

**Escuela Superior Politécnica del Litoral**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción**

Disminución de las paradas no programadas en una línea de cosechadoras  
de caña de azúcar en un taller agrícola

INGE-2463

**Proyecto Integrador**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero Industrial**

Presentado por:

Galo Xavier Gallo Aguirre

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

## Dedicatoria

---

Quiero dedicar este proyecto en primer lugar a Dios y a mi amada madre, la Abogada Marisol Aguirre, quién ha sido el pilar fundamental en todo mi camino tanto universitario como de la vida, por demostrarme que, a pesar de las dificultades, siempre se puede seguir hacia adelante. A mi hermano Andres, y a mi papá Galo Eduardo Gallo, que desde el cielo sé que está orgulloso por este logro.

## Agradecimientos

---

Agradezco especialmente a Dios por sus múltiples bendiciones, por darme la sabiduría y la fuerza necesaria durante mi camino universitario, a mi madre Marisol por ser el mayor ejemplo de superación, siempre darme ese ánimo, apoyo incondicional y nunca dejarme desistir. A mi querido ángel, papá que desde el cielo ha sido mi guía en este sendero de la vida. A todos aquellos que vieron tanto potencial en mí, mucho más del que yo creía, que me dieron su apoyo incondicional, Dios puso a las personas adecuadas. Este trabajo es para ustedes, gracias por creer en mí. ¡Vamos por más!

## Declaración Expresa

---

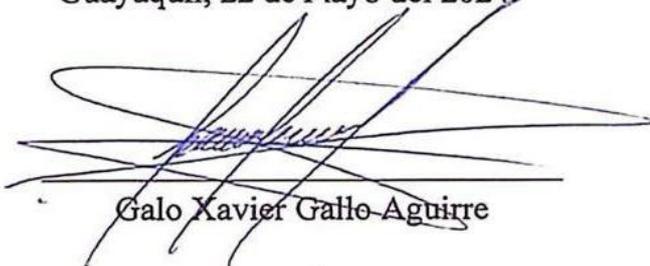
Yo Galo Xavier Gallo Aguirre acuerdo y reconozco que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al autor que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 22 de mayo del 2024.



Galo Xavier Gallo Aguirre

## **Evaluadores**

---

**PhD. María Fernanda López Sarzosa**

Profesor de Materia

---

**PhD. Kleber Fernando Barcia Villacreses**

Tutor de proyecto

## Resumen

El presente proyecto tiene como objetivo implementar mejoras en el proceso de corte mecanizado de caña de azúcar reduciendo significativamente el número de paradas no programadas en una línea de cosechadoras de caña durante la temporada de zafra, lo que incurre en un menor tiempo de producción, baja disponibilidad mecánica y a su vez escasa entrega de materia prima hacia fábrica. Es por ello que se empleó el uso de la metodología DMAIC, partiendo con la definición del problema, utilizando herramientas como VOC, CTQ Tree, junto con el historial de datos, se obtuvo la cantidad promedio de 16 paradas no programadas por día, iniciando con ello la medición y análisis de datos recolectados, donde por medio del diagrama de Ishikawa, gemba walk, análisis de causa y efectos se determinaron las potenciales causas raíz del problema, como la falta de herramientas visuales, desconocimiento en reparación o mantenimiento de maquinaria y respuestas lentas en la gestión del taller agrícola, para lo cual se plantearon soluciones que se complementaron entre sí, eliminando estas causas raíz, lo que impulsó el uso de herramientas visuales, la automatización y la estandarización de procedimientos, que incurrieron en la disminución de paradas no programadas con un total de 12 por día, a su vez generó un incremento en horas de producción, disponibilidad superior al 80% permitiendo el flujo de entrega de toneladas de caña al ingenio con un menor consumo de combustible, generando mayores ganancias, ahorro de recursos e impulsando una industria sostenible y amigable con el ambiente.

**Palabras Clave:** Paradas no programadas, disponibilidad mecánica, metodología DMAIC, cosechadora, corte mecanizado, caña de azúcar, zafra, automatización, estandarización.

