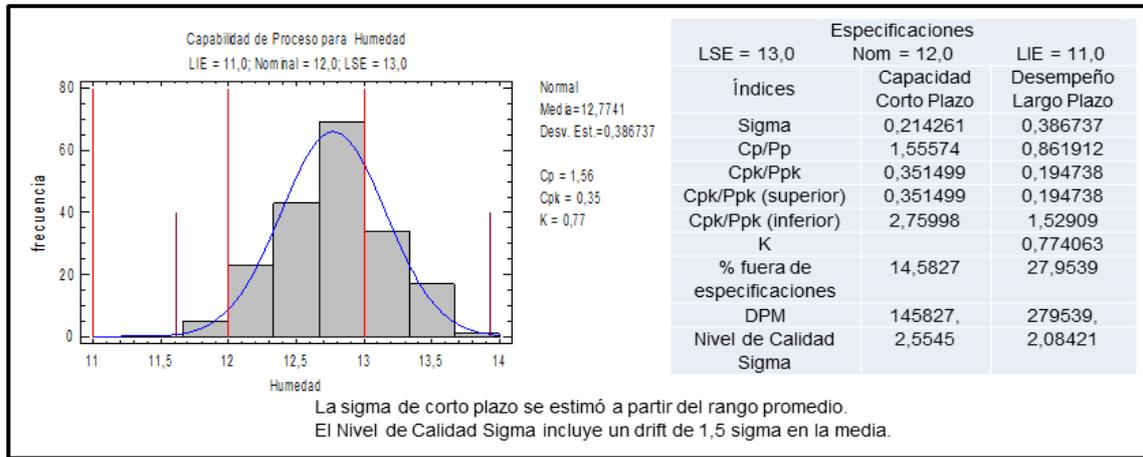


Figura 6: Análisis de capacidad para Humedad en el mes de abril de 2019

Fuente: Elaboración Propia

El análisis realizado con los índices se corrobora al comparar los límites reales del proceso con las especificaciones en el gráfico de capacidad. Según estos análisis y de acuerdo a los resultados obtenidos, el 14,58% de los lotes no cumplen con la ES, equivalente a 145 827 por cada millón producido.

Por su parte los índices Pp y Ppk están enfocados al desempeño del proceso a largo plazo y no sólo a su capacidad. En este caso el índice de desempeño potencial Pp = 0,86, indica un proceso potencialmente no adecuado; de igual forma el índice de desempeño real Ppk = 0,19 revela un proceso con pobre desempeño debido principalmente al descentrado de este. La diferencia más bien grande entre el Pp y el Ppk es un signo de que la distribución no está bien centrada entre los límites de especificación.

El nivel sigma de calidad, métrica utilizada para cuantificar el nivel de calidad de los procesos, permite concluir que para la humedad en el corto plazo es de 2,55 y en el largo plazo de 2,08, valores que se consideran no adecuados dado que son inferiores a 4.

- Característica de calidad: Acidez (%)

Para la acidez se está ante una variable del tipo entre más pequeña mejor donde lo que interesa es que sean menores los valores a cierto valor máximo o ES, que en este caso es 0,4%.



La Figura 7 muestra que el proceso es capaz de cumplir con la ES, lo que se corrobora con el valor del índice de capacidad real del proceso, siendo superior a 1,25 que es el que se considera adecuado según Gutiérrez y De la Vara (2013) para procesos con solo una especificación. Los lotes que no cumplen con dicha especificación están en el orden de 71,84 por cada millón producido, lo que equivale a un nivel sigma de 3,8 cercano a 4.

