

Applying Process Improvement DMAIC - Six Sigma, on the Control and Reduction of pH Variability in Canned Piquillo Peppers

Jonatán Edward Rojas Polo, Mg.¹, Carla Pretell Vásquez, Msc.², Luis Vásquez Salinas, Ing.², Alexia Cáceres Cansaya¹, and Luis Márquez Villacorta, Msc.²

¹Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, jrojas@pucp.pe, alexia.caceres@pucp.pe.

²Universidad Privada Antenor Orrego, Perú, cpretellv@upao.edu.pe, lvasquez@upao.edu.pe y lmarquezv@upao.edu.pe

Abstract— This research takes place in an agricultural industry enterprise which process a large number of products such as canned vegetables, fresh vegetables and frozen vegetables. Among canned vegetables we have the canned piquillo pepper salad. The research points towards the decrease of pH variability which causes nonconforming products. We decided to apply the Six Sigma method in order to decrease the pH variability in vegetable cans while checking that the method doesn't alter the process in a critical way. In the Definition phase we set the description, requirements and steps for the project describing its characteristics such as inputs, outputs, suppliers, internal and external clients and stakeholders. In the Measuring phase we focused on determination and measuring of the key process input variables (X's) as well as the key process output variables (Y's) by means of optimizing tools. In the Analysis phase we looked for the main causes with quantitative tools in order to prove statistically that the KPIV's found in the Measuring phase have an impact over the Y variable (canned piquillo pepper salad pH). The statistics tools we employed were basically regression and analysis of variance. In the Improvement and Control phase, Experiment Design takes place with the key variables as input. Finally the vegetable can pH variability was reduced to a 4.2 – 4.4 range from a 4.1 – 4.5 one which ensures the safety and the characteristics of the product.

Keywords— DMAIC methodology in agricultural industry, six sigma, piquillo pepper.

Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2015.1.1.225>

ISBN: 13 978-0-9822896-8-6

ISSN: 2414-6668

Mejora de procesos aplicando la metodología DMAIC – Six Sigma, en el control y reducción de la variabilidad del pH en conservas de pimiento piquillo

Jonatán Edward Rojas Polo, Mg.¹, Carla Pretell Vásquez, Msc.², Luis Vásquez Salinas, Ing.³, Alexia Cáceres Cansaya ⁴, y Luis Márquez Villacorta, Msc. ⁵

Rojas y Cáceres pertenecen a la Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, jrojas@pucp.pe, alexia.caceres@pucp.pe.

Pretell, Vásquez y Márquez pertenecen a la Universidad Privada Antenor Orrego, Perú, cpretellv@upao.edu.pe, lvasquezs@upao.edu.pe y lmarquezv@upao.edu.pe

Abstract– This research takes place in an agricultural industry enterprise which process a large number of products such as canned vegetables, fresh vegetables and frozen vegetables. Among canned vegetables we have the canned piquillo pepper salad. The research points towards the decrease of pH variability which causes nonconforming products. We decided to apply the Six Sigma method in order to decrease the pH variability in vegetable cans while checking that the method doesn't alter the process in a critical way. In the Definition phase we set the description, requirements and steps for the project describing its characteristics such as inputs, outputs, suppliers, internal and external clients and stakeholders. In the Measuring phase we focused on determination and measuring of the key process input variables (X's) as well as the key process output variables (Y's) by means of optimizing tools. In the Analysis phase we looked for the main causes with quantitative tools in order to prove statistically that the KPIV's found in the Measuring phase have an impact over the Y variable (canned piquillo pepper salad pH). The statistics tools we employed were basically regression and analysis of variance. In the Improvement and Control phase, Experiment Design takes place with the key variables as input. Finally the vegetable can pH variability was reduced to a 4.2 – 4.4 range from a 4.1 – 4.5 one which ensures the safety and the characteristics of the product.

Keywords-- DMAIC methodology in agricultural industry, six sigma, piquillo pepper.

Resumen – La presente investigación se realiza en una Agroindustrial que procesa diversos tipos de productos, como conservas de vegetales, vegetales en fresco y congelados. Dentro de las conservas de vegetales tenemos la conserva de ensalada de pimiento piquillo. La investigación pretende la disminución de la variabilidad del pH, que es lo que actualmente está originando producto no conforme. Se decidió aplicar la metodología SIX SIGMA para reducir la variabilidad del pH presente en las conservas de vegetales controlando que los impactos no alteren considerablemente al proceso. En la etapa Definir colocamos la descripción, requisitos y etapas del proyecto, describiendo sus características como los recursos de entrada, los recursos que genera el proceso, los proveedores, los clientes internos, clientes externos y los stakeholders. La Etapa de Medir se enfocó en determinar y medir las variables críticas de entradas (X's) y salida (Y's), mediante las herramientas de mejora. En la Etapa de Análisis se buscó las causas raíces con herramientas cuantitativas,

demostrando estadísticamente si los KPIV'S, que se encontraron en la etapa anterior, influyen en la variable Y (pH de la conserva de pimiento piquillo). Las herramientas estadísticas que utilizamos fueron básicamente regresión y análisis de varianza. En la Etapa de Mejora y Control se desarrolla el Diseño de Experimentos con las variables de interés. Finalmente se redujo la variabilidad del pH de la conserva de pimiento piquillo, pasando de un rango de 4.1 – 4.5 a un rango de 4.2 – 4.4, lo que permite asegurar la inocuidad y características del producto.

Palabras clave -- Metodología DMAIC en la agroindustria, six sigma, pimiento piquillo.

I. INTRODUCCIÓN

La agroindustria en el Perú enfocada a la exportación está creciendo desmesuradamente, sin antecedentes previos durante estas últimas décadas, desde Tumbes con su principal producto “el mango fresco” recorriendo por Huarney (Fresa), Supe (palta) hasta Tacna con su famoso “Oliva en conserva”, en la costa. Además de sitios pertenecientes a la serranía, tal como Ayacucho y Huancavelica con su nuevo producto de exportación “el Holantao”.