### ***Abstract***

*The objective of this project is to implement improvements in the mechanized sugarcane cutting process by significantly reducing the number of unscheduled stops in a line of sugarcane harvesters during the harvest season, which incurs a shorter production time, low mechanical availability, and, in turn, scarce delivery of raw material to the factory. That is why the use of the DMAIC methodology was used, starting with the definition of the problem using tools such as VOC, CTQ Tree, and together with the use of the data history, the average number of 16 unscheduled stops per day was obtained, from which the measurement and analysis of collected data was executed. Where using the Ishikawa diagram, gemba walk, cause and effect analysis, the potential root causes of the problem were determined, such as the lack of visual tools, lack of knowledge in repair or maintenance of machinery, and slow responses in the management of the agricultural workshop, for which solutions were proposed that complemented each other, eliminating these root causes, which promoted the use of visual tools, automation and standardization of procedures, which incurred in the reduction of unscheduled stops with a total of 12 per day, in turn, generated an increase in production hours, availability of more than 80% allowing the flow of delivery of tons of cane to the mill with lower fuel consumption, generating greater profits, saving resources and promoting a sustainable and environmentally friendly industry.*

**Keywords:** Unscheduled stops, mechanical availability, DMAIC methodology, harvester, mechanized cutting, sugarcane, harvest, automation, standardization.

## Índice general

Resumen .....	I
<i>Abstract</i> .....	II
Índice general .....	III
Abreviaturas .....	VI
Simbología .....	VII
Índice de figuras .....	VIII
Índice de tablas .....	X
Capítulo 1 .....	1
1. Introducción .....	2
1.1 Descripción del problema .....	2
1.2 Justificación del problema.....	3
1.2.1 <i>Indicador ambiental</i> .....	4
1.2.2 <i>Indicador social</i> .....	4
1.2.3 <i>Indicador económico</i> .....	4
1.3 Objetivos .....	5
1.3.1 <i>Objetivo general</i> .....	5
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	5
1.4 Marco teórico .....	5
1.4.1 <i>DMAIC</i> .....	5
1.4.2 <i>VOC (Voice of the Customer)</i> .....	5
1.4.3 <i>SIPOC</i> .....	6
1.4.4 <i>Diagrama de Ishikawa</i> .....	6
1.4.5 <i>3W+2H</i> .....	6
1.4.6 <i>5 porqués</i> .....	7
1.4.7 <i>Diagrama de Pareto</i> .....	7
1.4.8 <i>Gemba walk</i> .....	7

Capítulo 2 .....	8
2. Metodología .....	9
2.1 Definición .....	9
2.1.1 <i>Antecedentes</i> .....	9
2.1.2 <i>Necesidades del cliente</i> .....	9
2.1.3 <i>Estratificación del problema</i> .....	11
2.1.4 <i>Mapeo del proceso</i> .....	13
2.1.5 <i>Variables del problema</i> .....	15
2.1.6 <i>Planteamiento del problema</i> .....	16
2.2 Medición.....	17
2.2.1 <i>Prueba de normalidad</i> .....	17
2.2.2 <i>Prueba T: comparación de muestras</i> .....	22
2.2.3 <i>Gráficos de control</i> .....	23
2.2.4 <i>Cartas de control</i> .....	24
2.2.5 <i>Planteamiento del problema enfocado</i> .....	25
2.3 Análisis.....	28
2.3.1 <i>Lluvia de ideas</i> .....	28
2.3.2 <i>Diagrama de Ishikawa</i> .....	28
2.3.3 <i>Matriz Causa-Efecto</i> .....	29
2.3.4 <i>Diagrama de Pareto</i> .....	30
2.3.5 <i>Diagrama impacto esfuerzo</i> .....	32
2.3.6 <i>Plan de verificación de causas</i> .....	33
2.3.7 <i>Gemba walk</i> .....	33
2.3.8 <i>Herramienta 5 porqués</i> .....	35
Capítulo 3 .....	37
3. Implementación de soluciones.....	38
3.1 Posibles soluciones .....	38

3.2	Análisis económico .....	38
3.3	Matriz de priorización esfuerzo – impacto .....	39
3.4	Matriz de priorización ponderada.....	39
3.5	Selección de soluciones .....	41
3.6	Plan de implementación.....	41
3.7	Desarrollo de las soluciones .....	42
3.7.1	<i>Desarrollar un dashboard en power bi para la supervisión, el control y la gestión del taller</i> 42	
3.7.2	<i>Automatización de apuntamiento de paradas de la maquinaria.....</i>	43
3.7.3	<i>Implementar un programa estandarizado de mantenimiento y reparaciones ajustado a la cosechadora case .....</i>	44
3.8	Resultados y análisis .....	46
3.9	Análisis mediante herramientas estadísticas .....	47
3.10	Plan de control.....	49
3.11	Plan de reacción.....	50
Capítulo 4	.....	51
4.	Conclusiones y recomendaciones .....	52
4.1	Conclusiones .....	52
4.2	Recomendaciones .....	52

### Abreviaturas

CTQ	Critical to Quality Tree
DMAIC	Definición, Medición, Análisis, Implementación y Control
ERP	Enterprise Resource Planning
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
VOC	Voice of Customer
Z-000	Zafra número “000”
3W+2H	What, where, when, how, how do I know?