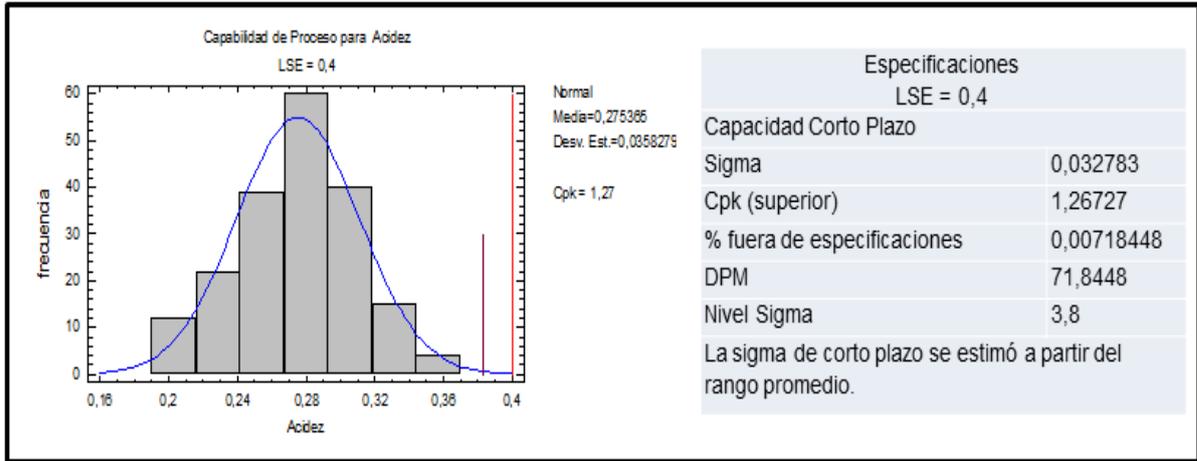


Figura 7: Análisis de capacidad para Acidez en el mes de abril de 2019

Fuente: Elaboración propia

Para que estos resultados sean válidos se requiere que la característica de calidad se distribuya en forma normal. Se realiza la prueba no paramétrica Chi-Cuadrado, con valor-P de 0,2567 y 0,0512 para la humedad y la acidez respectivamente, superiores a 0,05 (Nivel de significación estadística), por lo que no se puede rechazar la idea de que ambas características provienen de una distribución Normal con un 95% de confianza.

De manera general se evidencia que el proceso de producción de pastas largas para la característica de calidad Humedad es inestable e incapaz de cumplir con especificaciones, mientras que para la Acidez se considera un proceso en control estadístico y capaz.

Etapa III: Analizar

Para investigar las posibles causas que inciden en la baja estabilidad y capacidad del proceso en cuanto a humedad se utilizó el diagrama causa-efecto. El mismo se construyó en una sesión de tormenta de ideas a partir de la experiencia acumulada de los trabajadores que laboran en el proceso. Las causas quedaron agrupadas en tres categorías: mano de obra, tecnología y métodos. Para identificar las causas más probables se realizó un método de expertos con una escala del 1 al 5 donde 5 representa



la causa más importante y 1 la menos importante. Participaron un total de ocho expertos. El planteamiento de la d^ocima es:

H_0 : No hay acuerdo entre los expertos H_1 : Hay acuerdo entre los expertos

Los estadísticos de contraste de la prueba no paramétrica realizada muestran que la significación asintótica es de 0,000, valor menor que 0,05 (nivel de significación estadística), por lo que se rechaza H_0 , lo que se traduce en que existe comunidad de preferencia entre los expertos con un coeficiente de concordancia W de Kendall de 0,977. En la Tabla 3 se muestra el rango promedio para cada una de las causas analizadas, siendo las más críticas Z_3 , Z_1 y Z_5 .

Tabla 3: Método de expertos. Fuente: Elaboración propia

Causas		Rango promedio
Z_1	Deficiente capacitación de los operarios sobre los procedimientos y normas a utilizar y las características de la materia prima.	4,12
Z_2	Violaciones de las normas y procedimientos a utilizar.	2,25
Z_3	Desconocimiento de los niveles de presión, temperatura y humedad en las diversas fases del proceso que optimizan el por ciento de humedad del producto final.	4,88
Z_4	Carencia de piezas de repuesto y accesorios.	1,00
Z_5	Falta de mantenimiento preventivo planificado.	3,75

Etapa IV: Mejorar

La etapa de mejora se enfocó en darle solución a la causa raíz principal (Z_3), para la que se diseñó el plan de mejora correspondiente. La misma está en función de determinar los valores adecuados de las variables de control del proceso (Presión, temperatura y humedad) que permiten mejorar la estabilidad y capacidad para la característica de calidad objeto de análisis. Se tomaron en cuenta 26 variables de control del proceso (X's) y una variable de respuesta correspondiente a la humedad del producto final (Y).

El estudio se inicia con un análisis de los estadísticos descriptivos de las variables a estudiar con el fin de eliminar datos erróneos. Se obtuvo una muestra total de 267 datos correspondiente a los meses de mayo a julio de 2019. Para cada variable se identifican errores de media bajos y coeficientes de variación que no superan el 15%. La variable X_7 mantiene el mismo valor para cada caso, por lo que no es tomada en cuenta, dado que no brinda información importante en el análisis.