No obstante la competencia de este sector agroindustrial no solo se da a niveles regionales sino a nivel mundial. Teniendo grandes competidores mundiales tales como la China (espárrago en conserva, alcachofas, pimiento, ají paprika), Kenia (Holantao), México (espárrago fresco) entre otros.

Siendo una obligación necesaria para la agroindustria peruana el de fortalecer su imagen como proveedor de productos agrícolas de alta calidad, **productos innovadores**, además debe brindar precios que sean competitivos con los demás mercados internacionales. Para lo cual, estas empresas deben poseer técnicas y conocimientos para que sobrepasen los estándares de producción, con la finalidad de reducir sus costos operativos y optimizar el uso de las materias primas a procesar, así también debe poseer una excelente siembra con un adecuado manejo de postcosecha. Todo esto no surgirá

solamente con la mejora diaria, sino que es necesario que las empresas elaboren estrategias de adaptabilidad a un mercado de consumo muy inestable.

Esta investigación se realizó en una empresa agroindustrial ubicada en la parte norte oeste del Perú. Esta empresa posee un adecuado proceso de producción y brinda un producto de alta calidad, superior a los de la competencia nacional, también posee campos de siembra donde se aplican excelentes técnicas de siembra siguiendo la norma base para poder acceder al mercado europeo “Global Gap”, no obstante los márgenes de utilidad no son los mejores de su cartera de productos. Lo cual es el reflejo en un gran volumen de producto terminado en conserva que sus especificaciones se encuentra a los extremos de los límites de control y especificación.

Se pudo observar que en esta empresa no se cuenta con un adecuado y exhaustiva metodología para disminuir la variabilidad del pH, por ello fue necesario y primordial proponer el uso de una metodología que conozca detenidamente el proceso de producción e identifique cuales son las variables que influyen en la variabilidad del pH, luego de que el producto pase por autoclave. Dado que el pH es una característica física de los alimentos que nos da conocimiento de la acidez de la y a su vez nos ayuda a determinar su nivel de seguridad alimentaria que posee.

La propuesta de aplicación para este caso es el uso de la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) siendo fundamental el análisis de los factores que afectan la variabilidad del pH dentro del proceso de elaboración de la conserva de pimiento piquillo. Para esta investigación solo es de importancia dos plantas procesadoras ubicadas en Trujillo y Virú.

II. SITUACION INICIAL

La actual producción de la conserva de pimiento piquillo, presenta una no conformidad de producto terminado de cuanto mucho el 2% de la producción total. Ahora bien si solo es el 2%, para un sistema de calidad muy exigente, este es un escenario de mucho riesgo, ya que por más que el pH este dentro de control según norma de la FAO, no es posible que exista una variabilidad muy notable, siendo su pH dentro de 4.1 a 4.5 (límites internos de control) y los límites de especificación de 4.0 a 4.6 de pH. No obstante, este producto a dirigirse a destino (clientes) puede tardar un mes aproximadamente, lo cual podría hacer que el pH se establezca por ejemplo en 4.2 o 4.0, o aun peor, que se establezca en 3.9 de pH, siendo esto un escenario de mucho riesgo. Por lo mencionado es que se busca disminuir el rango del pH de la conserva del pimiento piquillo.

III. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC

Para realizar la mejora del proceso de conservas acidificadas del pimiento piquillo se aplicó la metodología DMAI (metodología correspondiente al Six Sigma).

1. Etapa definir

En esta etapa establecemos la base para el desarrollo del proyecto. En la Tabla I se muestra el estatuto del proyecto donde se detalla el proyecto, problema, objetivo, participantes, etc.

Tabla I
Definir el proceso

Proyecto	Reducción de la variabilidad del pH en conservas acidificadas de ensalada de pimiento piquillo 8 oz. en la Planta de Conservas.		
Problema	Actualmente el 68 % de los envíos de las conservas acidificadas de ensalada de pimiento piquillo 8 oz., se encuentran fuera de los rangos de pH requerido por el cliente.		
Caso del Negocio	<p>Dentro del proceso de elaboración de conservas acidificadas de ensalada de pimiento piquillo 8 oz., se tiene como aspecto a mejorar la variabilidad del pH, esta variabilidad genera productos fuera de especificación siendo los rangos del pH establecido por el cliente 4.3 – 4.5. Si este parámetro se encuentra por encima del valor de 4.5, provoca pérdidas de producto por problemas de inocuidad y si estuviese por debajo de 4.3 produce reclamos por parte del cliente por exceso de acidez, lo cual genera sobre costos (retrabajo, producto rechazado, recolecta de producto en destino).</p> <p>El control de esta variable nos permitirá mejorar el nivel de satisfacción y las expectativas del cliente y a la vez evitar las pérdidas económicas que se originan por desviación del proceso (variabilidad del pH).</p>		
Objetivos del Proyecto	Reducir la variabilidad del pH en conservas acidificadas de ensalada de pimiento piquillo 8 oz., lo cual significa pasar de un rango de pH de 4.1 – 4.5 a un rango de pH de 4.2 – 4.4 durante el año 2011, reduciendo los costos de calidad en un 90% que equivale a un ahorro 75 439 nuevos soles por año.		
Alcance del Proyecto	El proyecto abarca desde la recepción de las materias primas e insumos hasta recepción de producto terminado en destino.		
Equipo de Trabajo	Nombre	Rol del Equipo	Dedicación
	Gerente Planta	Champion	5%
	Jefe Calidad	Property	15%
	Jefe Planta	Stakeholder	5%
	Administrador SIG	Stakeholder	5%
	Supervisor Calidad	Colaborador	10%
	Control Proceso	Colaborador	10%
	Supervisor Planta	Colaborador	10%
	Carla Pretell	Green Belt	15%
	Luis Vásquez	Green Belt	15%
Jonatán Rojas	Green Belt	10%	
Plan de Proyecto	Etapa DMAIC	Fecha Inicio	Fecha Termino
	Definir		
	Medir		
	Analizar		
	Mejorar		
	Controlar		
	Entrega del Proyecto a Propietario		
	Control Financiero		

