

Propuesta de mejoramiento del proceso de producción de fertilizantes granulados de la empresa Feragrocol S.AS (Junio 2021)

Laura María Cuellar Chacón¹ Estudiante de Ingeniería Industrial y Carlos Andrés Garzón Barragán² Estudiante de Ingeniería Industrial

Resumen—El presente artículo es el resultado de una investigación cualitativa, efectuada en la empresa Feragrocol S.A.S, siendo su principal propósito realizar una propuesta de mejoramiento para el proceso de producción de fertilizantes granulados. Se empleó la metodología exploratoria descriptiva con método inductivo-descriptivo sobre dos líneas de fertilizantes, Silix Foz y Sol Producción. Se obtuvo como resultado que el principal problema es la gestión inadecuada de los recursos de la cadena productiva de fertilizantes granulados, enfatizando en las áreas de estandarización de procesos, distribución de planta, y control estadístico de la calidad. Se estandariza las líneas de producción estudiadas teniendo en cuenta los recursos disponibles y el análisis de los factores que afectan la distribución de la planta, estableciendo propuestas de mejora que permiten la disminución del tiempo de ciclo en un 22% y 21% con un balanceo de línea del 97% y 87% para Sol Producción y Silix Foz respectivamente, y se determinó que el proceso de fabricación no es capaz de cumplir con las especificaciones de granulometría establecidas por la compañía a través cálculo de los índices de capacidad del proceso. Finalmente, se verifica la viabilidad de la propuesta de mejora por medio de un estudio financiero.

Palabras Claves— Fertilizantes granulados, línea de producción, mejoramiento de proceso, proceso.

Abstract— This article resulted from a qualitative investigation carried out in the company Feragrocol SAS and its principal purpose is to make an improvement proposal for the granular fertilizer production process. The descriptive exploratory methodology used an inductive-descriptive method on two lines for fertilizers, Silix Foz and Sol Producción. As a result, the main problem is the inadequate management of resources during the production chain of granulated fertilizers, emphasizing areas like standardization of processes, plant distribution, and statistical quality control. The production lines studied are standardized by taking into account the available resources and the analysis of the factors that affect the distribution of the plant, establishing improvement proposals that allow the reduction of the cycle time by 22% and 21% with a balance of 97% and 87% for Sol Producción and Silix Foz respectively, and it has determined that the manufacturing process is not capable of meeting the granulometry specifications established by the company through the calculation of process capacity indexes. Finally, a financial study verified the viability of the improvement proposal.

Keywords— Granular fertilizers, manufacturing, process improvement, process.

I. INTRODUCCIÓN

Inicialmente es importante tener claridad acerca de la definición del mejoramiento de procesos, ya que es el tema de interés del presente artículo, siendo el análisis de un grupo de actividades relacionadas entre sí, con el objeto de modificarlas para que sean eficientes, adaptables y generen valor [1]. En la actualidad, el concepto es utilizado como uno de los ejes principales de las grandes industrias manufactureras para el logro de sus objetivos, y que de esta manera permita su sostenibilidad en el mercado, logrando una ventaja competitiva ante las pequeñas empresas del sector, debido a que poseen los recursos necesarios para implementar los modelos de mejora continua y obtener los mejores resultados.

En este caso, Toyota ha sido un referente global desde hace algunas décadas por su filosofía empresarial, donde el modelo que desarrollaron, ha sido la base para las organizaciones en busca de emplear las herramientas de producción ajustadas y la mejora de sus sistemas productivos [2]. Sin embargo, existen diversas metodologías o modalidades para llevar a cabo el cambio en una organización, como por ejemplo, algunas de las herramientas Lean más aplicadas para la mejora de los procesos, como el Value Stream Mapping, las 5s, SMED y Kaizen, con lo que se demuestra que los principales problemas que afectan la industria están asociados con la flexibilidad de los procesos de producción, el análisis de valor y el orden y aseo [3]. También existen herramientas diferentes al Lean Manufacturing, donde autores han descrito aproximaciones que giran alrededor del análisis sistemático de las actividades y los flujos de los procesos, con el fin de mejorarlos. [4]

A nivel de las pymes, se identifican tres barreras que impiden la implementación de los modelos de mejora continua, la falta de compromiso por parte de las instituciones, la falta de conocimiento sobre las herramientas y la escasez de recursos económicos para la inversión en mejoramiento [3]. Por tal motivo, se incrementa la preocupación de los gobiernos para apoyar a las medianas y pequeñas empresas en su crecimiento económico, fomentando la creación de proyectos en Colombia, que han proporcionado acompañamiento y asesoría de profesionales expertos a las Pymes de la región, mostrando resultados notables en la disminución de tiempos, mermas en

¹Laura María Cuellar Chacón. Email: Laura.cuellar2@estudiantes.uamerica.edu.co

²Carlos Andrés Garzón Barragán. Email: Carlos.garzon2@estudiantes.uamerica.edu.co

defectos y aumento de la eficiencia de sus procesos, mediante la implementación de estándares e instructivos de trabajo, herramientas de reporte y análisis de anomalías, y sensibilización acerca de la importancia de las 5's. [5]

La empresa objeto de estudio de la presente investigación, Feragrocol, es una Pyme Colombiana localizada en la ciudad de Ibagué. Su razón económica está enfocada en la producción y comercialización de fertilizantes granulados a base de silicio, lo que la posiciona en el sector económico agrícola; sector, que a nivel nacional e internacional viene presentando retos con el fin de proporcionar un mayor número de alimentos, teniendo en cuenta que la población se encuentra en continuo crecimiento, y se ha previsto para el año 2030 la población mundial ascienda 8.500 millones de personas y para el año 2050 aproximadamente 9.700 millones, según un informe de las naciones unidas [6]. Por consiguiente, es preciso aumentar las superficies de cultivo para satisfacer las necesidades de alimento para la población futura, y esto es una posibilidad cada vez más limitada en países desarrollados. De manera que es necesario proporcionar a los suelos fuentes de nutrientes adicionales en formas asimilables por las plantas, siendo posible mediante la utilización de fertilizantes minerales, cuya aplicación generan efectos considerables en el rendimiento de las cosechas [7].

Este panorama incentiva a que Feragrocol S.A.S, se interese por gestionar sus recursos y mejorar sus procesos de la cadena productiva, con el fin de aumentar su rentabilidad y sostenibilidad en el mercado competitivo. Adicional, internamente en la compañía se observan diferentes problemáticas presentes en el proceso de producción de fertilizantes granulados, relacionados con la inadecuada distribución de materiales e insumos, pérdida de tiempo por movimientos innecesarios, desperdicios de material y reprocesos por incumplimiento de parámetros de calidad. El análisis de las causas identificadas, con lleva a plantear el interrogante, acerca de la forma en la que se puede mejorar el proceso de producción de fertilizantes granulados de la empresa Feragrocol S.A.S, centrando la investigación en realizar una propuesta de mejoramiento para sus procesos, por medio de cuatro objetivos específicos:

- Elaborar un diagnóstico del proceso productivo de los fertilizantes granulados analizando los factores críticos que afectan su desempeño.
- Realizar un estudio de tiempos y distribución en planta que permita la estandarización de los métodos de trabajo considerando los recursos disponibles en el proceso de producción de fertilizantes granulados.
- Realizar un estudio del control estadístico de la calidad determinando los estándares del proceso de producción de fertilizantes granulados.
- Estimar los costos y beneficios de la propuesta.

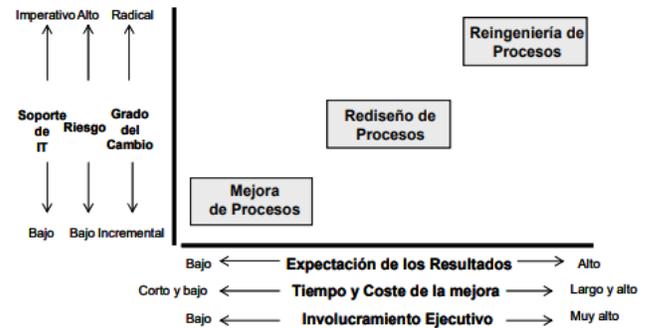
Además, es relevante tener en cuenta las corrientes teóricas necesarias para el cumplimiento de los objetivos, como lo es el mejoramiento de procesos, estudio de tiempos, distribución en planta y control estadístico de la calidad.

A. Mejoramiento de procesos

La mejora continua de procesos se puede agrupar en tres dimensiones principales, como se observa en la figura 1. [8]

Figura 1.

Tres aproximaciones a la mejora continua de procesos



Nota. En la figura se muestra el enfoque para el mejoramiento de proceso, tomado de Suárez, 2007.

El enfoque del mejoramiento de procesos que mejor se adecua para el presente artículo de investigación es el rediseño de procesos, debido al alcance del proyecto y tiempo de realización de las actividades para el cumplimiento de los objetivos planteados. Adicional, este enfoque genera expectativa de los resultados y permite el activo involucramiento del personal a un nivel medio, las propuestas de mejora que genera como resultado son de corte radical con un riesgo medio, y gran parte de las actividades de los procesos en los que se busca mejorar, tienen que ser documentadas, graficadas y mapeadas a través de herramientas específicas facilitando la tecnología de información.

Este enfoque está constituido por tres alternativas metodológicas, la primera radica en los procesos de benchmarking, en la que se realiza una comparación del proceso a mejorar con respecto a otros procesos similares en la industria. La segunda es el rediseño de los procesos, donde se impulsa una visión estratégica relacionada con la operación mediante la gestión y mejora de los procesos críticos, permitiendo a la operación ser práctica y consistente. Por último, se encuentra el diseño de nuevos procesos, también denominado innovación de procesos, este enfoque apoya la creación de un panorama ideal de funcionamiento de los procesos, y busca el rediseño completo, empezando desde cero.

Adicional, las dos herramientas más utilizadas, a parte de las técnicas previamente mencionadas, son los diagramas de flujo y los mapas de procesos. El diagrama de flujo es útil para entender gráficamente las actividades de un proceso real y/o propuesto, y registrar el tiempo que consume cada operación, entendiendo los movimientos de los operarios con el fin de mejorar el flujo de trabajo, eliminando pasos que no generan valor y reduciendo el tiempo, y el mapa de procesos, es una herramienta cuyo objetivo es brindar un mecanismo para analizar un proceso o parte del mismo, ofreciendo una visión general. [8]

B. Estudio de tiempo

En el año 1881 Frederick Taylor, generó conceptos sobre el diseño del trabajo y la medición de las operaciones que realizaban los obreros, por medio de un cronómetro, dando así inicio al estudio de los métodos de trabajo y estandarización de tiempos de las actividades repetitivas en los procesos, siendo su propósito determinar el tiempo estándar de un método de trabajo, para que sea eficiente y económico, considerando las necesidades de los trabajadores y de la empresa.

Para llevar a cabo el estudio de tiempos, se disponen de un conjunto de técnicas tales como registros del pasado, estimaciones de tiempo, análisis de película, y estudios de tiempos con cronómetro. El proceso para el cálculo del tiempo estándar esta descrito por los siguientes pasos.

- Seleccionar la operación.
- Seleccionar al operario.
- Identificar los elementos.
- Calcular el tamaño de la muestra ideal para el estudio de tiempos, mediante métodos estadísticos utilizando la ecuación descrita en la **Ecuación 1**, o recurrir a la guía aproximada para el número de ciclos que se deben observar establecida por General Electric Company en la **Tabla 1**.

Ecuación 1.

Número de observaciones requerida

$$n = \left(\frac{ts}{k\bar{x}} \right)^2$$

Nota. Tomado del libro Ingeniería industrial, métodos, estándares y diseño del trabajo de B. W. Niebel

Donde,

n = número de observaciones requeridas

\bar{x} = Media muestral

s = Desviación estándar

k = una fracción aceptable de \bar{x}

t = Dato de distribución t – student

Tabla 1.