Se utilizaron técnicas multivariadas de reducción de datos (Análisis factorial), debido a la gran cantidad de variables que pudieran estar afectando la humedad del producto final. La técnica de componentes principales se aplicó con el fin de representar las 25 variables originales en nuevas variables (componentes principales) expresadas como combinación lineal de las originales. Se utilizó el criterio de autovalores mayores que 1 para la retención de componentes principales y se aplicó una rotación ortogonal Varimax.

Se retuvieron en total siete componentes principales, que explican el 68% de variabilidad total de los datos, lo que es adecuado. La prueba de esfericidad de Bartlett con una significación asintótica menor que 0,05 indica que existe relación entre las variables independientes y la medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin presenta un $KMO > 0,5$ por lo que existe adecuación de los datos a un análisis factorial.

Cada componente principal (C) o nueva variable estará conformada por las combinaciones lineales de las variables originales siguientes: C_1 (X_{14} , X_{15} , X_{16} , X_{18} , X_{21} , X_{22} y X_{24}), C_2 (X_{10} , X_{11} , X_{13} , X_{17} , X_{20} , X_{23} y X_{26}), C_3 (X_3 y X_{25}), C_4 (X_8 y X_{19}), C_5 (X_1 , X_2 y X_5), C_6 (X_6 y X_9) y C_7 (X_4 y X_{12}). Es así como en el nuevo modelo la variable de respuesta se valoró en función de los siete componentes principales.

Con el fin de determinar los valores óptimos de dichas variables se aplicó un modelo de superficies de respuesta correspondiente a un diseño experimental factorial 2^7 . Se pone de manifiesto que las variables o interacciones de ellas: $C_3 * C_7$, $C_2 * C_3$ y C_6 repercuten significativamente en la variable de respuesta.

Una optimización del modelo para un valor ideal de humedad final del producto de 12% proporciona los valores óptimos de los componentes principales. Utilizando los modelos de superficies de respuesta para optimizar cada una de las variables originales a partir de cada variable componente principal se obtienen los valores óptimos que se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4: Valores óptimos para las variables originales. Fuente: Elaboración Propia

Variables	Descripción (Unidad de medida)	Valor óptimo
X_1	Presión del cabezal (Bar)	137,40
X_2	Temperatura del agua de amasado ($^{\circ}C$)	44,52
X_3	Temperatura del cilindro ($^{\circ}C$)	32,28
X_4	Temperatura del cabezal ($^{\circ}C$)	46,14
X_5	Temperatura de ventilación del cabezal ($^{\circ}C$)	63,34
X_6	Temperatura de la central 1 de pre-secado ($^{\circ}C$)	47,21



X ₇	Temperatura de la central 2 de pre-secado (°C)	-
X ₈	Humedad de la central 2 de pre-secado (%)	65,36
X ₉	Temperatura de la central 3 de pre-secado (°C)	71,1
X ₁₀	Humedad de la central 3 de pre-secado (%)	-
X ₁₁	Temperatura de la central 4 de pre-secado (°C)	68,08
X ₁₂	Humedad de la central 4 de pre-secado (%)	80,38
X ₁₃	Temperatura de la central 5 de pre-secado (°C)	72,70
X ₁₄	Temperatura de la central 6-7 de pre-secado (°C)	82,57
X ₁₅	Humedad de la central 6-7 de pre-secado (%)	54,29
X ₁₆	Temperatura de secado de la central 1-2 (°C)	66,96
X ₁₇	Humedad de secado de la central 1-2 (%)	58,31
X ₁₈	Temperatura de secado de la central 3-4 (°C)	79,04
X ₁₉	Temperatura de secado de la central 5-6 (°C)	76,34
X ₂₀	Humedad de secado de la central 5-6 (%)	70,31
X ₂₁	Temperatura de secado de la central 7-8 (°C)	72,64
X ₂₂	Temperatura de secado de la central 9-10-11 (°C)	68,36
X ₂₃	Humedad de secado de la central 9-10-11 (%)	81,38
X ₂₄	Temperatura de secado de la central 12-13-14 (°C)	25,78
X ₂₅	Temperatura del enfriadero (°C)	28,81
X ₂₆	Presión de vacío (mmHg)	-617,84

Nota:

X₇: No incluida en el estudio.