**Simbología**

Ton	Tonelada
TM	Tonelada métrica
TCH	Toneladas de caña por hectárea

## Índice de figuras

Figura 1 <i>Necesidades del cliente</i> .....	10
Figura 2 <i>Diagrama de afinidad</i> .....	10
Figura 3 <i>CTQ's Tree</i> .....	11
Figura 4 <i>Serie de tiempo de paradas no programadas por día de la línea de cosechadoras</i> .....	13
Figura 5 <i>Mapa de procesos del área agrícola</i> .....	14
Figura 6 <i>Flujograma del proceso de corte mecanizado de caña</i> .....	14
Figura 7 <i>SIPOC del proceso de corte mecanizado de caña de azúcar</i> .....	15
Figura 8 <i>Herramienta 3W+2H</i> .....	16
Figura 9 <i>Prueba de normalidad de la cantidad de paradas no programadas (<math>Y_1</math>)</i> .....	18
Figura 10 <i>Prueba de normalidad de la cantidad de paradas totales (<math>X_1</math>)</i> .....	18
Figura 11 <i>Prueba de normalidad de la cantidad de paradas programadas (<math>X_2</math>)</i> .....	19
Figura 12 <i>Prueba de normalidad del porcentaje de disponibilidad de la maquinaria (<math>X_3</math>)</i> .....	19
Figura 13 <i>Prueba de normalidad del Tiempo de producción sin fallos (<math>X_4</math>)</i> .....	19
Figura 14 <i>Prueba de normalidad del Cantidad de caña entregada (<math>X_5</math>)</i> .....	20
Figura 15 <i>Prueba de normalidad del tiempo de paradas no programadas (<math>X_6</math>)</i> .....	20
Figura 16 <i>Transformación de Johnson para las paradas totales de la maquinaria (<math>X_1</math>)</i> .....	21
Figura 17 <i>Prueba-T de 2 muestras: Paradas no programadas de la zafra 139(datos históricos) vs. zafra 140</i> .....	22
Figura 18 <i>Diagrama de cajas de las Paradas no programadas de la zafra 139(datos históricos) vs. zafra 140</i> .....	23
Figura 19 <i>Análisis de capacidad de la variable de respuesta Paradas no programadas</i> .....	24
Figura 20 <i>Carta C de atributos para las paradas no programadas</i> .....	25
Figura 21 <i>Numero de paradas no programadas por modelo de cosechadora de caña durante las zafras 139 –140 (1– 26 Jun)</i> .....	26
Figura 22 <i>Diagrama de Pareto de número de paradas no programadas en cosechadoras Case</i> .....	27
Figura 23 <i>Lluvia de ideas</i> .....	28
Figura 24 <i>Diagrama de Ishikawa</i> .....	29
Figura 25 <i>Diagrama de Pareto: posibles causas potenciales del problema</i> .....	31
Figura 26 <i>Diagrama impacto-esfuerzo con posibles causas raíz</i> .....	32
Figura 27 <i>Pasos para ejecución de gemba walk</i> .....	33
Figura 28 <i>Posibles soluciones</i> .....	38

Figura 29 <i>Matriz esfuerzo - impacto</i> .....	39
Figura 30 <i>Diagrama de relación de soluciones y causas raíz</i> .....	41
Figura 31 Dashboard Taller Agrícola.....	43
Figura 32 Uso de equipos de automatización de apuntamientos en cosechadora de caña case ..	44
Figura 33 Diagrama de flujo de mantenimiento o reparación de cosechadora .....	44
Figura 34 Formato de mantenimiento diario a cosechadora de caña .....	45
Figura 35 Cronograma de mantenimiento diario, por máquina y sección de corte.....	46
Figura 36 Carta c: Paradas no programadas - antes .....	47
Figura 37 Análisis de capacidad antes de la solución.....	48
Figura 38 Carta c: Paradas no programadas - después.....	48
Figura 39 Analisis de capacidad despues de la solución.....	48
Figura 40 Estado del proceso después de la implementación de las soluciones .....	49
Figura 41 <i>Plan de reacción</i> .....	50