Para poder entender con mayor facilidad el proceso de elaboración de la conserva, se presenta en la Figura 1 el diagrama de flujo para la elaboración de conservas acidificadas de ensalada de pimiento piquillo 8 oz:

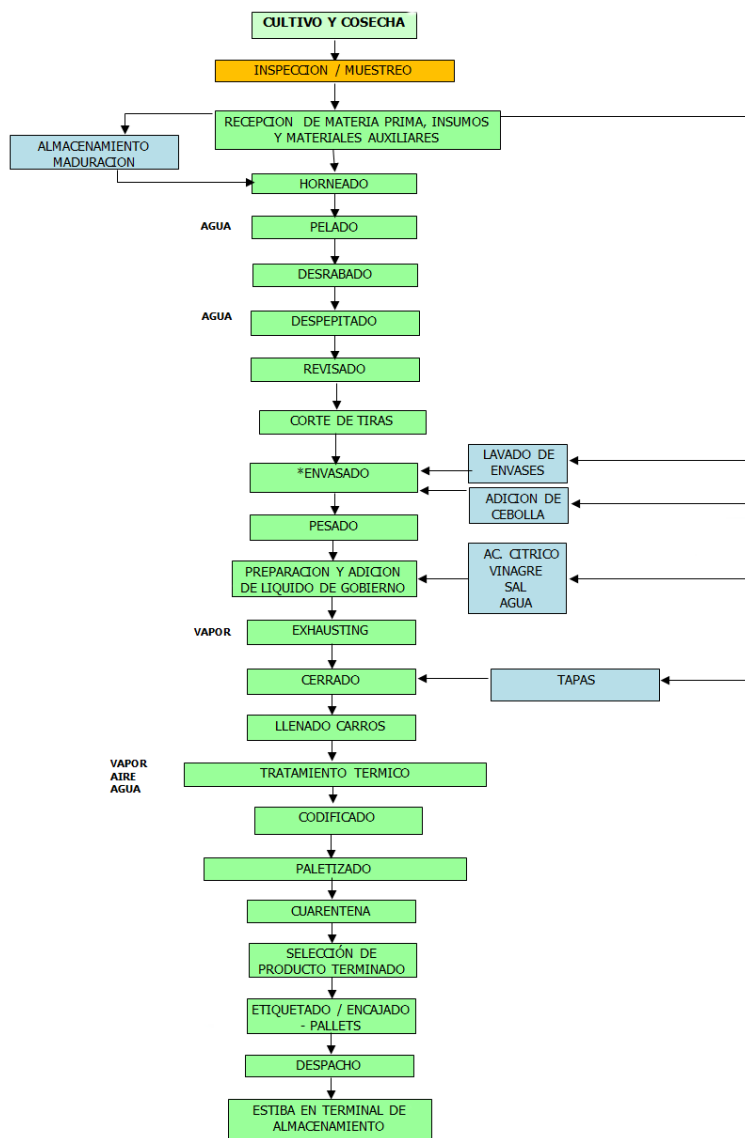


Figura 1 Diagrama de Flujo para la elaboración de conserva acidificada de ensalada de pimiento piquillo 8 oz.

Voz del Cliente:

En la Tabla II se presenta los requisitos del cliente, que nos ayudó a establecer las características de trabajo.

Tabla II
Requerimiento del cliente

Característica	Objetivo	Tolerancia
% de sal:	0.7 – 0.8%	0.6 – 1.0
Vacío:	> 2 pulg. Hg	
pH:	4.40	4.30 – 4.50
% Brix:	11.5	10.5 – 12.5
Color del producto:	Hasta rojo nivel 5	Se requiere uniformidad en el fruto para hacer tiras, es decir SIN MANCHAS.
Limpieza:	Ausencia de materias extrañas	
Textura:	Rojo, típico de la variedad	
Olor:	Característico	
Sabor:	Característico	

acuerdo al problema planteado en el proyecto y a los requisitos entregados por el cliente, la voz del cliente nos indica que quiere tener un pH que se encuentre en el rango de 4.3 – 4.5.

2. Etapa de Medición

En esta etapa definimos las variables de entrada y las variables de salida del proceso ensalada de conserva acidificada de pimiento piquillo 8 oz., los costos de calidad, gráficas de control, cálculo de la capacidad de proceso, análisis de varianza y análisis de regresión múltiple.

Mapa del Proceso de Interés:

Para la obtención de la conserva acidificada de ensalada de pimiento piquillo 8 oz, se utiliza como materia prima tiras de pimiento y cebolla picada. En el proceso se mezclan las materias primas, en proporciones de 10 % mínimo de cebolla y 90 % máximo de pimiento representando un peso escurrido de 180 g.

El incumplimiento de las proporciones causa problemas a nivel de calidad ya que el consumidor sentirá la diferencia al degustar el producto, a la vez también tenemos la adición de líquido de gobierno (compuesto de agua, sal vinagre y ácido cítrico) que debe mantener un pH de 2.0 – 2.5 para cumplir con las especificaciones del cliente. En el desarrollo del proceso en la etapa de acidificación se ejerce una presión manual de compactación (aplaste) a la mezcla de materias primas que permitirá la adición del líquido de gobierno, por lo que este punto es clave en la disminución de la variabilidad del pH que se encuentra en el producto terminado ya que es realizado por personal operario. En la Figura 2 se presenta el diagrama de proceso detallado.

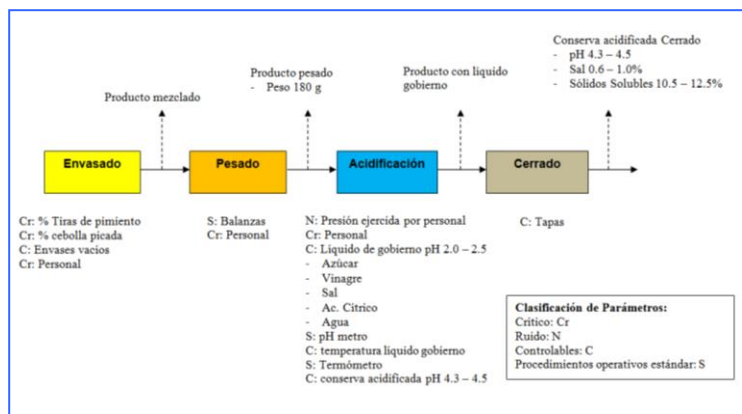


Figura 2 Proceso de interés

Determinación de las variables de entrada Kpiv y salida Kpov del proceso.