Número recomendado de ciclos de observación por General Electric Company

Tiempo de ciclo en (minutos)	Numero recomendado de ciclos
0,10	200
0,25	100
0,50	60
0,75	40
1,00	30
2,00	20
2,00-5,00	15
5,00-10,00	10
10,00-20,00	8
20,00-40,00	5
40,00 o más	3

Nota. Tomado del libro Ingeniería industrial, métodos, estándares y diseño del trabajo de B. W Niebel.

- Registrar los valores de los tiempos tomados.

- Calificar el desempeño del operario (Tiempo normal). Para ello existen diversos métodos, sin embargo el establecido para el presente estudio es el sistema de Westinghouse. Este sistema considera cuatro factores para evaluar el desempeño del operario (habilidad, esfuerzo, condiciones y consistencia). [10]
- Adicionar suplementos (Tiempo estándar). La organización internacional del trabajo (OIT) reconoce dos tipos de suplementos, los constantes, relacionados a las necesidades personales, y los variables, los cuales dependen de las características específicas de cada puesto de trabajo.

C. Distribución en planta

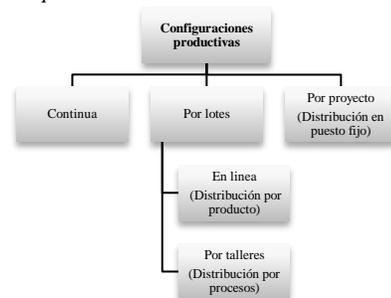
La distribución en planta es el ordenamiento físico de los procesos productivos dentro de las instalaciones de una empresa, siendo una decisión estratégica, que permite establecer la eficiencia de las operaciones al largo plazo, eliminado aquellos factores que impiden el correcto funcionamiento, trayendo ventajas a las organizaciones en la disminución de tiempos y riesgos, mejoras en la circulación de los materiales y personal, entre otros. [11]

Adicionalmente, existen tres tipos básicos de distribución como se observa en la **Figura 2**. La distribución por producto corresponde a la en línea y a la continua, ya que se utiliza para fabricar gran cantidad de productos estandarizados en series de fabricación, es decir los puestos de trabajo se sitúan uno al lado del otro siguiendo el orden de los procesos y el producto va pasando por ellos, saltando aquella estación de trabajo de la que no requiera actividad. La distribución por proceso, corresponde a la distribución por talleres, que se emplea cuando la producción se realiza en lotes pequeños de tamaño variable y de una amplia variedad, estando obligada a disponer de una distribución flexible, y la distribución por puesto fijo recae a la configuración productiva por proyecto y se utiliza para la elaboración de determinados productos que, por su tamaño, deben permanecer en una posición fija, siendo los recursos los que se trasladan.

Finalmente, otro tipo de distribución es la configuración híbrida entre la distribución por producto y por proceso, donde se crea las denominadas distribuciones celulares o células de trabajo, en cuyo caso el personal y las máquinas estarían dispersos en diferentes partes del proceso, situándose temporalmente en islas dedicadas a la fabricación de un único producto o familia de productos que requiere operaciones similares. [9]

Figura 2.

Configuraciones productivas



Nota. En la figura se muestra las configuraciones productivas con su tipo de distribución en planta.

Para la distribución en planta, se requiere una idea de los diversos elementos o detalles implicados en la distribución y de las diferentes consideraciones a tener en cuenta, ya que puede afectar la disposición de los mismos, por lo tanto se analizan ocho factores que tienen influencia sobre cualquier distribución, denominados material, maquinaria, hombre, movimiento, espera, servicio, edificio y cambio.

D. Control estadístico de la calidad

En 1924, un grupo de investigadores dirigidos por Walter A. Shewart, contemplaron las exigencias que presentaban los métodos de inspección, por lo que propusieron la aplicación de técnicas estadísticas para el control de calidad y los fundamentos del muestreo estadístico, con las que pretendían ir más allá de una revisión, ya que se buscaba identificar y eliminar las causas que generan los productos no conformes, y así permitir a las organizaciones un mejoramiento continuo [12].

Por su parte, el control estadístico de la calidad es la aplicación de estas técnicas estadísticas, tomando en cuenta la variación de los procesos, con el fin de conseguir beneficios a la empresa que lo utiliza, ya que permite identificar las causas que afectan la calidad de sus productos y posteriormente establecer mejoras para controlar sus características.

En un proceso las variables de entrada y de salida deben cumplir con ciertos estándares que permiten identificar su eficiente funcionamiento, para ello, existen diversas técnicas de análisis de variables, como lo son la estadística inferencial y descriptiva.

1) Estadística inferencial.

Tiene como objetivo establecer las características de una población o proceso con base en una muestra. La inferencia, por lo regular se divide en estimación y prueba de hipótesis, y se apoya en cantidades o estadísticos calculados a partir de las observaciones de la muestra.

En la interpretación y utilización de los estadísticos, es clave conocer la distribución de probabilidad, porque es la forma de tener presente la aleatoriedad de la variable, ya que esta depende de los elementos que son seleccionados en la muestra, y así mismo saber qué pruebas se pueden llevar a cabo en el contraste estadístico. Las distribuciones de probabilidad que se emplean comúnmente en intervalos de confianza y pruebas de hipótesis son la distribución normal, T de Student, ji-cuadrada y F de Fisher. [13]

Existen pruebas para verificar la normalidad, entre la que se encuentran, la prueba de significación estadística Kolmogorov Smirnov, o prueba K-S, cuyo objetivo es comprobar que los datos de la muestra proceden de una distribución normal. Se emplea para variables cuantitativas continuas. [14]

Para calcular el tamaño de la muestra es necesario emplear la

ecuación establecida en la **Ecuación 2**, logrando que la estimación de una media poblacional (μ) tenga como error máximo (E).

Ecuación 2.

Tamaño de la muestra

$$n = \frac{Z_{(\alpha/2, n-1)}^2 S^2}{E^2}$$

Nota. Tomado del libro Control estadístico de la calidad y seis sigma de H. Gutiérrez y R. Salazar.

2) Estadística descriptiva

Se utiliza para el análisis de variables de tipo continuo, sirve para entender la capacidad de un proceso, es decir la amplitud de la variación del proceso para una característica de calidad dada, permitiendo determinar si se cumple con las especificaciones establecidas.

El primer aspecto que se debe investigar, es conocer la tendencia central de los datos, identificando un valor hacia el que los datos tienden a concentrarse, para ello existen diversas medidas de tendencia central, como lo es la media, la mediana y la moda. Además de conocer la tendencia central, es necesario saber la variabilidad o dispersión de los datos, por consiguiente se puede utilizar el rango, el coeficiente de variación y la desviación estándar muestral, medidas usuales que indican la variabilidad y qué tan dispersos están los datos con respecto a la media. Para mejor visualización de estos parámetros, se utiliza el histograma, el cual permite representar gráficamente la distribución de los datos y posteriormente establecer los límites reales, donde se indican los puntos entre los cuales varía la salida del proceso y está definido por las siguientes ecuaciones ubicadas en la Ecuación 3 y 4.

Ecuación 3.

Limite real inferior

$$LRI = \mu - 3\sigma$$

Nota. Tomado del libro Control estadístico de la calidad y seis sigma de H. Gutiérrez y R. Salazar.

Ecuación 4.

Limite real superior

$$LRS = \mu + 3\sigma$$

Nota. Tomado del libro Control estadístico de la calidad y seis sigma de H. Gutiérrez y R. Salazar.

Adicional, existen diferentes índices para conocer si las variables de salida de los procesos cumplen satisfactoriamente las características del producto y el valor nominal establecido. Para ello en el presente estudio, se tiene en cuenta los índices de capacidad con doble especificación a corto plazo como el C_p , C_i , C_r , C_{pk} , índice K, índice C_{pm} o de Taguchi y las métricas seis sigma como se especifica en la **Tabla 2**.

Tabla 2.
Índices de Capacidad y métrica seis sigma

<i>Índice</i>	<i>Descripción</i>	<i>Ecuación</i>
C_p (Índice de capacidad potencial del proceso)	Es el resultado de dividir la variación tolerada entre la amplitud de la variación natural del proceso. También se debe evaluar por separado el cumplimiento de las especificación de calidad superior e inferior por medio del indicador de capacidad C_{pi} y C_{ps} .	$C_p = \frac{ES - EI}{6\sigma}$ $C_{pi} = \frac{\mu - EI}{3\sigma}$ $C_{ps} = \frac{ES - \mu}{3\sigma}$
C_r (Razón de capacidad potencial)	Representa la proporción de la banda de especificaciones que es cubierta por el proceso,	$C_r = \frac{6\sigma}{ES - EI}$
C_{pk} (Índice de capacidad real de un proceso)	Este es igual al valor mínimo entre el C_{pi} y C_{ps} .	$C_{pk} = \text{Minimo} \left[\frac{\mu - EI}{3\sigma}, \frac{ES - \mu}{3\sigma} \right]$
Índice K	Señala que tan centrada esta la distribución de un proceso con respecto a sus especificaciones.	$K = \frac{\mu - N}{\frac{1}{2}(ES - EI)}$
C_{pm} (Índice Taguchi)	Este indicador tiene no solo toma la variabilidad del proceso, sino que tiene presente el centrado, es decir está orientado a reducir su variabilidad a través del valor nominal, y así cumplir con las especificaciones.	$C_{pm} = \frac{ES - EI}{6\tau}$ $\tau = \sqrt{\sigma^2 + (\mu - N)^2}$
Métrica seis sigma Índice Z	Es otra manera de medir la capacidad del proceso, cuyo propósito es calcular la distancia entre las especificaciones y media del proceso en unidades de la desviación estándar.	$Z_s = \frac{ES - \mu}{\sigma}$ $Z_i = \frac{\mu - EI}{\sigma}$
Donde	σ = Desviación estándar del proceso	
ES = Especificación superior	μ = Media del proceso a una de las especificaciones	
EI = Especificación inferior	N = Valor nominal	

Nota. Con base del libro Control estadístico de la calidad y seis sigma de H. Gutiérrez y R. Salazar

II. METODOLOGÍA

La presente propuesta es una investigación aplicada, de tipo cualitativo con método inductivo-descriptivo, por ello el proyecto utilizará diferentes herramientas para la recolección de datos y caracterizará las actividades del proceso de producción de fertilizantes para su respectivo análisis, describiendo el comportamiento de la situación actual en la empresa Feragrocol S.A.S y proponiendo acciones de mejora.

Para ello, se determinaron cuatro etapas. La primera etapa referente al diagnóstico donde se realizaran acercamientos exploratorios al proceso por medio de la determinación de fases; en la fase uno (1), se identificará la secuencia lógica del proceso a través de herramientas de información primaria, observación directa y entrevista semiestructurada al jefe de planta, con el fin de entender el proceso y plantear las diferentes problemáticas que lo aquejan. A partir de ello, se plasmara las observaciones en un diagrama Ishikawa por procesos, con el objetivo de efectuar gráficamente el diagnóstico de las posibles causas que provocan ciertos efectos negativos en cada uno de los subprocesos que se ejecutan para la producción de fertilizantes granulados. Una vez definidas las problemáticas, se trasladará y analizará la información por medio de una matriz Vester, y así priorizar la o las causas focales.

En la segunda (2) fase, a través de paretos 80/20 de primer y segundo nivel, se seleccionarán las líneas de producto objeto de estudio en el alcance de este proyecto teniendo en cuenta las ventas de cada producto y el costo de reprocesamiento según el

desperdicio que genera la línea de fertilizante. Posteriormente, se plasmará el estado actual del proceso mediante el cursograma analítico para cada producto según el primer acercamiento exploratorio, se diseñará un esquema de la distribución existente de la planta y se analizará las variables de control.

Para la segunda etapa, se realizará un estudio de tiempos y distribución de planta, donde se determinarán con mayor detalle las actividades que se llevan a cabo dependiendo de la línea de fertilizante, todo esto a través de un diagrama de operaciones, para visualizar gráficamente las operaciones e inspecciones existentes teniendo en cuenta las precedencias. Posteriormente, se elaborará una prueba piloto de toma de tiempos, como necesidad para iniciar el estudio, ya que la empresa no cuenta con información histórica de tiempos del proceso de fertilizantes granulados.

