



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ciencias Químicas

Ingeniería Industrial

Optimización del proceso de llenado y dosificado de preenvasados en relación a su utilidad financiera basado en Six Sigma: Caso de estudio Solinag Cia. Ltda

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial

Autor:

Daniel Fernando Talbot Larriva

CI: 0103996054

Correo electrónico: pishitalbot27@hotmail.com

Tutor:

Ing. Milton Francisco Barragán Landy

CI: 0201858719

Cuenca, Ecuador

18-octubre-2021



Resumen:

La optimización ayuda a las organizaciones a manejar de mejor manera sus recursos económicos, reducir costos, disminuir desperdicios, variabilidad, tiempos muertos, maximizar la productividad y mejorar la calidad de sus productos y/o servicios, con la finalidad de obtener una mayor satisfacción en los clientes. El objetivo del presente estudio es exponer los resultados obtenidos a partir de una investigación sobre la optimización del proceso de llenado y dosificado de cuatro lotes de preenvasados líquidos agrícolas, en presentaciones de 100 ml, 250 ml, 500 ml y 1000 ml. Para determinar la variabilidad, ya sea por excedencia o escasez de producto, en el estado actual y en un nuevo estado óptimo del proceso, se realizaron controles estadísticos y análisis de capacidad. Los lineamientos establecidos en el Reglamento Técnico Ecuatoriano INEN 284 fueron ejecutados en el estudio, además se utilizaron metodologías de optimización de procesos, como Six Sigma a través de DMAIC que consistió en cinco etapas fundamentales (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) y Diseño de Experimentos, que a través de un diseño factorial 2^3 permitió un estudio de los factores principales que intervenían directamente en el proceso. La presión de aire que se ejerce en el tanque o caneca en donde se encuentra el producto, la presión de aire del pistón de llenado y el nivel del caudal del sistema de llenado, fueron los principales factores de influencia y se trabajó creando las condiciones ideales, también se sugirió un nuevo plan de control, con nuevas tolerancias, previamente calculando nuevos límites de especificaciones inferior y superior, para que así la empresa pase de tener pérdidas de aproximadamente \$4488,48 anuales a obtener una utilidad financiera de \$385,95 anuales.

Palabras claves: Six Sigma. DMAIC. Preenvasados. Llenado. Diseño de experimentos.



Abstract:

By reducing costs as well decreasing waste, variability and dead times, optimization helps organizations to manage better their economic resources while improving the quality of their products and services. As result, long term benefits and client satisfaction are achieved. The aim of this study is to present the results obtained from optimizing the filling and dosing processes of four prepacked batches 100 ml, 250 ml, 500 ml and 1000 ml of agricultural liquid. A statistical control and capacity analysis, has been made to determine the variability; due to product excess or waste, in the current and in a new optimal state of the process. The guidelines established in the Ecuadorian Technical Regulation INEN 284 were followed in the study as well as process optimization methodologies, such as Six Sigma. The latter one was applied through DMAIC, which consisted in five fundamental steps (Define, Measure, Analyze, Improve and Control) and Design of Experiments, through a 2^3 factorial design included a study of the main factors that intervened directly in the process. The study was carried out creating ideal conditions and it was found that there are three crucial influencing factors: a) The air pressure that is exerted in the tank or bin where the product is located, b) the air pressure of the filling piston and c) the level of the flow of the filling system. A new control plan with new tolerances by having previously calculated new upper and lower specification limits was recommended. In this way, the losses of the company were rebounded from approximately \$ 4.448,48 to \$385, 95 per year.

Keywords: Six Sigma. DMAIC. Pre-packaged. Filled process. Design of experiments.



Índice del Trabajo

1. Introducción.....	7
2. Revisión de la Literatura, Proceso Productivo y Metodología.....	9
2.1. Proceso de Llenado y Dosificado.....	9
2.2. Metodología.....	10
2.3. Definir.....	11
2.3.1. Técnica 5W + 2H.....	11
2.4. Medir.....	13
2.4.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos planteados por el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 284 (2015).....	15
2.4.2. Consideraciones con respecto al equipo o instrumento de medición.....	19
2.4.3. Capacidad del Proceso.....	20
2.5. Analizar.....	21
2.6. Mejorar.....	22
2.7. Controlar.....	23
3. Resultados alcanzados al aplicar la metodología DMAIC.....	23
3.1. Definir.....	23
3.2. Medir.....	24
3.2.1. Datos e Índices de Capacidad.....	24
3.2.2. Histogramas de Frecuencia e Informes de Capacidad del Proceso.....	25
3.3. Analizar.....	28
3.3.1. Análisis Índices de Capacidad, Nivel Sigma y Rendimiento.....	28
3.3.2. Medición de la Variabilidad.....	29
3.3.3. Identificación Causas Potenciales.....	29
3.3.4. SMED (Single Minute Exchange of Die).....	30
3.4. Mejorar.....	31
3.4.1. Cambio de las actividades internas a externas (SMED).....	31
3.4.2. Carta del Proyecto Six Sigma (Six Sigma Project Charter) en Solinag Cia. Ltda.....	32
3.4.3. Diagrama de Ishikawa.....	33
3.4.4. Propuestas de Mejora.....	34
3.4.4.1. Estandarización de medidas de presión de aire y relación con la densidad.....	35
3.4.4.2. Datos referenciales para el operador del pistón de llenado.....	36
3.4.4.3. Control previo de calidad del producto.....	36
3.4.4.4. Reemplazo de balanzas y sistema de llenado.....	37
3.4.4.5. Mantenimiento del pistón de llenado y reemplazo de empaques.....	37
3.4.5. Diseño de Experimentos (DOE).....	37
3.5. Controlar.....	43
4. Conclusiones y Discusión.....	47
5. Agradecimiento.....	49
6. Bibliografía.....	49
7. Anexos.....	50



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Daniel Fernando Talbot Larriva en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Optimización del proceso de llenado y dosificado de preenvasados en relación a su utilidad financiera basado en Six Sigma: Caso de estudio Solinag Cia. Ltda", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 18 de octubre del 2021

Daniel Fernando Talbot Larriva

C.I.: 0103996054



Cláusula de Propiedad Intelectual

Daniel Fernando Talbot Larriva, autor/a del trabajo de titulación "Optimización del proceso de llenado y dosificado de preenvasados en relación a su utilidad financiera basado en Six Sigma: Caso de estudio Solinag Cia. Ltda", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 18 de octubre del 2021

Daniel Fernando Talbot Larriva

C.I: 0103996054

1. Introducción

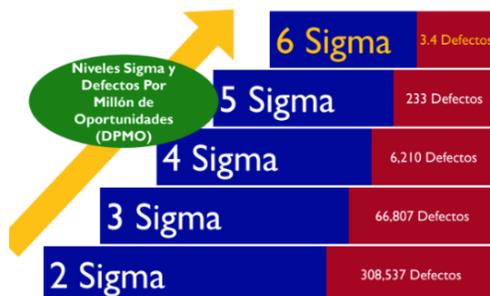
Las empresas y organizaciones actualmente buscan la optimización de sus procesos productivos con el propósito de reducir costos, disminuir desperdicios y variabilidad, mejorar la calidad, eliminar tiempos muertos y maximizar el rendimiento. La Real Academia Española (RAE, 2020), define optimizar como “buscar la mejor manera de realizar una actividad”. La optimización de procesos es conceptualizada por Laura Botella (2019), como el establecimiento de acciones de mejora en aquellas tareas que intervienen en la elaboración del producto y/o servicios que ofrecen las organizaciones.

Una de las metodologías que se utiliza para la optimización de procesos es la de Six Sigma (6σ). Establecida como una metodología de calidad e iniciada en la empresa Motorola en 1988 por el ingeniero Bill Smith. Esta metodología ha sido definida de distintas maneras; sin embargo, se puede resumir que es una estrategia de mejora continua que busca determinar el estado actual y el estado al que se podría llegar, también es un arreglo único de herramientas de calidad, estadísticas y no estadísticas (Ana Silvia Gamboa Jiménez, 2020). “Consiste en una estrategia para mejorar la calidad de procesos mediante la identificación y eliminación de defectos y la minimización de la variación en los resultados del proceso” (Technology, 2012).

El término sigma es usado para designar la distribución o dispersión de un valor medio (promedio) de un proceso. Para un proceso, en este caso el proceso de llenado y dosificado de preenvasados, la capacidad sigma es una medida que indica cómo se desempeña el proceso y su optimización; mayor el valor de sigma, mejor el desempeño del proceso. Sigma mide la capacidad del proceso para producir resultados libres de defectos. Un defecto se define como cualquier cosa que resulta en la insatisfacción del cliente.

La *Figura 1* representa la ruta hacia el Six Sigma, donde se indican los distintos niveles de eficiencia y los defectos por millón de oportunidades (DPMO) que se pueden alcanzar. Se evidencia desde un nivel 2 sigma que representa el 69,15% de eficiencia y 308,537 DPMO hasta un nivel 6 sigma que representa 99,99966% de eficiencia y 3,4 DPMO (Humberto Gutiérrez Pulido, 2009).

Figura 1 Ruta hacia el Six Sigma



Fuente: Treqna Open Seis Sigma (2006).

Uno de los principales enfoques que se utilizará en este ensayo es el eje central del Six Sigma para mejoramiento continuo de procesos, conocido como DMAIC acrónimo de Define (Definir), Measure (Medir), Analyze (Analizar), Improve (Mejorar) y Control (Controlar). “Es un abordaje estructurado que promueve el uso integrado de varios métodos y herramientas en proyectos de mejoramiento cuyo objetivo es reducir drásticamente la variabilidad del desempeño de atributos relevantes para la satisfacción de los clientes” (Sigma, 2006). Además, se fundamenta en la curva de distribución normal, donde se puede llegar a conocer el nivel de variación de cualquier proceso (Ana Silvia Gamboa Jiménez, 2020). “El objetivo es mejorar la capacidad de los procesos, de tal forma que



estos generen los mínimos defectos por millón de unidades producidas” (Ana Silvia Gamboa Jiménez, 2020).

Se puede definir el proceso de llenado como la introducción eficiente de producto dentro de un envase y el dosificado como el control del llenado que busca graduar la cantidad exacta de producto que se desea introducir en el envase. El problema presentado en el proceso de llenado es el incumplimiento del contenido neto nominal del preenvasado (combinación de un producto y el material de empaque) debido a un pesaje y dosificado erróneos, este problema genera en la empresa envasadora alrededor de entre un 0,5% a un 1% de producto no conforme de aproximadamente 12000 unidades que se producen mensualmente, que equivalen entre 60 y 120 preenvasados (Solínag Cia. Ltda, 2020).

El problema de llenado ha sido presentado en diversos artículos, estudios e investigaciones que han abarcado problemas similares. Vega et al. (2017) estudiaron un problema en el proceso de llenado aséptico de ampollas farmacéuticas, que debido a las mermas en dicho proceso identificaron una pérdida anual de \$351,532.03 pesos mexicanos, equivalentes a \$17,598.57 dólares americanos, donde a través de control estadístico y de calidad identificaron bajos rendimientos en el proceso, y propusieron una corrección en la flama que sella la ampolla para evitar las pérdidas de producto.

Elizabeth E. Díaz (2009) realizó un estudio de optimización en el proceso de llenado y dosificado de polvos en una industria de granos, en dicho proceso se presentaban pérdidas de producto lo que a su vez generaba pérdidas económicas por un valor de \$2,423.07 dólares americanos anuales. A partir de técnicas de control estadístico y un diseño factorial 2^k se obtuvo una reducción del 95% de las pérdidas.

Ana Jiménez (2020) identificó el sobrellenado de producto en una empresa colombiana de productos veterinarios, biotecnológicos y farmacéuticos, donde se generaban pérdidas de dinero que alcanzaban los trescientos millones de pesos colombianos (\$300,000,000) anuales, equivalentes a \$82,809.69 dólares americanos, debido a esta problemática la autora planteó una solución para controlar las variables peso, presión y temperatura dentro del proceso, utilizando la metodología Six Sigma, cartas de control y PCA (Principal Component Analysis).

Vanegas (2015) realizó un estudio en la empresa ecuatoriana Lácteos San Antonio (Nutrileche), donde se perciben grandes pérdidas de producto debido a la alta variabilidad del proceso de llenado de leche en funda de polietileno, se llegaron a perder hasta 1350 litros de leche al día, lo que causó aumentos importantes en los costos operativos de la empresa por un valor aproximado de \$24,000.00 dólares americanos mensuales. Debido a la gran variación de la operatividad de la envasadora, Vanegas (2015) mediante la utilización de la metodología Six Sigma, recomienda las siguientes soluciones para dicho problema; implementar un control e inspección del pesaje y dosificado del proceso de llenado en un menor tiempo, calibraciones periódicas del dosificador, establecer un programa de producción utilizando solamente el tanque aséptico que suministra el producto, incorporar planes de capacitación para los operarios de la envasadora, aplicar un mantenimiento oportuno en las máquinas llenadoras y además se las debe mantener en funcionamiento el tiempo especificado por el fabricante. A través de estas recomendaciones la empresa redujo el producto perdido en un 38% equivalente a 514 litros diarios que son \$306,00 dólares americanos.

Finalmente, como consecuencia a lo expuesto anteriormente, las empresas perderán cuantiosas sumas de dinero por un proceso descontrolado de llenado de preenvasados, ya que tiene una relación directamente proporcional a la utilidad financiera neta. La pérdida de dinero se verá reflejada principalmente por una merma de producto o debido a que los clientes se sientan engañados, perjudicados lo que genera pérdida de participación en el mercado, además la empresa pondrá en riesgo su imagen, prestigio, ética y fidelidad. Por esta razón se propone el uso de la metodología Six Sigma, mediante DMAIC en el proceso de llenado y dosificado de preenvasados (Humberto Gutiérrez



Pulido, 2009). Durante la medición y el análisis del estudio, se utilizará diseño de experimentos o comúnmente conocido como DOE (Design of Experiments), el cual permitirá optimizar y mejorar el desempeño del proceso, obtener una variabilidad reducida y conformidad más cercana con los requerimientos nominales o proyectados, reducción del tiempo de desarrollo y reducción de los costos globales (Montgomery, 2004).

La empresa de caso de estudio Solinag Cia. Ltda fue fundada en Cuenca en el año de 2004. Su principal objetivo es proveer una solución a sus clientes mediante sus productos de calidad como fertilizantes edáficos, fertilizantes foliares, insecticidas químicos y orgánicos, pesticidas, fungicidas químicos y orgánicos, herbicidas, estimuladores de crecimiento, nutrición animal (piscicultura, avicultura, porcicultura, ganadería, equinos y mascotas), además de un asesoramiento tecnificado y de eficiencia.

Dentro de la empresa se pueden identificar diversos problemas en el proceso de llenado y dosificado, como por ejemplo pérdida de producto, es decir que se llene más (excedencia) en las presentaciones de 500 ml y de litro, o menos (escasez) de producto en las presentaciones de 250 ml y 100 ml, de lo que técnicamente y legalmente debe ser llenado, además existen tiempos de llenado prolongados que generan cuellos de botella dentro del proceso de envasado, ya que se pierde tiempo calibrando la máquina de llenado. Este problema se presenta debido a las siguientes variables; las condiciones medio ambientales donde cabe recalcar principalmente la presión, el caudal, pero también interviene el control de medición gravimétrico (peso) y/o volumétrico y el tiempo de llenado. Estas variables se consideran relevantes dentro del proceso, ya que, con referencia a la presión y el caudal, si estos son calibrados erróneamente y presentan inconsistencias, la dosificación en el preenvasado también lo será, además cabe recalcar que la balanza y el patrón de volumen con los que se realizan los controles de medición deben estar calibrados adecuadamente, debido a que la balanza acciona a través de una electroválvula el cierre del pistón dosificador.

En relación con esta problemática, el objetivo de este ensayo académico es optimizar el proceso de llenado y dosificado de preenvasados, basada en Six Sigma para así conseguir una utilidad financiera mayor. Además, como objetivos específicos se plantean; identificar las variables principales que afectan el proceso de llenado, establecer las fases del DMAIC para el proceso de llenado, utilizar diseño de experimentos (DOE) para reducir costos, tiempo y mermas durante el proceso de llenado, analizar las quejas de producto con llenado inconforme y mejorar la satisfacción del cliente y determinar la rentabilidad financiera de la empresa mediante el control eficiente de las variables que intervienen dentro del proceso de llenado.

2. Revisión de la Literatura, Proceso Productivo y Metodología

Antes de mencionar la metodología se indicará una descripción sobre el proceso productivo a ser estudiado en el presente trabajo.

2.1. Proceso de Llenado y Dosificado

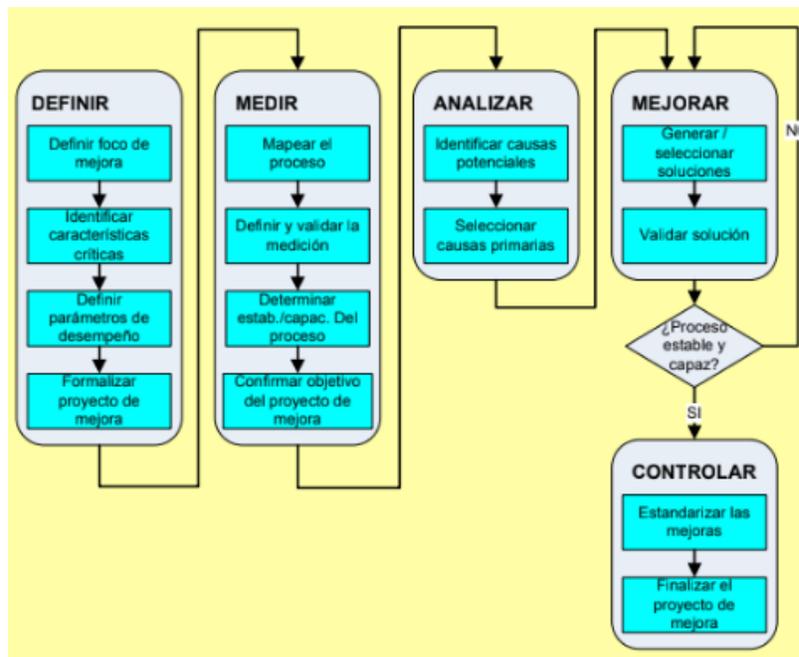
El proceso de llenado y dosificado de agroinsumos líquidos inicia cuando el operario encargado conecta a través de mangueras marcadas según un semáforo de toxicidad y a la familia de productos que pertenece el tanque de 200 l o las caneca de 50 l (esto dependerá del producto que se vaya a envasar) al pistón dosificador, dependiendo del tanque o caneca se calibra la presión de aire que ingresará al mismo y de la misma manera se calibra la presión de aire que ingresa al pistón de llenado para aperturarlo y cerrarlo según la densidad del producto que va a ser llenado. Luego se digita manualmente en el sistema de pesado, el peso que se desea llenar, y a través de un pulsante se acciona la electroválvula del pistón que lo apertura, deja caer el producto líquido en el envase y

cuando llega al peso establecido en el sistema y controlado por una balanza digital, este se cierra automáticamente. Además, el caudal que recorre por el pistón es controlado manualmente por el operador mediante una válvula. En la actualidad la empresa presenta un problema importante en dicho proceso, el mismo consiste en que existe variabilidad dentro del proceso, ya que hay ciertos preenvasados que son llenados con excedencia o escasez de producto.

2.2. Metodología

La metodología utilizada, fue de tipo experimental, se investigó el comportamiento, desempeño del proceso de llenado y dosificado, y como este afecta en el costo y a su vez a la utilidad financiera neta de la empresa Solinag Cia Ltda., donde se obtuvo inicialmente un enfoque de investigación cualitativa, se buscó caracterizar el objeto de estudio o la situación concreta, señalando sus características y propiedades, interpretando y describiendo la situación presente. Además, se complementó con una investigación cuantitativa mediante la metodología Six Sigma (DMAIC) descrita en la *Figura 2* y diseño de experimentos (DOE), que según describe Hurtado y Toro (2007), la investigación cuantitativa es aquella que se requiere el uso de modelos matemáticos y tratamientos estadísticos para analizar datos previamente recolectados a través de instrumentos de medición.

Figura 2 Metodología Six Sigma Plus ®-DMAIC.



Fuente: Treqna Open Seis Sigma (2006).

Como pilar de la investigación se utilizó la metodología de calidad Six Sigma mediante DMAIC en todas sus fases (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) con el objetivo de obtener una mejora continua del pesado y dosificado dentro del proceso de llenado de preenvasados en la empresa Solinag Cia Ltda. Conocer en qué situación se encontraba dicho proceso en la empresa y a donde puede llegar. Se describe a continuación la metodología utilizada:



2.3. Definir

Consistió en definir el foco de mejora, identificar las características críticas, las variables a controlar CTQ (Control to Quality), definir parámetros de desempeño y formalizar el proyecto de mejora (Sigma, 2006).

2.3.1. Técnica 5W + 2H

Es una técnica que se utilizó para el análisis del problema y definir el foco de mejora, donde a través de siete cuestionamientos o acrónimos nos permitió elaborar un plan de acción de forma sistemática y estructurada (Consulting, 2012). Estos cuestionamientos son What ¿Qué es el problema?, When ¿Cuándo se presenta el problema?, Where ¿Dónde se ve el problema?, Who ¿A quién o con quién sucede el problema, How ¿Cómo se diferencia del estado normal (óptimo)?, How much ¿Cuántos preenvasados se dañan? y Why ¿Por qué sucede el problema?, a continuación, se explica cada uno de estos acrónimos:

- a) **What (Qué):** El problema es la variabilidad dentro del proceso de llenado y dosificado de preenvasados agrícolas de la empresa Solinag Cia. Ltda, ya sea por escasez o excedencia de producto.
- b) **When (Cuándo):** Se refleja al momento de medir el contenido neto real del preenvasado.
- c) **Where (Dónde):** Se desencadena por las variables cuantitativas del proceso, presión de aire que ingresa al pistón de llenado, presión de aire que ingresa al tanque (200 l) y/o caneca (50 l) con producto, la calibración del caudal, el control del peso (balanza) y volumen (patrón).
- d) **Who (Quién):** También el operario de la máquina llenadora juega un papel clave en el proceso, debido a que existe una relación directa entre la calibración de las variables cuantitativas del proceso realizadas por el operario y la variabilidad en el contenido neto real del preenvasado.
- e) **How (Cómo):** La diferencia que existe en los contenidos netos reales de los preenvasados tiende a ser aleatoria, sin embargo, existen los pesos y patrones volumétricos de cada producto y cada presentación estandarizadas, para comprobar el estado normal del preenvasado.
- f) **How many (Cuántos):** Aproximadamente en un mes se generan de entre un 0,5% a un 1% de preenvasados no conformes, que equivalen entre 60 a 120 unidades.
- g) **Why (Por qué):** Las causas posibles de la variabilidad, pueden deberse principalmente a que las presiones y el caudal no se mantienen constantes.