Para la determinación de los Kpiv se ha seleccionado todas las variables de entradas del proceso de interés para

realizar un Pareto, enfocándose en la importancia de influencia conserva acidificada de ensalada de pimiento piquillo 8 oz. En la Tabla III se muestra las votaciones del personal involucrado en el proceso.

Tabla III.

Votación por las variables de entradas del proceso conserva acidificada de ensalada de pimiento piquillo 8 oz

Entradas del Proceso (KPIV)	Característica de interés: pH de producto terminado			Suma
	1	2	3	
% pimiento en tiras	5	5	3	13
% cebolla picada	3	3	5	11
Envases vacíos	0	0	0	0
Personal envasado	1	1	0	2
Balanza	0	0	0	0
Personal pesado	0	1	0	1
pH líquido de gobierno	5	5	3	13
Personal acidificado	1	1	3	5
pH metro	0	0	3	3
Presión ejercida por personal	5	5	5	15
Termómetro	0	0	1	1
Temperatura líquido de gobierno	0	0	1	1
Tapas	0	0	0	0

0: no interfiere
 1: poca interferencia
 3: mediana interferencia
 5: mucha interferencia

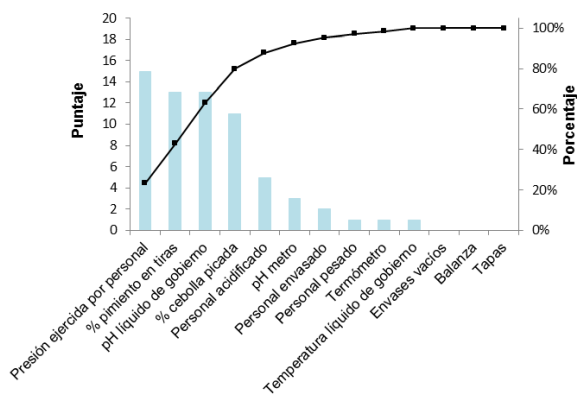


Figura 3 Diagrama de Pareto de las variables de entrada

De la Figura 3, se selecciona las variables críticas de entrada que influyen en el valor del pH de la conserva acidificada de ensalada de pimiento piquillo de 8 oz., las cuales se muestra en la Tabla IV.

Tabla IV
 Variables de entrada KPIV

N°	VARIABLES DE ENTRADA KPIV
1	Presión ejercida por personal
2	% de tiras de pimiento piquillo
3	pH Líquido de gobierno
4	% de cebolla picada

Los KPOV son seleccionados de las variables generadas del proceso de interés e influyen en el cliente. En la Tabla V se muestra las variables críticas de salida.

Tabla V

VARIABLES DE SALIDA DEL PROCESO KPOV

N°	VARIABLES DE SALIDA DEL PROCESO KPOV	UNIDADES
1	pH del producto terminado	
2	Peso del producto terminado	g
3	Concentración de sal	%
4	Sólidos solubles	°Brix

Costos de la Calidad:

En la Tabla VI se muestra el cálculo del costo de calidad donde podemos observar el costo de exceso que se tiene por la variabilidad que se presenta en el pH de las conservas acidificadas de ensalada de pimiento piquillo de 8 oz., el cual asciende a 75,439 nuevos soles al año, lo cual representa el 90% de los costos totales de calidad.

Tabla VI

Costos de calidad del proceso

Costos de Fallas Internas	%	Total S/.
Producto terminado descartado	58.48	48384
Producto en proceso	14.89	12315
Total de costos falla interna	73.37	60699

Costos de Falla Externa	%	Total S/.
Producto terminado descartado	13.71	11340
Análisis de fallas	1.45	1200
Total de costos falla externa	15.16	12540

Costos de Evaluación	%	Total S/.
Inspección	7.86	6500
Pruebas	2.66	2200
Total de costo evaluación	10.52	8700

Costos de Prevención	%	Total S/.
Capacitación de personal	0.96	792
Total de costo prevención	0.96	792

TOTAL DE COSTOS CALIDAD	100	82731
--------------------------------	------------	--------------

Costos Calidad que se mantienen	%	Total S/.
Inspección	7.86	6500
Capacitación de personal	0.96	792
Total de costo calidad a mantener	8.81	7292

AHORRO EN COSTOS DE CALIDAD	91.19	75,439
------------------------------------	--------------	---------------

Método de Medición

Para el cálculo de la variable de salida principal, pH del producto terminado, se utiliza el método potenciométrico. En la Tabla VII se presenta los datos del pH de la conserva con los cuales se estableció la línea base del proceso.

Tabla VII
Línea base del pH de la conserva

Descripción	Cantidad	%
Valores entre 4.51 - 4.60	1	0.67
Valores entre 4.30 - 4.50	48	32.00
Valores entre 4.20 - 4.29	88	58.67
Valores entre 4.10 - 4.19	11	7.33
Valores menores de 4.10	2	1.33
Valores dentro rango	48	32.00
Valores fuera rango	102	68.00

Evaluación de R y R de la Medición del pH de Producto Terminado

Para evaluar la capacidad y estabilidad del sistema de medición se realiza la prueba de RyR de la variable principal, pH del producto terminado. Para realizar la prueba se seleccionó 10 muestras del producto terminado y 3 operadores con 2 repeticiones de las medidas. En Tabla VIII y Figura 4 se muestra el análisis estadístico cuantitativo de la evaluación de repetitividad y reproducibilidad y la gráfica de la prueba que demuestran la buena estabilidad de los datos.