Se utilizará la guía aproximada para el número de ciclos que se deben observar establecida por General Electric Company. Con los datos históricos recopilados en la prueba piloto se llevará a cabo el cálculo del número de ciclos por medio del método estadístico, con ello se tendrá claridad acerca del número de ciclos a observar para el estudio de tiempos. Es importante destacar, que la toma de tiempos tanto en la muestra piloto como en el estudio, se utilizará un cronómetro sexagesimal con método de regreso a cero, donde será preciso utilizar tres días de producción para cada línea de producto, con el fin de tomar las observaciones requeridas teniendo en cuenta la planeación de la producción de la empresa y el espacio brindado para los analistas.

A partir de los resultados, se establecerá el cálculo del tiempo observado, el normal y el estándar según la calificación de los operarios y la asignación de los respectivos suplementos de las operaciones, para ello se tomara el método de Westinghouse y además se tendrán en cuenta los suplementos definidos por la organización internacional del trabajo (OIT).

En cuanto a la distribución de planta se analizarán los ocho factores de Murther que afectan la distribución, mediante herramientas como diagrama de relación de actividades, cursograma analítico, diagrama de recorrido y aplicación del método de Guerchet para el cálculo de la superficie requerida de la maquinaria.

En la tercera etapa, debido a que la compañía no presenta datos históricos sobre las especificaciones de grosor de los gránulos, se aplicarán elementos de inferencia estadística, donde se seleccionarán más de treinta datos provenientes de muestras tomadas en la planta, para la identificación de las medidas de tendencia central de cada uno de los procesos, necesarias para el cálculo de la muestra del estudio. Con el fin de identificar que las muestras se comportan de acuerdo a la distribución, se realizarán pruebas de bondad y ajuste como la prueba de normalidad de Kolmogorov Smirnov en las muestras iniciales y una vez se pueda comprobar que los datos siguen una distribución normal, se procederá calcular el número de muestras requerido para los productos priorizados de acuerdo con el estudio de Pareto realizado.

Una vez recolectado los datos necesarios, se analizará la variable por medio de la estadística descriptiva, calculando las medidas de tendencia central y la variabilidad que caracteriza el proceso, graficando la información en un histograma y analizando la distribución de los datos adecuadamente. Adicional, se determinará la capacidad del proceso para cumplir con las especificaciones de grosor estipulados por la empresa, a través de los índices de capacidad con doble especificación a corto plazo, estableciendo el C_p , C_{pi} , C_{ps} , C_r , C_{pk} , índice K , índice C_{pm} o de Taguchi y la métrica seis sigma.

Finalmente, en la cuarta etapa se establecerán los costos y beneficios de la propuesta calculando el costo anual uniforme equivalente, para realizar la comparación con y sin la mejora en cada una de las líneas de fertilizantes, realizando una proyección de tres años, tomando como base las ventas del año 2020. También, se estimará la tasa de descuento según la proyección de la inflación y el DTF promedio del año 2020.

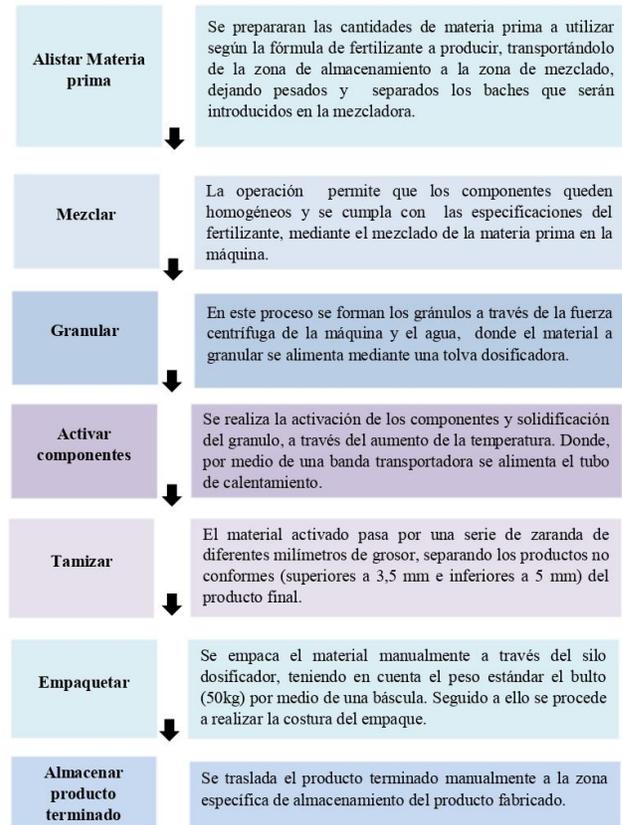
III. RESULTADOS

A. Diagnóstico

Se realizaron visitas guiadas a la empresa donde se aplicaron entrevistas semiestructuras dirigidas a los operarios y jefe de planta con el fin de obtener un acercamiento a la problemática evidenciada en el proceso y su respectivo registro como se puede evidenciar en el Anexo 1.

Por medio de la observación directa del proceso que lleva acabo la empresa Feragrocol, se caracteriza el proceso de producción de fertilizantes granulados como se observa en la **Figura 3**.

Figura 3.
Proceso de producción de fertilizantes granulados



Nota. Elaboración propia de los autores. La figura describe las principales operaciones del proceso de producción de fertilizantes granulados de Feragrocol S.A.S

1) Ishikawa

Se realiza un diagrama Ishikawa por proceso estableciendo las causas que afectan cada una de las operaciones como se puede observar en la **Figura 4**.

En el primer proceso, alistamiento de materia prima, se observan inadecuadas prácticas en el manejo del material por la falta de capacitación de los operarios y falta de maquinaria que facilite su manejo. Además, según el director de producción y ventas en el Anexo 1, el alistamiento es el procedimiento de mayor tiempo en la producción de los fertilizantes, debido a que se incurren reiterativamente en movimientos innecesarios, ocasionando tiempos muertos que impiden el cumplimiento de la meta de producción.

En el segundo proceso, mezclar, se percibe la falta de orden y limpieza, además de la mala manipulación del material por parte de los operarios generando contaminación al interior de la planta por material particulado, adicional a la falta de capacitación de la mano de obra, es posible también evidenciar que existe agotamiento físico debido al esfuerzo que deben realizar para el movimiento de los bultos, provocando como consecuencia una disminución de la eficacia en los resultados de su trabajo, perdiendo el sentido de responsabilidad, y teniendo afectaciones para la salud de los trabajadores y

detonante para los altos índices de rotación de personal en las organizaciones. [15]

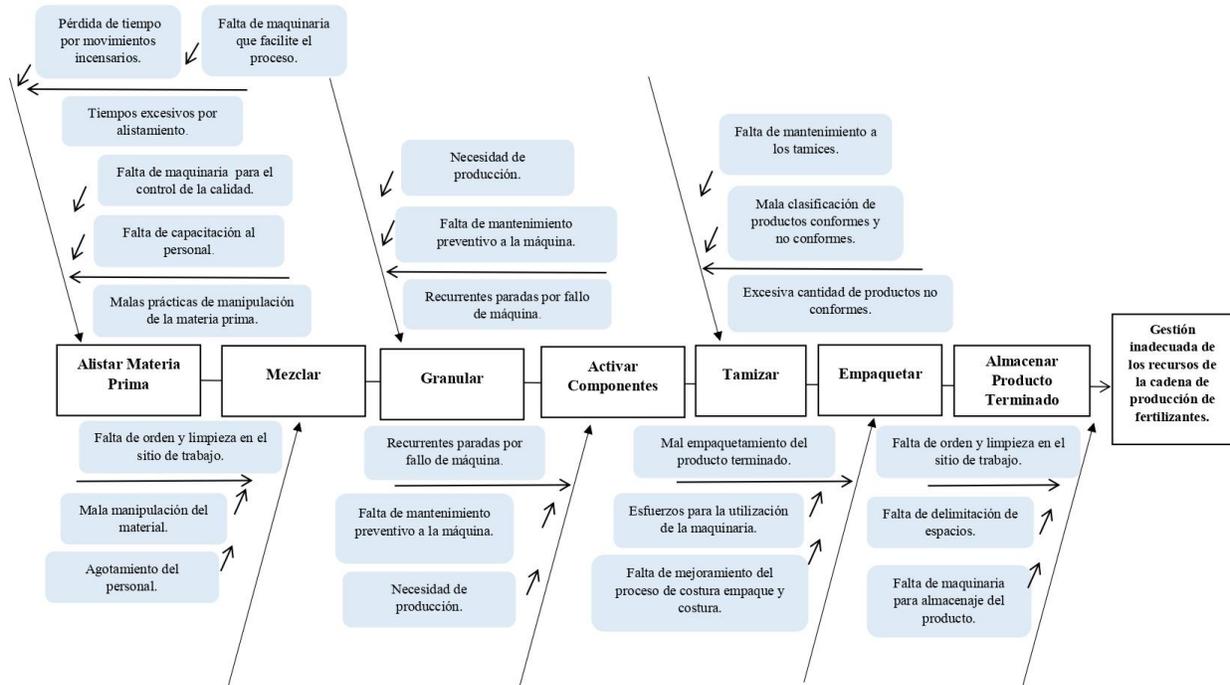
En los siguientes procesos, granular y activar componentes, se presentan recurrentes paradas por fallo de máquinas según las entrevistas realizadas en el Anexo 1, porque no se cumple con la planificación de los mantenimientos preventivos por la necesidad de producto, generando pago de horas extras al personal para terminar la producción.

Por otra parte, en el proceso de tamizar, se toma al reproceso como otra causa de la utilización de horas extras, ya que se presenta por que el producto terminado no cumple con las especificaciones de grosor (3,5 mm a 5 mm), por lo tanto es necesario adecuar el material para ser nuevamente introducido a la línea, generando mayor costo de producción. Se pudo observar en la visita guiada, que la cantidad de producto no conforme a reprocesar, es promedio de 3.000 kg diarios de

material. Cabe resaltar, que en este proceso no realizan continuamente mantenimiento, lo que contribuye a la inadecuada clasificación del producto. Además de lo anterior, en la actividad de empaquetado, la compañía recibe quejas reiterativas por parte de sus clientes por el mal sellamiento del producto, esto se debe a que en el proceso se realiza con una máquina que no facilita su uso al operario y en ocasiones por la necesidad de producción no se realiza el procedimiento de la manera adecuada dejando el empaque mal sellado.

En el proceso final, almacenamiento de producto terminado, se evidencia la desorganización de la planta por la falta de delimitación y señalización de espacios, además de que no se cuenta con maquinaria especializada para facilitar la manipulación de los materiales y el aprovechamiento de espacios en cuanto a la altura de la planta. Todo esto conlleva a concluir, que el principal problema es la gestión inadecuada de los recursos de la cadena de producción de fertilizantes.

Figura 4.
Diagrama Ishikawa por proceso



Nota. Elaboración propia

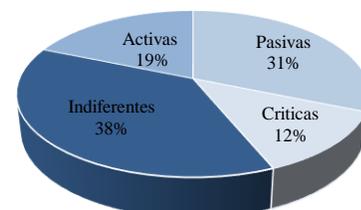
2) Matriz Vester

Es de gran importancia realizar un análisis de priorización, que permita identificar las causas con mayor impacto, evitando así tomar las indiferentes o las redundancias existentes para el presente proyecto. Para ello se diseñó la matriz Vester ubicada en la **Tabla 3**, allí se tienen en cuenta las causas definidas en el diagrama Ishikawa, obteniendo que dentro de las 16 causas estudiadas, el 12% son críticas, el 19% activas; 38% indiferentes y 31% pasivas, como se observa en la **Figura 5**.

Realizada la priorización se segmenta el análisis en un total de 5 causas; 3 activas y 2 críticas, ya que según la metodología los problemas críticos son problemas generados por otros y los activos influyen mucho en los demás, requiriendo ambos

atención y manejo inmediato. Se determina que las causas priorizadas están relacionadas con estandarización del proceso, control de calidad y distribución de la planta.