Referente a la población y muestra que van a utilizarse, Arias (2006) define población como un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Como población de la investigación se tomaron los productos más vendidos en cada una de las cuatro presentaciones claves que oferta la empresa, 100 ml, 250 ml, 500 ml y 1000 ml. Según *Tabla 1*, los productos seleccionados son los siguientes, Regulador de Crecimiento PH, Herbicida SX, Fertilizante Foliar CAB e Insecticida Orgánico CN. Para la selección del tipo de muestreo se implementó RTE INEN 284 que, con respecto a la formación de lotes de inspección, cada uno de los lotes debe estar conformado por unidades de producto de un solo tipo, grado, clase, tamaño y composición, fabricados bajo las mismas condiciones y en el mismo período de tiempo (RTE INEN 284, 2015). Por lo que se decidió seleccionar un lote de cada uno de los cuatro productos claves y líderes en ventas antes mencionados. Dichos productos se han seleccionado a partir de un análisis de Pareto, revisar *Tabla 2*, el mismo indica que cuatro productos generan un considerable efecto económico, en este caso el 85% de las ventas de la empresa y el resto de los productos generan muy poco efecto en total. Cada lote de inspección será seleccionado en las instalaciones del fabricante, pero no de su línea de producción, sino de su área de producto terminado

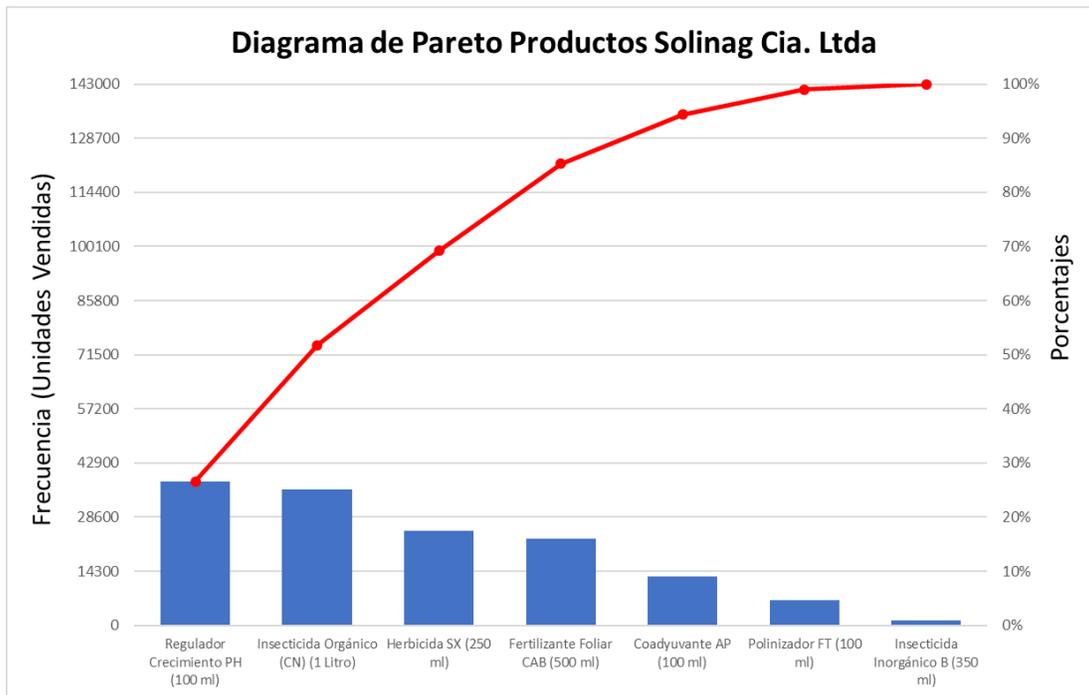
(stocks), los cuatro lotes tendrán un tamaño de 150 unidades cada uno, los tamaños de las muestras y el número máximo de unidades permitidas fuera de tolerancia deben ser verificadas en la *Tabla 3*.

Tabla 1 Frecuencias relativas y acumuladas de unidades vendidas por Solinag Cia. Ltda en el año 2020.

Producto	Frecuencia (Unidades Vendidas)	Frecuencia Relativa %	Frecuencia Acumulada	Frecuencia Acumulada %
Regulador Crecimiento PH (100 ml)	38000	27%	38000	27%
Insecticida Orgánico (CN) (1000 ml)	36000	25%	74000	52%
Herbicida SX (250 ml)	25000	17%	99000	69%
Fertilizante Foliar CAB (500 ml)	23000	16%	122000	85%
Coadyuvante AP (100 ml)	13000	9%	135000	94%
Polinizador FT (100 ml)	6600	5%	141600	99%
Insecticida Inorgánico B (350 ml)	1400	1%	143000	100%
TOTAL	143000	100%		

Fuente: Solinag Cia. Ltda (2020).

Figura 3 Diagrama de Pareto de productos de Solinag Cia. Ltda vendidos en el año 2020.



Fuente: Solinag Cia. Ltda (2020).

**Tabla 2** Clasificación de la población de estudio (Análisis Pareto).

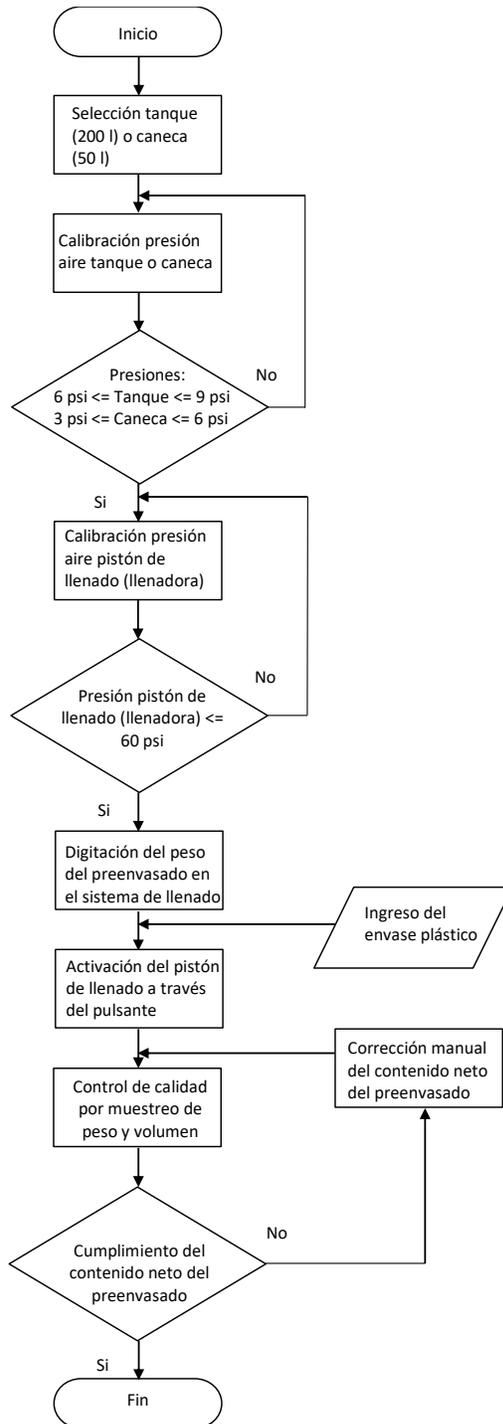
Tipo de Producto	% Ventas Anuales	Presentación	# Lote
Regulador Crecimiento PH (100 ml)	27 %	100 ml	1
Insecticida Orgánico (CN) (1000 ml)	25 %	1000 ml	2
Herbicida SX (250 ml)	17 %	250 ml	3
Fertilizante Foliar CAB (500 ml)	16 %	500 ml	4
TOTAL	85%		

Fuente: Solinag Cia. Ltda (2020).

2.4. Medir

Se fundamentó en mapear el proceso detallado en la *Figura 4*, definir y validar el problema práctico a través de la recolección de datos, como fueron recolectados los datos, como fueron hechas las mediciones, además verificar si el proceso tiene desempeño estable, estimar la variabilidad, comparar la variabilidad con la tolerancia, verificar si el proceso es suficientemente capaz, calcular el valor sigma actual y confirmar el objetivo de mejora del estudio de mejoramiento (Sigma, 2006).

Figura 4 Diagrama de flujo del proceso de llenado y dosificado de preenvasados.



Nota. Datos tomados de la empresa Solinag Cia. Ltda (2020).

Las herramientas para recolección de datos se basan en el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 284 (2015), el mismo que determina lo siguiente:

Los requisitos metroológicos, métodos de prueba, procedimientos para la verificación de los contenidos netos de productos preenvasados (combinación de un producto y el material de empaque) y los planes de muestreo usados para la verificación de productos que declaran su contenido neto en unidades de masa o volumen, expresadas en unidades del Sistema Internacional, con la finalidad de evitar prácticas que puedan provocar error o engaño a los consumidores. (RTE INEN 284, 2015)

Todos los productos preenvasados deben cumplir los requisitos metroológicos establecidos en el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 284, en cualquier nivel de distribución, ya sean fábricas y puntos de venta de productos preenvasados, que se ofrecen al consumidor (RTE INEN 284, 2015).

Tabla 3 Planes de muestreo para productos preenvasados en fábrica y número máximo de unidades permitidas fuera de tolerancia.

Tamaño del lote de inspección*	Tamaño de la muestra (unidades de producto) (n) $(t_{1-\alpha}) \frac{1}{\sqrt{n}}$	Factor de corrección de la muestra	Número de unidades de producto fuera de la deficiencia tolerable o tolerancia
100 a 500	50	0,379	3
501 a 3200	80	0,295	5
> 3200	125	0,234	7

*: Referencia Recomendación OIML R 87.

Fuente: Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 284 (RTE INEN 284, 2015).

2.4.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos planteados por el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 284 (2015):

- A. Precisar los lotes de inspección, en total en este caso de estudio existen cuatro lotes de inspección y cada uno es de 150 unidades (RTE INEN 284, 2015).
- B. Establecer el tamaño apropiado de la muestra para el lote de inspección a partir de la primera columna correspondiente a la *Tabla 3* (Tamaño de muestra $n = 50$) (RTE INEN 284, 2015).
- C. Establecer la tolerancia (T) apropiada para el contenido neto nominal de los preenvasados según *Tabla 4* (RTE INEN 284, 2015).

Tabla 4 Deficiencias tolerables en el contenido real de productos preenvasados.

Contenido neto nominal de producto (Q_n) en g o mL o cm^3	Deficiencia tolerable (T) ^a	
	Porcentaje de Q_n	g o mL o cm^3
0 a 50	9	-
50 a 100	-	4,5
100 a 200	4,5	-
200 a 300	-	9
300 a 500	3	-
500 a 1000	-	15
1000 a 10000	1,5	-
10000 a 15000	-	150
15000 a 50000	1	-

^a Los valores de T deben ser redondeados al siguiente 1/10 de g o mL o cm^3 para $Q_n \leq 1000$ g o mL o cm^3 y al siguiente entero de g o mL o cm^3 para $Q_n > 1000$ g o mL o cm^3 .



Contenido neto nominal de producto (Q_n) en unidades contables	Porcentajes de Q_n
$Q_n \leq 50$ unidades	No se permite ninguna deficiencia tolerable
$Q_n > 50$ unidades	1 ^b

^b Calcular el valor de T multiplicando el contenido neto nominal por 1% y redondeando el resultado al próximo número entero de unidades. El valor redondeado puede ser mayor que el 1% pero es aceptable pues el producto está compuesto de unidades enteras y no pueden ser divididas.

Fuente: Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 284 (RTE INEN 284, 2015).

- D. Identificar el número permitido de productos que exceden la deficiencia tolerable de la cuarta columna de la *Tabla 3*, en este caso de estudio son 3 unidades el máximo permisible (RTE INEN 284, 2015).
- E. Definir el contenido neto real de cada unidad de producto mediante instrumentos de medición de masa, volumen y/o densidad (RTE INEN 284, 2015).

i. Masa

- Llevar a cabo una prueba no destructiva, primeramente hay que pesar el preenvasado y luego determinar el peso neto real, restándole la masa promedio del envase vacío, obtenida de una muestra representativa de 20 envases vacíos como mínimo (RTE INEN 284, 2015).

ii. Volumen

- Llevar a cabo una prueba destructiva, calcular el volumen neto real, vaciando el contenido del envase en un recipiente calibrado y con divisiones mínimas de 1 ml para productos de hasta 1 l o también puede ser no destructiva relacionando la masa del contenido neto del preenvasado con la densidad del producto para obtener el volumen ($v = \frac{m}{\rho}$) (RTE INEN 284, 2015).

- F. Establecer los contenidos netos reales promedio de los productos preenvasados de la muestra del lote de inspección:

“El contenido neto real promedio (\bar{X}) es la media aritmética, resultante de sumar los contenidos netos reales de las unidades de producto que conforman la muestra, dividido para el número de ellas, se indica en la *Ecuación (1)*; el contenido neto real promedio de un producto preenvasado de un lote de inspección debe ser igual o superior al contenido neto nominal (Q_n) que consiste en la cantidad de producto en un preenvasado declarado en la etiqueta del envase, si el contenido neto real promedio (la cantidad de producto que de hecho contiene un preenvasado, determinado por mediciones) en un lote de inspección de productos preenvasados se determina por muestreo, se deben cumplir los criterios de aceptación establecidos en el Reglamento Técnico” (RTE INEN 284, 2015).

Contenido neto real promedio (\bar{X}):

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{N} \quad \text{Ecuación (1)}$$

El contenido neto real promedio de la muestra (\bar{X}) debe ser:



$$\bar{X} \geq Qn$$

G. Ejecutar los siguientes criterios de aceptación:

El Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 284 (2015), considera que el lote de inspección verificado por muestreo cumple con el contenido neto nominal sólo si satisface los tres criterios establecidos en los siguientes numerales:

- i.** Promedio algebraico. El contenido neto real promedio de la muestra (\bar{X}) debe ser:

$$(\bar{X}) \geq (Qn)$$

- ii.** No debe haber un número de unidades fuera de tolerancia mayor a las establecidas en la columna 4 de la *Tabla 3* (Error T1).

Se conoce como error T1 a un preenvasado inapropiado en el que se determina que el contenido neto real es menor que el contenido neto nominal menos la deficiencia tolerable permitida para el contenido neto nominal. Los valores de T deben observarse en la *Tabla 4*, según el contenido neto nominal de producto (RTE INEN 284, 2015).

$$\text{Error T1: Contenido neto real} < (Qn - T)$$

- iii.** Ninguna unidad de producto debe resultar con un contenido neto real menor que $Qn - T2$ (Error T2):

Se conoce como Error T2 a un preenvasado inapropiado en el que se determina que el contenido neto real es menor al contenido neto nominal menos dos veces la deficiencia tolerable permitida para el contenido neto nominal. Los valores de T deben observarse en la *Tabla 4*, según el contenido neto nominal de producto (RTE INEN 284, 2015).

$$\text{Error T2: Contenido neto real} < (Qn - T2)$$

Cabe resaltar que cuando el promedio de la suma algebraica de los contenidos netos reales no cumpla con el criterio establecido en el literal i se realiza la siguiente prueba, aceptando el lote por dicho criterio, si se satisface la siguiente condición expresada en (RTE INEN 284, 2015):

$$tc < t$$

En donde:

$$tc = \left| \frac{Qn - \bar{X}}{s/\sqrt{n}} \right|$$

Ecuación (3)

$$s = \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Ecuación (2)

tc: Es el valor de la estadística t (t-Student), obtenido de los valores de la muestra.

Qn: Contenido neto nominal en la etiqueta.

\bar{X} : Contenido neto real promedio obtenido en la muestra.

n: Número de unidades de producto que componen la muestra.



s: Desviación estándar de los valores del contenido neto real de los ítems que componen la muestra.

t: Es el valor de la estadística t (t-Student) a un nivel de confianza de 99,5 % con n-1 grados de libertad, se obtiene de la *Tabla 5*.

Tabla 5 Valores de "t" para prueba t-Student.

TABLA 1. Valores de "t"	
n	t 0,995; n-t
2	9,92
3	5,84
5	4,03
8	3,35
13	3,01
20	2,84
32	2,73
50	2,67
80	2,64
125	2,61

Fuente: Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 284 (RTE INEN 284, 2015).

“Si el valor de $t_c < t$, el lote cumple con el criterio establecido en literal i, y debe además cumplir los criterios establecidos en los numerales literal ii y literal iii. Del análisis de los resultados, se puede deducir si un lote cumple con los tres criterios, con algunos de ellos o con ninguno” (RTE INEN 284, 2015).

H. Identificación del error individual y error promedio (alternativa) (RTE INEN 284, 2015).

I. Identificar el error del producto preenvasado individual utilizando los siguientes parámetros (RTE INEN 284, 2015):

- Si se utiliza una prueba gravimétrica, se debe calcular el peso bruto calculado (PBC) que puede utilizarse para el cálculo de errores del producto preenvasado individual de la siguiente manera (RTE INEN 284, 2015):

$$\text{PBC} = \text{Peso promedio del material de envase} + \text{Cantidad nominal de producto en el preenvasado} \quad \text{Ecuación (4)}$$

Calcular los errores del producto preenvasado individual restando el PBC del peso bruto real de cada producto preenvasado (RTE INEN 284, 2015).

$$\text{Error del producto preenvasado individual} = \text{Peso bruto real} - \text{PBC} \quad \text{Ecuación (5)}$$

- Determinar el contenido neto real del producto y restar de él, el contenido neto nominal (Qn) del producto para así poder calcular el error del producto preenvasado individual (RTE INEN 284, 2015).

J. Establecer si los resultados de la prueba cumplen los requisitos para un preenvasado individual (RTE INEN 284, 2015).

Se debe comparar cada error negativo del producto preenvasado individual obtenido en el literal anterior I con los valores para T en el literal C (RTE INEN 284, 2015). Las condiciones son las siguientes:



- Si el valor absoluto de un error negativo del producto individual es mayor que la deficiencia tolerable especificada en el Error T1, es inadecuado (RTE INEN 284, 2015).
 - Si el número de productos inadecuados excede el total permitido en la columna 4 de la *Tabla 3*, o si se encuentra con un error negativo individual mayor que T2, la muestra no cumple el requisito para productos preenvasados individuales. Solo si la muestra cumple con los requisitos, proceder con el siguiente paso (RTE INEN 284, 2015).
- K.** Finalmente determinar si los resultados de la prueba cumplen el requisito del producto preenvasado promedio (RTE INEN 284, 2015).
- Para obtener el error total del producto (ETP), se deben sumar los errores del producto preenvasado individual obtenidos en el literal I. Dividir el ETP para el tamaño de la muestra para calcular el error promedio (EP). Si el EP es un número positivo, la muestra del lote de inspección es aprobada. Si el EP es un número negativo, calcular el error límite de la muestra (ELM) de la siguiente manera (RTE INEN 284, 2015) :
 - i. Calcular la desviación estándar de la muestra (RTE INEN 284, 2015).
 - ii. Medir el error límite de la muestra (ELM) multiplicando la desviación estándar de la muestra (s) por el factor de corrección de la muestra (FCM) que se muestra en la columna 3 de la *Tabla 3*, para el tamaño de la muestra de la columna 2 (RTE INEN 284, 2015).
$$\text{ELM} = \text{Desviación estándar de la muestra (s)} \times \text{FCM} \quad \text{Ecuación (6)}$$
 - iii. Sumar el error límite de la muestra (ELM) al error promedio (EP) (RTE INEN 284, 2015).
 - Si la suma es > 0 , la muestra y el lote de inspección es aprobado (RTE INEN 284, 2015).
 - Si la suma es < 0 , la muestra y el lote de inspección es desaprobado (RTE INEN 284, 2015).

2.4.2. Consideraciones con respecto al equipo o instrumento de medición

El Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 284 (2015) considera lo siguiente, “el contenido neto real de los preenvasados deberá medirse directamente mediante el uso de equipos o instrumentos de medición de masa o volumen, en el caso de un líquido, indirectamente por la medición de la densidad del producto y la medida de su masa para la determinación de su volumen. Cualquiera que sea el método utilizado, el error de determinación del contenido neto real de un producto preenvasado debe ser como máximo igual a la quinta parte de la deficiencia tolerable en menos, correspondiente al contenido neto nominal del producto preenvasado” (RTE INEN 284, 2015).

“Se debe verificar el contenido neto real de los preenvasados utilizando equipos o instrumentos de medición que hayan superado los controles metrológicos que le sean de aplicación en especial en lo que se refiere a los errores máximos permitidos, así como que funcione conforme a la normativa técnica específica. El equipo o instrumento de medición que se utilice para verificar el contenido neto real debe disponer de un certificado de calibración vigente emitido por el Laboratorio



Nacional de Metrología o por la empresa involucrada en el caso de estudio” (RTE INEN 284, 2015). Para el pesado del material de empaque (envases, tapas, etiquetas, termoencogibles) y el producto Regulador de Crecimiento PH (100 ml) se utilizará una balanza digital analítica de marca U.S.Solid con un grado de precisión del 99,999%, a diferencia de los productos Herbicida SX (250 ml), Fertilizante Foliar CAB (500 ml) e Insecticida Orgánico CN (1000 ml) que se pesarán en una balanza digital de marca CAMRY con un grado de precisión del 99,9%. (RTE INEN 284, 2015)

Se debe considerar lo siguiente para seleccionar el equipo o instrumento adecuado al producto cuyo contenido se desea medir (RTE INEN 284, 2015):

- Que el error máximo permitido del instrumento sea $\leq 1/5 T(Qn)$ (RTE INEN 284, 2015).
- Que el contenido neto real este dentro del intervalo de medición del instrumento, incluyendo la incertidumbre (RTE INEN 284, 2015).
- Que la incertidumbre del instrumento de medición, proveniente del certificado de calibración vigente no será mayor a la quinta parte de la tolerancia correspondiente $(0,2 T)$ (RTE INEN 284, 2015).

2.4.3. Capacidad del Proceso

Durante el análisis de los datos se estudió la capacidad del proceso. “La capacidad del proceso en términos generales se define como la capacidad de un proceso de satisfacer las expectativas del cliente” (Bothe, 1997). Una vez que el proceso está bajo control, entonces se puede responder la pregunta si el proceso es capaz de satisfacer las especificaciones del cliente. La calidad de proceso es una medida de la capacidad de un proceso de producir de acuerdo con su capacidad esperada, donde los valores superiores e inferiores entre los cuales el proceso se debe controlar se conocen como los límites de control superior e inferior (UCL y LCL, por sus siglas en inglés). La calidad del cliente es el cumplimiento con las especificaciones del cliente dentro de una banda de tolerancia, donde los valores superiores e inferiores que el cliente está dispuesto a aceptar se conocen como límites superiores (LES) e inferiores (LEI) de las especificaciones (USL y LSL, por sus siglas en inglés) (Technology, 2012).