X₁₀: No se incorporó en la solución óptima porque presenta dependencias con el resto de variables en el modelo de superficies de respuesta.

Orientado a la revisión de las medidas propuestas se diseñó un plan de control, según previo análisis en sesión de trabajo entre los integrantes del equipo.

Etapa V: Controlar

Una vez implantadas las acciones de mejora, es necesario verificar la efectividad de las mismas mediante el análisis de estabilidad y la evaluación de la habilidad del proceso para cumplir con especificaciones. Para efectuar el monitoreo se utilizaron nuevamente las cartas de medias y rangos y los índices de capacidad para variables con doble especificación. Los datos corresponden al mes de septiembre de 2019. Se aprecia en ambas cartas de control (Ver Figura 8) que no hay tendencias, ni ningún otro patrón especial, ni puntos fuera de los límites de control. Por tanto, el proceso ha estado funcionando de manera estable y se encuentra bajo control estadístico.

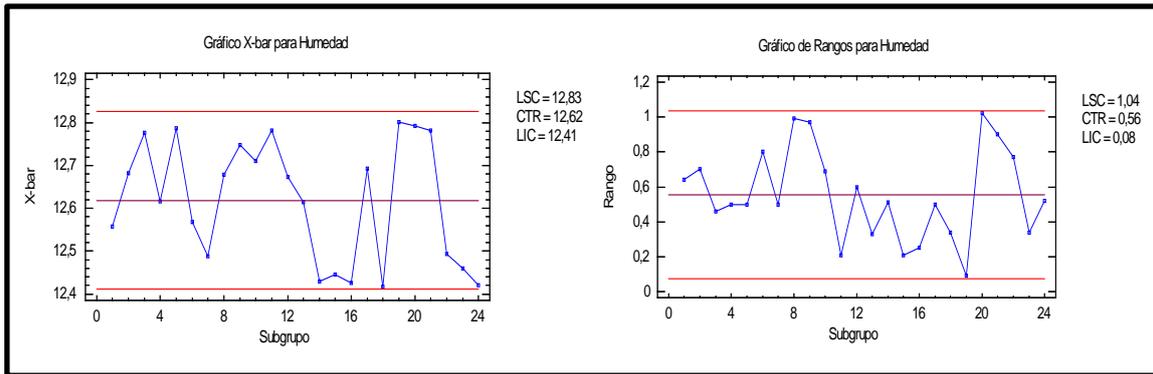


Figura 8: Gráficos de control de medias y rangos para la característica de calidad Humedad (%) en el mes de septiembre de 2019. Fuente: Elaboración propia

El gráfico de capacidad y los valores estimados de los índices de capacidad se muestra en la Figura 9.

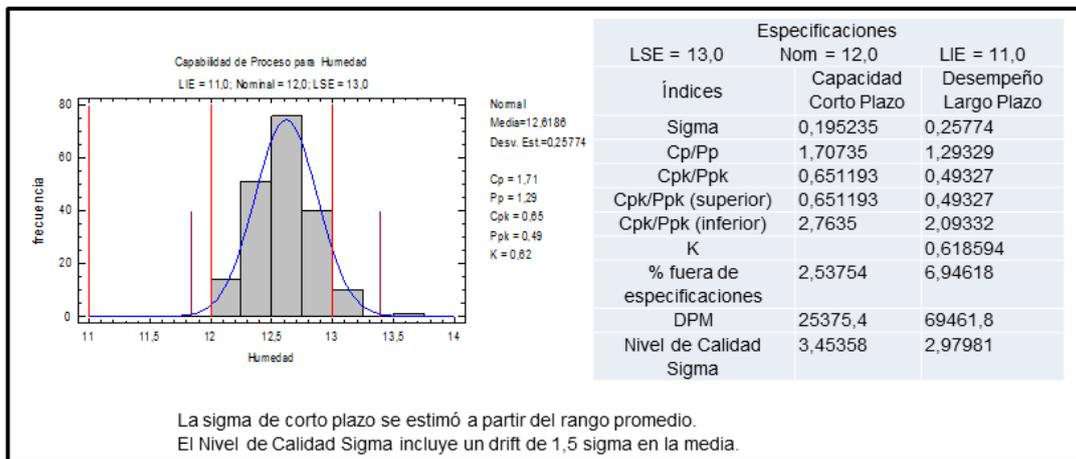


Figura 9: Análisis de capacidad para Humedad en el mes de septiembre de 2019.