Figura 5
Priorización de problemas



Nota. La figura representa gráficamente el número porcentual según la clasificación correspondiente de cada problema en la matriz Vester.

Tabla 3.
Matriz Vester

Código	Variable	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	Influencia
C1	Orden y aseo deficiente en la planta	0	2	1	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	6
C2	Almacenamiento inadecuado	3	0	2	0	0	0	0	2	2	0	0	0	3	0	0	0	12
C3	Agotamiento del personal	2	1	0	3	1	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	3	13
C4	Carencia de maquinaria para almacenamiento	1	1	3	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	8
C5	Deficiente control de calidad de los productos, materiales e insumos	0	0	1	0	0	3	0	3	1	3	0	3	0	0	0	3	17
C6	Constates reprocesos por incumplimiento de las especificaciones	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
C7	Inexistencia de estandarización del proceso	2	3	2	0	3	2	0	3	3	0	0	0	0	1	0	3	22
C8	Excesivos tiempos muertos	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
C9	Deficientes prácticas de manipulación de materiales	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	6
C10	Recurrentes paradas por fallo de maquina	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
C11	Carencia de mantenimiento preventivo en máquinas y herramientas	0	0	0	0	0	2	0	0	0	3	0	3	0	0	0	2	10
C12	Errónea clasificación de productos conforme y no conforme	2	0	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
C13	Distribución inadecuada de la planta	3	3	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	12
C14	Falta de capacitación	1	1	1	0	1	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	2	9
C15	Falta de maquinaria para el control de calidad	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
C16	Mal empaquetamiento del producto terminado	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Dependencia		16	12	19	3	8	16	0	16	13	6	0	6	3	1	0	15	134

Nota. En la tabla se clasifica y describen cada uno de los problemas que se tuvieron en cuenta en la elaboración de la matriz Vester

3) Selección de productos

La empresa contiene más de siete (7) productos en su portafolio de fertilizantes granulados pero debido a la delimitación en el alcance del proyecto, se hace necesario segmentar los productos a estudiar, por lo tanto se recolectó una base de datos proporcionada por la empresa (Anexo 3), donde se segmenta la información en un Pareto 80/20 de primer nivel, según las ventas de cada producto desde el 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2020. Como resultado se evidenció que aproximadamente el 80% de las ventas están representadas por los productos Sol producción, Silix Foz, Sol Calcio y Sol Mag. (Ver **Figura 6**)

Con estos resultados se decide realizar el análisis de segundo nivel, teniendo en cuenta el costo de reprocesamiento en el que incurre cada producto y se compara con el costo de producción para determinar la o las líneas a estudiar. Para este análisis se cuenta con una base de datos no superior a dos meses, ya que la empresa no llevaba registro del material que se reprocesaba por cada lote de producción, ni su respectivo costo. Como resultado, en el Pareto 80/20 de segundo nivel (ver **Figura 7** y **Figura 8**), los productos que acumulan el 80% en costo de reprocesamiento y costo de producción son Sol producción y Silix Fox, por tal motivo se establece que estos serán los dos productos a estudiar en el presente artículo de investigación.

4) Cursograma

A partir de los productos seleccionados en el diagrama de Pareto de segundo nivel, se realiza un análisis aproximado de las actividades del proceso por medio de un cursograma

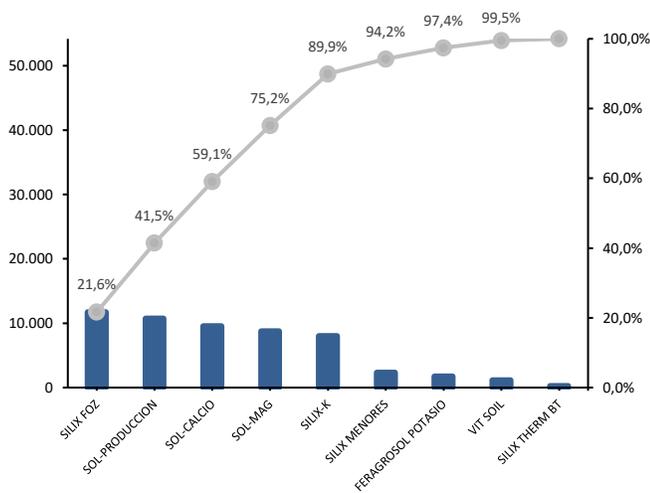
analítico con sus respectivos tiempos, los cuales fueron tomados de forma exploratoria para el diagnóstico del proceso. Sin embargo, es necesario establecer el lote específico producción para cada producto, ya que de esto dependen los tiempos que se van a identificar en el cursograma.

Por tal motivo, inicialmente se analizaron los datos por día de las cantidades producidas de cada producto, desde el 1 de junio del 2020 hasta el 28 de enero del 2021, estos datos fueron compartidos por la empresa. A partir de la información se pusieron los valores gráficamente con el fin de observar patrones, sin embargo se identifica una tendencia errática de los datos, sin ciclo o estacionalidad, como se evidencia en el Anexo 4, con estas evidencias se decide pronosticar la producción por medio del método de suavizamiento exponencial simple y promedio móvil simple.

Se hace el cálculo de los respectivos errores de los métodos de pronósticos, DAM (Desviación Absoluta Media) y PEMA (Error Porcentual Absoluto Medio), obteniendo como resultado que para los dos tipos de fertilizantes analizados, se mostró un menor error con el método de suavizamiento.

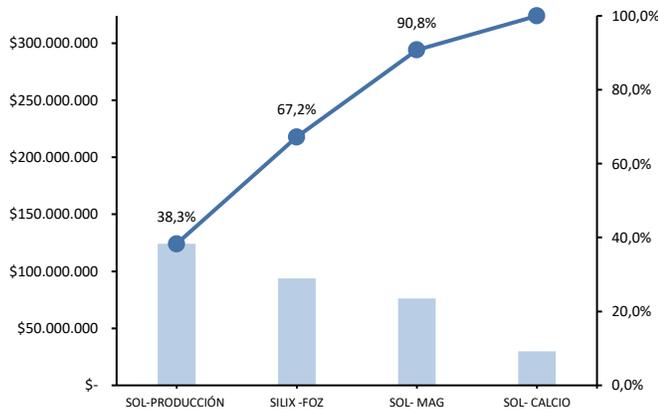
Por lo tanto, se determina que en promedio la empresa maneja un lote de 109 bultos para el fertilizante Sol- Producción y 108 bultos para Silix-Foz, teniendo en cuenta que el sistema de producción es Pull, es decir bajo pedido del consumidor final, por esta razón se tomaron los históricos de producción para determinar el lote.

Figura 6.
Pareto 80/20 primer nivel- Unidades Vendidas



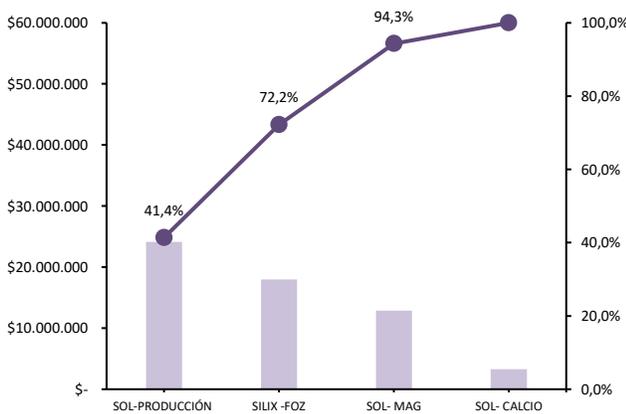
Nota. Elaboración propia.

Figura 7.
Pareto 80/20 segundo nivel- Costo total de producción



Nota. Elaboración propia.

Figura 8.
Pareto 80/20 segundo nivel- Costo de reprocesamiento



Nota. Elaboración propia.

Una vez identificado el tamaño del lote, se procede a realizar el cursograma aproximado al proceso como se evidencia en el Anexo 4, estipulando la cantidad de materia prima y distancia necesaria para la producción, obteniendo como resultado los valores de la **Tabla 4.**

Tabla 4.
Resultado cursograma analítico inicial

	Silix Foz	Sol producción
○	9	○ 9
●	1	● 1
△	1	△ 1
⇨	1	⇨ 1
Operarios	4	Operarios 4
Tiempo (min)	602,7	Tiempo (min) 645,8
Recorrido (m)	1080,0	Recorrido (m) 1090,0

Nota. Elaboración propia.

Con esto, podemos verificar y confirmar la información conseguido a través de la matriz Vester, ya que el almacenamiento inadecuado y agotamiento del personal aumentan los tiempos de realización de las actividades como alistamiento, empaquetado y traslado de material. Además, la falta de estandarización y control de calidad, incrementan los costos asociados al proceso por los excesivos productos no conformes que se deben reprocesar.

5) *Esquema de distribución de planta actual*

Feragrocol se encuentra ubicado en el departamento del Tolima, y cuenta con un área construida alrededor de 942 m². Debido a que unas de las principales causas están relacionadas con la ineficiente distribución en planta, se decide realizar un esquema de la distribución actual, mostrado en el Anexo 5, con el fin de identificar el layout actual en la planta, las áreas destinadas a cada uno de los procesos y la esquematización propia de la distribución. .

Se establece que el tipo de distribución que maneja el proceso de producción de fertilizantes granulados, es una distribución por producto con un flujo lineal, teniendo en cuenta que se encuentran agrupadas todas las máquinas destinadas a la producción de fertilizantes. Sin importar la línea de fertilizante a fabricar, todos los productos tienen las mismas actividades predecesoras y como consecuencia la utilización de las máquinas se da en el mismo orden.

Por medio de la observación directa en la planta y el esquema gráfico realizado, es posible comprobar que actualmente no se tiene una distribución que permita optimizar y aprovechar las áreas en la planta, ya que no permite el correcto movimiento de los operarios lo que hace que se generen desplazamientos innecesarios para el proceso de producción, que podría relacionarse también con los altos tiempos de alistamiento que se plasmaron en el cursograma analítico inicial. Por otra parte, se observa que hay espacios en la planta subutilizados, ya que cuenta con almacenes de materiales que no utilizan, como por

ejemplo el de empaque sobrante y donde se encuentra la maquina antigua no utilizada para el proceso actual.

Por último, es importante mencionar que la falta de orden y aseo en la planta fue evidente, ya que se identificaron desechos o materiales de productos de reproceso en varias zonas de la planta.

6) *Variables de control*

En el proceso de producción de fertilizantes granulados se puede identificar diferentes tipos de variables de control tanto físicas como químicas. A nivel químico, se identifican variables como el pH, la humedad, la composición, entre otros. Sin embargo, los productos que maneja la empresa deben ser analizados por laboratorios registrados ante el ICA, para poder ser comercializados libremente en el país, según la normativa Colombiana vigente establecida en la resolución 00150 del 21 de enero del 2003. [16] Por lo tanto, Sol Producción y Silix Foz están certificados con el código de registro ICA 12199 y 11113 respectivamente. [17]

Al obtener el registro de los fertilizantes, se garantiza las condiciones químicas del producto, y por tal motivo la empresa exige unas características específicas en las fichas técnicas de sus materias primas e insumos y se soporta en la fórmula de producción establecida y válida por los laboratorios para cumplir con estas especificaciones. En consecuencia, estas variables no son susceptibles de control, ya que la compañía se ajusta a la normativa y a los resultados brindados por laboratorios especializados. Adicional, la empresa no cuenta con la maquinaria necesaria para llevar a cabo un control de estas variables de manera interna.

En cambio, a nivel físico una de las variables identificadas, susceptibles de control y de mejora que maneja la compañía es la granulometría que por condiciones de políticas internas y exigencias del mercado, han determinado manejar un valor nominal de grosor de los granulos de los fertilizantes de 4,5 mm con una tolerancia de ± 1 mm.

Es importante, aclarar que Feragrocol maneja la variable de grosor, por medio de una criba giratoria, donde se realiza clasificación de productos conformes y no conformes.

Al tener una alta cantidad de producto por fuera de las especificaciones establecidas por la empresa (no conforme), genera diversos costos de reprocesamiento como se evidencia en el Anexo 4, además de relaciones con diversas causas identificadas en el diagrama Ishikawa diseñado anteriormente.