La capacidad del proceso puede ser definida mediante la utilización de la siguiente fórmula:

$$C_p = \frac{USL-LSL}{6\sigma} \quad (\text{Índice de capacidad potencial del proceso}) \quad \text{Ecuación (7)}$$

Si la distribución está descentrada, la probabilidad de un mal resultado aumenta en forma drástica. En este caso se usa C_{pk} , para calcular los índices de capacidad para especificaciones unilaterales:

$$C_{ps} = \frac{USL-Media}{3\sigma} \quad (\text{especificación superior}) \quad \text{Ecuación (8)}$$

$$C_{pi} = \frac{Media-LSL}{3\sigma} \quad (\text{especificación inferior}) \quad \text{Ecuación (9)}$$

$$C_{pk} = \min \left[\frac{USL-Media}{3\sigma}, \frac{Media-LSL}{3\sigma} \right] \quad (\text{Índice de capacidad real}) \quad \text{Ecuación (10)}$$

- $C_p = C_{pk}$ el proceso esta centrado en el punto medio de las especificaciones.

- $C_p > C_{pk}$ el proceso está descentrado.

Es importante indicar que “el índice Cpk no contempla el valor nominal u objetivo, para esto se utiliza el Cpm el cual examina la dispersión del proceso y el desplazamiento de la media del proceso con respecto al objetivo y los compara con la dispersión de especificación” (Vanegas, 2015).

$$C_{pm} = \frac{C_p}{\sqrt{1 + \left(\frac{\text{Media} - \text{Media objetivo}}{\sigma}\right)^2}} \quad (\text{Índice de capacidad de Taguchi}) \quad \text{Ecuación (11)}$$

Los cuadros de control son una eficaz ayuda visual para monitorear la capacidad del proceso. Si se pueden establecer las especificaciones del cliente de la calidad del proceso (USL, LSL), los métodos Six Sigma pueden ayudar a alcanzar los resultados esperados (Technology, 2012). En la siguiente tabla se indica la interpretación de los valores de los índices de capacidad:

Tabla 6 Valores de C_p y su interpretación.

VALOR DEL ÍNDICE CP	CLASE O CATEGORIA DEL PROCESO	DECISIÓN (SI EL PROCESO ESTÁ CENTRADO)
$C_p \geq 2$	Clase mundial	Se tiene calidad Seis Sigma.
$C_p > 1,33$	1	Adecuado.
$1 < C_p < 1,33$	2	Parcialmente adecuado, requiere de un control estricto.
$0,67 < C_p < 1$	3	No adecuado para el trabajo. Es necesario un análisis del proceso. Requiere de modificaciones serias para alcanzar una calidad satisfactoria.
$C_p < 0,67$	4	No adecuado para el trabajo. Requiere de modificaciones muy serias.

Fuente: Vanegas (2015).

2.5. Analizar

Se convirtió el problema práctico en estadístico, identificando causas potenciales y mediciones que permitan refutar o confirmar las hipótesis planteadas, seleccionando las causas primarias priorizando y/o cuantificando el efecto de las causas sobre la variable respuesta, escogiendo las que más contribuyen en la reducción de la variabilidad, definiendo metas e identificando posibles soluciones (Sigma, 2006).

En este punto la utilización de cuadros de control, son de gran ayuda, porque son un medio para distinguir entre variabilidad de causa común y variabilidad de causa especial. Son la herramienta principal del control estadístico de procesos, entregan información acerca de la estabilidad/predictibilidad del proceso, específicamente respecto de su tendencia central (respecto del valor objetivo) y variación. Los cuadros de control estadístico de proceso son cuadros de secuencias temporales de procesos importantes o características de productos.

También se realizó una reunión con un grupo focal dentro de la empresa, para así analizar causas potenciales del problema. La interacción con personas encargadas o especializadas en el llenado y dosificado de preenvasados, fue de gran utilidad para esta etapa, ya que se conoció con mayor detalle las variables que intervienen directa o indirectamente en el rendimiento y nivel sigma del proceso.

En las primeras etapas, los cuadros de control (por lo general sobre variables del producto), se usan para comprender la conducta del proceso y después de las acciones correctivas, se utilizan los cuadros de control sobre las variables críticas de insumo (objetos, materiales y recursos usados para

producir productos o servicios). El objetivo es monitorear y controlar los insumos y con el tiempo, eliminar la necesidad de cuadros de control estadístico de proceso mediante la existencia de medidas preventivas (Technology, 2012).

2.6. Mejorar

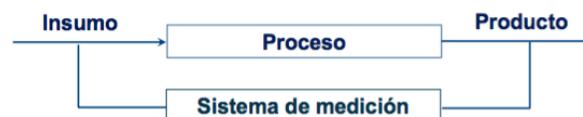
“Generar soluciones conceptuales para el tratamiento de las causas seleccionadas. Definir la combinación óptima de las variables de mayor impacto sobre la variación. Explorar oportunidades de simplificación, agilización y reducción de costos en el proceso. Evaluar las soluciones de mayor potencial, buscando combinar los mejores aspectos en un solo concepto vencedor” (Sigma, 2006).

Probar la secuencia de mejoramiento de proceso indicado en la *Figura 5*, confirmar la solución estadística y proponer el modelo o cambio de mejora. Revisar críticamente la solución seleccionada, identificando riesgos potenciales y definiendo contramedidas y agregarlas a la solución, realizar jornadas piloto y evaluar la nueva capacidad del proceso, si el proceso demuestra ser capaz, se debe establecer el plan de implementación de la solución, pero si el proceso es inestable o incapaz, hay que considerar nuevas soluciones o decidir un cambio radical (Sigma, 2006).

Además, cabe recalcar que durante la etapa mejorar en DMAIC, se experimentó a través de diseño de experimentos (DOE) factorial 2^k utilizando programas informáticos (Minitab), el mismo que fue fundamental en dicha investigación, el uso de DOE, sirvió para diseñar las condiciones ideales de un producto, proceso o servicio para que cumpla con nuestras expectativas usando el mínimo número de experimentos o pruebas. Se puede redundar en productos cuya fabricación sea más sencilla, en productos que tengan un desempeño y confiabilidad de campo mejorados, en costos de producción más bajos y en tiempos más cortos para el diseño y desarrollo del producto. Para aplicar el enfoque estadístico en el diseño y análisis de un experimento, es necesario tener una idea clara del problema de pesado y dosificado en el proceso de llenado, cómo van a colectarse los datos, y una comprensión cualitativa de la forma en que van a analizarse estos datos (Montgomery, 2004). A continuación, se indica según Montgomery (2004), el procedimiento que se utilizó mediante pautas generales para diseñar el experimento:

1. Identificación y exposición del problema.
2. Elección de los factores, los niveles y los rangos.
3. Selección de la variable de respuesta.
4. Elección del diseño experimental.
5. Elaboración del experimento.
6. Análisis estadístico de los datos.
7. Conclusiones y recomendaciones.

Figura 5 Mejoramiento de proceso y cuadro de control.



Fuente: Six Sigma Basic (2012).

2.7. Controlar

Convertir la solución estadística en una solución práctica y haber generado una metodología para controlar dicha solución o mejora. Estandarizando las mejoras a través de un plan de



implementación de la solución, incorporando las mejoras obtenidas al proceso, revisando y actualizando la estandarización (documentación del proceso), dando entrenamiento al personal involucrado, evaluando el desempeño final del proceso en alta escala. Finalizando el proyecto de mejora, anotando los resultados finales obtenidos, inclusive resultados financieros y elaborando una posible retroalimentación de los clientes, documentando todo el análisis y know-how, presentando y divulgando los resultados y finalmente identificar las oportunidades de replicar las mejoras en procesos similares en la empresa (Sigma, 2006).

3. Resultados alcanzados al aplicar la metodología DMAIC

Los resultados obtenidos aplicando la metodología DMAIC, corroboraron en que todo proceso productivo puede ser mejorado, pasando de su estado actual hasta un nuevo estado óptimo y eficiente. Dónde primeramente, definiendo el problema y las restricciones existentes en el proceso, se midieron datos fundamentales del proceso, los cuales fueron analizados minuciosamente para luego mejorarlos con las propuestas de mejora planteadas y complementariamente con diseño de experimentos (DOE), alcanzando así valores positivos y favorables para la empresa, específicamente en los límites de especificación (LEI y LES), medias aritméticas, índices de capacidad, además con la utilización del programa estadístico Minitab 19 se elaboraron informes de capacidad a través de histogramas para obtener los valores sigma y rendimientos.

3.1. Definir

La variabilidad se puede deber a una variación de causa común, que equivale a la sumatoria de múltiples variables cuantitativas dentro del proceso productivo. Cuando un proceso opera sujeto a una variación de causa común está en un estado de control estadístico. También el proceso puede ser afectado por una variación de causa especial, que puede deberse a diferencias entre las personas (operarios), máquinas (pistón de llenado), materiales, métodos (control de peso y/o volumétrico), etc. La ocurrencia de una causa especial (o asignable) se traduce en una condición fuera de control (Technology, 2012).

Frente a esta situación se buscó como función objetivo, optimizar dicho proceso minimizando el desperdicio de producto y cumpliendo con los volúmenes que técnicamente y legalmente deben utilizarse en las distintas presentaciones de preenvasados de la empresa, actualmente aproximadamente existen entre un 0,5% a un 1% de la producción mensual equivalentes aproximadamente de entre 60 a 120 productos identificados como no conformes por mal llenado, por dicha situación se espera una reducción de este problema en por lo menos un 50%. Las características críticas del proceso son las variables cuantitativas del mismo que deben ser controladas como la presión del pistón de llenado, presión del tanque o caneca con producto, mejorar el control de medición de peso y/o volumen del preenvasado, calibración del caudal.

Las restricciones que existen actualmente en el proceso, las cuales no se han estandarizado, ya que únicamente se han fijado como rangos para la calibración del proceso de llenado. Las mismas que deben ser estandarizadas, donde se deben mejorar los equipos de control de medición, debido a que las balanzas utilizadas son sencillas (no aptas para altos flujos de producción) y al cabo de un tiempo de uso, empiezan a perder su grado de precisión. A continuación, se indican dichas restricciones:

- Presión pistón de llenado (llenadora) ≤ 60 psi
- 6 psi \leq Presión tanque con producto (200 l) ≤ 9 psi



- 3 psi <= Presión caneca con producto (50 l) <= 6 psi

3.2. Medir

3.2.1. Datos e Índices de Capacidad

Después de seguir todos los pasos y lineamientos del Reglamento Técnico Ecuatoriano (RTE INEN 284) donde la mayoría de los lotes de inspección fueron aprobados según dicho reglamento, complementariamente se identificó que la variabilidad se puede deber a una causa especial generando un descontrol estadístico, provocado por las variables como los valores de presión de aire que ingresan al tanque o caneca y también al pistón de llenado han generado inconvenientes en el proceso, debido a que no han sido correctamente estandarizadas o se han seguido procedimientos inapropiados al momento de calibrar dichas variables, adicionalmente la válvula de control de caudal del sistema de llenado no se encontraba con los parámetros de uso estandarizados y el mantenimiento que se efectuaba en el sistema de llenado era muy esporádico. A partir de estas conjeturas se obtuvieron las mediciones y cálculos correspondientes de los cuatro productos, detallados en la siguiente tabla:

Tabla 7 Datos e Índices de Capacidad (Antes de DOE).

Datos	Regulador Crecimiento PH (100 ml)	Herbicida SX (250 ml)	Fertilizante Foliar CAB (500 ml)	Insecticida Orgánico CN (1000 ml)
Límite especificación inferior (ml)	95,50	241	485	985
Objetivo (ml)	100,00	250	500	1000
Límite especificación superior (ml)	104,50	259	515	1015
Media aritmética (\bar{X}) Ecuación (1)	98,00	250,08	491,10	1005,87
Desviación estándar (s) Ecuación (2)	2,02	3,13	3,87	3,93
Índices de Capacidad				
Cp Ecuación (7)	0,74	0,96	1,29	1,27
Cp Ecuación (8)	1,07	0,95	2,06	0,77
Cp Ecuación (9)	0,41	0,97	0,53	1,77
Cp Ecuación (10)	0,41	0,95	0,53	0,77
Cp Ecuación (11)	0,53	0,97	0,52	0,71
Rendimiento y Nivel Sigma				
DPMO < LEI	108397,14	1832,18	57246,68	0,94
DPMO > LES	663,22	2159,92	0	10164,65
DPMO Total	109060,37	3992,10	57246,68	10164,71
Nivel Sigma (Anexo 9)	2,625 – 2,75	4,125 – 4,25	3 – 3,125	3,75 – 3,875
% Rendimiento	86,97% - 89,44%	99,565% - 99,7%	93,32% - 94,79%	98,78% - 99,12%

Nota. Cálculos realizados mediante la recopilación de datos de los distintos lotes de estudio.

3.2.2. Histogramas de Frecuencia e Informes de Capacidad del Proceso

Cabe indicar que los cuatro lotes de inspección fueron seleccionados en un periodo de tiempo puntual (inventario de producto terminado) y no cronológico (línea de producción), donde para cada uno de los cuatro lotes se tomaron una sola muestra conformada por cincuenta preenvasados cada



una, estos cincuenta preenvasados cumplieran con las mismas condiciones de elaboración ya que se envasaron en la misma fecha, esta información fue entregada por la empresa Solinag Cia. Ltda.

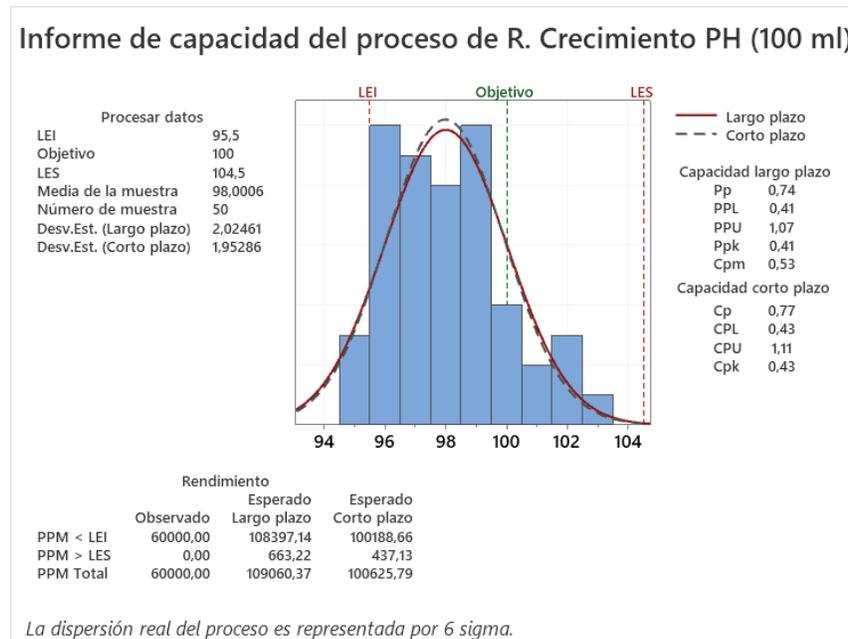
A modo de ejemplo se describen los resultados de las mediciones del producto Regulador de Crecimiento PH (100 ml) antes de utilizar el Diseño de Experimentos (DOE). En la *Figura 6* se puede presenciar que el histograma del proceso de llenado y dosificado de dicho producto, que nos indica el comportamiento del proceso y su cumplimiento o incumplimiento con las especificaciones del producto, en este caso se encuentra fuera del objetivo, presentando una tendencia hacia el LEI, es decir los preenvasados de la muestra tienden a incumplir el contenido neto nominal por escasez de producto.

Además, se identifican específicamente de este producto, la desviación estándar a largo plazo con un valor de 2,02, la media de la muestra de 98,00, los índices de capacidad del proceso, donde el $C_p < 1$, indicando que el proceso no es capaz, también se observan los DPMO total a largo plazo siendo este equivalente a un nivel Six Sigma de entre 2,625 y 2,75, con un rendimiento de entre 86,97% y 89,44% según *Anexo 9*.

Esta medición fue ejecutada en cada uno de los cuatro productos, a continuación, se indican los informes de capacidad de cada uno de ellos:

a) **Regulador de Crecimiento PH (100 ml)**

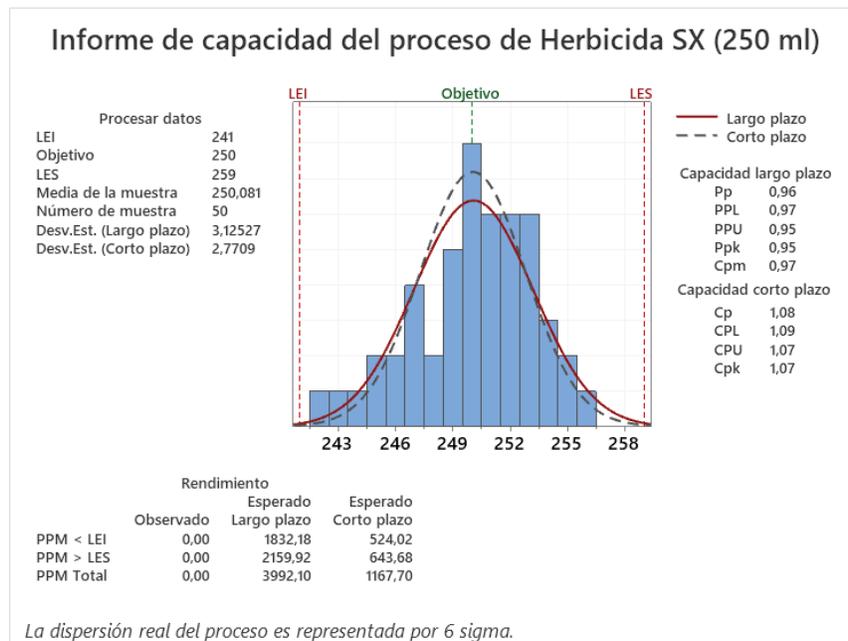
Figura 6 Informe Capacidad del Proceso R. Crecimiento PH (100 ml) (Antes de DOE).



Nota. Datos obtenidos a través de Minitab 19

b) **Herbicida SX (250 ml)**

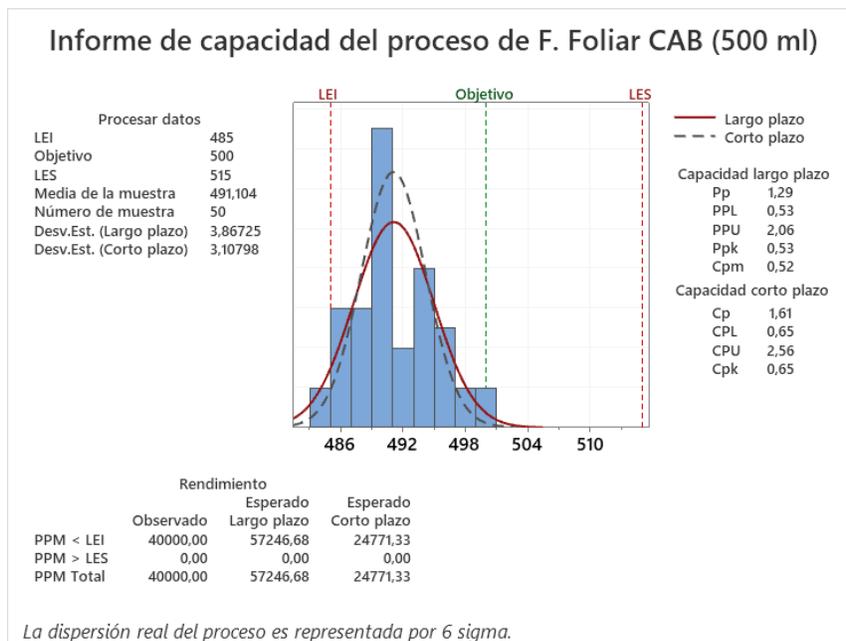
Figura 7 Informe Capacidad del Proceso Herbicida SX (250 ml) (Antes de DOE).



Nota. Datos obtenidos a través de Minitab 19.

c) Fertilizante Foliar CAB (500 ml)

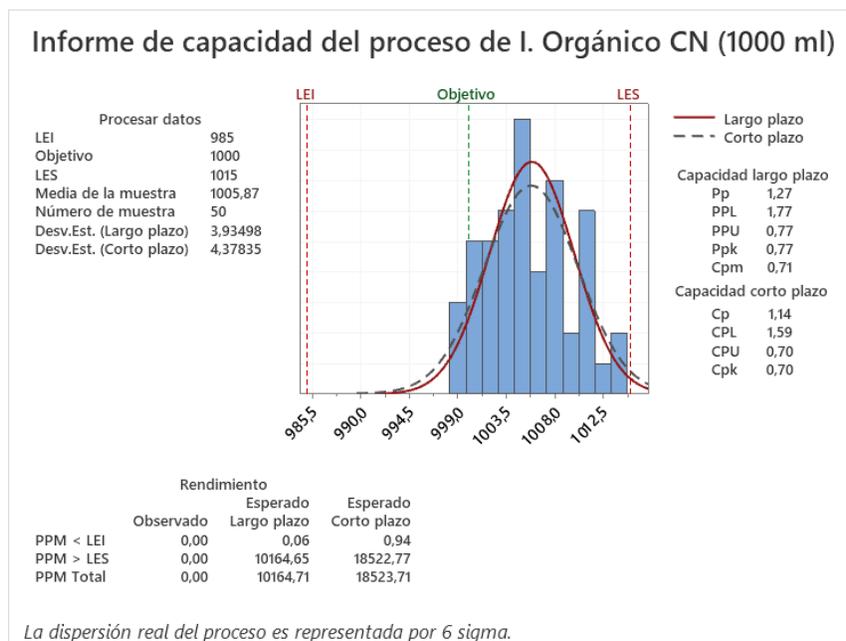
Figura 8 Informe Capacidad del Proceso Fertilizante Foliar CAB (500 ml) (Antes de DOE).



Nota. Datos obtenidos a través de Minitab 19.

d) Insecticida Orgánico CN (1000 ml)

Figura 9 Informe Capacidad del Proceso I. Orgánico CN (1000 ml) (Antes de DOE).



Nota. Datos obtenidos a través de Minitab 19.

3.3. Analizar

A partir de los cálculos realizados adoptando la norma del Reglamento Técnico Ecuatoriano (RTE INEN 284) en los cuatro lotes de los distintos productos, se verificó con respecto al *Anexo 2* que en el caso del producto Regulador de Crecimiento (100 ml) este lote no cumple con el promedio algebraico, es decir el contenido neto real promedio es inferior al contenido neto nominal especificado, pero la muestra y el lote son aprobados según la norma, a diferencia de los productos Herbicida SX (250 ml) e Insecticida Orgánico CN (1000 ml) según *Anexo 4* y *Anexo 8* respectivamente, donde sus lotes cumplen con el contenido neto real promedio, además las muestras y los lotes son aprobados según la norma. Con respecto al producto Fertilizante Foliar CAB (500 ml) referente al *Anexo 6*, este lote no cumple con el contenido neto real promedio, además la muestra y el lote no son aprobados según la norma.