Fuente	Variación Componente	%Contribución (de Var. comp.)
Total Evaluación R&R	0.00008	8.08
Repetitividad	0.00006	6.46
Reproducibilidad	0.00002	1.62
Operario	0.00000	0.49
Operario*Muestra	0.00001	1.12
Parte-a-Parte	0.00090	91.92
Total Variación	0.00098	100.00

Fuente	Desviación Standard (SD)	Variabilidad estudio (5*SD)	% variabilidad estudio (SV)
Total Evaluación R&R	0.00890	0.04449	28.42
Repetitividad	0.00796	0.03979	25.42
Reproducibilidad	0.00398	0.01990	12.71
Operario	0.00219	0.01097	7.01
Operario*Muestra	0.00332	0.01660	10.60
Parte-a-Parte	0.03002	0.15010	95.88
Total Variación	0.03131	0.15655	100.00

Número de Categorías = 4

Además observemos la siguiente imagen:

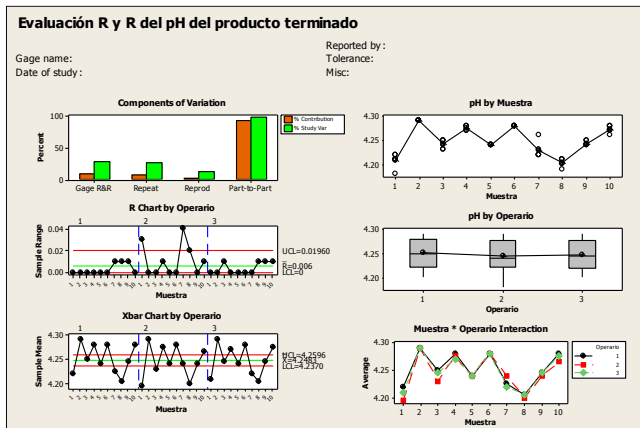


Figura 4. Repetitividad y Reproducibilidad

Medición para las variables controlables

En la Tabla IX se muestra el plan de medición de las variables X's. Así mismo podemos decir que para la variable principal Y (pH de conserva acidificada de ensalada de pimiento piquillo 8 oz) se encontró que el % de contribución de variabilidad fue de 8.08%, lo que significa que hay repetitibilidad y reproducibilidad de los datos por parte del personal y del instrumento usado respectivamente.

Tabla IX
Plan de medición de las variables X's

Nº	Variabes	Definición	Equipo / Instrumento	Responsable	Toma de muestra
1	% cebolla	Ingrediente secundario	Balanza	Auxiliar de producción	Cada 30 minutos
2	% pimiento piquillo	Ingrediente primario	Balanza	Auxiliar de producción	Cada 30 minutos
3	pH líquido de gobierno	Líquido de gobierno pH 2.0 – 2.5	Medidor de pH	Auxiliar de calidad	Cada 30 minutos
4	Peso de producto	Peso de producto g	Balanza	Auxiliar de calidad	Cada 30 minutos
5	pH producto homog.	pH producto homogenizado 4.3 – 4.5	Medidor de pH	Auxiliar de calidad	Cada 30 minutos
6	Presión (aplaste)	Presión (aplaste) media, espacio de cabeza 4 mm	Regla	Auxiliar de calidad	Cada 30 minutos

Gráficas de control de Y (pH de la conserva de ensalada de pimiento piquillo 8 oz.)

Para el cálculo del valor sigma hemos recolectado los datos del mes de noviembre del pH de la conserva de ensalada de pimiento piquillo 8 oz. En la Figura 5, se puede observar que los valores del pH de la conserva en el mes de noviembre del 2011, no están bajo control estadístico.

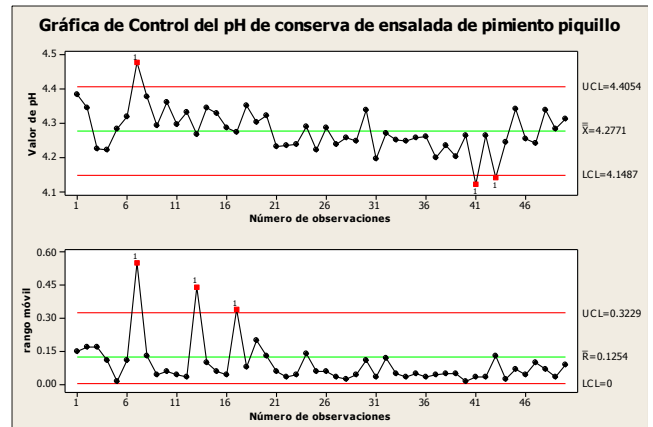


Figura 5. Control de la variable principal Y

De acuerdo a los datos trabajados para el pH de la conserva acidificada de ensalada de pimiento piquillo 8 oz., se puede apreciar en la Tabla VII que el 32% de los valores se encuentran dentro del rango de trabajo establecido de 4.30 - 4.50 y el 68% restante se encuentra fuera del rango de trabajo 4.00 - 4.29 y mayor a 4.5.

Cálculo de la Capacidad y Nivel Sigma

De los datos recolectados se pudo calcular el nivel sigma y la capacidad del proceso. En las Figuras 6 y 7 se presenta los cálculos realizados. Respecto a la capacidad del proceso, se evidencia que el proceso no es capaz (valores de Cp y Cpk menores a 1.0).