Por tal motivo se escoge la granulometría debido a la cantidad de reprocesamiento que presenta actualmente Feragrocol, con el propósito de realizar un estudio estadístico de la calidad a esta variable y así establecer con mayor exactitud el comportamiento real de los proceso.

B. Estudio de tiempos y distribución de planta

Para dar inicio a la prueba piloto del estudio de tiempos se realizó un análisis profundo de las operaciones e inspecciones que presenta actualmente cada proceso de fabricación de los

fertilizantes Silix Foz y Sol producción. Dicho análisis se trasladó gráficamente en un diagrama de operaciones, como se observa en el Anexo 6, para mayor entendimiento, teniendo en cuenta las precedencias.

Como resultado, para la línea Silix Foz se identificaron 32 operaciones y 1 inspección, y para la línea de Sol Producción, 38 operaciones y 1 inspección, la diferencia se presenta debido a la formulación de producto de Sol producción, ya que incluye dos materias primas adicionales.

Luego de plantear el diagrama de operaciones, se desarrolló la selección de los operarios con la ayuda y recomendación del supervisor de producción, teniendo en cuenta su experiencia y habilidad, siendo seleccionados, Andrés Granada, Osman Oviedo, Brandon Cadavid y Javier León.

Para definir el número de ciclos a observar de cada una de las operaciones de los diferentes productos, se utilizó el método de estipulado por la General Electric, teniendo en cuenta que en algunos casos no se toma los ciclos recomendados, ya que si se toman menos de cinco ciclos, los datos no permiten observar que tan concentrados están con respecto al grado de normalidad. Además, se deben establecer muestras menores a veintinueve ciclos, a razón de que el método estadístico para el cálculo de ciclos está basado en la distribución t-student, la cual es una distribución de probabilidad simétrica para variables continuas pero con muestras pequeñas. [10]

Por lo anterior, se realiza la toma de tiempos de las diferentes líneas de productos, según las observaciones sugeridas con el método de cronómetro con regreso a cero, permitiendo que se establezca el número de ciclos a tomar por medio del método estadístico. En consecuencia, se calcula el tiempo promedio observado, y se determina el tiempo normal según la calificación establecida por el método de Westinghouse, teniendo en cuenta los operarios y la operación. Se escoge esta técnica, debido a que evalúa cuatro factores que se consideran importantes, la habilidad, el esfuerzo, las condiciones y la consistencia, al momento de realizar las actividades del proceso seleccionado.

Adicional se calcula, el tiempo estándar, donde se tomó en cuenta los suplementos sugeridos por la OIT en cada una de las operaciones del proceso, dando como resultado holguras entre 24% y 49%, ya que todas las actividades presentan los suplementos constantes por necesidades personales y la fatiga, y adicional se identifican los suplementos variables que incurren como el ruido constante de la planta, uso de fuerza muscular, posturas anormales, tensión mental, tedio y monotonía.

Es necesario generar propuestas de mejora que permita disminuir los suplementos variables que afectan las operaciones, por lo tanto se recomienda intervenir operaciones de traslado de materiales, organización de bultos, dosificado y costura de producto terminado mediante la adquisición de gatos hidráulicos y banda transportadora angular, para evitar el uso excesivo de fuerza muscular por parte del operario facilitando el transporte y su respectiva organización, además, se propone

automatizar el área de dosificado y costura mediante la compra de una máquina ensacadora y cosedora automática, permitiendo reducir la tensión mental de la operación y posición incómoda, así como también disminuir la probabilidad de error humano. Es importante implementar elementos de protección personal (tapa oídos, cinturón de fuerza, botas, gafas, tapabocas), debido a las condiciones ambientales en las que se encuentra la planta, ya que se presenta polución de material particulado, contacto directo de fuentes caliente, ruido intermitente, usos de fuerza muscular y se trabaja con material pesado.

Posteriormente, es necesario, analizar los factores que afectan la distribución de planta mediante el estudio de los ocho factores influyentes, debido a que una inadecuada distribución puede afectar los tiempos de procesos de producción restando competitividad a la empresa.

Material. Es importante analizar este factor, teniendo en cuenta que el propósito principal del proceso es transformar las materias primas para obtener fertilizantes granulados, donde sus características químicas y físicas dependen de los materiales a utilizar. En el caso de Silix Foz, se necesitan ocho materias primas diferentes para cumplir con la fórmula del fertilizante

establecida y en Sol Producción diez tipos de materias primas para llevar a cabo su producción.

A partir de la relación de material por área realizada en la **Tabla 5 y Tabla 6**, se observa que para ambos casos de fertilizantes el material fluye secuencialmente entre las áreas, y solo del área de pesado y tamizado se devuelve el material al área de almacenamiento de materias primas, razón con la cual se podría explicar el material sobrante después de la operación de pesado y el material a reprocesar o del sobrante en tolva de la criba rotatoria.

En total para realizar 108 bultos de Silix Foz se mueve 5,9 toneladas de material y en Sol Producción 5,8 toneladas para 109 bultos.

Es importante tener presente la forma correcta en la que se deben almacenar y trasladar los materiales durante la producción, ya que es necesario señalar las áreas de almacenamiento cercanos a los procesos, tanto fijos como temporales, con el fin de realizar recorridos cortos. Además, es relevante realizar los transportes de manera segura sin atentar contra la seguridad y salud de los operarios, evitando los movimientos físicos indebidos.

Tabla 5
Relación de material por área Silix Foz

Areas	Almacenamiento de materias primas	Pesado	Mezclado	Granulador	Tubo de calentamiento	Tamizado	Dosificado de producto terminado	Almacenamiento de producto terminado
Almacenamiento de materias primas	-	165	5780	0	0	0	0	0
Pesado	57	-	108	0	0	0	0	0
Mezclado	0	0	-	5888	0	0	0	0
Granulado	0	0	0	-	5888	0	0	0
Tubo de calentamiento	0	0	0	0	-	5888	0	0
Tamizado	488	0	0	0	0	-	5400	0
Dosificado y empaque	0	0	0	0	0	0	-	5400
Almacenamiento de producto terminado	0	0	0	0	0	0	0	-

Nota. Elaboración propia de los autores

Tabla 6.
Relación de material por área Sol Producción

Areas	Almacenamiento de materias primas	Pesado	Mezclado	Granulador	Tubo de calentamiento	Tamizado	Dosificado de producto terminado	Almacenamiento de producto terminado
Almacenamiento de materias primas	-	345	5460	0	0	0	0	0
Pesado	94	-	251	0	0	0	0	0
Mezclado	0	0	-	5711	0	0	0	0
Granulado	0	0	0	-	5711	0	0	0
Tubo de calentamiento	0	0	0	0	-	5711	0	0
Tamizado	261	0	0	0	0	-	5450	0
Dosificado y empaquetado	0	0	0	0	0	0	-	5450
Almacenamiento de producto terminado	0	0	0	0	0	0	0	-

Nota. Elaboración propia de los autores

Maquinaria. La empresa cuenta con diversas maquinarias necesarias para el proceso de producción de fertilizantes granulados. Se identifican dos básculas para el pesaje de los materiales, un mezclador, un granulador con su respectivo elevador y tolva, un secador rotario (tubo de calentamiento), una criba rotatoria para la clasificación del material con su elevador, un dosificador para el empaque del producto terminado y una máquina cosedora.

Se aplica la técnica denominada SLP (Systematic Layout Planning), donde se establecen las prioridades de cercanía entre las áreas del proceso como se evidencia en la **Figura 9**, asimilándolo a un código de letras y números establecidos en la **Tabla 7**. Se identifica que el nivel de importancia de las cercanías de las áreas, está directamente relacionado al orden de las precedencias que se deben llevar a cabo para realizar el fertilizante granulado. Por lo tanto en su mayoría las relaciones son absolutamente necesarias a razón del flujo del material y por el contacto del proceso. Sin embargo, existe una relación indeseable entre el área de tamizado y almacenamiento de materias primas, ya que representa el material a reprocesar que debe ser devuelto al inicio del proceso por incumplimiento de las especificaciones, o material terminado no empacado por cuestiones de tiempo producción o inadecuada planeación de insumos.

Una vez determinada la relación de actividades del proceso, se procede a considerar las superficies y restricciones de espacio con que cuenta cada área. Se utiliza el método Guerchet para calcular el espacio requerido en la distribución de las máquinas que incurren en el proceso de fertilizantes granulados, como se observa en la **Tabla 8**, donde el área total utilizada por la maquina es de 153,20 m². Por lo tanto, no es viable proponer a la empresa redistribución de la maquinaria, ya que la inversión tendría un alto costo para Feragrocol.

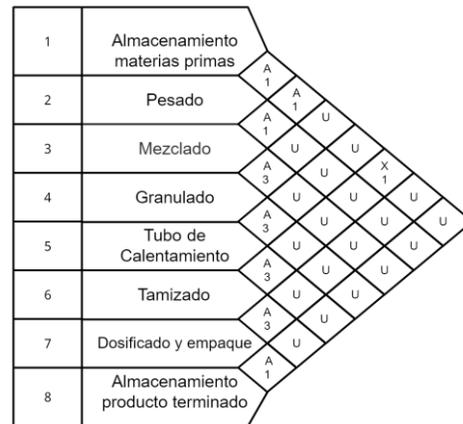
Tabla 8.
Superficie de las maquinas

Maquina	Ancho (m)	Largo (m)	No	Lados	Móvil /fijo	Altura (m)	Superficie estática (m ²)	Superficie gravitacional (m ²)	Superficie Evolutiva (m ²)	Superficie total (m ²)
Bascula	0,4	0,6	2,0	3,0	Móvil	0,8	0,48	1,44	0,08	2,00
Mezcladora	1,3	4,3	1,0	3,0	Fijo	0,8	5,59	16,77	0,94	23,30
Elevador-Tolva	2,7	2,9	1,0	2,0	Fijo	6,0	7,69	15,37	0,97	24,02
Granulador	1,8	2,9	1,0	1,0	Fijo	2,7	5,08	5,08	0,43	10,58
Banda transportadora	0,8	3,6	1,0	1,0	Móvil	1,5	2,66	2,66	0,22	5,55
Tubo de calentamiento	1,4	8,8	1,0	2,0	Fijo	1,9	12,38	24,75	1,56	38,68
Elevador	1,5	1,7	1,0	1,0	Fijo	7,0	2,55	2,55	0,21	5,31
Criba rotatoria	2,6	3,0	1,0	3,0	Fijo	6,2	7,80	23,40	1,31	32,51
Dosificador	2,0	2,7	1,0	1,0	Fijo	5,5	5,40	5,40	0,45	11,25
Cosedora	0,2	0,4	1,0	1,0	Móvil	0,3	0,06	0,06	0,01	0,13
K	0,042	49,62	97,42	6,16	153,20					

Nota. Elaboración propia de los autores

Hombre. Feragrocol en el área de manufactura cuenta con cuatro operarios que intervienen directamente en la producción, un supervisor de maquinaria encargado de vigilar el correcto funcionamiento del granulador y tubo de calentamiento y un supervisor de planta responsable del proceso general, garantizando el cumplimiento de las formulaciones establecidas para cada uno de los fertilizantes.

Figura 9.
Diagrama de relación de actividades



Nota. Elaboración propia de los autores

Tabla 7.
Relación de actividades

Valor	Cercanía	Código	Razón
A	Absolutamente necesario	1	Flujo de material
E	Muy importante	2	Espacios o equipos
I	Importante	3	Contacto necesario
O	Está bien, una cercanía normal	4	Facilidad supervisión
U	No es importante	5	Mismo personal
X	Indeseable	6	Contaminación (Olor, limpieza)

Nota. Elaboración propia de los autores

El horario laboral de la empresa es de lunes a viernes desde las 7:00 am hasta las 5:30 pm, sin embargo en algunas ocasiones se presentan pagos por horas extras, ya que dentro del horario no se alcanza a cumplir con las metas de producción. Los empleados se están vinculados con la empresa por medio de contrato obra labor, garantizando el pago de las prestaciones sociales a cada uno de sus empleados.