3.3.1. Análisis Índices de Capacidad, Nivel Sigma y Rendimiento

Los índices de capacidad, nivel sigma y porcentajes de rendimientos de cada uno de los productos se pueden visualizar en la *Tabla 7* indicada anteriormente. También es importante indicar que los límites de variabilidad del contenido neto real de cada uno de los lotes seleccionados son muy amplios, se debe ajustar más estos límites con el objetivo de optimizar el proceso de llenado y dosificado de preenvasados, para así conseguir una utilidad financiera mayor en la empresa. A continuación, se detalla el análisis realizado de las mediciones de cada uno de los lotes:

a) Regulador de Crecimiento PH (100 ml)

- El proceso no es capaz (Cp), requiere modificaciones para alcanzar una calidad satisfactoria.
- Cumple con la especificación superior (Cps) pero no con la inferior (Cpi).
- Es capaz de cumplir como mínimo una de las especificaciones (Cpk).
- Se tiene un valor (Cpm) bajo, lejos del objetivo de contenido neto (100 ml).
- El proceso tiene un nivel sigma con respecto a *Anexo 9* de ente 2.625 a 2.75 y un rendimiento de entre el 86.97% a 89.44%.

b) Herbicida SX (250 ml)

- El proceso no es capaz (Cp), requiere modificaciones para alcanzar una calidad satisfactoria.
- No cumple con la especificación superior (Cps) ni la inferior (Cpi).
- No es capaz de cumplir como mínimo una de las especificaciones (Cpk).
- Se tiene un valor (Cpm) no tan bajo, cercano al objetivo de contenido neto (250 ml).
- El proceso tiene un nivel sigma con respecto a *Anexo 9* de ente 4,125 a 4,25 y un rendimiento de entre el 99,565% a 99,7%.

c) Fertilizante Foliar CAB (500 ml)

- El proceso si es capaz (Cp), parcialmente adecuado, requiere de un control estricto.
- Cumple con la especificación superior (Cps) pero no con la inferior (Cpi).
- Es capaz de cumplir como mínimo una de las especificaciones (Cpk).
- Se tiene un valor (Cpm) bajo, lejos del objetivo de contenido neto (500 ml).
- El proceso tiene un nivel sigma con respecto a *Anexo 9* de ente 3 a 3,125 y un rendimiento de entre el 93,32% a 94,79%.

d) Insecticida Orgánico CN (1000 ml)

- El proceso si es capaz (Cp), parcialmente adecuado, requiere de un control estricto.
- No cumple con la especificación superior (Cps) pero si cumple con la inferior (Cpi).
- Es capaz de cumplir como mínimo una de las especificaciones (Cpk).
- Se tiene un valor (Cpm) bajo, lejos del objetivo de contenido neto (1000 ml).
- El proceso tiene un nivel sigma con respecto a *Anexo 9* de ente 3,75 a 3,875 y un rendimiento de entre el 98,78% a 99,12%.

3.3.2. Medición de la Variabilidad

Se ha podido medir, cuantificar y analizar la variabilidad en el proceso de llenado y dosificado de preenvasados de la empresa Solinag Cia. Ltda, demostrando que el proceso de los productos Fertilizante Foliar CAB (500 ml) e Insecticida Orgánico CN (1000 ml) cumplen de mejor manera con los parámetros de calidad como (Cp, Cps, Cpi, Cpk, Cpm). Sin embargo, el proceso de llenado del producto Herbicida SX (250 ml) tiene un nivel sigma más alto, aproximadamente de entre un 4,125 a 4,25, debido a que se acerca más al objetivo de contenido neto. A diferencia del producto Regulador de Crecimiento PH (100 ml) que tiene el nivel de sigma más bajo, aproximadamente de entre un 2,25 a 2,625.

3.3.3. Identificación Causas Potenciales

Se localizó un grupo focal dentro de la empresa para identificar las causas potenciales dentro del proceso como oportunidades de mejora. La reunión se focalizó con los trabajadores que se encuentran directamente involucrados en esta área.

Figura 10 Reunión con grupo focal.



En resumen, se pudo identificar lo siguiente, las balanzas que controlan el peso del preenvasado y a su vez el pistón de llenado son muy sensibles y tienden a descalibrarse fácilmente, el compresor que suministra aire a los tanques y al pistón de llenado es de baja capacidad, esto genera que constantemente tenga que recargarse, los productos con mayor densidad deben utilizar una presión de aire de entre 9 y 10 psi en el tanque o caneca, además la presión del pistón de llenado debe ser mayor a 40 psi, cabe recalcar que el producto o lote con un nivel sigma más alto es el Herbicida



SX (250 ml), este es llenado a partir de un tanque con capacidad de 200 l, utilizando una presión de aire de entre 6 a 9 psi y el producto o lote con un nivel sigma más bajo es el Regulador de Crecimiento PH (100 ml), que es llenado a partir de una caneca con capacidad de 50 l, utilizando una presión de aire de entre 3 a 6 psi, es decir aparentemente como causa primaria se puede identificar que para obtener lotes con un contenido neto real óptimo se debe utilizar presiones de aire más altas dentro del proceso.

También se identificó que las variaciones de temperatura ambiente podrían llegar a influir en el las fluidez del producto y sobre todo el caudal que circula por la manguera que va conectada desde el tanque o caneca al pistón de llenado siempre deberá mantenerse constante, esto se obtiene mediante una calibración adecuada de la válvula que reguladora de caudal y mantener una presión constante en el tanque o caneca, cabe indicar que el cambio de operario de dicho proceso también afecta en la variabilidad del llenado, ya que hay operarios con más experiencia y más meticulosos que otros.

3.3.4. SMED (Single Minute Exchange of Die)

El método “Single Minute Exchange of Die” o comúnmente conocida por sus siglas (SMED), originalmente ideado por Shigeo Shingo de Toyota Motor Company a principios de 1950 es una técnica que tiene como objetivo reducir drásticamente los cambios de máquina o inicialización de procesos.

El uso de este método también contribuye a eliminar fuentes críticas de variación en las operaciones de cambio y con ello participar en el objetivo Six Sigma de variabilidad cero (Skopje, 2020).

Existen dos tipos principales de ajustes o actividades dentro del proceso, las cuales fueron mejoradas (revisar sección 3.4.1), para así lograr un mejor orden y eficiencia en el puesto de trabajo, estas actividades se describen a continuación:

- **Actividades Externas:** Corresponde a operaciones que se realizan a máquina parada, fuera de las horas de producción (Alcalá Gámez, 2020). Se indican a continuación las actividades externas del proceso de llenado y dosificado:
 1. Seleccionar tanque 200 l (Herbicida SX y I. Orgánico CN) o caneca 50 l (R. Crecimiento PH y Fertilizante Foliar CAB).
 2. Seleccionar la manguera (Según familia de productos y nivel de toxicidad al que pertenecen).
 3. Conectar la manquera al pistón dosificador.
 4. Encender el sistema de llenado.
 5. Revisión de la tabla de pesos referenciales de cada producto y cada presentación.
 6. Conectar la balanza al sistema de llenado (control de peso).
 7. Introducción del envase plástico.
 8. Control del caudal.
 9. Control de calidad de peso y volumen.

- **Actividades Internas:** Corresponde a operaciones que se realizan (o pueden realizarse) con la máquina en marcha, o sea durante el periodo de producción (Alcalá Gámez, 2020). Se indican a continuación las actividades externas del proceso de llenado y dosificado:
 1. Calibrar la presión de aire en el tanque o caneca (Entre 3 psi y 9 psi).
 2. Calibrar la presión de aire en el pistón dosificador (60 psi).
 3. Digitación manual del peso del preenvasado en el sistema de llenado.



4. Accionar a través de un pulsante la apertura del pistón de llenado.
5. Apertura o cierre de la llave del caudal.
6. Corrección manual del contenido neto del preenvasado (De ser necesario).

3.4. Mejorar

Mejorar la calidad dentro del proceso de llenado y dosificado significa reducir los defectos por millón de oportunidades (DPMO, por su sigla en inglés) y a su vez incrementar los índices de capacidad. Está etapa es una de las más importantes de la metodología DMAIC, ya que se implementaron las soluciones para reducir o eliminar el problema que existe dentro del proceso, enfocándose en las causas potenciales o causas raíz. Existen dos atributos de este criterio de medición de mejora que se pueden controlar:

- Oportunidades: Reducir la cantidad de pasos, entregas y otras “oportunidades” ayuda a mejorar la calidad (Technology, 2012).
- Defectos: Reducir la cantidad de defectos por cada etapa de proceso en un mejoramiento continuo de proceso ayuda a mejorar la calidad (Technology, 2012).

3.4.1. Cambio de las actividades internas a externas (SMED)

Para cambiar las actividades de internas dentro del proceso que eran seis a externas que resultaron ser ocho actividades en total, se trató de eliminar procesos de ajuste y/o suprimir procesos de preparación. En la siguiente tabla se indican los cambios realizados:

Tabla 8 *Cambio de actividades internas a externas.*

ACTIVIDADES EXTERNAS LLENADO Y DOSIFICADO	MEJORAS
1 Seleccionar tanque 200 l (Herbicida SX y l.Orgánico CN) o caneca 50 l (R. Crecimiento PH y Fertilizante Foliar CAB) y colocar la manguera (Según familia de productos y nivel de toxicidad).	• Realizar simultáneamente varios pasos.
2 Conectar la manquera al pistón dosificador y ese mismo momento calibrar la presión de aire en el tanque o caneca (Entre 3 psi y 9 psi).	• Tener los tanques o canecas listas en el inicio de la línea de envasado.
3 Encender el sistema de llenado y calibrar la presión de aire en el pistón dosificador (60 psi).	• Contar con las herramientas necesarias a la mano y que estas se encuentren en orden.
4 Revisión de la tabla de pesos referenciales de cada producto y cada presentación.	• Las mangueras deben estar clasificadas por colores.
5 Conectar la balanza al sistema de llenado (control de peso) y digitar manualmente el peso del preenvasado en el sistema de llenado.	• Contar con adaptadores rápidos en las mangueras.
6 Introducción del envase plástico y accionar a través de un pulsante la apertura del pistón de llenado.	
7 Control del caudal (apertura o cierre de la llave del caudal).	
8 Control de calidad de peso y volumen, reemplazando la corrección manual del contenido neto del preenvasado por una corrección en el sistema de llenado, digitando otro peso, hasta conseguir el volumen correcto.	

Nota. Resultados obtenidos a través de experimentación en la empresa.

Figura 11 Actividad externa de conexión de la balanza al sistema y digitación manual del peso del preenvasado.



Nota. Actividad clave dentro del proceso, ya que es en donde se genera el control de peso del preenvasado.

3.4.2. Carta del Proyecto Six Sigma (Six Sigma Project Charter)

La carta del proyecto indicada en la *Tabla 9*, nos indica un resumen de lo que se trata el proyecto, cuál es el problema, objetivo, alcance, métricas y beneficios esperados, el mismo que nos sirvió de guía durante el proceso de mejora.

Tabla 9 Carta del Proyecto Six Sigma (Six Sigma Project Charter) en Solinag Cia. Ltda.

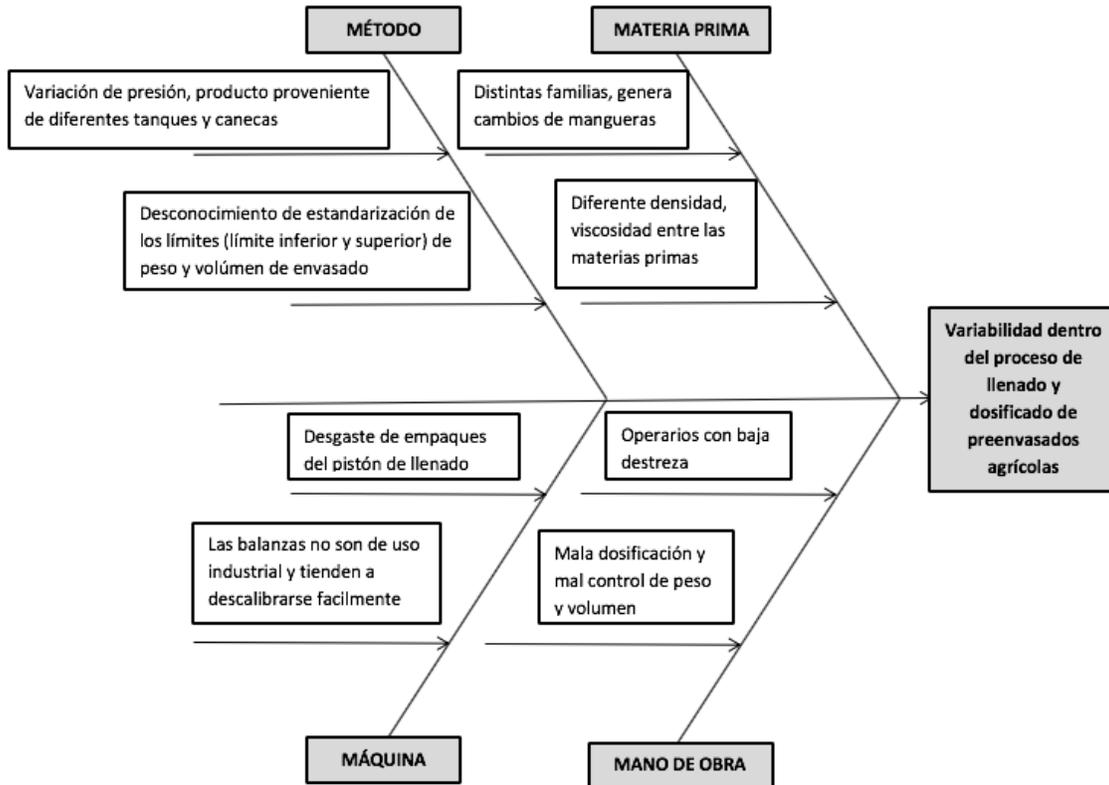
Six Sigma Project Charter	
Nombre del Proyecto	Optimización del proceso de llenado y dosificado de preenvasados en relación a su utilidad financiera basado en Six Sigma: Caso de estudio Solinag Cia. Ltda
Problema	La variabilidad dentro del proceso de llenado y dosificado, ya sea por escasez o excedencia de producto, de un 0,5% a un 1% de aproximadamente 12000 preenvasados elaborados mensualmente.
Objetivo	Disminuir la variabilidad mediante la optimización del proceso de llenado y dosificado de preenvasados, basada en Six Sigma para así conseguir una utilidad financiera mayor.
Autor	Daniel Fernando Talbot Larriva



Alcance	El proyecto se realizará en el envasado, que se produce en el pistón de llenado, el mismo que llena y dosifica los agroinsumos Regulador de Crecimiento PH (100 ml), Herbicida SX (250 ml), Fertilizante Foliar CAB (500 ml) e Insecticida Orgánico CN (1000 ml).			
	Humanos	Procesos	Materiales	Informáticos
Recursos Necesarios	<ul style="list-style-type: none"> Personal administrativo Personal encargado del envasado 	<ul style="list-style-type: none"> Llenado y dosificado de preenvasados agrícolas 	<ul style="list-style-type: none"> Balanzas Probetas Preenvasados 	<ul style="list-style-type: none"> Banco de datos Programas informáticos
Métricas	<ul style="list-style-type: none"> Peso Volumen Presión Densidad Desviación estándar Índice de Capacidad de proceso Nivel Sigma DPMO Variabilidad 			
Beneficios Esperados	<ul style="list-style-type: none"> Utilidad financiera mayor Mejora del uso de los recursos Aprobación de las expectativas del cliente 			
Fecha de Inicio	5 de Abril del 2021			
Fecha de Término	25 de Abril del 2021			

3.4.3. Diagrama de Ishikawa

El diagrama de Ishikawa conocido así por el nombre de su creador el profesor japonés Kaoru Ishikawa o también conocido diagrama de causa y efecto, se muestra en la *Figura 12*, es una herramienta de análisis que nos permite obtener un cuadro, detallado y de fácil visualización, de las diversas causas que pueden originar un determinado efecto o problema (Vigo, 2017).

Figura 12 Diagrama de Ishikawa.

Se puede identificar que las principales causas y variables del problema son las siguientes:

- Diferente densidad, viscosidad entre las materias primas.
- Variación de presión de aire, producto proveniente de diferentes tanques y canecas.
- Las balanzas no son de uso industrial y tienden a descalibrarse fácilmente.
- Desconocimiento de estandarización de los límites inferior y superior de peso y volumen de cada producto.

3.4.4. Propuestas de Mejora

Recalcando que durante el proceso de llenado y dosificado de preenvasados agrícolas los contenidos neto real promedio de los cuatro productos estudiados están dentro de lo que dictamina el Reglamento Técnico Ecuatoriano (RTE INEN 284). Sin embargo, el producto Regulador de Crecimiento PH (100 ml) y Fertilizante Foliar CAB (500 ml) presentan escasez de contenido, obteniendo en las etapas anteriores de DMAIC un valor del contenido neto real promedio de 98 ml y 491,10 ml respectivamente, a diferencia de los productos Herbicida SX (250 ml) e Insecticida Orgánico CN (1000 ml) donde existen pérdidas de contenido por exceso o sobrellenado, obteniendo un valor del contenido neto real promedio de 250,08 ml y 1005,87 respectivamente.

En el *Anexo 10*, se indica que anualmente en el proceso existe una pérdida de 21 del Herbicida SX (250 ml) equivalente a \$15, pero existe una pérdida significativa de 211,32 l del producto Insecticida Orgánico CN (1000 ml) equivalente a \$6278,32, al restar el equivalente económico de la excedencia de contenido (producto) en el proceso de llenado con la escasez, se obtiene una pérdida



económica total de \$4488,48, es decir esta cantidad pierde la empresa anualmente por sobre-llenado, basado en el PVD (Precios Venta Distribuidor). Además, la variabilidad que existe en los contenidos netos reales de cada uno de los cuatro lotes analizados, que se encuentran detallados en la quinta columna de los *Anexos 1,3,5,7* son muy amplios, estos se deben ajustar más y así poder optimizar el proceso, mejorar los índices de capacidad, DPMO, niveles sigma y rendimientos.

Luego de analizar las principales causas del problema, se deben ejecutar las siguientes mejoras:

3.4.4.1. Estandarización de medidas de presión de aire y relación con la densidad

Primeramente, estandarizando las variables de presión de aire que se utilizan en los tanques o canecas, es decir no utilizar un rango de 6 psi hasta 9 psi en el caso de los tanques y 3 psi hasta 6 psi en las canecas, sino que mediante un Diseño de Experimentos (DOE), determinar qué valor de presión de aire es la óptima para utilizarse en cada caso. De la misma manera estandarizar la presión de aire que se utiliza en el pistón de llenado.

Robert L. Mott (2006) describe los siguientes conceptos con respecto a la presión y densidad, de la siguiente manera:

- Presión: Se define como la cantidad de fuerza que se ejerce sobre una unidad de área de una sustancia. Se enuncia por medio de la ecuación:

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{Ecuación (12)}$$

- Presión Atmosférica: Es la presión de referencia, donde la atmósfera es dicha referencia.
- Presión Manométrica: Es la presión que arroja la medición de un fluido.
- Presión Absoluta: Es la presión que se mide en relación con un vacío perfecto. Se representa con la siguiente fórmula:

$$P_{abs} = P_{man} + P_{atm} \quad \text{Ecuación (13)}$$

- Densidad: Es la cantidad de masa por unidad de volumen de una sustancia.

El cambio en la presión solo depende del cambio en la elevación y el tipo de fluido (densidad), no del tamaño del contenedor (tanque o caneca) del fluido. A este fenómeno se le conoce como paradoja de Pascal, en honor al científico Blas Pascal, quien contribuyó al conocimiento del tratado de fluidos. Este fenómeno es útil cuando se trata de producir una consistente presión elevada en un sistema de tuberías y tanques interconectados. El propósito esencial es mantener una presión lo suficientemente alta en el sistema hidráulico para lograr una distribución satisfactoria del mismo (Mott, 2006).

Luego de la paradoja descrita anteriormente, se puede concluir que los tanques de 200 l y canecas de 50 l utilizados como contenedores de los cuatro distintos productos estudiados, los cuales deberán tener diferentes presiones de aire en su interior, estas pueden ser estandarizadas a través de las siguientes fórmulas:

$$P_{man} = \frac{F}{A} = \frac{m_a g}{A} = \frac{\rho_a V_a g}{A} = \frac{\rho_a (Ah) g}{A} = \rho_a h g \quad \text{Ecuación (14)}$$

$$P_{abs} = \rho_a h g + P_{atm} \quad \text{Ecuación (15)}$$

Donde:



ρ_a = densidad del líquido (producto)
 h = altura a la que se encuentra el líquido (producto) del pistón de llenado
 g = magnitud de la aceleración debido a la gravedad $9,81 \text{ m/s}^2$
 Los resultados se pueden visualizar en la siguiente tabla:

Tabla 10 Cálculo de la Presión Absoluta.

Productos	Densidad (ρ)	Altura (h)	Gravedad (g)	Presión Atmosférica (Pa)	Presión Absoluta (Pa)	Presión Absoluta (psi)
Regulador Crecimiento PH (100 ml)	1009 kg/m^3	1,15 m	$9,8 \text{ m/s}^2$	74214,44 Pa	85585,9 Pa	12,41 psi
Herbicida SX (250 ml)	1110 kg/m^3	1,2 m	$9,8 \text{ m/s}^2$	74214,44 Pa	87268,04 Pa	12,66 psi
Fertilizante Foliar CAB (500 ml)	1205 kg/m^3	1,25 m	$9,8 \text{ m/s}^2$	74214,44 Pa	88975,69 Pa	12,9 psi
Insecticida Orgánico (CN) (1000 ml)	1000 kg/m^3	1,3 m	$9,8 \text{ m/s}^2$	74214,44 Pa	86,954,44 Pa	12,62 psi

Nota. El valor de la presión atmosférica sobre el nivel del mar en la ciudad de Cuenca es de aproximadamente 74214,44 Pa. Fuente: Puzhi y Zhinin (2014)

Las presiones absolutas requeridas para cada uno de los cuatro productos, tienen un valor aproximado de 12 psi, sin embargo, se debe conocer la resistencia del material de los tanques y canecas que se utilizan a altas presiones, ya que podrían llegar a reventarse con excesos de presión de aire.