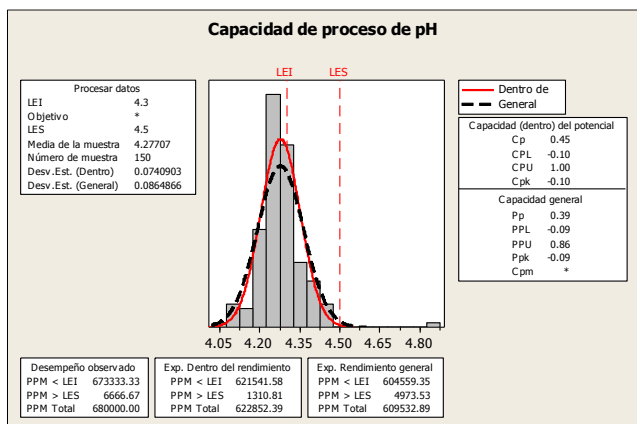


Figura 6. Capacidad de proceso

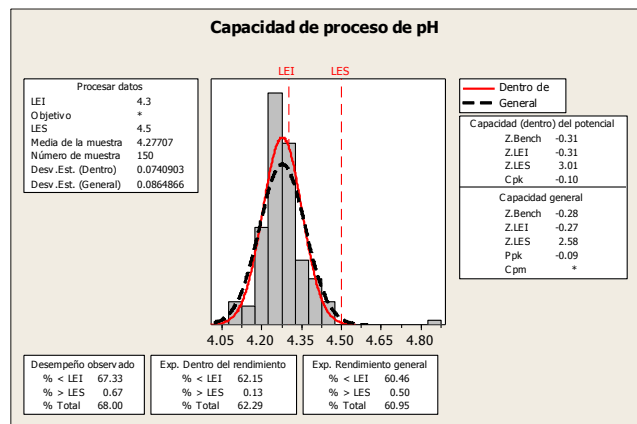


Figura 7. Nivel sigma

De la Figura 7 se calcula el nivel sigma la cual es $-0.28 + 1.50 = 1.22$, la cantidad de defectos que se tiene expresada en ppm fue de 609533 que representa el 60.95%.

3. Etapa de Analizar

En esta etapa se hallan las causas de la variación de la gran Y (pH de la conserva de ensalada de pimiento piquillo 8 oz.), las posibles causas son los KPIV'S del proceso que fueron encontrados, las principales herramientas estadísticas que se utilizaron fueron Anova y Correlación.

Determinación de las causas raíces

Regresión de las variables presión ejercida por el personal, % pimienta en tiras y % de cebolla picada.

Durante el llenado de la materia prima e insumos en el envase se hace uso de mano de obra y equipos para poder llevar a cabo esta operación por lo cual hay posibilidad de que afecten en la variación de la gran Y, motivo por el cual usamos el análisis de correlación para medir la intensidad de asociación entre las variables.

Matriz de correlación

La Figura 8 muestra aparentemente que existe correlación entre las variables presión ejercida, % pimienta en tiras y % de cebolla picada en función al pH de la conserva.

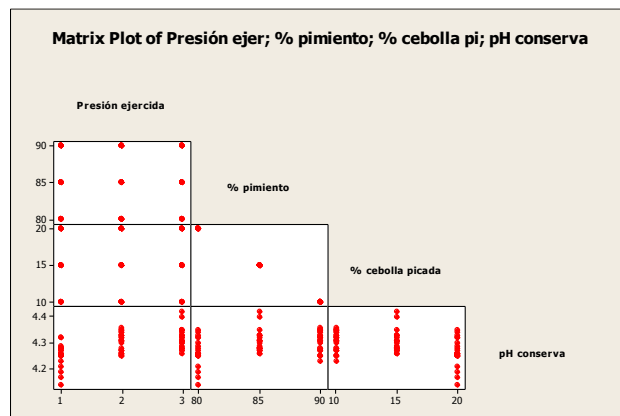


Figura 8. Gráfica de correlación

Análisis de correlación

En la Tabla X se observa la correlación de Pearson de las variables presión ejercida por el personal, % pimienta en tiras y % de cebolla picada versus el pH de la conserva. Los bajos valores de la correlación p indican que existe correlación entre las variables. En el caso de las variables % de cebolla picada y % de pimienta en tiras observamos que no existe una correlación.

Tabla X

Correlación: Presión Ejercida; % Pimiento en tiras; % Cebolla picada; pH líquido gobierno, pH conserva

	Presión ejercida	% pimienta en tiras	% cebolla picada	pH conserva
% pimienta tiras	0.000	1.000		
% cebolla picada	0.000	-1.000	*	
pH conserva	0.551	0.355	-0.355	
pH líquido gobierno	0.085	-0.072	0.072	0.042
	0.477	0.546	0.546	0.726
Correlación Pearson				
P-Value				

Análisis de regresión

En la Tabla XI se muestra la regresión de las variables, donde se observa que la variable % de cebolla picada es

removida del modelo debido a que está demasiado correlacionada con la variable % de pimienta en tiras. Por tanto en el análisis de regresión el R-cuadrado ajustado tiene un valor de 44% siendo un valor intermedio que nos indica que existe una influencia de las variables presión ejercida por el personal y % pimienta en tiras sobre el pH de la conserva.

Tabla XI
Análisis de regresión

La ecuación de regresión es:

$$\text{phcon} = 3.89 + 0.0345 \text{ Presión} + 0.00382 \text{ Pimien} + 0.0037 \text{ phliquid}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constante	3.8939	0.1298	30	0	
Presión	0.0345	0.0077	4.45	0	1.148
% pimienta	0.0038	0.0014	2.64	0.013	1.002
Phliquid	0.0037	0.0199	0.19	0.853	1.15

S = 0.0354011 R-cuad. = 48.8% R-cuad.(ajustado) = 44.0%

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	3	0.03826	0.01275333	10.176209	0
Error residual	32	0.040104	0.00125325		

Total

Fuente	GL	SC Sec.
Presión	1	0.0294
% Pimiento	1	0.008817
Phliquid	1	0.000044

Resumen de las causas raíces

Después de realizar las pruebas para encontrar las causas raíces, realizamos la siguiente Tabla XII donde se identifica estas.