Adicional, se identifican diferentes condiciones de trabajo que experimentan actualmente cada uno de los operarios como las condiciones ambientales tanto al interior de la planta como el exterior, las cuales pueden llegar ser un riesgo en la seguridad y salud del personal.

A nivel de las condiciones climáticas de la empresa, se identifica que la temperatura oscila entre 18°C a 25°C, esto por la zona geográfica en la que se encuentra ubicada la empresa. La planta cuenta con una altura favorable para garantizar la ventilación, no obstante, dentro del proceso se encuentra una máquina que maneja altas temperaturas (Tubo de calentamiento) lo que puede generar fatiga y tedio a los operarios que realicen actividades cercanas al proceso, como lo es el caso del almacenamiento del producto terminado. Además de esto, la fibra de aislamiento térmico del tubo de calentamiento se encuentra deteriorada, permitiendo mayor transferencia de calor al ambiente cercano.

Finalmente, en las condiciones de ruido y vibraciones, se establece que el proceso maneja alrededor entre 82- 85 dBA por las máquinas necesarias para la producción de fertilizantes granulados requiriéndose el uso de elementos de protección para los trabajadores expuestos al ruido, también se identifica que la máquina de costura genera cierta vibración en los operarios, lo que puede traer consecuencias a la salud del trabajador.

Movimiento. Es relevante tener presente los movimientos que realiza el material, maquinaria y personal dentro del proceso de producción de fertilizantes granulados, por lo tanto se traslada la información resultante de la estandarización a un cursograma analítico para cada línea de fertilizante, dando como resultado los valores de la tabla 9. El tiempo que se estipulo para las operaciones de mezclar, granular, activar componentes, tamizar y transportar material entre los procesos, son según la capacidad de producción de las máquinas establecidas en la ficha técnica.

Tabla 9.
Resultado cursograma analítico real

<i>Silix Foz</i>		<i>Sol producción</i>	
○	17	○	21
⊕	9	⊕	11
⊙	1	⊙	1
△	1	△	1
⇨	5	⇨	5
Operarios	4	Operarios	4
Tiempo (min)	1067	Tiempo (min)	1135
Recorrido (m)	3392	Recorrido (m)	2367

Nota. Elaboración propia

Posteriormente se realiza un diagrama de recorrido para cada producto, como se observa en el Anexo 8, donde entre los cuatro operarios recorren una distancia de 3.392 metros para la producción de 108 bultos de Silix Foz y 2.367 m para la producción de 109 bultos de Sol Producción. La mayor parte de

los recorridos ocasiona debido a que el proceso de carga y traslado de materia primas se ejecuta de manera manual por el operario, donde máximo puede cargar un peso 50 kg, sin embargo el uso excesivo de la fuerza muscular puede poner en riesgo la salud y seguridad del trabajador.

Espera. Siempre que los materiales son detenidos en el proceso, dan lugar a las esperas o demoras, las cuales generalmente se ven reflejados en los almacenamientos y representan un costo para la compañía. En Feragrocol, se identifica que la empresa tiene delimitado dos tipos de almacenamiento, el almacén de materia prima y el de producto terminado, sin embargo existe material a reprocesar distribuido por toda la planta, el cual no tiene un espacio fijo, contribuyendo a la desorganización y obstaculización de espacios, al igual que una máquina antigua que no utilizan en el proceso.

El área de almacenamiento con que cuenta Feragrocol son siete bodegas de aproximadamente 32,88 m² cada una, no obstante, por la inadecuada utilización de espacio se encuentra materiales en los pasillos, al lado de las máquinas, en el vestier, taller, entre otros. En cuanto el método de almacenamiento, los bultos son apilados en estibas por planchas de 7 bultos hasta completar 140 bultos hacia arriba, ocupando un área de 2,90 m² por estiba, lo que dificulta a la hora de alistamiento de materias primas la manipulación del material por la altura que se alcanza.

Servicio. Se tiene en cuenta tres tipos de servicio en el análisis de este factor. En primer lugar se examina los servicios relativos al personal. Se sigue evidenciando los problemas asociados al mal desplazamiento del personal durante el proceso. Sin embargo, los operarios tienen una zona de aparcamiento cercana a la entrada de la planta facilitándole su ingreso, al igual que posee una ubicación adecuada de los espacios de uso personal, ayudando a que los desplazamientos para las necesidades personales sean cortos, disminuyendo pérdidas de tiempo al ir y volver al lugar de trabajo.

En cuanto a la protección contra incendios, la compañía no posee un estudio de los riesgos de incendio de los diferentes materiales o equipos, al igual que no presenta una comprobación de la resistencia de las instalaciones hacia el fuego y/o rutas de evacuación, a pesar de que se tiene elementos de seguridad para estos eventos como extintores, no se encuentran ubicados en zonas de fácil acceso ni señalizados.

La ventilación de la planta posee buenas condiciones de flujo de aire por las dos puertas de acceso ubicadas en las zonas laterales de la planta. Sin embargo, a razón de que la producción de fertilizantes granulados conlleva en la manipulación de material particulado, genera que el ambiente se encuentre con excesiva polución. A pesar, de que la compañía posee un sistema de recolector de polvo de filtrado con mangas para su posterior reutilización, el ambiente por lo regular no se encuentra en buenas condiciones, ya que es necesario realizar mantenimiento al sistema y posiblemente ampliar su capacidad.

La iluminación de la empresa en general es buena, ya que por la altura de la planta la luz solar entra fácilmente teniendo en cuenta que los turnos de producción se realizan en el transcurso

del día. Se identifica que en algunas zonas de almacenamiento de producto terminado es baja la iluminación y puede llegar afectar las operaciones de los trabajadores, implicando riesgos por accidentes laborales.

En segundo lugar en los servicios relativos al material, se analiza que el proceso de fabricación de fertilizantes en la planta de Feragrocol conserva un control de calidad en relación con la granulometría de los fertilizantes, esto se controla por medio de las cribas rotatorias que clasifican el producto en terminado o material no conforme, teniendo así un espacio establecido para la maquinaria. Por otra parte, se evidencia una planificación y control de la producción poco eficiente, ya que la regulación de los espacios se ve perjudicada por el ineficiente manejo pedidos de materias entrantes y producto terminado saliente, ya que no se cuenta con comunicación efectiva sobre el inventario entre los trabajadores, generando que se ocupen espacios libres para el movimiento de los operarios y material; También es importante mencionar, que en ocasiones por no contar con una correcta planificación se incurre en paradas y reprocesos por falta de materias primas e insumos necesarios para la producción de fertilizantes.

El control de rechazos y desperdicios es inadecuado, en la planta se identifican dos materiales, el producto no conforme o rechazo que puede volver a reprocesarse y el empaque sobrante de las materias primas, estos materiales no se organizan de manera correcta siendo estos abundantes en la producción del día, pues no se ubican en una zona específica donde se pueda clasificar para posteriormente reprocesar o vender, sino, por el contrario lo dejan almacenarse en pasillos generando obstáculos para la movilidad en la planta.

Y en tercer lugar se encuentra los servicios relativos a la maquinaria. En el caso de Feragrocol, la distribución actual presenta un espacio para el almacenamiento de las máquinas y herramientas necesarias para las actividades propias de mantenimiento preventivo, ya que por la lejanía de la planta con la ciudad, es difícil acceder de manera rápida a los repuestos en caso de presentarse algún inconveniente, no obstante, el mantenimiento preventivo se tiene planeado realizar cada sábado de la semana, pero en reiteradas ocasiones no se cumple con la programación por las necesidades de producción, ocasionando retrasos extensos por mantenimientos correctivos.

Edificio. La instalación de Feragrocol es un edificio de un piso construida de forma rectangular, en el que se encuentra tanto la oficina administrativa como el área de producción y almacenamiento. El material del suelo es de concreto al igual que las paredes y columnas y el techo está cubierto por láminas de zinc.

Cambio. El factor cambio propone observar, con un punto de vista crítico, la solución que se vaya a proponer, en el caso de Feragrocol, según los análisis realizados en los factores mencionados anteriormente, se establece que la distribución propuesta que se obtenga del estudio se enfocara en la redistribución de los almacenes de materias primas, producto terminado y material a reprocesar, ya que la maquinaria que

incurre en el proceso de producción de fertilizantes granulados no es posible desplazarla por los altos costos.

También, se debe tener en cuenta la posibilidad de mayor capacidad de producción, aumento de líneas de fertilizantes o compra de nueva maquinaria para el proceso de empaquetado y costura, por lo que será necesario prever espacios para ubicar estos elementos, siempre y cuando se cumplan las condiciones mencionadas para el correcto movimiento del personal y del material.

Ante el estudio de los factores que afectan la distribución de planta de Feragrocol, se propone implementar la metodología de las 5'S, cuyo propósito es mantener y mejorar las condiciones de orden y limpieza de la planta, mediante el trabajo en equipo. Existen cinco elementos fundamentales de las 5'S, el primero consiste en clasificar y separar las cosas necesarias de las innecesarias, en este caso sería eliminar las áreas que ocupan la bolsa sobrante y la máquina antigua de mezclado, con el fin de dar otro uso a estos materiales por medio de la venta de los costales a recicladores de la zona y el desmontaje de la máquina con el fin de identificar la piezas funcionales para repuesto, generando un ingreso extra para la empresa y eliminando el espacio ocupado en la planta, teniendo en cuenta que se puede aprovechar para ubicar materiales de alta rotación y evitar desplazamientos innecesarios durante el proceso de producción.

El segundo está orientado a acomodar ordenadamente los elementos para su fácil identificación y utilización, según los factores analizados en este ámbito será indispensable establecer fichas para la fácil caracterización de las materias primas, teniendo en cuenta que su apariencia física son similares y se puede realizar una inadecuada formulación del fertilizante, trayendo como consecuencia multas por parte del ICA a la empresa. Como también, señalar las áreas de almacenamiento respectivamente, permitiendo que cualquier operario sea capaz de ubicar los materiales e insumos dentro de la planta. Adicional, es conveniente establecer una zona para el material a reprocesar para su fácil identificación y reprocesamiento, evitando desorganización en la planta y contaminación del material.

El tercer tiene como objetivo limpiar y mantener el orden con la intención de prevenir el mal funcionamiento de las máquinas, para ello es indispensable generar una cultura de orden y aseo en la empresa, estableciendo lugares para ubicar las herramientas que utilizan durante el proceso, zonas de basura, mejorar el sistema de recolección de polvo y horarios definidos durante la jornada laboral para aseo de la planta, con el fin de crear un ambiente agradable para los trabajadores. En este caso es vital que se cumplan con los mantenimientos preventivos, y en última instancia reprogramarlos para el día más cercano.

El cuarto elemento consiste en mantener constantemente las tres "S" anteriores, y el último se basa en hacer que los trabajadores se ajusten a las reglas y se estandaricen las prácticas, lo que se puede lograr por medio de capacitaciones

periódicas a los operarios, concientizando la nueva cultura de orden y aseo.

Finalmente, se propone un nuevo esquema de distribución de planta ubicado en el Anexo 9, cuyo propósito es proporcionar los espacios para el correcto movimiento de los materiales y operarios, delimitar áreas de almacenamiento conjuntas para las materias primas que se deben pesar y las que no, definir espacios para el material a reprocesar y establecer las posibles áreas en la que se puede ubicar la maquinaria propuesta en el estudio de tiempos, con el objetivo de disminuir las causas identificadas en el diagnóstico de la empresa y proporcionar posibles estrategias de mejora para el proceso de producción de fertilizantes granulados de la empresa Feragrocol S.A.S.

Al implementar las propuestas de mejora mencionadas en el presente estudio, es tentativo afirmar que tanto los suplementos como el tiempo de elaboración de las actividades y recorridos, disminuirán impactando positivamente el proceso. Sin embargo, al ser una propuesta no se puede estimar la reducción de tiempo exacta o las distancias, ya que incurrir en la implementación es decisión propia de la empresa. Por lo tanto, la estimación de la mejora del estudio se basa en la disminución de los suplementos de cada una de las operaciones dejando como máximo el 9%.