3.4.4.2. Datos referenciales para el operador del pistón de llenado

Al realizar el ajuste del pistón, el operador debe contar con datos referenciales confiables, es decir que tenga a su disposición tablas con los siguientes datos de cada producto en cada una de sus presentaciones:

- Densidad
- Peso material de empaque
- Límite de especificación inferior (peso y volumen)
- Límite de especificación óptimo (peso y volumen óptimo)
- Límite de especificación superior (peso y volumen)

3.4.4.3. Control previo de calidad del producto

El operador antes de iniciar un lote de producción, debe tomar una muestra del producto, según se indica a continuación:

1. Tomar del tanque o caneca el volumen óptimo, correspondiente al contenido neto que se va a llenar y dosificar (por ejemplo 100 ml), verificar dicho volumen en una probeta.
2. Colocar el volumen óptimo (100 ml) en el material de empaque.
3. Obtener el peso bruto real o peso óptimo del preenvasado utilizando una balanza calibrada y certificada (Verificar dicho peso con el límite de especificación óptimo estandarizado en tablas).
4. Comprobar el valor de la densidad aplicando la siguiente fórmula ($\rho = \frac{m}{v}$), ya que se cuenta con los datos del volumen (100 ml) y además con el peso bruto real u óptimo.
5. De no encontrarse inconformidades, dar inicio al proceso de llenado y dosificado, de lo contrario comunicarse con el jefe de producción de la empresa.

3.4.4.4. Reemplazo de balanzas y sistema de llenado

Definitivamente se recomienda el cambio de las balanzas que se conectan al sistema de llenado ya que, según lo conversado con el grupo focal de la empresa, se llegó a la conclusión de que dichas balanzas son sensibles y suelen descalibrarse fácilmente cuando se están llenando y dosificando grandes lotes. Las balanzas que se deben usar deben ser de tipo industrial, que cumplan una precisión mínima de 99%.

A largo plazo se sugiere a la empresa, cambiar su sistema de llenado y dosificado controlado por peso, por un sistema controlado por volumen, este cuenta con un sensor de caudal ultrasónico no invasivo (caudalímetro) que sería colocado en el pistón de llenado que tiene la empresa actualmente, un controlador lógico programable (PLC), y una pantalla de mando. Se espera que con este sistema la precisión en el llenado y dosificado sea de entre un 99% a un 99,5%, ya que el caudalímetro mide el tiempo exacto en que tarda en llegar una señal ultrasónica transmitida desde un sensor emisor, para cruzar una tubería en este caso sería el pistón de llenado y ser recibida por un segundo sensor (receptor). Como alternativa también existen en el mercado sistemas de llenado conocidos como dosificador semiautomático de líquidos, es controlado de igual manera que el anterior sistema por volumen, pero este debe ser ajustado manualmente al igual que la velocidad a la que opera el pistón neumático, el mismo que requiere también presión de aire para su funcionamiento.

La gran diferencia entre el sistema con caudalímetro y el sistema semiautomático, es que el primero puede ser adaptado fácilmente al pistón existente en la empresa, además el mantenimiento y la limpieza es más simple y sencilla, generando menores costos en comparación al segundo que es un sistema completamente nuevo, los operarios no están familiarizados y a parte el mantenimiento es complejo y costoso, ya que se debe desarmar todo el sistema, cada vez que se cambie de producto en la línea de envasado.

3.4.4.5. Mantenimiento del pistón de llenado y reemplazo de empaques

El pistón de llenado, parte fundamental e integral del sistema de llenado debe tener un mantenimiento preventivo y predictivo correcto, siempre lavarlo al momento de cambiar de un producto a otro, lubricarlo cuando sea necesario y sobre todo verificar e inspeccionar diariamente que los dos empaques que contiene y ejercen la función de sellar y hermetizar el pistón se encuentren en excelente estado, si estos se encuentran desgastados deben ser reemplazados por empaques nuevos inmediatamente, debido a que este desgaste puede ocasionar fugas, derrames y sobre todo variabilidad en el dosificado del preenvasado.

3.4.5. Diseño de Experimentos (DOE)

- a) **Identificación y exposición del problema:** La variabilidad dentro del proceso de llenado y dosificado, ya sea por escasez o excedencia de producto, de un 0,5% a un 1% de aproximadamente 12000 preenvasados elaborados mensualmente.
- b) **Elección de los factores, los niveles y los rangos:** Como factores potenciales del diseño que se permiten variar, son primer factor (A) las presiones de aire a utilizarse en los tanques de 200 l (6 psi - 9 psi) se indican en la *Tabla 11*, para los productos Herbicida SX (250 ml) e Insecticida Orgánico CN (1000 ml) y en canecas de 50 l (3 psi - 6 psi) se indican en la *Tabla 12*, para los productos Regulador de Crecimiento PH (100 ml), el segundo factor (B) la presión de aire del pistón de llenado (40 psi - 60 psi) y el tercer factor (C) el nivel de caudal, controlado por la válvula existente en el sistema de llenado.

Tabla 11 Niveles de los factores para los productos llenados desde tanques de 200 l.

Niveles de los factores Herbicida SX e I.Orgánico CN		
Factor	Nivel Bajo (-1)	Nivel Alto (1)
A = Presión Tanque	6 psi	9 psi
B = Presión Pistón	40 psi	60 psi
C = Nivel Caudal (Control Válvula)	Parcialmente abierta	Completamente abierta

Tabla 12 Niveles de los factores para los productos llenados desde canecas de 50 l.

Niveles de los factores R. Crecimiento PH y F. Foliar CAB		
Factor	Nivel Bajo (-1)	Nivel Alto (1)
A = Presión Caneca	3 psi	6 psi
B = Presión Pistón	40 psi	60 psi
C = Nivel Caudal (Control Válvula)	Parcialmente abierta	Completamente abierta

- c) **Selección de la variable de respuesta:** Serán el promedio (contenido neto real promedio) o la desviación estándar de la característica medida.
- d) **Elección del diseño experimental:** Diseño experimental factorial 2^k , específicamente 2^3 utilizando el programa informático Minitab versión 19 con licencia.
- e) **Realización del experimento:** Coleman y Montgomery (2004), “Sugieren que antes de llevar a cabo el experimento, es conveniente en muchas ocasiones realizar algunas corridas piloto o de prueba. Estas corridas proporcionan información acerca de la consistencia del material experimental, una comprobación del sistema de medición, una idea aproximada del error experimental y la oportunidad de poner en práctica la técnica experimental global”.

Cada uno de los cuatro experimentos se llevó a cabo con una réplica en cada una de las 8 corridas experimentales aplicadas en forma aleatoria. Se indica como ejemplo los resultados obtenidos en el producto Regulador de Crecimiento PH (100 ml), en la *Figura 13* se puede visualizar que el principal factor que interviene directamente en este proceso es la presión de aire que ingresa en la caneca de 50 l, este factor a su vez combinado con los otros dos factores como la presión de aire que ingresa al pistón de llenado y el nivel de caudal generan efectos considerables.

Al momento de interpretar la intersección de los valores en la *Figura 14*, se puede decir que cuando la presión de aire que ingresaba a la caneca de 50 l estaba en 6 psi, la presión de aire que ingresaba al pistón de llenado estaba en 60 psi y el nivel de caudal era controlado con la válvula en una posición de parcialmente abierta se consiguieron los mejores resultados, dichos resultados también fueron entregados por el programa Minitab 19 al momento de la simulación del experimento, los mismos que se pueden identificar en la *Figura 15*, un dato importante en esta última figura es el valor de “y” que en este caso es equivalente a 119 g, este valor es el peso óptimo aproximado que debe tener el preenvasado al sumar el peso correcto (cumplimiento del contenido neto nominal) del producto más el peso del envase (sin etiqueta ni tapa), se realizaron de esta manera todos los experimentos ya que los resultados se obtuvieron directamente de la línea de producción.

De igual manera fueron elaborados todos los demás experimentos con cada uno de los productos estudiados. A continuación, los resultados:

i. Regulador de Crecimiento PH (100 ml)

Figura 13 Diagrama de Pareto de los Efectos Principales.

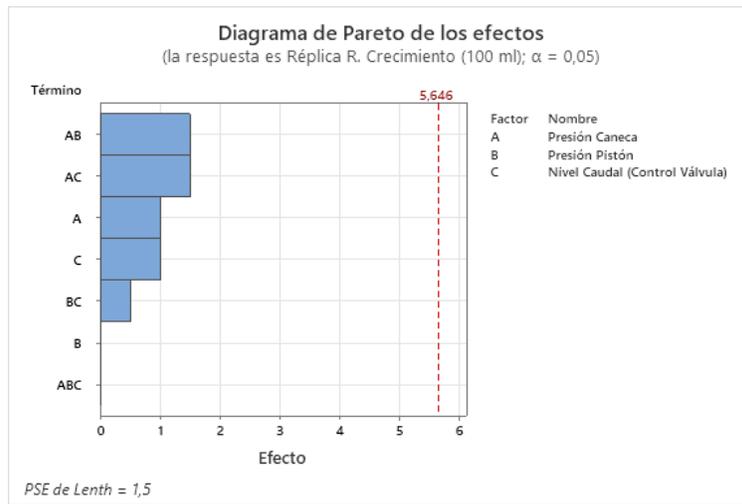


Figura 14 Gráfica de interacción de los factores.

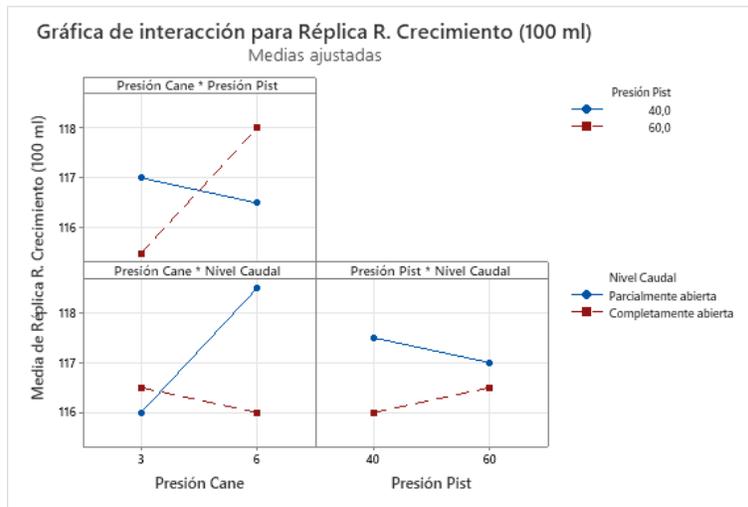
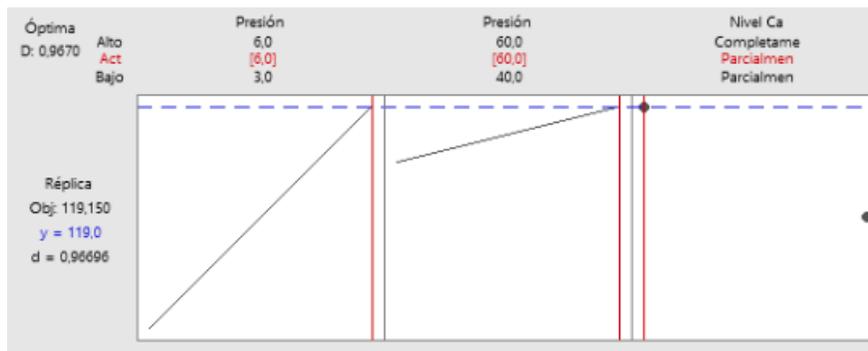


Figura 15 Niveles óptimos para cada factor.



ii. **Herbicida SX (250 ml)**

Figura 16 Diagrama de Pareto de los Efectos Principales.

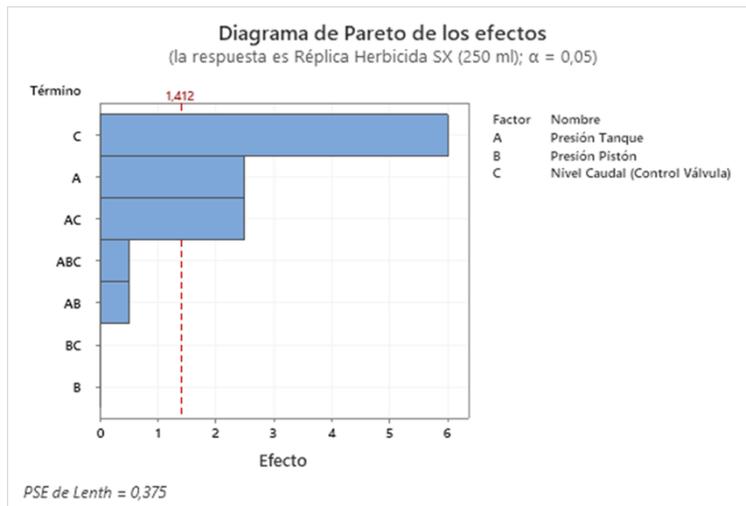


Figura 17 Gráfica de interacción de los factores.

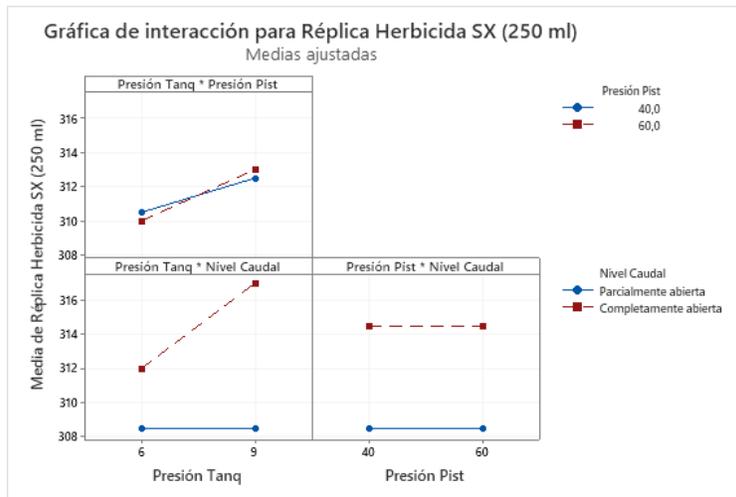
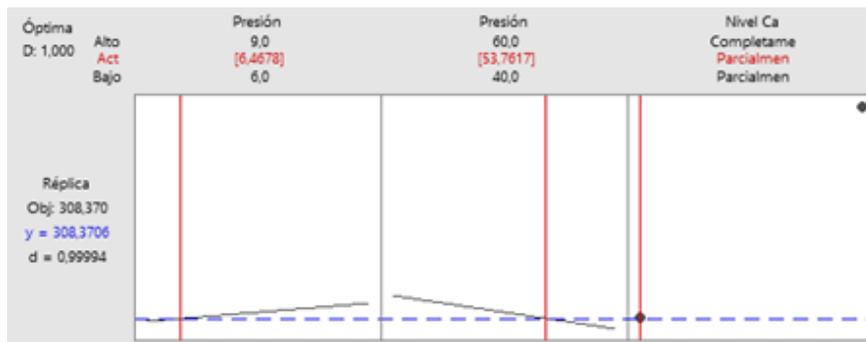


Figura 18 Niveles óptimos para cada factor.



iv. Insecticida Orgánico CN (1000 ml)

Figura 22 Diagrama de Pareto de los Efectos Principales.

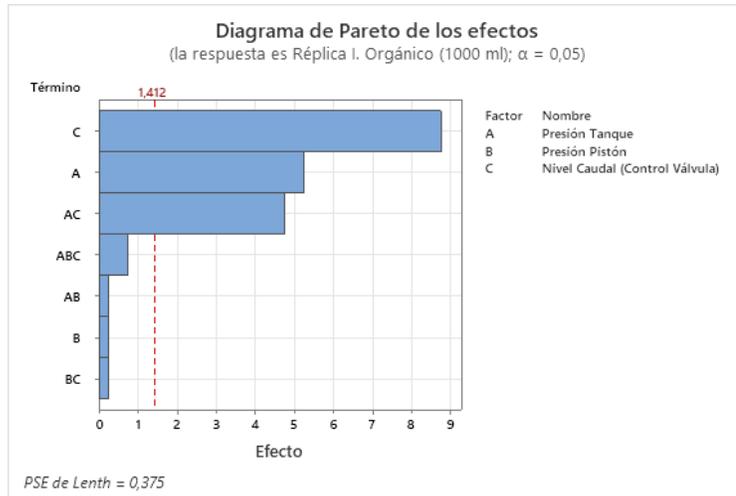


Figura 23 Gráfica de interacción de los factores.

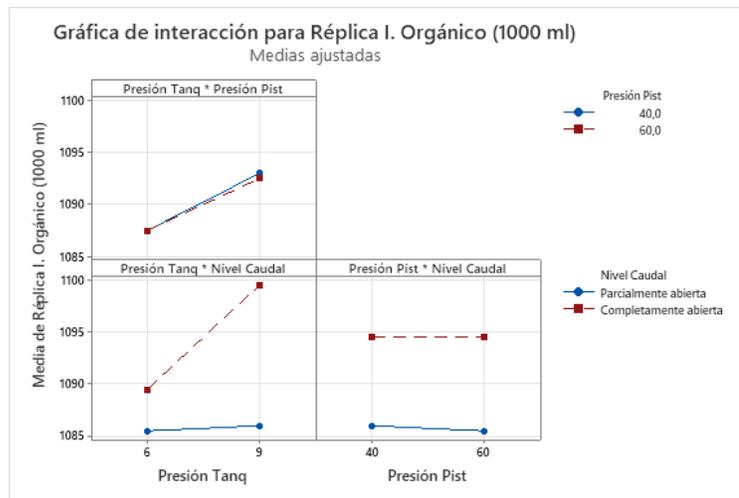
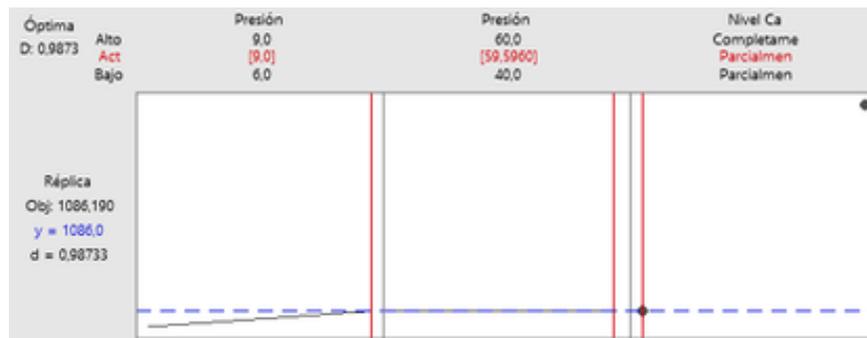


Figura 24 Niveles óptimos para cada factor.



- f) **Análisis estadístico de los datos:** Se utilizaron métodos estadísticos para analizar los datos a fin de que los resultados y las conclusiones sean objetivos y no de carácter apreciativo (Montgomery, 2004). Se volvieron a tomar muestras de nuevos lotes aplicando en cada uno de ellos los niveles óptimos para cada factor, dicho proceso se detalla en el punto 3.5 (*Controlar*).
- g) **Conclusiones y recomendaciones:** Generalmente no se conocen las respuestas correctas, pero se aprende acerca de ellas sobre la marcha. A medida que avanza el programa experimental, es común abandonar algunas variables de entrada e incorporar otras, modificar la región de exploración de algunos factores o incorporar nuevas variables de respuesta (Montgomery, 2004). Luego de haber realizado los cuatro diseños de experimentos, es decir uno para cada producto, se obtuvieron los niveles óptimos para cada uno de los factores, revisar *Tabla 13*, donde se puede identificar que el factor A, para los productos que son llenados desde una caneca de 50 l, se debe utilizar la máxima presión de aire permitida en esta, que son 6 psi, mientras que en los productos que provienen desde un tanque de 200 l, no sucede lo mismo para el Herbicida SX es aconsejable utilizar 6,47 psi y para el Insecticida Orgánico CN 9 psi. En relación al factor B existen distintos niveles a ser utilizados, pero para el factor C se debe utilizar siempre la válvula en una posición parcialmente abierta.

Tabla 13 Niveles óptimos para cada uno de los factores.

Niveles óptimos de los factores			
Producto	A = Presión Tanque o Caneca	B = Presión Pistón	C = Nivel Caudal (Control Válvula)
Regulador de Crecimiento PH (100 ml)	6 psi	60 psi	Parcialmente abierta
Herbicida SX (250 ml)	6,47 psi	53,76 psi	Parcialmente abierta
Fertilizante Foliar CAB (500 ml)	6 psi	40 psi	Parcialmente abierta
Insecticida Orgánico CN (1000 ml)	9 psi	59,59 psi	Parcialmente abierta

Nota. Niveles óptimos obtenidos con DOE, a través del programa Minitab 19.

3.5. Controlar

Se pudo observar en los experimentos que los factores e interacciones más significativas son el Nivel de Caudal (C), Presión del Tanque o Caneca (B) y Presión del Tanque o Caneca con Nivel del Caudal (AC). Estos deberán ser supervisados rigurosamente por el operario que utilice el sistema de llenado, ya que son cruciales para obtener dosificaciones óptimas en el proceso.

En esta etapa se generó un plan de control del peso de los preenvasados expuesto en la *Tabla 15*, donde se proponen cambios en las tolerancias actuales (LEI y LES), ya que son especificaciones bajas, lo que genera que exista una mayor variabilidad en el contenido de los preenvasados (Vanegas, 2015). Tras lo expuesto se indica la manera de cómo se calcularon los nuevos límites de especificación inferior y superior, utilizando los datos obtenidos antes y después de DOE reflejados en la *Tabla 14*, ya que al reducir cada vez más las tolerancias obtendremos una optimización dentro del proceso.

$$LEI = \bar{X} - 3\sigma \quad \text{Ecuación (16)}$$



$$LES = \bar{X} + 3\sigma$$

Ecuación (17)

Tabla 14 Comparación de tolerancias.

Producto	INEN		Antes de DOE		Después de DOE	
	LEI (ml)	LES (ml)	LEI (ml)	LES (ml)	LEI (ml)	LES (ml)
Regulador de Crecimiento PH (100 ml)	95,5	104,5	91.94	104,06	94.18	104,74
Herbicida SX (250 ml)	241	259	240,69	259,47	244,13	255,89
Fertilizante Foliar CAB (500 ml)	485	515	479,49	502,71	493,81	506,95
Insecticida Orgánico CN (1000 ml)	985	1015	994,08	1017,66	992,84	1006,58

Se recomienda el siguiente plan de control del peso de cada uno de los cuatro preenvasados, como se indica en la *Tabla 15*, un punto que debe ser efectuado es que el control se realice tomando muestras en orden cronológico diariamente, es decir en la línea de producción, con el fin de que se puedan elaborar cartas de control para la identificación adecuada de causas especiales o no aleatorias y estudiar a mayor profundidad el descontrol estadístico.

Tabla 15 Plan de Control del Peso de los Preenvasados.