Fuente: Elaboración propia

El proceso continúa siendo potencialmente capaz de cumplir con especificaciones con un valor de $C_p=1,71$, adecuado para el trabajo según Gutiérrez y De la Vara (2013). Se evidencia que el centrado del proceso mejoró, estando la media un 61,8% a la derecha del valor nominal según el índice K, con una mejoría del 16% en relación al estado inicial. Lo anterior indica que todavía el descentrado del proceso influye en la baja capacidad de este, aunque en menor medida. El índice de capacidad real (C_{pk}) con valor de 0,65 y que coincide con el índice unilateral superior (C_{pk} superior) muestra un incremento, aunque aún insuficiente para considerarlo adecuado. De esta manera el 2,53% de los lotes contienen una humedad superior al 13%, valor inferior al obtenido en el inicio de estudio que fue de 14,58%. El proceso continúa siendo capaz de cumplir con la EI al ser el índice C_{pk} (inferior) igual a 2,76.



Tanto el índice de desempeño potencial P_p y el índice de desempeño real P_{pk} experimentaron incrementos, lo que revela una mejoría en el desempeño del proceso. El número de sigmas de corto plazo también mejoró de 2,55 a 3,45, de igual forma el nivel de calidad de largo plazo cuyo valor varió de 2,08 a 2,97. No obstante continúan siendo inferiores a 4.

La comparación del estado del proceso antes y después de la mejora según se muestra en la Tabla 5 manifiesta que se pasa de un proceso Tipo D (Inestable – Incapaz) a uno Tipo C (Estable e Incapaz) siguiendo el criterio de Gutiérrez y De la Vara (2013). Aunque este continúa siendo catalogado como incapaz de cumplir con especificaciones, se logra una mejoría que se manifiesta en el nivel de calidad sigma y el por ciento fuera de especificaciones.

Tabla 5: Resumen del estado del proceso antes y después de la mejora. Fuente: Elaboración propia

Estabilidad	Capacidad	Nivel de calidad sigma	% fuera de especificaciones
Estado inicial del proceso			
Inestable	- Proceso potencialmente capaz de cumplir con especificaciones ($C_p=1,55$). - Descentrado a la derecha, un 77% del valor nominal ($K=0,77$). - Proceso incapaz de cumplir con la ES ($C_{pk}=C_{pk\ superior}=0,35$).	2,55	14,58%
Proceso tipo D: Inestable e Incapaz según el criterio de Gutiérrez y De la Vara (2013) Un proceso muy inestable se caracteriza por estar pobremente estandarizado.			
Estado final del proceso			
Estable	- Proceso potencialmente capaz de cumplir con especificaciones ($C_p=1,70$). - Descentrado a la derecha, un 61% del valor nominal ($K=0,61$). - Proceso incapaz de cumplir con la ES ($C_{pk}=C_{pk\ superior}=0,65$)	3,45	2,53%
Proceso tipo C: Estable e Incapaz según el criterio de Gutiérrez y De la Vara (2013) Se está ante un proceso establemente malo.			

El estudio que se presenta ha puesto de manifiesto que en el sector alimentario el uso de herramientas del control estadístico de la calidad unido a la implementación de metodologías de mejora continua como SS, contribuyen al cumplimiento de las normas alimentarias establecidas y al control de los procesos de producción para garantizar la calidad e inocuidad de estos.



Lo anterior también ha sido confirmado por Abdul, Antony, Arshed y Albliwi (2017) y Message, Godhino y Fredendall (2018) quienes han planteado que dicha metodología es efectiva para el sector alimentario, la cual es altamente sistemática y cuantitativa y se fundamenta en el uso de herramientas estadísticas. Con una orientación a la mejora de la calidad del producto o del proceso, SS tiene como meta lograr procesos que como máximo generen 3,4 defectos por millón de oportunidades.

Otro aspecto a destacar es que se ha puesto en evidencia la importancia del uso de los gráficos de control y los índices de capacidad en este sector, al permitir conocer el estado del proceso en cuanto a estabilidad y capacidad para cumplir con especificaciones. La evaluación del estado del proceso con un basamento estadístico facilita la toma de decisiones relativas a la determinación de las mejores acciones de control y de mejora.