Por tal motivo, se determina el tiempo ciclo del proceso para las líneas de producto mediante diagrama de Gantt mostrado en el Anexo 7, ya que se debe tener en cuenta las precedencias y el tiempo en que en realidad inician las operaciones. Arroizando como resultado un tiempo de 285,4 minutos para la producción de 109 bultos de Sol producción, pero si se tiene en cuenta las propuestas de mejora este valor se reduciría en un 22%. En el caso de Silix, el tiempo de ciclo actual es de 211,1 min para la elaboración de 108 bultos, donde se reduciría el 21% si se implementan las propuestas. Adicional, se estima el balanceo de línea necesario según las propuestas de mejora, por el método de ciclo de control según las operaciones que se realizan en cada uno de los procesos, dando como resultado que inicialmente en ambas líneas tiene un balanceo regular con los 4 operarios que manejan para cada proceso. Por lo tanto, se realizan iteraciones y se establece que con 6 operarios la línea de Silix Foz optimizaría su balanceo de 53% a 87%, y en Sol Producción aumentaría el porcentaje de balanceo con 5 operarios de 69% a 97%.

C. Estudio del control estadístico de la calidad

En el ámbito de calidad se identifica que la variable de control que mayor incidencia tiene en la producción de fertilizantes granulados es el parámetro de grosor. Por ello, es necesario analizar el comportamiento de la variable en los procesos actuales. Es importante aclarar, que la empresa al final del proceso de las dos líneas de producción presenta la clasificación de productos conformes y no conformes, por medio de una serie de zarandas. Por tal motivo, las muestras a analizar en el presente estudio no se toman después de esta fase, puesto que es necesario evaluar el producto terminado antes de ser clasificado, para así poder determinar la variabilidad que

presenta el proceso y su respectiva capacidad para cumplir con la variable de control.

Aunque que Feragrocol tiene un proceso de clasificación de producto, nunca se ha ejecutado un registro de datos en cuanto a la variable de control grosor, por lo tanto se debe realizar muestreos pilotos de más de 30 datos para con ello poder establecer la media y la varianza del proceso, permitiendo aplicar el cálculo respectivo para el número de muestras del estudio.

Por tal motivo, se realizan visitas exploratorias para obtener cinco muestras de treinta y cinco datos para cada línea como se evidencia en el Anexo 10, las cuales fueron recolectadas por medio de un pie de rey, en un día en el que se realizaban la producción en distintas franjas horarias, determinando así que el presente estudio estadístico es de corto plazo.

Antes de realizar el cálculo de la muestra para del estudio, es indispensable verificar el comportamiento normal de los datos. Para ello se utiliza la prueba de Kolmogorov Smirnov, comprobando la hipótesis nula, ya que los datos no difieren significativamente de los que se distribuyen normalmente, por lo tanto se establece la varianza del proceso con los valores de una de las muestras, con la que se calcula el número de muestras necesarias para la ejecución del estudio con un índice de confianza del 90%. Se determina que se deben tomar 752 datos para el producto Sol Producción y 861 para Silix Foz. Se realizó el mismo procedimiento para la toma de la muestra y la obtención de los valores de grosor que presentaba cada gránulo.

Al tener la totalidad de los datos requeridos, se aplica la estadística descriptiva, teniendo en cuenta que el valor nominal que maneja la empresa en esta variable es de 4,5 mm de grosor con una tolerancia de $\pm 1,0$ mm. Se obtiene los siguientes valores ubicados en la **Tabla 10**, donde la media de la muestra es de 4,74 mm con una desviación estándar de 1,55 mm para Silix Foz y en el caso de Sol Producción se presenta una media de 4,78 mm con desviación estándar de 1,67 mm.

Tabla 10.
Resultados estadística descriptiva Silix Foz

<i>Estadística descriptiva</i>	<i>Silix Foz</i>	<i>Sol producción</i>
Media (mm)	4,74280	4,78856
Error típico	0,05306	0,06092
Mediana (mm)	4,50000	4,70000
Moda (mm)	4,00000	5,00000
Desviación estándar (mm)	1,55690	1,67057
Varianza de la muestra (mm ²)	2,42392	2,79079
Curtosis	0,56535	4,23166
Coefficiente de asimetría	0,61957	1,50959
Rango	9,50000	11,5000
Mínimo (mm)	1,50000	1,50000
Máximo (mm)	11,0000	13,0000
Suma	4083,55	3601,00
Cuenta	861,000	752,000
No. de intervalos	11,0000	10,0000
Amplitud	0,90000	1,20000

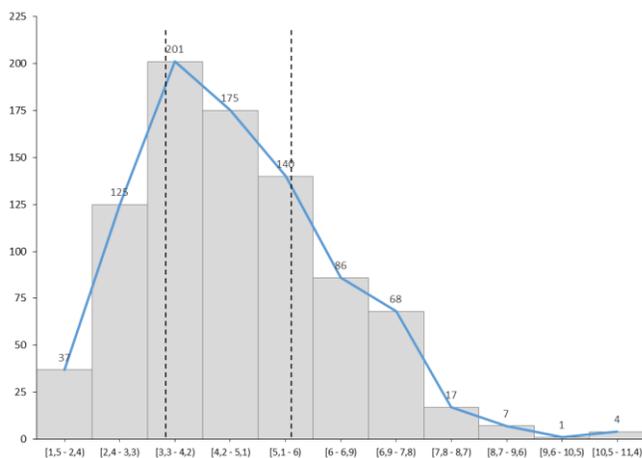
Nota. Elaboración propia. En la tabla se describen los resultados obtenidos a partir de la muestra para el estudio estadístico de calidad de Silix Foz y Sol Producción.

Por consiguiente se plasman los resultados en histogramas con el fin de analizar la distribución de los datos, donde se calculan los intervalos necesarios para su clasificación y su amplitud. En Silix se establece 11 intervalos con una amplitud de 0,9 mm y en Sol producción se define 10 intervalos con una amplitud de 1,2 mm.

Se observa a partir del histograma de la muestra realizada para Silix Foz ubicado en la **Figura 10**, que el proceso se encuentra descentralizado con mucha variabilidad y la mayor acumulación o tendencia la encontramos en el intervalo [3,3 mm- 4,2 mm), con una frecuencia absoluta de 201 datos, lo cual representa el 23,3% de la muestra. Además, dentro del total de la muestra recolectada, el 52% de los datos es un producto que cumple con las especificaciones de grosor y el 48% es un producto que se encuentra por fuera de las especificaciones establecidas en la empresa, por lo tanto esto representa el material que se debe reprocesar. También se calculan los límites reales del proceso, obteniendo un límite real superior (LRS) de 9,3 mm y un límite real inferior (LRI) de 0,2 mm, lo que corrobora que gran parte del proceso se encuentra por fuera de las especificaciones de granulometría.

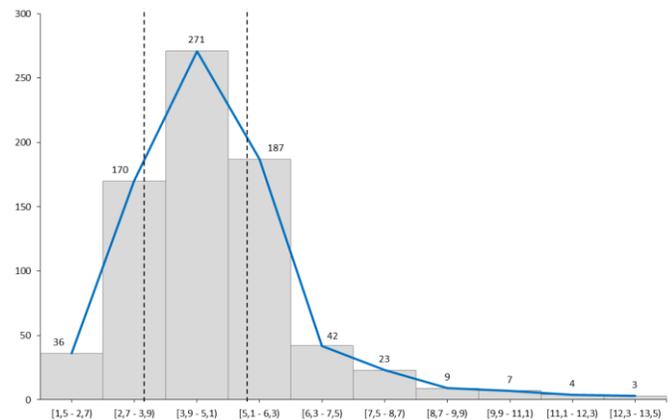
En el histograma de Sol producción, ubicado en la **Figura 11**, se identifica que se comporta de manera similar al producto Silix Foz, ya que el proceso esta descentralizado con mucha variabilidad, donde se evidencia que la mayor acumulación de la muestra es en el intervalo [3,9 mm- 5,1 mm), con una frecuencia absoluta de 271 datos, lo que representa el 36% de los datos. En este caso, el 56% de los gránulos cumple con las especificaciones de grosor, sin embargo el porcentaje de producto a reprocesar sigue siendo elevado, teniendo en cuenta que es el 44% de la muestra analizada. Adicional, el LRS es de 9,8 mm y el LRI es de 0 mm.

Figura 10.
Histograma Silix Foz



Nota. Elaboración propia de los autores

Figura 11.
Histograma sol producción



Nota. Elaboración propia de los autores.

Se establecen los resultados de índices de capacidad de las dos líneas de fertilizante en la Tabla 11. Analizando el resultado obtenido de C_p , el cual es menor a 0,67 en ambos casos, se determina que el proceso no cumple con las especificaciones. Se corrobora con el valor de C_r , ya que indica que la variación del proceso potencialmente cubre el 467% para Silix Foz y el 501% para Sol Producción. Sin embargo, estos índices no tienen en cuenta el descentralizado del proceso por tal motivo se calcula el C_{pi} y C_{ps} , para evaluar el cumplimiento de las especificaciones inferior y superior.

Los valores obtenidos de C_{pi} y C_{ps} reflejan que se tiene problemas tanto por la parte superior e inferior, ya que se están presentando gránulos más pequeños y grandes de lo tolerado por las especificaciones en los dos productos. Además el índice C_{pk} , que si toma en cuenta el centrado del proceso, siendo el valor mínimo entre el C_{pi} y C_{ps} , indica que la media del proceso es muy aproximada al punto medio de las especificaciones pero a pesar de ello, por tener un valor menor a 1, no cumple por lo menos con una de dos especificaciones establecidas.

También es importante evaluar si la distribución del proceso está centrada con respecto a las especificaciones en el estudio de capacidades, por lo tanto se calcula el índice K, lo cual da un valor positivo para las dos líneas de producto, demostrando así que la media del proceso es mayor al valor nominal establecido por la empresa. Adicional, al ser mayor al 20% indica que el centrado del proceso es inadecuado y esta desviado a la derecha del valor nominal, lo que impulsa a que se tenga una baja capacidad para cumplir con las especificaciones.

Los índices anteriormente calculados están enfocados en la importancia de disminuir la variabilidad del proceso, sin embargo para mejorar un proceso se debe reducir la variabilidad alrededor del valor nominal y no solo cumplir con las especificaciones según Taguchi [13]. Como el resultado obtenido del indicador C_{pm} es menor a 1 en Sol Producción y Silix Foz, se identifica nuevamente que el proceso no cumple con las tolerancias del valor nominal, ya que presenta un proceso descentralizado y con exceso de variabilidad.

Finalmente, se establece el proceso de Silix Foz tiene una calidad de $Z_c = 0,49$ sigmas y en Sol Producción de $Z_c = 0,43$ sigmas, por lo tanto se debe establecer recomendaciones que permitan investigar con mayor profundidad los factores que generan la variabilidad del proceso, teniendo en cuenta las materias primas, maquinaria, método, mano de obra y medio ambiente.

Tabla 11.
Índices de capacidad

Índice	Silix Foz	Sol producción
C_p	0,21	0,20
C_r	4,67	5,01
C_{pi}	0,27	0,26
C_{ps}	0,16	0,14
C_{pk}	0,16	0,14
K	0,24	0,29
C_{pm}	0,53	0,57
Z_s	0,49	0,43
Z_i	0,80	0,77

Nota. Elaboración propia de los autores

D. Costos y beneficios de la propuesta

Se realizó la respectiva cotización de los elementos propuestos, como se evidencia en el Anexo 11, y posteriormente se estimaron los ingresos y costos operacionales de producción para Silix Foz y Sol Producción, teniendo en cuenta las ventas del año 2020, los costos de materia prima, mano de obra, energía eléctrica, gas natural, mantenimiento y control de calidad. Cabe resaltar que estos valores se definieron a partir

del Anexo 3, en el que se describe el consumo de energía eléctrica, gas natural y cantidad de reprocesos según la línea de fertilizante y cantidad de producción. En el caso del costo de mantenimiento solo se tiene en cuenta una sola vez, ya que en los dos procesos de producción se utilizan las mismas maquinas.