Producto	Límite Óptimo	Método	Tamaño de la muestra	Frecuencia de medición	Responsable	Área	Registro
R. Crecimiento PH (100 ml)	LEI: 121,6 g / 97 ml LEO: 124,6 g / 100 ml LES: 127,6 g / 103 ml	Pesaje en balanza de precisión de mínimo 99%	Revisar <i>Tabla 3</i> , según RTE 284 INEN. Debe ser una muestra por cada tipo de producto elaborado	Diario (tomar muestras de manera cronológica)	Operario de turno	Área de envasado de agroinsumos	Registro de Control de Calidad de preenvasados
Herbicida SX (250 ml)	LEI: 315 g / 245 ml LEO: 320 g / 250 ml LES: 325 gr / 255 ml						
F. Foliar CAB (500 ml)	LEI: 685 g / 495 ml LEO: 691 g / 500 ml LES: 697 g / 505 ml						
I. Orgánico CN (1000 ml)	LEI: 1099 g / 995 ml LEO: 1104 g / 1000 ml LES: 1109 g / 1005 ml						

Luego de haber controlado y estandarizado los niveles óptimos para cada uno de los factores A, B y C explicados anteriormente, fueron utilizados en cada uno de los nuevos cuatro lotes, obteniendo a su vez muestras con nuevos valores de capacidades, desviación estándar y contenido neto real promedio, detallados en la *Tabla 16*. Los informes de capacidad del proceso de cada uno de los productos se detallan de la siguiente manera:

Figura 25 Informe Capacidad del Proceso de R. Crecimiento PH (100 ml) (Después de DOE).

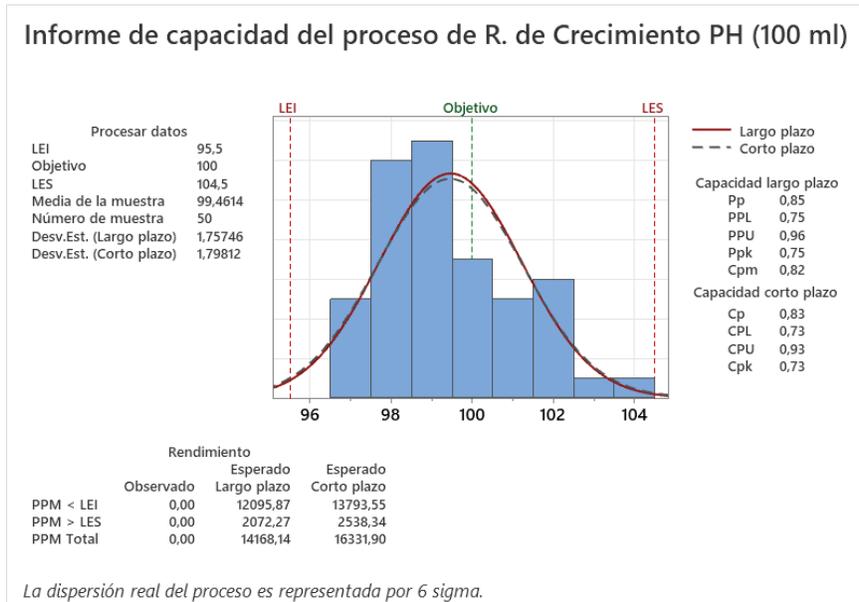


Figura 26 Informe Capacidad del Proceso de Herbicida SX (250 ml) (Después de DOE).

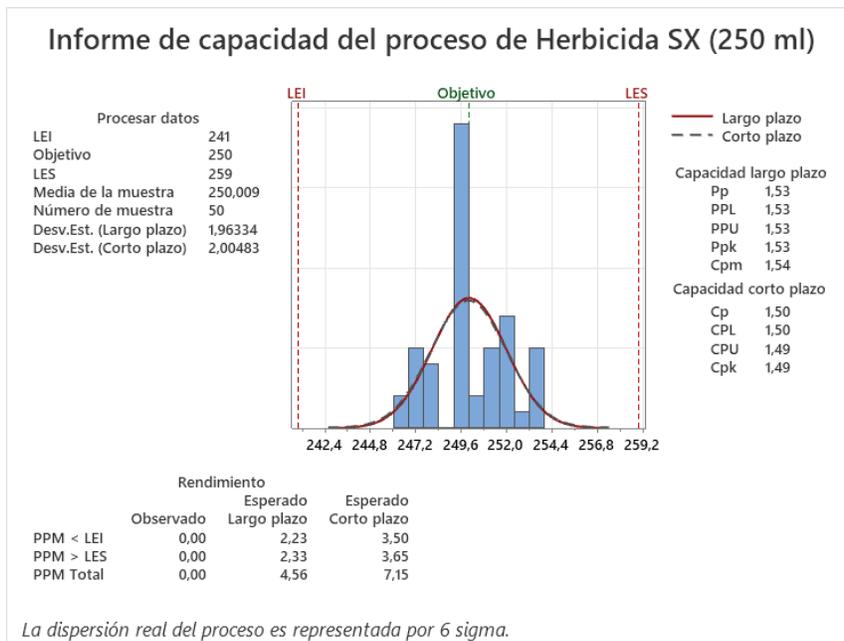


Figura 27 Informe Capacidad del Proceso de F. Foliar CAB (500 ml) (Después de DOE).

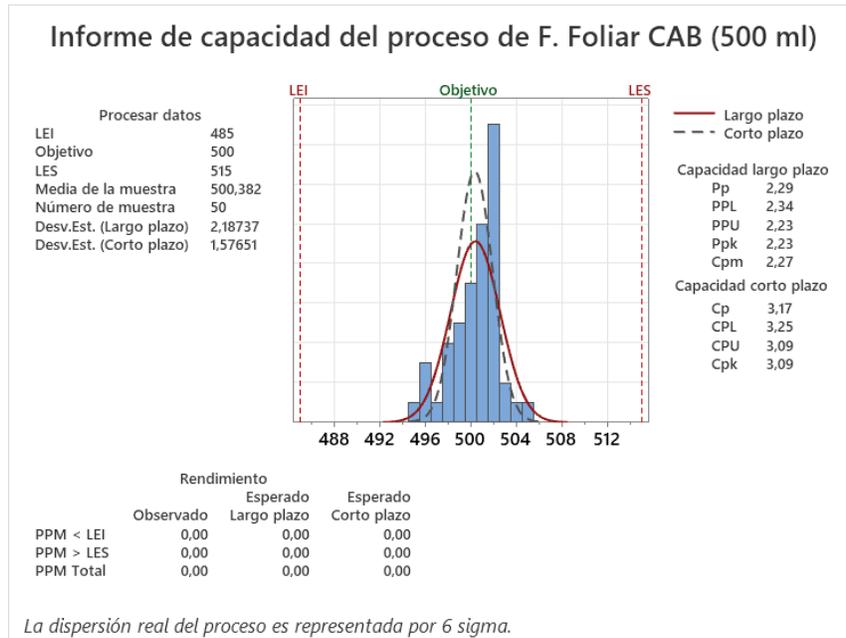
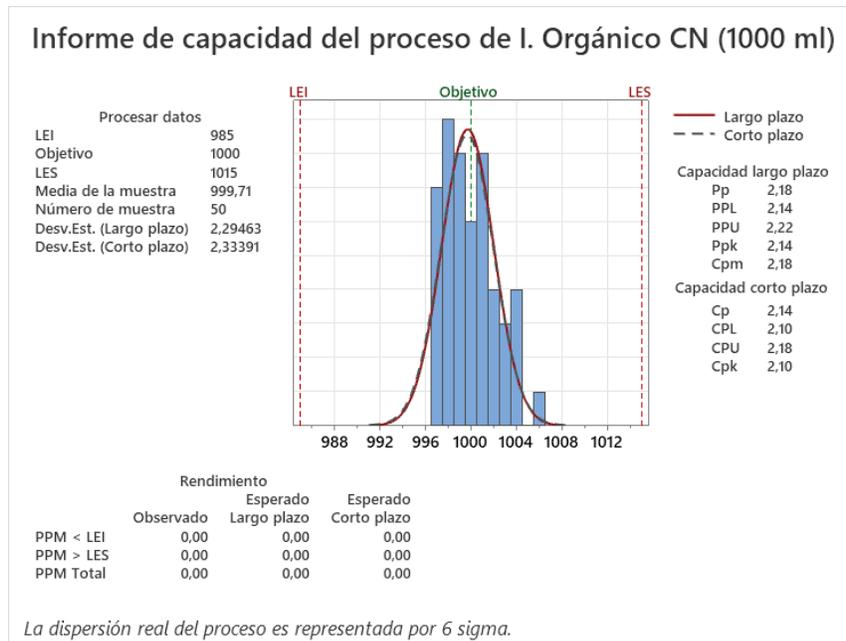


Figura 28 Informe Capacidad del Proceso I. Orgánico CN (1000 ml) (Después de DOE).



A continuación, se indica una tabla comparativa de los resultados antes y después de utilizar la metodología Six Sigma mediante DMAIC en el proceso de llenado y dosificado de preenvasados, donde se puede ver claramente una mejora notable en el proceso.

Tabla 16 Tabla comparativa antes y después de DMAIC.

Datos	Regulador Crecimiento PH (100 ml)		Herbicida SX (250 ml)		Fertilizante Foliar CAB (500 ml)		Insecticida Orgánico CN (1000 ml)	
	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS
Media Aritmética (\bar{X}) <i>Ecuación (1)</i>	98,00	99,46	250,08	250,01	491,10	500,38	1005,87	999,71
Desviación Estándar (s) <i>Ecuación (2)</i>	2,02	1,76	3,13	1,96	3,87	2,19	3,93	2,29
Índices de Capacidad								
<i>Cp Ecuación (7)</i>	0,74	0,85	0,96	1,53	1,29	2,29	1,27	2,18
<i>Cps Ecuación (8)</i>	1,07	0,96	0,95	1,53	2,06	2,23	0,77	2,22
<i>Cpi Ecuación (9)</i>	0,41	0,75	0,97	1,53	0,53	2,34	1,77	2,14
<i>Cpk Ecuación (10)</i>	0,41	0,75	0,95	1,53	0,53	2,23	0,77	2,14
<i>Cpm Ecuación (11)</i>	0,53	0,85	0,97	1,54	0,52	2,27	0,71	2,18
Rendimiento y Nivel Sigma								
DPMO < LEI	108397,14	12095,87	1832,18	2,33	57246,68	0	0,94	0
DPMO > LES	663,22	2072,27	2159,92	2,33	0	0	10164,65	0
DPMO Total	109060,37	14168,14	3992,10	4,56	57246,68	0	10164,71	0
Nivel Sigma (<i>Anexo 9</i>)	2,625 - 2,75	3,625 - 3,75	4,125 - 4,25	5,875 - 6	3 - 3,125	6	3,75 - 3,875	6
% Rendimiento	86,97% - 89,44%	98,32% - 98,78%	99,565% - 99,7%	99,999%	93,32% - 94,79%	99,999%	98,78% - 99,12%	99,999%

4. Conclusiones y Discusión

Como conclusión el proceso de llenado y dosificado de los preenvasados Regulador de Crecimiento PH (100 ml), Herbicida SX (250 ml), Fertilizante Foliar CAB (500 ml) e Insecticida Orgánico CN (1000 ml), están generando actualmente pérdidas económicas anuales de aproximadamente \$4488,48 en la empresa Solinag Cia. Ltda según el número de unidades vendidas, dichas pérdidas son resultado de sobre-llenado o excedencia de producto. Esta variabilidad dentro del proceso provoca una cantidad de entre 0,5% y 1% de la producción mensual de preenvasados que no cumplen con el contenido neto nominal especificado ni con las tolerancias, a pesar de que la mayoría de preenvasados cumplen con las normativas estipuladas en el Reglamento Técnico Ecuatoriano 284 INEN, las tolerancias establecidas para cada uno de los cuatro productos son muy amplias, provocando variabilidad, ineficiencia y bajos rendimientos.

A través de la utilización de la metodología Six Sigma durante todo el caso de estudio, se consiguió el objetivo esperado, el mismo que consistió en disminuir la variabilidad, optimizando el proceso y reducir las pérdidas económicas, al seguir a cabalidad los cinco pasos o etapas de la metodología, combinando conjuntamente con Diseño de Experimentos (DOE) y el Reglamento Técnico Ecuatoriano 284 INEN.

Inicialmente en la etapa *Definir* se determinó que existen mensualmente entre 60 a 120 productos identificados como no conformes por mal llenado, además se identificaron restricciones dentro del proceso, como las presiones de aire que intervienen en el mismo y la calibración del caudal. Mediante el software estadístico Minitab versión 19, se consiguió obtener a través de DOE (Diseño Factorial 2³), los niveles óptimos a utilizarse de dichas restricciones, especificados en la *Tabla 13*, para así conseguir una mayor eficiencia en el llenado y dosificado. En la etapa *Medir* aplicando el RTE INEN 284 se obtuvieron los siguientes valores para cada una de las cuatro muestras, el contenido neto real de los preenvasados, contenido neto real promedio o media aritmética, desviación estándar, índices de capacidad de proceso, número de unidades fuera de tolerancia, etc. En la tercera etapa *Analizar*, se identificó que la mayor parte de los productos no cumplía con un proceso capaz, ni con



un nivel sigma superior a 4,25, también se concluyó que la desviación estándar para cada uno de los productos era muy alta.

Una de las etapas cruciales en el estudio fue la de *Mejorar*, que consistió en encontrar las causas principales del problema y establecer propuestas de mejora, primeramente, estandarizando las medidas de presión de aire que se utilizaron en los tanques (6,47 psi y 9 psi) respectivamente para el Herbicida SX (250 ml) y el Insecticida Orgánico CN (1000 ml), en el caso de las canecas (6 psi) para el Regulador de Crecimiento PH (100 ml) y el Fertilizante Foliar CAB (500 ml), y en el pistón de llenado (40; 53,76; 59,59 y 60 psi) respectivamente. Teóricamente se obtuvo como resultado que mientras mayor sea la presión de aire, mayor será la optimización en el llenado y dosificado, aunque hay que tener en cuenta la resistencia del material de los tanques o canecas que suministran los productos, complementariamente se controló el nivel del caudal del sistema de llenado, señalando o marcando en la válvula de control, dónde se debe calibrar (parcialmente abierta), luego el operador debía contar con datos referenciales de cada producto (densidad, LEI, LEO y LES), también se realizó un control previo de calidad de los productos (tomar una muestra y obtener el peso bruto real o peso óptimo del preenvasado), además comprobar la densidad aplicando la siguiente fórmula matemática ($\rho = \frac{m}{v}$), ya que puede haber ocasiones en que haya alguna inconsistencia en la formulación de la materia prima.

Una de las principales recomendaciones es el cambio de las balanzas, por unas industriales (con precisión mínima de un 99%), que tengan mayor durabilidad, para que no exista una descalibración constante, cabe la redundancia que, a largo plazo, la empresa como recomendación debería cambiar integralmente el sistema de llenado por un sistema controlado por volumen (99,5% de precisión) y no por peso, revisar mayor información en el punto 3.4.4.4, además la empresa debe contar con un plan de mantenimiento preventivo y predictivo (cambio de empaques de caucho, lubricación y limpieza del pistón de llenado). Por último, en la etapa *Controlar* se desarrolló un plan de control (monitoreo del peso de los preenvasados diariamente) y nuevas tolerancias para buscar una variabilidad cero.

Luego de optimizar y experimentar con DMAIC y DOE, con cuatro nuevos lotes para cada uno de los productos, se obtuvo como resultado una reducción significativa de los defectos por millón de oportunidades (DPMO) en todos los productos, esto a su vez indica que aumentó la capacidad del proceso (en tres de los cuatro productos se cumple con $C_p > 1$, catalogado como un proceso “adecuado”), los niveles sigma subieron, llegando dos productos a un nivel cercano a seis sigma, según el programa Minitab versión 19 (importante recalcar que dichos valores se obtuvieron, gracias a un cumplimiento muy estricto de todas las etapas de DMAIC, aplicando también las mejoras, anteriormente explicadas), a su vez incrementando los rendimientos, verificar en *Tabla 16*.

Se consiguió económicamente que la empresa pase de perder \$4488.48 a ganar \$385,95 anualmente, equivalente a un incremento en la utilidad financiera (específicamente en este proceso hubo un incremento del 108,6% anual), revisar mayor detalle el *Anexo 10*, *Tabla 34* y *Tabla 35* respectivamente. Esto quiere decir que se eliminaron las pérdidas por problemas de variabilidad en el proceso de llenado y dosificado casi en su totalidad, después de lo cual se logró una satisfacción mayor en los clientes, ya que se consultó a clientes estratégicos sobre los contenidos netos reales recibidos, donde indicaron que no recibieron productos con inconformidades.

Como discusión con respecto a los ensayos académicos, investigados, estudiados y analizados, en el inicio del desarrollo del presente trabajo, el principal punto a tratar, fue la mejora y optimización en el proceso de llenado y dosificado, donde independientemente los autores Elizabeth E. Díaz (2009), Ana Jiménez (2020) y Adrián Vásquez (2015), utilizaron la misma metodología Six



Sigma que se utilizó en este estudio, ellos principalmente observaron, analizaron y evaluaron mediante datos estadísticos el comportamiento y la variabilidad del proceso a través del tiempo, a diferencia de Vega et al. (2017), que parametrizó y correlacionó variables que afectan el ajuste del proceso de llenado.

Todos los autores anteriormente citados, al igual que en este ensayo académico, implementaron distintas mejoras, detalladas en el siguiente párrafo, con el principal objetivo de obtener un mayor retorno financiero, reducir costos, obtener mayor productividad y sobretodo disminuir la variabilidad del proceso estudiado dentro de las distintas empresas en cada uno de los respectivos estudios, las cuáles se encuentran dentro de la industria farmacéutica, alimenticia, veterinaria y agrícola.

Vega et al. (2017), concluye en su trabajo que ajustando las flamas en el proceso de llenado-sellado de ampollas, aumentaba significativamente el rendimiento del llenado. Elizabeth E. Díaz (2009) con su estudio de variabilidad de proceso de envasado, se asemeja considerablemente al presente caso de estudio, ya que logró centrar los valores de contenido neto nominal, mediante DOE (Diseño Factorial de 2^5), es decir optimizó 5 factores y en el presente estudio únicamente fueron 3 factores. Elizabeth E. Díaz (2009) obtuvo una reducción del 95% de las pérdidas; adicionalmente, Ana Jiménez (2020) controló las variables peso, presión y temperatura dentro del proceso de llenado de emulsión, utilizando de igual manera la metodología Six Sigma, estandarizó la presión entre 18 psi y 20 psi como resultado de este estudio optimizó los valores de presión, demostrando que la variable peso es sensible a cambios de presión. Por su parte Adrián Vásquez (2015) redujo la pérdida de producto en un 38%, al implementar un control e inspección del pesaje y dosificado del proceso de llenado de leche en funda, semejante al plan elaborado en la *Tabla 15*.

Un detalle de relevancia que el autor antes mencionado aplicó, fue un mantenimiento oportuno en las máquinas llenadoras, específicamente propuso establecer una inspección rutinaria en intervalos de 10 a 15 minutos de los niveles a los cuales puede llegar una membrana del dosificador nueva y usada, pues mientras más nueva sea esta, mayor será el nivel de marca en la calibración del dosificador, mientras que en el presente ensayo académico, específicamente en el punto 3.4.4.5, se propone una inspección rutinaria diaria (una vez al día). Los empaques de caucho utilizados en el pistón de llenado son similares a la membrana del dosificador, que sirven para hermetizar la dosificación, juegan un rol fundamental en todo el proceso. Pequeños detalles pueden marcar una gran diferencia, como dijo alguna vez George Catlett Marshall ex secretario de los estados unidos “Los pequeños actos que se ejecutan son mejores que todos aquellos grandes que se planean”.

5. Agradecimiento

Un agradecimiento especial para el tutor del presente ensayo académico, el Ingeniero Milton Barragán Landy, a la empresa de caso de estudio Solinag Cia. Ltda y a la Universidad de Cuenca por su Repositorio Institucional, donde se obtuvo valiosa información científica.

6. Bibliografía

Alcalá Gámez, A. (2020). *Capítulo 3: El sistema (Single Minute Exchange of Die) SMED . En Situando el SMED como una herramienta de "Lean Manufacturing" para mejorar los tiempos de preparación, ajuste y cambios de herramientas.* Sonora.



- Ana Silvia Gamboa Jiménez, J. P. (2020). *Revisión del desempeño del proceso de llenado de una emulsión. Estudio de Caso: Envasadora Perry*. Revista Noria Investigación Educativa, 129-146.
- Botella, L. (2019). *5 claves para una optimización eficiente en los procesos y recursos de tu empresa*.
- Bothe, D. R. (1997). *Measuring Process Capability: Techniques and Calculations for Quality and Manufacturing Engineers*. McGraw-Hill.
- Consulting, A. G. (2012). *Técnica para el Análisis de Problemas: 5W + 2H*. Cordoba, Argentina.
- Elizabeth E. Díaz, C. D. (2009). *Estudio de la Variabilidad de Proceso en el Área de Envasado de un Producto en Polvo*. Veracruz, México.
- Humberto Gutiérrez Pulido, R. D. (2009). *Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma (Vol. Segunda edición)*. México D.F.: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- INEN. (2013). *Norma ISO 21067. Envase y embalaje. Vocabulario*. Quito, Ecuador.
- Legal, O. I. (2016). *Recomendación Internacional OIML R 87, Cantidad de producto preenvasado*.
- Loyola Betancourt, M. F., & Chávez Terrones, B. O. (2015). *Automatización del sistema de dosificación del líquido de gobierno en la producción de conservas para empresas agroindustriales para reducir tiempos de llenado y pérdidas en el proceso*. Trujillo, Perú.
- Montgomery, D. C. (2004). *Diseño y Análisis de experimentos*. México D.F: Limusa S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores.
- Mott, R. L. (2006). *Mecánica de fluidos*. México: Pearson.
- RTE INEN 284, (2015). *Reglamento RTE-284*. Obtenido de Normalizacion.gob.ec: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/reglamentos/RTE-284.pdf>
- Sigma, T. O. (2006). *Seis Sigma Introducción DMAIC*.
- Tinoco, R. B. (2017). *Identificación de las causas de variación en el proceso de envasado a través del control estadístico de procesos*. Revista Iberoamericana de Ciencia, 96-107.
- Vanegas, A. (2015). *Propuesta de aplicación de la metodología Six Sigma para el proceso de envasado de la leche en funda. Caso: Lácteos San Antonio C.A. Sucursal Cuenca*. Cuenca-Ecuador.
- Vega, I. (2017). *Parámetros de ajuste para una llenadora-selladora de ampollitas en función de la solución*. Querétaro, México.