También se demostró que el desempeño del proceso objeto de estudio puede ser mejorado mediante la identificación y eliminación de fuentes de variación que afectan la calidad del producto, lo que se traduce en una reducción del por ciento fuera especificaciones y en un incremento del nivel de calidad sigma. Autores como Abdul, Antony y Arshed (2016) igualmente han demostrado que el uso de dichas herramientas brinda a la industria alimentaria las ventajas para mejorar el rendimiento de los procesos, aunque Soriano, Oprime y Lizarelli (2017) enfatizan en que aún faltan revisiones en esta temática en este sector.

Es importante señalar además que a nivel nacional existen carencias de estudios relacionados con este tema, a lo que tributa la presente. De esta manera la investigación pretende promover su uso en el sector alimentario en Cuba, poniendo en evidencia sus potencialidades y contribución a la mejora de la calidad del producto y de la competitividad empresarial.

4. Conclusiones

1. Las pérdidas por mala calidad del producto de la empresa de pastas largas objeto de estudio ascienden a 66,60 toneladas, equivalente a 95 160 pesos en el período enero-abril de 2019, donde el espaguetis Grado B representa el 84,94% del monto total.
2. El análisis de estabilidad y capacidad de las variables físico-químicas evidencia que el proceso de producción de pastas largas es inestable e incapaz de cumplir



con especificaciones para la característica de calidad "Humedad". El principal problema se debe al descentrado del proceso, con un 77% a la derecha del valor nominal, lo que influye en su baja capacidad, para un nivel de calidad sigma de 2,55. En este sentido el 14,58% de los lotes producidos poseen una humedad superior al 13%.

3. Para el desarrollo de la propuesta de mejora se utilizaron técnicas multivariadas de reducción de datos (Análisis factorial) y el diseño de experimentos, lo que permitió determinar los valores óptimos de 24 variables de control del proceso para un valor ideal de humedad del producto final de 12%. La efectividad de la propuesta se manifestó en una mejoría en el centrado del proceso con una disminución del índice K de 16% en relación al estado inicial, para un 2,53% fuera de especificaciones y un nivel de calidad sigma de 3,45.
4. Los resultados obtenidos permitieron alcanzar un proceso estable y en control estadístico, siendo potencialmente capaz de cumplir con especificaciones. Mejoró el centrado, así como su desempeño potencial y real, cuyos índices experimentaron incrementos. Se pasó de un proceso Tipo D (Inestable e Incapaz) a uno Tipo C (Estable e Incapaz), así como se manifestó una mejoría en el nivel de calidad sigma y el por ciento fuera de especificaciones.

5. Referencias bibliográficas

1. Abdul, S., Antony, J., y Arshed, N. (2016). A critical assessment on SPC implementation in the UK Food Industry. *Systemics, Cybernetics and Informatics*, 14(1), 37-42. [Fecha de Consulta 20 de Enero de 2021]. ISSN: 1690-4524. Disponible en: [http://www.iiisci.org/journal/CV\\$/sci/pdfs/SA430BZ15.pdf](http://www.iiisci.org/journal/CV$/sci/pdfs/SA430BZ15.pdf)
2. Abdul, S., Antony, J., Arshed, N., y Albliwi, S. (2017). A systematic review of statistical process control implementation in the food manufacturing industry. *Total Quality Management & Business Excellence*, 28(1-2), 176-189. <https://doi.org/10.1080/14783363.2015.1050181>
3. Biernacka, B., Dziki, D., Gawlik-Dziki, U., Różyło, R., y Siastała, M. (2017). Physical, sensorial, and antioxidant properties of common wheat pasta enriched with carob fiber. *LWT – Food Science and Technology*, 77, 186-192. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.11.042>