Posteriormente, se establece un estudio financiero bajo el supuesto de que las unidades vendidas mantienen constantes y se realiza una estimación de los costos establecidos en conjunto de las dos líneas de fertilizantes, con la proyección de la tasa de inflación, tanto para el caso en el que la empresa continúe sus operaciones actuales y el caso de que se implemente la propuesta de mejora. Se debe tener presente, que el alcance del estudio va hasta el análisis de la utilidad bruta, ya que la empresa cuenta con otras líneas de fertilizantes y utilizan diversas herramientas financieras que dificultan a los investigadores acceder a los estados de resultados de Feragrocol.

Por consiguiente, se establece el costo anual uniforme equivalente con una tasa de descuento del 6,2%, calculada a partir del DTF promedio del 2020 y la proyección de la tasa de inflación, ya que la inversión se ejecutaría sin ningún tipo de préstamo financiero. Dando como resultado \$446.039.990 sin la propuesta y \$669.631.988 con la propuesta, lo que confirma la viabilidad del proyecto de inversión ya que el indicador aumenta un 33%.

Tabla 12.

Costos y beneficios de la propuesta

Descripción	SILIX FOX			SILIX FOX - PROPUESTA		
	1	2	3	1	2	3
Ingresos	\$ 1.066.429.000	\$ 1.092.023.296	\$ 1.124.789.620	\$ 1.341.977.000	\$ 1.374.184.448	\$ 1.415.417.060
Costos Materia Prima	\$ 482.529.825	\$ 482.529.825	\$ 482.529.825	\$ 607.207.725	\$ 607.207.725	\$ 607.207.725
Costo Mano de Obra	\$ 7.675.159	\$ 7.675.159	\$ 7.675.159	\$ 10.097.871	\$ 10.349.228	\$ 10.600.585
Costo de Energía Eléctrica	\$ 247.036.520	\$ 252.966.334	\$ 260.560.246	\$ 310.866.760	\$ 318.328.742	\$ 327.884.798
Costo de gas natural	\$ 14.843.285	\$ 15.199.543	\$ 15.656.584	\$ 18.678.550	\$ 19.126.859	\$ 19.701.992
Costo de mantenimiento	\$ 28.477.765	\$ 29.117.622	\$ 29.936.781	\$ 23.279.191	\$ 23.762.303	\$ 24.380.792
Costo de control de calidad	\$ 49.765.878	\$ 50.960.441	\$ 52.490.390	\$ 62.615.173	\$ 64.118.166	\$ 66.043.140
Utilidad operacional Silix Foz	\$ 236.100.568	\$ 253.574.372	\$ 275.940.636	\$ 309.231.730	\$ 331.291.425	\$ 359.598.028
Descripción	SOL PRODUCCIÓN			SOL PRODUCCIÓN - PROPUESTA		
	1	2	3	1	2	3
Ingresos	\$ 1.006.619.100	\$ 1.030.780.107	\$ 1.061.709.204	\$ 1.302.148.900	\$ 1.333.403.253	\$ 1.373.412.716
Costos Materia Prima	\$ 520.186.803	\$ 520.186.803	\$ 520.186.803	\$ 572.208.975	\$ 572.208.975	\$ 572.208.975
Costos Mano de Obra	\$ 9.181.952	\$ 9.563.531	\$ 9.945.109	\$ 10.668.380	\$ 9.120.868	\$ 9.341.941
Costo de Energía Eléctrica	\$ 232.371.090	\$ 237.957.450	\$ 245.101.545	\$ 300.592.110	\$ 307.818.550	\$ 317.060.055
Costo de gas natural	\$ 15.920.052	\$ 16.307.874	\$ 16.802.052	\$ 20.593.964	\$ 21.095.646	\$ 21.734.908
Costo de control de calidad	\$ 54.636.532	\$ 55.951.152	\$ 57.631.956	\$ 70.676.190	\$ 72.376.744	\$ 74.550.982
Utilidad operacional Sol producción	\$ 174.322.671	\$ 190.813.297	\$ 212.041.739	\$ 327.409.280	\$ 350.782.470	\$ 378.515.855
Utilidad operacional total	\$ 410.423.239	\$ 444.387.669	\$ 487.982.375	\$ 636.641.010	\$ 682.073.895	\$ 738.113.883
Inversión	\$ -			\$ -		\$ 37.106.529
Tasa de Descuento		6,2%			6,2%	
CAUE	\$ -		446.039.990	\$ -		669.631.988

Nota. Elaboración propia de los autores

IV. CONCLUSIONES

Mediante las herramientas de Ishikawa y matriz Vester aplicados en el diagnóstico, se establece que el principal problema de la empresa Feragrocol S.A.S, es la gestión inadecuada de los recursos de la cadena productiva de fertilizantes granulados. Enfatizando en las áreas de estandarización del procesos para la ejecución de las actividades y disminución de tiempos perdidos, distribución de planta, por el inadecuado orden y aseo que se presenta y la falta de delimitación de espacios, y el control estadístico de la calidad, debido a los constantes reprocesos que se deben llevar a cabo por el incumplimiento de los parámetros establecidos.

Se determina las líneas de producto a estudiar por el alcance del proyecto y los lotes de producción, dando como resultado Sol Producción con un lote de 109 bultos y Silix Foz con un lote de 108 bultos, mediante la utilización de Pareto 80/20 realizado a dos niveles, donde se tiene en cuenta la priorización basada en la venta de cada producto, desperdicio de material que produce cada línea y costo de reprocesamiento, como también se utiliza el método de suavizamiento exponencial simple para la definición del lote.

La información identificada en el diagnóstico inicial se corrobora, mediante la aproximación del proceso a través de un cursograma analítico inicial y esquema de distribución de planta, mostrando alta relación de causalidad del almacenamiento inadecuado y agotamiento del personal, con el aumento de los tiempos que se incurrir para el cumplimiento de las operaciones del proceso en áreas de alistamiento, empaquetado y traslado de material. También, se investiga las variables de control del proceso, estableciendo la granulometría como la variable a analizar para el estudio del control estadístico de la calidad.

Se logra la estandarización de los procesos de las líneas de producción estudiadas en el presente artículo teniendo en cuenta los recursos disponibles mediante el estudio de tiempos y distribución de planta, sin embargo se realizan propuestas de mejora que permiten la reducción de los suplementos al 9% y por consiguiente la disminución del tiempo de ciclo en un 22% y 21% con un balanceo de línea del 97% y 87% para Sol Producción y Silix Foz respectivamente.

Según los índices de capacidad realizado en el estudio del control estadístico de la calidad, se determina que los procesos de fabricación de fertilizantes granulados Silix Foz y Sol Producción, no están capacitados para cumplir con las especificaciones de granulometría establecidas por la compañía, con un valor nominal de 4,5 mm y tolerancia de $\pm 1,0$ mm, generando reprocesos, pérdida de tiempo y dinero para Feragrocol. Se recomienda, realizar la búsqueda e identificación de las causas asociadas a la generación de producto no conforme dentro del proceso, teniendo en cuenta las 8 M y realizando estudios de prueba y error.

Finalmente, se verifica la viabilidad de la propuesta de mejora realizada por medio de un estudio financiero a partir de la

utilidad operacional de las líneas de fertilizantes, ya que el costo anual uniforme equivalente aumenta un 33% con el proyecto de inversión. Se recomienda, estimar los beneficios para las otras líneas de fertilizantes, ya que la propuesta no solo impacta Silix Foz y Sol Producción, sino que genera mejoras y ventajas en todos los procesos de producción que maneja la compañía.

REFERENCIAS

- [1] L. Serrano-Gómez y N. R. Ortiz-Pimiento, “Una revisión de los modelos de mejoramiento de procesos con enfoque en el rediseño”, Estudios Gerenciales, vol. 28, n. °125, pp. 13–22, dic, 2012. doi:10.1016/s0123-5923(12)70003-7. [Acceso: octubre 17, 2020]
- [2] Toyota, “Sistema de producción Toyota: la filosofía empresarial más admirada”, [En línea]. Disponible en: <https://cutt.ly/NnyzmxN> [Acceso: octubre 1, 2020]
- [3] D. S. Muñoz-Pinzón, W. J. Arteaga-Sarmiento, y D. C. Villamil-Sandoval, “Uso y aplicación de herramientas del modelo de producción Toyota: una revisión de literatura”, Revista Politécnica ISSN 2256-5353, Año 14, vol. 14, no. °27, pp. 80-92, julio-diciembre, 2018, [En línea]. Disponible en: <https://revistas.elpoli.edu.co/index.php/pol/article/view/1348/1087> [Acceso: octubre 1, 2020]
- M. P. García, C. A. Quispe y L. G. Ráez, “Mejora continua de la calidad en los procesos Industrial Data”, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Vol. 6, n.° 1, pp. 89-94 agosto, 2003, Lima, Perú. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/816/81606112.pdf> [Acceso: Octubre 19, 2020]
- [4] Cámara de comercio de Bucaramanga, “Casos de éxito los Alpes”, [En línea]. Disponible en: <https://www.camaradirecta.com/?search=ALPES> [Acceso: octubre 1, 2020]
- [5] Centro de noticias ONU, “La población mundial aumentará en 1.000 millones para 2030”, 21, junio, 2017, [En línea]. Disponible en: <https://cutt.ly/LfmEqWp> [Acceso: septiembre 6, 2020]
- [6] Anffé, “La importancia de los fertilizantes en una agricultura actual, productiva y sostenible”, 2008, [En línea]. Disponible en: <https://cutt.ly/SfmEWHY>. [Acceso: septiembre 6, 2020]
- [7] M.F. Suárez-Barraza, “La sostenibilidad de la mejora continua de procesos en la administración pública: un estudio en los ayuntamientos de España”, Universidad ramon llull, tesis doctoral, dic, 2017, Barcelona, España, [En línea]. Disponible en: <https://cutt.ly/HnyxINZ> [Acceso: Marzo 01, 2021]
- [8] A. Nuñez L. Guitart y X. Baraza. (2014). “Dirección de Operaciones”, Academia.edu. Disponible en: https://www.academia.edu/37886935/Direccion_de_Operaciones_pdf [Acceso: Noviembre 09, 2020].
- [9] B. W. Niebel y A. Freivalds. (2009). “Ingeniería industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo”, Ed. 12. [Acceso: octubre 19, 2020]
- [10] R. Muther. (1970). “Distribución en planta”. Ed. 2. [Acceso: Marzo 01, 2021]
- [11] K. Torres, “Calidad y su evolución: una revisión”, ResearchGate, Aug. 13, 2014. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/276237675_Calidad_y_su_evolucion_una_revision [Acceso: Marzo 01, 2021]
- [12] H. Gutiérrez-Pulido y R. Salazar. “Control estadístico de la calidad y seis sigma”. Ed. 2, México, [En línea]. Disponible en: <https://www.uv.mx/personal/ermeneses/files/2018/05/6-control->

estadistico-de-la-calidad-y-seis-sigma-gutierrez-2da.pdf [Acceso: Marzo 01, 2021]

- [13] M. Romero-Saldaña, “Pruebas de bondad de ajuste a una distribución normal”, Revista de enfermería del trabajo, vol. 6, n°. 3, pp. 105-114, 2016. [Acceso: Abril 20,2021]
- [14] Portafolio, “Uno de cada cinco empleados padece fatiga laboral”, 02, agosto, 2019, [En línea]. Disponible en: <https://www.portafolio.co/economia/uno-de-cada-cinco-empleados-padece-fatiga-laboral-532213> [Acceso: Marzo 01, 2021]
- [15] “Resolución 00150 de 2003”, Suin-juriscol.gov.co, 2010. <https://cutt.ly/onyx54i> [Acceso: Abril 20, 2020].
- [16] ICA, “Fertilizantes registrados - febrero 2021”, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.ica.gov.co/getdoc/a2f80265-2a07-4f5b-964c-f7d39e60e023/productos-registrads-fertilizantes-pag-web-enero-3.aspx> [Acceso: Abril 20,2021]