7. Anexos

**Anexo 1: Peso y volumen Regulador de Crecimiento PH (100 ml)****Tabla 17** *Peso y volumen Regulador de Crecimiento PH (100 ml (Antes de DOE).*

Nombre Producto:		Regulador de Crecimiento PH				
Contenido Neto Nominal (Qn) (ml):		100				
Densidad (ρ) (g/cm³):		1,009				
(A) Tamaño del lote:		150				
(B) Tamaño de la muestra (n):		50				
(D) Nº unidades permitidas fuera de tolerancia:		3				
(C) Deficiencia tolerable (T) (ml):		4,5				
Nº	*Peso Material de Empaque (gr)	Peso Bruto Real Preenvasado (gr)	(H) Error del producto preenvasado individual	(E) Contenido Neto Real Preenvasado (ml)	(J) Deficiencia tolerable (ml)	(J) Aprobado = ± 4,5 ml
1	23,68	120,14	-4,44	95,60	-4,40	Si
2	23,68	121,81	-2,77	97,25	-2,75	Si
3	23,68	123,95	-0,63	99,38	-0,62	Si
4	23,68	127,42	2,84	102,81	2,81	Si
5	23,68	124,61	0,03	100,03	0,03	Si
6	23,68	123,53	-1,05	98,96	-1,04	Si
7	23,68	122,68	-1,90	98,12	-1,88	Si
8	23,68	123,12	-1,46	98,55	-1,45	Si
9	23,68	121,14	-3,44	96,59	-3,41	Si
10	23,68	123,29	-1,29	98,72	-1,28	Si
11	23,68	121,36	-3,22	96,81	-3,19	Si
12	23,68	122,89	-1,69	98,33	-1,67	Si
13	23,68	120,27	-4,31	95,73	-4,27	Si
14	23,68	122,23	-2,35	97,67	-2,33	Si
15	23,68	122,06	-2,52	97,50	-2,50	Si
16	23,68	120,29	-4,29	95,75	-4,25	Si
17	23,68	120,77	-3,81	96,22	-3,78	Si
18	23,68	120,09	-4,49	95,55	-4,45	Si
19	23,68	121,09	-3,49	96,54	-3,46	Si
20	23,68	121,67	-2,91	97,12	-2,88	Si
21	23,68	122,26	-2,32	97,70	-2,30	Si
22	23,68	120,52	-4,06	95,98	-4,02	Si
23	23,68	123,28	-1,30	98,71	-1,29	Si
24	23,68	122,62	-1,96	98,06	-1,94	Si
25	23,68	125,00	0,42	100,42	0,42	Si
26	23,68	124,52	-0,06	99,94	-0,06	Si
27	23,68	123,00	-1,58	98,43	-1,57	Si
28	23,68	123,65	-0,93	99,08	-0,92	Si
29	23,68	119,58	-5,00	95,04	-4,96	No
30	23,68	126,87	2,29	102,27	2,27	Si
31	23,68	122,24	-2,34	97,68	-2,32	Si
32	23,68	120,82	-3,76	96,27	-3,73	Si
33	23,68	123,24	-1,34	98,67	-1,33	Si
34	23,68	125,81	1,23	101,22	1,22	Si
35	23,68	123,74	-0,84	99,17	-0,83	Si
36	23,68	125,82	1,24	101,23	1,23	Si
37	23,68	121,52	-3,06	96,97	-3,03	Si
38	23,68	121,13	-3,45	96,58	-3,42	Si
39	23,68	123,30	-1,28	98,73	-1,27	Si
40	23,68	120,05	-4,53	95,51	-4,49	Si
41	23,68	123,42	-1,16	98,85	-1,15	Si
42	23,68	122,00	-2,58	97,44	-2,56	Si
43	23,68	126,64	2,06	102,04	2,04	Si
44	23,68	121,25	-3,33	96,70	-3,30	Si
45	23,68	120,47	-4,11	95,93	-4,07	Si
46	23,68	119,49	-5,09	94,96	-5,04	No
47	23,68	119,83	-4,75	95,29	-4,71	No
48	23,68	126,12	1,54	101,53	1,53	Si
49	23,68	120,90	-3,68	96,35	-3,65	Si
50	23,68	124,63	0,05	100,05	0,05	Si

* Material de empaque consiste en envase, tapa, etiqueta y termoencogible.

Nota. Registros de estudio, adopción norma RTE INEN 284.

**Tabla 18** *Peso y volumen Regulador de Crecimiento PH (100 ml (Después de DOE)).*

Nombre Producto:		Regulador de Crecimiento PH				
Contenido Neto Nominal (Qn) (ml):		100				
Densidad (ρ) (g/cm ³):		1,009				
(A) Tamaño del lote:		150				
(B) Tamaño de la muestra (n):		50				
(D) Nº unidades permitidas fuera de tolerancia:		3				
(C) Deficiencia tolerable (T) (ml):		4,5				
Nº	*Peso Material de Empaque (gr)	Peso Bruto Real Preenvasado (gr)	(H) Error del producto preenvasado individual	(E) Contenido Neto Real Preenvasado (ml)	(J) Deficiencia tolerable (ml)	(I) Aprobado = $\pm 4,5$ ml
1	23,68	123,99	-0,59	99,42	-0,58	Si
2	23,68	125,41	0,83	100,82	0,82	Si
3	23,68	123,94	-0,64	99,37	-0,63	Si
4	23,68	122,28	-2,30	97,72	-2,28	Si
5	23,68	125,91	1,33	101,32	1,32	Si
6	23,68	122,67	-1,91	98,11	-1,89	Si
7	23,68	123,29	-1,29	98,72	-1,28	Si
8	23,68	123,02	-1,56	98,45	-1,55	Si
9	23,68	122,29	-2,29	97,73	-2,27	Si
10	23,68	126,94	2,36	102,34	2,34	Si
11	23,68	124,63	0,05	100,05	0,05	Si
12	23,68	128,97	4,39	104,35	4,35	Si
13	23,68	121,75	-2,83	97,20	-2,80	Si
14	23,68	122,05	-2,53	97,49	-2,51	Si
15	23,68	124,66	0,08	100,08	0,08	Si
16	23,68	125,90	1,32	101,31	1,31	Si
17	23,68	123,93	-0,65	99,36	-0,64	Si
18	23,68	124,07	-0,51	99,49	-0,51	Si
19	23,68	123,45	-1,13	98,88	-1,12	Si
20	23,68	122,41	-2,17	97,85	-2,15	Si
21	23,68	123,85	-0,73	99,28	-0,72	Si
22	23,68	122,35	-2,23	97,79	-2,21	Si
23	23,68	123,16	-1,42	98,59	-1,41	Si
24	23,68	126,55	1,97	101,95	1,95	Si
25	23,68	126,81	2,23	102,21	2,21	Si
26	23,68	124,87	0,29	100,29	0,29	Si
27	23,68	126,14	1,56	101,55	1,55	Si
28	23,68	124,46	-0,12	99,88	-0,12	Si
29	23,68	122,10	-2,48	97,54	-2,46	Si
30	23,68	123,80	-0,78	99,23	-0,77	Si
31	23,68	122,56	-2,02	98,00	-2,00	Si
32	23,68	122,03	-2,55	97,47	-2,53	Si
33	23,68	123,35	-1,23	98,78	-1,22	Si
34	23,68	123,48	-1,10	98,91	-1,09	Si
35	23,68	124,69	0,11	100,11	0,11	Si
36	23,68	122,08	-2,50	97,52	-2,48	Si
37	23,68	121,25	-3,33	96,70	-3,30	Si
38	23,68	127,33	2,75	102,73	2,73	Si
39	23,68	124,14	-0,44	99,56	-0,44	Si
40	23,68	123,77	-0,81	99,20	-0,80	Si
41	23,68	122,51	-2,07	97,95	-2,05	Si
42	23,68	124,28	-0,30	99,70	-0,30	Si
43	23,68	122,51	-2,07	97,95	-2,05	Si
44	23,68	126,27	1,69	101,67	1,67	Si
45	23,68	122,58	-2,00	98,02	-1,98	Si
46	23,68	126,00	1,42	101,41	1,41	Si
47	23,68	123,31	-1,27	98,74	-1,26	Si
48	23,68	126,68	2,10	102,08	2,08	Si
49	23,68	125,89	1,31	101,30	1,30	Si
50	23,68	121,47	-3,11	96,92	-3,08	Si

* Material de empaque consiste en envase, tapa, etiqueta y termoencogible.

Nota. Registros de estudio, adopción norma RTE INEN 284.

**Anexo 2: Cálculos Regulator de Crecimiento PH (100 ml)****Tabla 19** Cálculos Regulator de Crecimiento PH (100 ml) (Antes de DOE).

Suma Contenido Neto Real (ml)	(F) Contenido Neto Real Promedio (X) (ml)	(G) Promedio algebraico (X) \geq (Qn)	Nº unidades fuera de tolerancia:	(ii) Error T1 (ml)	(iii) Error T2 (ml)
4900,03	98,00	-2,00	3	95,50	91,00
t Student (tc)	Qn (ml)	Tamaño de la muestra (n)	Desviación Estándar (s)	Valor (t)	(iii) tc < t
6,98	100	50	2,02	2,67	No cumple el lote con el promedio algebraico
(I) Peso bruto calculado (PBC) (gr)	(K) Error total producto (ETP)	Error promedio (EP)	Factor corrección de la muestra (FCM)	Error límite de la muestra (ELM)	Aprobado = (ELM + EP) > 0
124,58	-100,87	-2,02	0,379	2,40	0,38 (Muestra y lote aprobados)

Nota. Registros de estudio, adopción norma RTE INEN 284.

Tabla 20 Cálculos Regulator de Crecimiento PH (100 ml) (Después de DOE).

Suma Contenido Neto Real (ml)	(F) Contenido Neto Real Promedio (X) (ml)	(G) Promedio algebraico (X) \geq (Qn)	Nº unidades fuera de tolerancia:	(ii) Error T1 (ml)	(iii) Error T2 (ml)
4973,07	99,46	-0,54	0	95,50	91,00
t Student (tc)	Qn (ml)	Tamaño de la muestra (n)	Desviación Estándar (s)	Valor (t)	(iii) tc < t
2,17	100	50	1,76	2,67	Si cumple el lote con el promedio algebraico
(I) Peso bruto calculado (PBC) (gr)	(K) Error total producto (ETP)	Error promedio (EP)	Factor corrección de la muestra (FCM)	Error límite de la muestra (ELM)	Aprobado = (ELM + EP) > 0
124,58	-27,17	-0,54	0,379	2,14	1,6 (Muestra y lote aprobados)

Nota. Registros de estudio, adopción norma RTE INEN 284.



Anexo 3: Peso y volumen Herbicida SX (250 ml)

Tabla 21 Peso y volumen del Herbicida SX (250 ml) (Antes de DOE).

Nombre Producto:		Herbicida SX				
Contenido Neto Nominal (Qn) (ml):		250				
Densidad (ρ) (g/cm ³):		1,11				
(A) Tamaño del lote:		150				
(B) Tamaño de la muestra (n):		50				
(D) Nº unidades permitidas fuera de tolerancia:		3				
(C) Deficiencia tolerable (T) (ml):		9				
Nº	*Peso Material de Empaque (gr)	Peso Bruto Real Preenvasado (gr)	(H) Error del producto preenvasado individual	(E) Contenido Neto Real Preenvasado (ml)	(J) Deficiencia tolerable (ml)	(J) Aprobado = ± 9 ml
1	42,33	313,00	-6,83	243,85	-6,15	Si
2	42,33	320,00	0,17	250,15	0,15	Si
3	42,33	311,00	-8,83	242,05	-7,95	Si
4	42,33	318,00	-1,83	248,35	-1,65	Si
5	42,33	323,00	3,17	252,86	2,86	Si
6	42,33	317,00	-2,83	247,45	-2,55	Si
7	42,33	312,00	-7,83	242,95	-7,05	Si
8	42,33	324,00	4,17	253,76	3,76	Si
9	42,33	320,00	0,17	250,15	0,15	Si
10	42,33	320,00	0,17	250,15	0,15	Si
11	42,33	316,00	-3,83	246,55	-3,45	Si
12	42,33	319,00	-0,83	249,25	-0,75	Si
13	42,33	322,00	2,17	251,95	1,95	Si
14	42,33	317,00	-2,83	247,45	-2,55	Si
15	42,33	315,00	-4,83	245,65	-4,35	Si
16	42,33	320,00	0,17	250,15	0,15	Si
17	42,33	315,00	-4,83	245,65	-4,35	Si
18	42,33	321,00	1,17	251,05	1,05	Si
19	42,33	314,00	-5,83	244,75	-5,25	Si
20	42,33	319,00	-0,83	249,25	-0,75	Si
21	42,33	319,00	-0,83	249,25	-0,75	Si
22	42,33	320,00	0,17	250,15	0,15	Si
23	42,33	322,00	2,17	251,95	1,95	Si
24	42,33	317,00	-2,83	247,45	-2,55	Si
25	42,33	319,00	-0,83	249,25	-0,75	Si
26	42,33	321,00	1,17	251,05	1,05	Si
27	42,33	321,00	1,17	251,05	1,05	Si
28	42,33	323,00	3,17	252,86	2,86	Si
29	42,33	318,00	-1,83	248,35	-1,65	Si
30	42,33	323,00	3,17	252,86	2,86	Si
31	42,33	319,00	-0,83	249,25	-0,75	Si
32	42,33	320,00	0,17	250,15	0,15	Si
33	42,33	322,00	2,17	251,95	1,95	Si
34	42,33	322,00	2,17	251,95	1,95	Si
35	42,33	322,00	2,17	251,95	1,95	Si
36	42,33	323,00	3,17	252,86	2,86	Si
37	42,33	321,00	1,17	251,05	1,05	Si
38	42,33	321,00	1,17	251,05	1,05	Si
39	42,33	325,00	5,17	254,66	4,66	Si
40	42,33	322,00	2,17	251,95	1,95	Si
41	42,33	320,00	0,17	250,15	0,15	Si
42	42,33	314,00	-5,83	244,75	-5,25	Si
43	42,33	323,00	3,17	252,86	2,86	Si
44	42,33	320,00	0,17	250,15	0,15	Si
45	42,33	321,00	1,17	251,05	1,05	Si
46	42,33	324,00	4,17	253,76	3,76	Si
47	42,33	323,00	3,17	252,86	2,86	Si
48	42,33	324,00	4,17	253,76	3,76	Si
49	42,33	326,00	6,17	255,56	5,56	Si
50	42,33	325,00	5,17	254,66	4,66	Si

* Material de empaque consiste en envase, tapa, etiqueta y termoencogible.

Nota. Registros de estudio, adopción norma RTE INEN 284.



Tabla 22 Peso y volumen del Herbicida SX (250 ml) (Después de DOE).

Nombre Producto:		Herbicida SX				
Contenido Neto Nominal (Qn) (ml):		250				
Densidad (ρ) (g/cm ³):		1,11				
(A) Tamaño del lote:		150				
(B) Tamaño de la muestra (n):		50				
(D) Nº unidades permitidas fuera de tolerancia:		3				
(C) Deficiencia tolerable (T) (ml):		9				
Nº	*Peso Material de Empaque (gr)	Peso Bruto Real Preenvasado (gr)	(H) Error del producto preenvasado individual	(E) Contenido Neto Real Preenvasado (ml)	(J) Deficiencia tolerable (ml)	(J) Aprobado = ± 9 ml
1	42,33	319,00	-0,83	249,25	-0,75	Si
2	42,33	322,00	2,17	251,95	1,95	Si
3	42,33	322,00	2,17	251,95	1,95	Si
4	42,33	319,00	-0,83	249,25	-0,75	Si
5	42,33	319,00	-0,83	249,25	-0,75	Si
6	42,33	321,00	1,17	251,05	1,05	Si
7	42,33	324,00	4,17	253,76	3,76	Si
8	42,33	317,00	-2,83	247,45	-2,55	Si
9	42,33	324,00	4,17	253,76	3,76	Si
10	42,33	324,00	4,17	253,76	3,76	Si
11	42,33	319,00	-0,83	249,25	-0,75	Si
12	42,33	323,00	3,17	252,86	2,86	Si
13	42,33	319,00	-0,83	249,25	-0,75	Si
14	42,33	322,00	2,17	251,95	1,95	Si
15	42,33	322,00	2,17	251,95	1,95	Si
16	42,33	318,00	-1,83	248,35	-1,65	Si
17	42,33	317,00	-2,83	247,45	-2,55	Si
18	42,33	319,00	-0,83	249,25	-0,75	Si
19	42,33	322,00	2,17	251,95	1,95	Si
20	42,33	316,00	-3,83	246,55	-3,45	Si
21	42,33	318,00	-1,83	248,35	-1,65	Si
22	42,33	322,00	2,17	251,95	1,95	Si
23	42,33	321,00	1,17	251,05	1,05	Si
24	42,33	319,00	-0,83	249,25	-0,75	Si
25	42,33	319,00	-0,83	249,25	-0,75	Si
26	42,33	321,00	1,17	251,05	1,05	Si
27	42,33	320,00	0,17	250,15	0,15	Si
28	42,33	317,00	-2,83	247,45	-2,55	Si
29	42,33	322,00	2,17	251,95	1,95	Si
30	42,33	317,00	-2,83	247,45	-2,55	Si
31	42,33	319,00	-0,83	249,25	-0,75	Si
32	42,33	319,00	-0,83	249,25	-0,75	Si
33	42,33	321,00	1,17	251,05	1,05	Si
34	42,33	318,00	-1,83	248,35	-1,65	Si
35	42,33	319,00	-0,83	249,25	-0,75	Si
36	42,33	319,00	-0,83	249,25	-0,75	Si
37	42,33	319,00	-0,83	249,25	-0,75	Si
38	42,33	319,00	-0,83	249,25	-0,75	Si
39	42,33	319,00	-0,83	249,25	-0,75	Si
40	42,33	320,00	0,17	250,15	0,15	Si
41	42,33	319,00	-0,83	249,25	-0,75	Si
42	42,33	318,00	-1,83	248,35	-1,65	Si
43	42,33	324,00	4,17	253,76	3,76	Si
44	42,33	319,00	-0,83	249,25	-0,75	Si
45	42,33	316,00	-3,83	246,55	-3,45	Si
46	42,33	319,00	-0,83	249,25	-0,75	Si
47	42,33	321,00	1,17	251,05	1,05	Si
48	42,33	319,00	-0,83	249,25	-0,75	Si
49	42,33	317,00	-2,83	247,45	-2,55	Si
50	42,33	324,00	4,17	253,76	3,76	Si

* Material de empaque consiste en envase, tapa, etiqueta y termoencogible.

Nota. Registros de estudio, adopción norma RTE INEN 284.

**Anexo 4: Cálculos Herbicida SX (250 ml)****Tabla 23** Cálculos Herbicida SX (250 ml) (Antes de DOE).

Suma Contenido Neto Real (ml)	(F) Contenido Neto Real Promedio (X) (ml)	(G) Promedio algebraico (X) \geq (Qn)	Nº unidades fuera de tolerancia:	(ii) Error T1 (ml)	(iii) Error T2 (ml)
12504,05	250,08	0,08	0	241,00	232,00
t Student (tc)	Qn (ml)	Tamaño de la muestra (n)	Desviación Estándar (s)	Valor (t)	(iii) tc < t
-0,18	250	50	3,13	2,67	Si cumple el lote con el promedio algebraico
(I) Peso bruto calculado (PBC) (gr)	(K) Error total producto (ETP)	Error promedio (EP)	Factor corrección de la muestra (FCM)	Error límite de la muestra (ELM)	Aprobado = (ELM + EP) > 0
319,83	4,50	0,09	0,379	3,50	3,59 (Muestra y lote aprobados)

Nota. Registros de estudio, adopción norma RTE INEN 284.

Tabla 24 Cálculos Herbicida SX (250 ml) (Después de DOE).

Suma Contenido Neto Real (ml)	(F) Contenido Neto Real Promedio (X) (ml)	(G) Promedio algebraico (X) \geq (Qn)	Nº unidades fuera de tolerancia:	(ii) Error T1 (ml)	(iii) Error T2 (ml)
12500,45	250,01	0,01	0	241,00	232,00
t Student (tc)	Qn (ml)	Tamaño de la muestra (n)	Desviación Estándar (s)	Valor (t)	(iii) tc < t
-0,03	250	50	1,96	2,67	Si cumple el lote con el promedio algebraico
(I) Peso bruto calculado (PBC) (gr)	(K) Error total producto (ETP)	Error promedio (EP)	Factor corrección de la muestra (FCM)	Error límite de la muestra (ELM)	Aprobado = (ELM + EP) > 0
319,83	0,50	0,01	0,379	2,34	2,35 (Muestra y lote aprobados)

Nota. Registros de estudio, adopción norma RTE INEN 284.



Anexo 5: Peso y volumen Fertilizante Foliar CAB (500 ml)

Tabla 25 Peso y volumen del Fertilizante Foliar CAB (500 ml) (Antes de DOE).