Tabla XII
Resumen del análisis de las posibles causas raíces

Causa potencial	Test verificación	Resultado de Test: Aceptación o Rechazo	Conclusión ¿Es causa raíz?	Conclusión
Presión ejercida por el personal	Regresión	Valor p < 0.05; R ² adj = 44%	Si	A mayor presión ejercida, el valor del pH en la conserva disminuye
% pimienta en tiras	Regresión	Valor p < 0.05; R ² adj = 44%	Si	A mayor % de pimienta en tiras, el valor del pH en la conserva aumenta
% cebolla picada	Regresión	Correlación alta	Si	Tiene una alta correlación con la variable % de pimienta en tiras por lo tanto tiene el mismo comportamiento que esta
pH líquido de gobierno	ANOVA	Valor p < 0.05; R ² adj = 44%	Si	A menor pH de líquido de gobierno, el valor del pH en la conserva disminuye

4. Etapa de Mejora

En esta etapa nos enfocamos a desarrollar un diseño de experimento para las variables presión ejercida por el personal, % de pimienta en tiras, % de cebolla picada y pH de líquido de gobierno para poder tener mejoras del proceso.

4.1 - Diseño factorial

a) Análisis de los factores

Los resultados de los análisis de factores se muestran en la Tabla XIII, se detalla que las interacciones entre los dos

factores (presión ejercida por personal y % de pimienta en tiras) no influyen en el pH de la conserva de ensalada de pimienta piquillo 8 oz. (Y), mientras que los factores independientes si lo hacen. Así mismo en el Cuadro se muestra el análisis de varianza de los factores del diseño de experimento. El valor de R2 nos indica que el pH de la conserva es explicado por los dos factores presión ejercida por el personal y % de pimienta en tiras.

Tabla XIII

Descripción cuantitativa del análisis de varianza de los factores

Valores de niveles de presión ejercida por personal:		
Nivel	Descripción	Espacio de cabeza
1	Mayor	7 – 9 mm
2	Regular	4 – 6 mm
3	Menor	1 – 3 mm

General Linear Model: pH conserva versus Presión ejer; % pimienta e

Factor	Type	Levels	Values
Presión ejercida personal	random	3	1; 2; 3
% pimienta en tiras	random	3	80; 85; 90

Analysis of Variance for pH conserva, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Presión ejercida personal	2	0.0519	0.0519	0.0259	13.90	0.016
% pimienta en tiras	2	0.0275	0.0275	0.0138	7.37	0.046
Presión ejercida personal*% pimienta en tiras	4	0.0074	0.0075	0.0019	1.64	0.176
Error	63	0.0719	0.0719	0.0011		
Total	71	0.1588				

S = 0.0337709 R-Sq = 54.75% R-Sq(adj) = 49.00%

b) Validar el modelo

En la Figura 9 se muestra los residuos cumpliendo los requisitos necesarios para que el modelo sea válido.

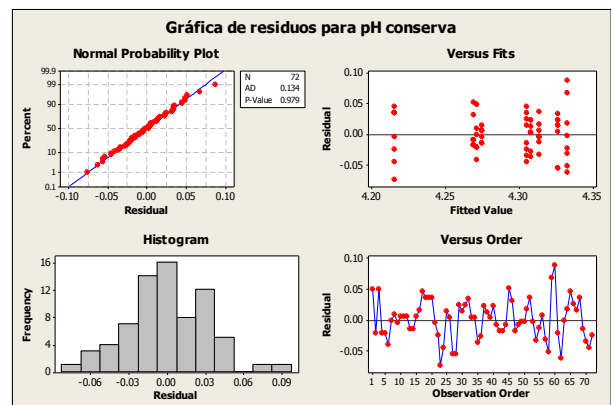


Figura 9. Residuos para el pH de la conserva

c) Optimización

Se obtienen los parámetros de las variables, presión ejercida por el personal y % de pimienta en tiras, los valores de las variables son 2.9394 y 86.0606 % respectivamente. Se muestra la optimización en la Figura 10.

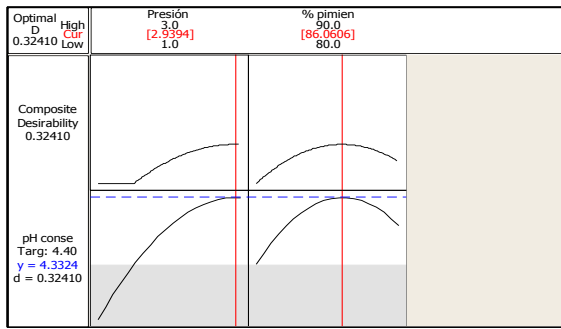


Figura 10. Optimización del modelo

4.2 - Plan Piloto

En esta etapa se desarrolla cuando se va realizando la mezcla de los materiales para elaborar la conserva de ensalada de pimiento piquillo 8 oz., con los parámetros establecidos por la optimización del proceso. En la Figura 11 se muestra el control de los datos del piloto, podemos indicar que los datos se encuentran bajo control estadístico.

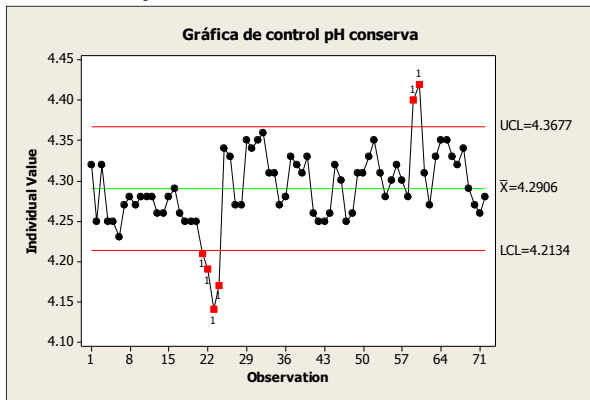


Figura 11. Carta de control de los resultados del piloto

Después de realizar el piloto, se calcula la nueva capacidad y nivel sigma del proceso, en las Figura 12 y 13 se presentan respectivamente la capacidad y el nivel sigma del proceso mejorado. El valor del nivel sigma es 3.28 (1.78 + 1.5), con productos defectuosos de 37674 ppm ó 3.77 %.