4. Biernacka, B., Dziki, D., Różyło, R., Wójcik, M., Miś, A., Romankiewicz, D., y Krzysiak, Z. (2018). Relationship between the properties of raw and cooked spaghetti – new indices for pasta quality evaluation. *International Agrophysics*, 32(2), 217-223. <http://dx.doi.org/10.1515/intag-2017-0012>
5. Bouasla, A., Wójtowicz, A., y Zidoune, M. N. (2017). *Gluten-free precooked rice pasta enriched with legumes flours: Physical properties, texture, sensory attributes and microstructure*. *LWT – Food Science and Technology*, 75, 569-577. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.10.005>
6. Bustos, M. C., Pérez, G. T., y León, A. E. (2015). Structure and quality of pasta enriched with functional ingredients. *RSC Advances*, 5(39), 30780-30792. <https://doi.org/10.1039/C4RA11857J>
7. Chero, P. A. (2019). Statistical process control applied in the chemical and food industry. *Journal of Material Sciences & Engineering*, 8(4), 1-7. [Fecha de Consulta 20 de Enero de 2021]. ISSN: 2169-0022. Disponible en: <https://www.hilarispublisher.com/open-access/statistical-process-control-applied-in-the-chemical-and-food-industry.pdf>
8. Fuad, T., y Prabhasankar, P. (2010). Role of ingredients in pasta product quality: A review on recent developments. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(8), 787-798. <http://dx.doi.org/10.1080/10408390903001693>
9. García, Y. (2014). *Aplicación de la Metodología Seis Sigma para el mejoramiento de la calidad de las reparaciones, en la Agencia SASA Villa Clara*. (tesis de maestría). Universidad Central de las Villas, Santa Clara, Cuba.
10. Garsa, A. S. (2017). Preparation and quality evaluation of pasta substituted with hull-less barley. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 11(1), 98-106. [Fecha de Consulta 20 de Enero de 2021]. ISSN: 2309-8414. Disponible en: <http://www.ajbasweb.com/old/ajbas/2017/January/98-106.pdf>
11. Gutiérrez, H., y De la Vara, R. (2013). Control estadístico de la calidad y Seis Sigma. (3ra ed.). México: Editorial McGraw-Hill.
12. Idrissi, I., y Benazzouz, B. (2019). Lean or Six Sigma for food industry? Perspectives from previous researches and case studies in industry. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 10(4), 1732-1739. [Fecha de Consulta



- 20 de Enero de 2021]. ISSN: 0976-6316. Disponible en: <http://www.iaeme.com/ijciet/issues.asp?JType=IJCIET&VType=10&IType=04>
13. ISO 13053: 2011. Quantitative methods in process improvement, Six Sigma. Ginebra, Suiza.
 14. Larrosa, V., Lorenzo, G., Zaritzky, N., y Califano, A. (2016). Improvement of the texture and quality of cooked gluten-free pasta. *LWT – Food Science and Technology*, 70, 96-103. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.02.039>
 15. Makhoulf, S., Jones, S., Hong, S., Sancho, M., Burns, B., y Olive, Y. (2019). Effect of selected dietary fibre sources and addition levels on physical and cooking quality attributes of fibre-enhanced pasta. *Food Quality and Safety*, 3(2), 117-127. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyz010>
 16. Message, L. B., Godhino, M., Fredendall, L. D., y Gómez, F. J. (2018). Lean, six sigma and lean six sigma in the food industry: A systematic literature review. *Trends in Food Science & Technology*, 82, 122-133. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.10.002>
 17. NC 935: 2012. Pastas alimenticias secas—Especificaciones. La Habana, Cuba.
 18. NRIAL 168: 2001. Pastas alimenticias. Especificaciones. La Habana, Cuba
 19. Ogawa, T., y Adachi, S. (2017). Drying and rehydration of pasta. *Drying Technology*, 35(16), 1919-1949. <https://doi.org/10.1080/07373937.2017.1307220>
 20. Peña, A. (2019). *Estandarización de método alternativo para la determinación de humedad en pastas alimenticias secas*. (tesis de grado). Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Bogotá, Colombia.
 21. Piwińska, M., Wyrwisz, J., Kurek, M. A., y Wierzbicka, A. (2016). Effect of drying methods on the physical properties of durum wheat pasta. *CyTA - Journal of Food*, 14(4), 523-528. <http://dx.doi.org/10.1080/19476337.2016.1149226>
 22. Sicignano, A., Di Monaco, R., Masi, P., y Cavella, S. (2015). From raw material to dish: Pasta quality step by step. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(13), 2579-2587. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7176>
 23. Soriano, F., Oprime, P. C., y Lizarelli, F. L. (2017). Impact analysis of critical success factors on the benefits from statistical process control implementation. *Production*, 27, 1-13. <https://doi.org/10.1590/0103-6513.204016>