Nombre Producto:		Fertilizante Foliar CAB				
Contenido Neto Nominal (Qn) (ml):		500				
Densidad (ρ) (g/cm ³):		1,205				
(A) Tamaño del lote:		150				
(B) Tamaño de la muestra (n):		50				
(D) Nº unidades permitidas fuera de tolerancia:		3				
(C) Deficiencia tolerable (T) (ml):		15				
Nº	*Peso Material de Empaque (gr)	Peso Bruto Real Preenvasado (gr)	(H) Error del producto preenvasado individual	(E) Contenido Neto Real Preenvasado (ml)	(J) Deficiencia tolerable (ml)	(J) Aprobado = ± 15 ml
1	88,50	680,00	-11,00	490,87	-9,13	Si
2	88,50	676,00	-15,00	487,55	-12,45	Si
3	88,50	686,00	-5,00	495,85	-4,15	Si
4	88,50	683,00	-8,00	493,36	-6,64	Si
5	88,50	688,00	-3,00	497,51	-2,49	Si
6	88,50	685,00	-6,00	495,02	-4,98	Si
7	88,50	683,00	-8,00	493,36	-6,64	Si
8	88,50	684,00	-7,00	494,19	-5,81	Si
9	88,50	689,00	-2,00	498,34	-1,66	Si
10	88,50	675,00	-16,00	486,72	-13,28	Si
11	88,50	675,00	-16,00	486,72	-13,28	Si
12	88,50	685,00	-6,00	495,02	-4,98	Si
13	88,50	681,00	-10,00	491,70	-8,30	Si
14	88,50	683,00	-8,00	493,36	-6,64	Si
15	88,50	672,00	-19,00	484,23	-15,77	No
16	88,50	682,00	-9,00	492,53	-7,47	Si
17	88,50	683,00	-8,00	493,36	-6,64	Si
18	88,50	679,00	-12,00	490,04	-9,96	Si
19	88,50	677,00	-14,00	488,38	-11,62	Si
20	88,50	679,00	-12,00	490,04	-9,96	Si
21	88,50	684,00	-7,00	494,19	-5,81	Si
22	88,50	682,00	-9,00	492,53	-7,47	Si
23	88,50	691,00	0,00	500,00	0,00	Si
24	88,50	686,00	-5,00	495,85	-4,15	Si
25	88,50	684,00	-7,00	494,19	-5,81	Si
26	88,50	678,00	-13,00	489,21	-10,79	Si
27	88,50	677,00	-14,00	488,38	-11,62	Si
28	88,50	676,00	-15,00	487,55	-12,45	Si
29	88,50	680,00	-11,00	490,87	-9,13	Si
30	88,50	678,00	-13,00	489,21	-10,79	Si
31	88,50	678,00	-13,00	489,21	-10,79	Si
32	88,50	684,00	-7,00	494,19	-5,81	Si
33	88,50	682,00	-9,00	492,53	-7,47	Si
34	88,50	686,00	-5,00	495,85	-4,15	Si
35	88,50	680,00	-11,00	490,87	-9,13	Si
36	88,50	690,00	-1,00	499,17	-0,83	Si
37	88,50	680,00	-11,00	490,87	-9,13	Si
38	88,50	674,00	-17,00	485,89	-14,11	Si
39	88,50	671,00	-20,00	483,40	-16,60	No
40	88,50	677,00	-14,00	488,38	-11,62	Si
41	88,50	675,00	-16,00	486,72	-13,28	Si
42	88,50	678,00	-13,00	489,21	-10,79	Si
43	88,50	676,00	-15,00	487,55	-12,45	Si
44	88,50	679,00	-12,00	490,04	-9,96	Si
45	88,50	678,00	-13,00	489,21	-10,79	Si
46	88,50	679,00	-12,00	490,04	-9,96	Si
47	88,50	679,00	-12,00	490,04	-9,96	Si
48	88,50	675,00	-16,00	486,72	-13,28	Si
49	88,50	673,00	-18,00	485,06	-14,94	Si
50	88,50	679,00	-12,00	490,04	-9,96	Si

* Material de empaque consiste en envase, tapa, etiqueta y termoencogible.

Nota. Registros de estudio, adopción norma RTE INEN 284.

**Tabla 26** *Peso y volumen del Fertilizante Foliar CAB (500 ml) (Después de DOE).*

Nombre Producto:		Fertilizante Foliar CAB				
Contenido Neto Nominal (Qn) (ml):		500				
Densidad (ρ) (g/cm ³):		1,205				
(A) Tamaño del lote:		150				
(B) Tamaño de la muestra (n):		50				
(D) Nº unidades permitidas fuera de tolerancia:		3				
(C) Deficiencia tolerable (T) (ml):		15				
Nº	*Peso Material de Empaque (gr)	Peso Bruto Real Preenvasado (gr)	(H) Error del producto preenvasado individual	(E) Contenido Neto Real Preenvasado (ml)	(J) Deficiencia tolerable (ml)	(I) Aprobado = ± 15 ml
1	88,50	686,00	-5,00	495,85	-4,15	Si
2	88,50	688,00	-3,00	497,51	-2,49	Si
3	88,50	690,00	-1,00	499,17	-0,83	Si
4	88,50	690,00	-1,00	499,17	-0,83	Si
5	88,50	688,00	-3,00	497,51	-2,49	Si
6	88,50	686,00	-5,00	495,85	-4,15	Si
7	88,50	692,00	1,00	500,83	0,83	Si
8	88,50	688,00	-3,00	497,51	-2,49	Si
9	88,50	689,00	-2,00	498,34	-1,66	Si
10	88,50	690,00	-1,00	499,17	-0,83	Si
11	88,50	690,00	-1,00	499,17	-0,83	Si
12	88,50	693,00	2,00	501,66	1,66	Si
13	88,50	686,00	-5,00	495,85	-4,15	Si
14	88,50	685,00	-6,00	495,02	-4,98	Si
15	88,50	693,00	2,00	501,66	1,66	Si
16	88,50	694,00	3,00	502,49	2,49	Si
17	88,50	693,00	2,00	501,66	1,66	Si
18	88,50	691,00	0,00	500,00	0,00	Si
19	88,50	687,00	-4,00	496,68	-3,32	Si
20	88,50	692,00	1,00	500,83	0,83	Si
21	88,50	695,00	4,00	503,32	3,32	Si
22	88,50	693,00	2,00	501,66	1,66	Si
23	88,50	696,00	5,00	504,15	4,15	Si
24	88,50	690,00	-1,00	499,17	-0,83	Si
25	88,50	691,00	0,00	500,00	0,00	Si
26	88,50	692,00	1,00	500,83	0,83	Si
27	88,50	697,00	6,00	504,98	4,98	Si
28	88,50	691,00	0,00	500,00	0,00	Si
29	88,50	691,00	0,00	500,00	0,00	Si
30	88,50	691,00	0,00	500,00	0,00	Si
31	88,50	692,00	1,00	500,83	0,83	Si
32	88,50	693,00	2,00	501,66	1,66	Si
33	88,50	694,00	3,00	502,49	2,49	Si
34	88,50	694,00	3,00	502,49	2,49	Si
35	88,50	694,00	3,00	502,49	2,49	Si
36	88,50	692,00	1,00	500,83	0,83	Si
37	88,50	693,00	2,00	501,66	1,66	Si
38	88,50	691,00	0,00	500,00	0,00	Si
39	88,50	693,00	2,00	501,66	1,66	Si
40	88,50	692,00	1,00	500,83	0,83	Si
41	88,50	692,00	1,00	500,83	0,83	Si
42	88,50	693,00	2,00	501,66	1,66	Si
43	88,50	694,00	3,00	502,49	2,49	Si
44	88,50	692,00	1,00	500,83	0,83	Si
45	88,50	695,00	4,00	503,32	3,32	Si
46	88,50	692,00	1,00	500,83	0,83	Si
47	88,50	693,00	2,00	501,66	1,66	Si
48	88,50	692,00	1,00	500,83	0,83	Si
49	88,50	693,00	2,00	501,66	1,66	Si
50	88,50	691,00	0,00	500,00	0,00	Si

* Material de empaque consiste en envase, tapa, etiqueta y termoencogible.

Nota. Registros de estudio, adopción norma RTE INEN 284.

**Anexo 6: Cálculos Fertilizante Foliar CAB (500 ml)****Tabla 27** Cálculos Fertilizante Foliar CAB (500 ml) (Antes de DOE).

Suma Contenido Neto Real (ml)	(F) Contenido Neto Real Promedio (X) (ml)	(G) Promedio algebraico (X) \geq (Qn)	Nº unidades fuera de tolerancia:	(ii) Error T1 (ml)	(iii) Error T2 (ml)
24555,19	491,10	-8,90	2	485,00	470,00
t Student (tc)	Qn (ml)	Tamaño de la muestra (n)	Desviación Estándar (s)	Valor (t)	(iii) tc < t
16,27	500	50	3,87	2,67	No cumple el lote con el promedio algebraico
(I) Peso bruto calculado (PBC) (gr)	(K) Error total producto (ETP)	Error promedio (EP)	Factor corrección de la muestra (FCM)	Error límite de la muestra (ELM)	Aprobado = (ELM + EP) > 0
691	-536,00	-10,72	0,379	4,25	(-6,47) (Muestra y lote desaprobados)

Nota. Registros de estudio, adopción norma RTE INEN 284.

Tabla 28 Cálculos Fertilizante Foliar CAB (500 ml) (Después de DOE).

Suma Contenido Neto Real (ml)	(F) Contenido Neto Real Promedio (X) (ml)	(G) Promedio algebraico (X) \geq (Qn)	Nº unidades fuera de tolerancia:	(ii) Error T1 (ml)	(iii) Error T2 (ml)
25019,09	500,38	0,38	0	485,00	470,00
t Student (tc)	Qn (ml)	Tamaño de la muestra (n)	Desviación Estándar (s)	Valor (t)	(iii) tc < t
-1,23	500	50	2,19	2,67	Si cumple el lote con el promedio algebraico
(I) Peso bruto calculado (PBC) (gr)	(K) Error total producto (ETP)	Error promedio (EP)	Factor corrección de la muestra (FCM)	Error límite de la muestra (ELM)	Aprobado = (ELM + EP) > 0
691	23,00	0,46	0,379	2,57	3,03 (Muestra y lote aprobados)

Nota. Registros de estudio, adopción norma RTE INEN 284.



Anexo 7: Peso y volumen Insecticida Orgánico CN (1000 ml)

Tabla 29 Peso y volumen Insecticida Orgánico CN (1000 ml) (Antes de DOE).

Nombre Producto:		Insecticida Orgánico CN				
Contenido Neto Nominal (Qn) (ml):		1000				
Densidad (p) (g/cm ³):		1,00				
(A) Tamaño del lote:		150				
(B) Tamaño de la muestra (n):		50				
(D) Nº unidades permitidas fuera de tolerancia:		3				
(C) Deficiencia tolerable (T) (ml):		15				
Nº	*Peso Material de Empaque (gr)	Peso Bruto Real Preenvasado (gr)	(H) Error del producto preenvasado individual	(E) Contenido Neto Real Preenvasado (ml)	(J) Deficiencia tolerable (ml)	(J) Aprobado = ± 15 ml
1	104,29	1117,00	12,71	1012,71	12,71	Si
2	104,29	1103,00	-1,29	998,71	-1,29	Si
3	104,29	1110,00	5,71	1005,71	5,71	Si
4	104,29	1110,00	5,71	1005,71	5,71	Si
5	104,29	1106,00	1,71	1001,71	1,71	Si
6	104,29	1112,00	7,71	1007,71	7,71	Si
7	104,29	1116,00	11,71	1011,71	11,71	Si
8	104,29	1108,00	3,71	1003,71	3,71	Si
9	104,29	1105,00	0,71	1000,71	0,71	Si
10	104,29	1110,00	5,71	1005,71	5,71	Si
11	104,29	1105,00	0,71	1000,71	0,71	Si
12	104,29	1110,00	5,71	1005,71	5,71	Si
13	104,29	1105,00	0,71	1000,71	0,71	Si
14	104,29	1109,00	4,71	1004,71	4,71	Si
15	104,29	1114,00	9,71	1009,71	9,71	Si
16	104,29	1111,00	6,71	1006,71	6,71	Si
17	104,29	1107,00	2,71	1002,71	2,71	Si
18	104,29	1105,00	0,71	1000,71	0,71	Si
19	104,29	1114,00	9,71	1009,71	9,71	Si
20	104,29	1112,00	7,71	1007,71	7,71	Si
21	104,29	1107,00	2,71	1002,71	2,71	Si
22	104,29	1116,00	11,71	1011,71	11,71	Si
23	104,29	1116,00	11,71	1011,71	11,71	Si
24	104,29	1104,00	-0,29	999,71	-0,29	Si
25	104,29	1118,00	13,71	1013,71	13,71	Si
26	104,29	1112,00	7,71	1007,71	7,71	Si
27	104,29	1118,00	13,71	1013,71	13,71	Si
28	104,29	1107,00	2,71	1002,71	2,71	Si
29	104,29	1115,00	10,71	1010,71	10,71	Si
30	104,29	1108,00	3,71	1003,71	3,71	Si
31	104,29	1107,00	2,71	1002,71	2,71	Si
32	104,29	1111,00	6,71	1006,71	6,71	Si
33	104,29	1109,00	4,71	1004,71	4,71	Si
34	104,29	1108,00	3,71	1003,71	3,71	Si
35	104,29	1104,00	-0,29	999,71	-0,29	Si
36	104,29	1111,00	6,71	1006,71	6,71	Si
37	104,29	1109,00	4,71	1004,71	4,71	Si
38	104,29	1112,00	7,71	1007,71	7,71	Si
39	104,29	1112,00	7,71	1007,71	7,71	Si
40	104,29	1108,00	3,71	1003,71	3,71	Si
41	104,29	1110,00	5,71	1005,71	5,71	Si
42	104,29	1109,00	4,71	1004,71	4,71	Si
43	104,29	1115,00	10,71	1010,71	10,71	Si
44	104,29	1108,00	3,71	1003,71	3,71	Si
45	104,29	1115,00	10,71	1010,71	10,71	Si
46	104,29	1113,00	8,71	1008,71	8,71	Si
47	104,29	1111,00	6,71	1006,71	6,71	Si
48	104,29	1108,00	3,71	1003,71	3,71	Si
49	104,29	1105,00	0,71	1000,71	0,71	Si
50	104,29	1113,00	8,71	1008,71	8,71	Si

* Material de empaque consiste en envase, tapa, etiqueta y termoencogible.

Nota. Registros de estudio, adopción norma RTE INEN 284.



Tabla 30 Peso y volumen Insecticida Orgánico CN (1000 ml) (Después de DOE).

Nombre Producto:		Insecticida Orgánico CN				
Contenido Neto Nominal (Qn) (ml):		1000				
Densidad (ρ) (g/cm³):		1,00				
(A) Tamaño del lote:		150				
(B) Tamaño de la muestra (n):		50				
(D) Nº unidades permitidas fuera de tolerancia:		3				
(C) Deficiencia tolerable (T) (ml):		15				
Nº	*Peso Material de Empaque (gr)	Peso Bruto Real Preenvasado (gr)	(H) Error del producto preenvasado individual	(E) Contenido Neto Real Preenvasado (ml)	(J) Deficiencia tolerable (ml)	(J) Aprobado = ± 15 ml
1	104,29	1103,00	-1,29	998,71	-1,29	Si
2	104,29	1104,00	-0,29	999,71	-0,29	Si
3	104,29	1102,00	-2,29	997,71	-2,29	Si
4	104,29	1103,00	-1,29	998,71	-1,29	Si
5	104,29	1105,00	0,71	1000,71	0,71	Si
6	104,29	1104,00	-0,29	999,71	-0,29	Si
7	104,29	1102,00	-2,29	997,71	-2,29	Si
8	104,29	1102,00	-2,29	997,71	-2,29	Si
9	104,29	1108,00	3,71	1003,71	3,71	Si
10	104,29	1104,00	-0,29	999,71	-0,29	Si
11	104,29	1101,00	-3,29	996,71	-3,29	Si
12	104,29	1102,00	-2,29	997,71	-2,29	Si
13	104,29	1104,00	-0,29	999,71	-0,29	Si
14	104,29	1108,00	3,71	1003,71	3,71	Si
15	104,29	1107,00	2,71	1002,71	2,71	Si
16	104,29	1105,00	0,71	1000,71	0,71	Si
17	104,29	1108,00	3,71	1003,71	3,71	Si
18	104,29	1102,00	-2,29	997,71	-2,29	Si
19	104,29	1105,00	0,71	1000,71	0,71	Si
20	104,29	1102,00	-2,29	997,71	-2,29	Si
21	104,29	1107,00	2,71	1002,71	2,71	Si
22	104,29	1103,00	-1,29	998,71	-1,29	Si
23	104,29	1106,00	1,71	1001,71	1,71	Si
24	104,29	1110,00	5,71	1005,71	5,71	Si
25	104,29	1103,00	-1,29	998,71	-1,29	Si
26	104,29	1105,00	0,71	1000,71	0,71	Si
27	104,29	1103,00	-1,29	998,71	-1,29	Si
28	104,29	1101,00	-3,29	996,71	-3,29	Si
29	104,29	1101,00	-3,29	996,71	-3,29	Si
30	104,29	1101,00	-3,29	996,71	-3,29	Si
31	104,29	1103,00	-1,29	998,71	-1,29	Si
32	104,29	1106,00	1,71	1001,71	1,71	Si
33	104,29	1102,00	-2,29	997,71	-2,29	Si
34	104,29	1101,00	-3,29	996,71	-3,29	Si
35	104,29	1106,00	1,71	1001,71	1,71	Si
36	104,29	1106,00	1,71	1001,71	1,71	Si
37	104,29	1102,00	-2,29	997,71	-2,29	Si
38	104,29	1105,00	0,71	1000,71	0,71	Si
39	104,29	1105,00	0,71	1000,71	0,71	Si
40	104,29	1104,00	-0,29	999,71	-0,29	Si
41	104,29	1105,00	0,71	1000,71	0,71	Si
42	104,29	1107,00	2,71	1002,71	2,71	Si
43	104,29	1103,00	-1,29	998,71	-1,29	Si
44	104,29	1108,00	3,71	1003,71	3,71	Si
45	104,29	1101,00	-3,29	996,71	-3,29	Si
46	104,29	1105,00	0,71	1000,71	0,71	Si
47	104,29	1103,00	-1,29	998,71	-1,29	Si
48	104,29	1101,00	-3,29	996,71	-3,29	Si
49	104,29	1102,00	-2,29	997,71	-2,29	Si
50	104,29	1104,00	-0,29	999,71	-0,29	Si

* Material de empaque consiste en envase, tapa, etiqueta y termoencogible.

Nota. Registros de estudio, adopción norma RTE INEN 284.

**Anexo 8: Cálculos Insecticida Orgánico CN (1000 ml)****Tabla 31** *Cálculos Insecticida Orgánico CN (1000 ml) (Antes de DOE).*

Suma Contenido Neto Real (ml)	(F) Contenido Neto Real Promedio (X) (ml)	(G) Promedio algebraico $(X) \geq (Qn)$	Nº unidades fuera de tolerancia:	(ii) Error T1 (ml)	(iii) Error T2 (ml)
50293,50	1005,87	5,87	0	985,00	970,00
t Student (tc)	Qn (ml)	Tamaño de la muestra (n)	Desviación Estándar (s)	Valor (t)	(iii) tc < t
-10,55	1000	50	3,93	2,67	Si cumple el lote con el promedio algebraico
(I) Peso bruto calculado (PBC) (gr)	(K) Error total producto (ETP)	Error promedio (EP)	Factor corrección de la muestra (FCM)	Error límite de la muestra (ELM)	Aprobado = (ELM + EP) > 0
1104,29	293,50	5,87	0,379	4,31	10,26 (Muestra y lote aprobados)

Nota. Registros de estudio, adopción norma RTE INEN 284.

Tabla 32 *Cálculos Insecticida Orgánico CN (1000 ml) (Después de DOE).*

Suma Contenido Neto Real (ml)	(F) Contenido Neto Real Promedio (X) (ml)	(G) Promedio algebraico $(X) \geq (Qn)$	Nº unidades fuera de tolerancia:	(ii) Error T1 (ml)	(iii) Error T2 (ml)
49985,50	999,71	-0,29	0	985,00	970,00
t Student (tc)	Qn (ml)	Tamaño de la muestra (n)	Desviación Estándar (s)	Valor (t)	(iii) tc < t
0,89	1000	50	2,29	2,67	No cumple el lote con el promedio algebraico
(I) Peso bruto calculado (PBC) (gr)	(K) Error total producto (ETP)	Error promedio (EP)	Factor corrección de la muestra (FCM)	Error límite de la muestra (ELM)	Aprobado = (ELM + EP) > 0
1104,29	-14,50	-0,29	0,379	2,67	2,38 (Muestra y lote aprobados)

Nota. Registros de estudio, adopción norma RTE INEN 284.

**Anexo 9: Niveles sigma y rendimiento del proceso****Tabla 33** *Niveles sigma y rendimiento.*

Rendimiento (%)	DPMO	Nivel Sigma
6.68	933200	0
8.455	915450	0.125
10.56	894400	0.25
13.03	869700	0.375
15.87	841300	0.5
19.08	809200	0.625
22.66	773400	0.75
26.595	734050	0.875
30.85	691500	1
35.435	645650	1.125
40.13	598700	1.25
45.025	549750	1.375
50	500000	1.5
54.975	450250	1.625
59.87	401300	1.75
64.565	354350	1.875
69.15	308500	2
73.405	265950	2.125
77.34	226600	2.25
80.92	190800	2.375
84.13	158700	2.5
86.97	130300	2.625
89.44	105600	2.75
91.545	84550	2.875
93.32	66800	3
94.79	52100	3.125
95.99	40100	3.25
96.96	30400	3.375
97.73	22700	3.5
98.32	16800	3.625
98.78	12200	3.75
99.12	8800	3.875
99.38	6200	4
99.565	4350	4.125
99.7	3000	4.25
99.795	2050	4.375
99.87	1300	4.5
99.91	900	4.625
99.94	600	4.75
99.96	400	4.875
99.977	230	5
99.982	180	5.125
99.987	130	5.25
99.992	80	5.375
99.997	30	5.5
9.999.767	23.35	5.625
9.999.833	16.7	5.75
99.999	10.05	5.875
9.999.966	3.4	6

Nota. Tabla tomada de Vanegas (2015). Fuente: Pande, P., & Larry, H. (2002). What is six sigma? New York: McGraw-Hill.

**Anexo 10: Pérdidas y ganancias económicas (Antes y después de DMAIC)****Tabla 34** *Pérdidas económicas anuales (Antes de DMAIC).*

Datos	Regulador Crecimiento PH (100 ml)	Herbicida SX (250 ml)	Fertilizante Foliar CAB (500 ml)	Insecticida Orgánico CN (1000 ml)
Contenido Neto Real Promedio (X) (ml)	98	250,08	491,1	1005,87
Contenido Neto Nominal (ml)	100	250	500	1000
Desviación Estándar (s)	2,02	3,13	3,87	3,93
Unidades Vendidas Anualmente	38000	25000	23000	36000
Excedencia o Escasez de Contenido Anual (litros)	76	-2	204,7	-211,32
Cumplimiento RTE INEN 284	SI	SI	No	SI
Equivalente Económico (\$)	\$ 494,76	-\$ 15,00	\$ 1.310,08	-\$ 6.278,32
Total Pérdidas Anuales (\$)				-\$ 4.488,48

Nota. La tabla muestra los valores económicos anuales que representan la escasez (valor positivo) y la excedencia (valor negativo) de producto en los distintos lotes.

Tabla 35 *Ganancias económicas anuales (Después de DMAIC).*

Datos	Regulador Crecimiento PH (100 ml)	Herbicida SX (250 ml)	Fertilizante Foliar CAB (500 ml)	Insecticida Orgánico CN (1000 ml)
Contenido Neto Real Promedio (X) (ml)	99,46	250,01	500,38	999,71
Contenido Neto Nominal (ml)	100	250	500	1000
Desviación Estándar (s)	1,76	1,96	2,19	2,29
Unidades Vendidas Anualmente	38000	25000	23000	36000
Excedencia o Escasez de Contenido Anual (litros)	20,52	-0,25	-8,74	10,44
Cumplimiento RTE INEN 284	SI	SI	SI	SI
Equivalente Económico (\$)	\$ 133,59	-\$ 1,87	-\$ 55,94	\$ 310,17
Total Ganancias Anuales (\$)				\$ 385,95

Nota. La tabla muestra los valores económicos anuales que representan la escasez (valor positivo) y la excedencia (valor negativo) de producto en los distintos lotes.