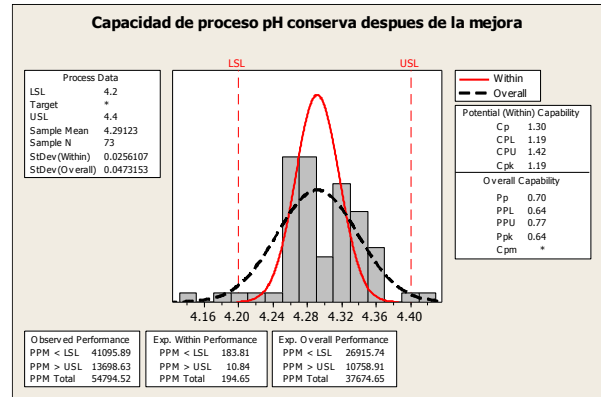


Figura 12. Capacidad de proceso mejorado

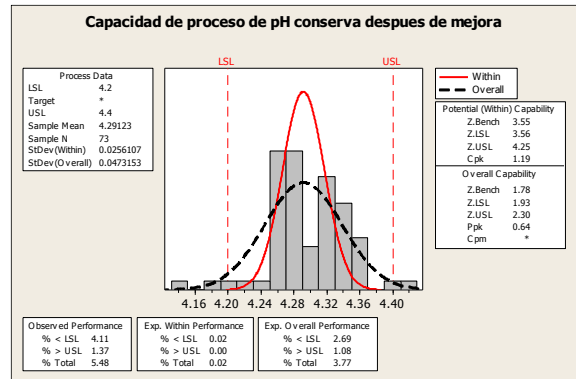


Figura 13. Six Sigma del proceso

Tabla XIII

Formato de variables con mayor riesgo, detallando los responsables

Número de plan de control: 001			Ejecutor del plan:			Elaboración: 13.02.12		Revisión: 17.02.12		
Área: Planta conserva			Equipo trabajo:			Gerente del proyecto:				
Proceso: conserva ensalada pimiento piquillo 8 oz.			Supervisor:			Fecha aprobación: 17.02.12				
Orden	Nombre o Descripción del proceso	Máquina, herramienta o equipo para proceso	Característica			Métodos			Plan de reacción	
			Producto	Parámetro del proceso	Especificación y/o tolerancia del producto o proceso	Evaluación o técnica de medición	Muestra			Método de control
						Tamaño	Frecuencia			
1	Presión ejercida por personal	Manual	Presionar para que ingrese líquido de gobierno	Variación del nivel de presión ejercida	15 ml de líquido de gobierno	Visual	3 conservas	Cada 30 minutos	Hoja de inspección	Corrección de presión ejercida por personal y corrección de pesos de pimiento y cebolla
2	% pimiento en tiras	Balanza	Pimiento en tiras de 0.5 mm de ancho y 2.5 cm de largo	Máximo 90 % pimiento en tiras	Máximo 90 % pimiento en tiras	Balanza	3 conservas	Cada 30 minutos	Hoja de inspección	
3	% cebolla picada	Balanza	Picado	Mínimo 10 % cebolla picada	Mínimo 10 % cebolla picada	Balanza	3 conservas	Cada 30 minutos	Hoja de inspección	
4	pH líquido gobierno	pHmetro	pH 2.5 – 3.0	Variación pH	pH 2.5 – 3.0	pHmetro	batch	Cada batch	Hoja de inspección	Corrección pesos de insumos usados para preparar líquido de gobierno

5. Etapa de Control

En esta etapa desarrollamos un análisis de riesgo AMEF para encontrar las variables con alto riesgo de producir defectos en el pH de la conserva de ensalada de pimiento piquillo 8 oz., para luego realizar un plan donde describe acciones para reducir los riesgos.

En la Tabla XIII se detalla las acciones que se realizarán a las variables con mayor riesgo, detallando los responsables de las acciones, tiempo de ejecución, y otros.

IV. CONCLUSIONES

Se logró reducir la variabilidad del pH en la conserva acidificada de pimiento piquillo 8 oz., pasando de un rango de 4.1 – 4.5 a un rango de 4.2 – 4.4, lo que permite asegurar la inocuidad del producto, así como mantener sus características organolépticas inalteradas en un plazo más duradero.

El valor sigma se incrementó de 1.22 a 3.28, además se confirma que las variables que influyen en el proceso son la presión ejercida por el personal sobre el producto, además del porcentaje de tiras de pimiento piquillo.

El principal beneficio obtenido es la reducción de costos asociados con las mejoras en los procesos, siendo su principal impacto el menor consumo de recursos como el tiempo para disminuir los defectos o errores que pueden dar lugar a correcciones. Los beneficios económicos alcanzados fueron de S/. 75,439 nuevos soles por año, entre los cuales se encuentran la reducción por ahorro en costos de falla interna, falla externa, de evaluación y de prevención.

Se incrementó la participación de los miembros de la organización, mediante la participación en equipos de mejora de procesos diseñados para ayudar a mejorar los procesos y aumentar el valor para sus clientes, internos y externos.

Esta investigación, ayudo a la empresa a identificar lo que los clientes valoran, luego se tomaron medidas para eliminar los pasos innecesarios de tiempo y de variabilidad en los procesos, con la finalidad de aumentar el valor.

REFERENCIAS

- [1] Bass, I. 2007. *Six Sigma Statistics with Excel and Minitab*. Mc Graw Hill. USA.
- [2] Eckes, G. (2004). *El Six Sigma para todos*. Grupo editorial Norma.
- [3] George, M.; Rowlands, D.; Price, M.; Maxey, J. 2005. *The Lean Six Sigma Pocket*. Editorial Mc Graw Hill. USA.
- [4] Hambleton, L (2008). *Treasure Chest of Six Sigma Growth Methods, Tools, and Best Practices: A Desk Reference Book for Innovation and Growth*. Prentice Hall.
- [5] Sarkar, D (2004). *Lessons in Six Sigma: 72 Must-know Truths for Managers*. Response books.

- [6] Tennant, G. (2001). *Six Sigma: SPC and TQM in Manufacturing and Services*. Gower.

Authorization and Disclaimer

Authors, Jonatán Edward Rojas Polo, Carla Pretell Vásquez, Luis Vásquez Salinas, Alexia Cáceres Cansaya & Luis Márquez Villacorta, authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.