## Índice de tablas

Tabla 1 <i>Tipos de paradas no programadas</i> .....	12
Tabla 2 <i>Medidas de control de la cantidad de paradas no programadas</i> .....	13
Tabla 3 <i>Plan de recolección de datos</i> .....	17
Tabla 4 <i>Resultados de la prueba de normalidad de las variables</i> .....	21
Tabla 5 <i>Resultados del valor p de la transformación de Johnson aplicados a las variables no normales</i> .....	22
Tabla 6 <i>Escala de valoración para matriz causa-efecto</i> .....	29
Tabla 7 <i>Matriz causa-efecto</i> .....	30
Tabla 8 <i>Posibles causas potenciales</i> .....	31
Tabla 9 <i>Plan de verificación de causas</i> .....	33
Tabla 10 <i>Herramienta “5 ¿Por qué?”</i> .....	35
Tabla 11 <i>Análisis financiero de posibles soluciones</i> .....	38
Tabla 12 <i>Matriz de priorización ponderada</i> .....	40
Tabla 13 <i>Criterios de calificación para matriz ponderada</i> .....	40
Tabla 14 <i>Plan de implementación</i> .....	42
Tabla 15 <i>Plan de control</i> .....	49

# Capítulo 1

## **1. Introducción**

En el dinámico entorno laboral de la agroindustria, particularmente en el sector azucarero, la eficiencia operativa es un factor crítico para el éxito. El corte mecanizado de caña de azúcar enfrenta numerosos desafíos para mantener la continuidad de las operaciones, por ello es clave mantener al mínimo las paradas no programadas de la maquinaria ya que estas interrupciones no solo disminuyen la productividad, sino que también aumentan los costos operativos y afectan la competitividad de las empresas en el mercado global.

El presente proyecto tiene como objetivo disminuir el número de paradas no programadas en el proceso de corte mecanizado de caña de azúcar, parte fundamental para el abastecimiento de materia prima, en este contexto, es importante comprender el ambiente laboral en el que se desarrollan estas actividades. Se opera en un entorno que combina condiciones climáticas adversas, terrenos difíciles y la necesidad de mantener un flujo continuo y eficiente de trabajo. Además, estas empresas dependen en gran medida de maquinaria especializada, como son las máquinas cosechadoras de caña, que deben funcionar de manera óptima para cumplir con las demandas de la fábrica. Para abordar estos desafíos, se emplea la metodología “definir, medir, analizar, mejorar y controlar” (DMAIC) y herramientas de mejora continua, para identificar las causas raíz de la gran cantidad de paradas de modo que se garantice una solución sostenible.

### **1.1 Descripción del problema**

La empresa bajo estudio se dedica a la producción de azúcar, ha identificado una problemática significativa relacionada con las paradas no programadas durante las temporadas de zafra, lo que afecta en gran medida la eficiencia y productividad en la recolección de caña de azúcar, por lo que minimizar estas interrupciones es crucial.

Para plantear correctamente el problema, debemos considerar varias restricciones importantes. En primer lugar, las temporadas de zafra inician luego del invierno en la costa ecuatoriana, lo que incrementa la frecuencia de averías en la maquinaria debido a las condiciones

climáticas y ambientales adversas. Estas condiciones aumentan la vulnerabilidad de los equipos y complican las operaciones de mantenimiento. Además, existen restricciones logísticas, como la disponibilidad limitada de vehículos para el traslado de la materia prima a la planta de procesamiento. Estas limitaciones pueden provocar demoras y afectar la continuidad del proceso productivo. Cabe destacar que este proyecto se enfoca exclusivamente en resolver las paradas no programadas dentro del proceso de corte de caña, sin considerar las variabilidades causadas por factores externos al proceso de corte, tales como los tiempos de abastecimiento de planta que varían debido a demoras en sus procesos internos.

Para el desarrollo del proyecto de mejora, se han identificado varias variables de interés fundamentales. Entre ellas se incluyen los tiempos de corte efectivo, los tiempos de reparación y la disponibilidad de equipos. Estas variables son esenciales para analizar y comprender los factores que contribuyen a las paradas no programadas y para diseñar estrategias efectivas que permitan reducir su frecuencia y duración.

El ingenio recopila datos detallados por cada zafra, que incluye toda la información relevante sobre las máquinas cosechadoras. La empresa lleva un control exhaustivo de la cantidad de caña recolectada, los tiempos de paradas tanto programadas como no programadas, así como las razones de cada parada. Además, se cuenta con información sobre la planificación diaria y las toneladas de caña cosechadas y transportadas a la planta. Esta base de datos robusta proporciona el soporte necesario para el análisis y la implementación de las mejoras propuestas en el proyecto.

## **1.2 Justificación del problema**

El problema identificado se centra en la alta frecuencia y duración de las paradas no programadas durante las temporadas de zafra. Este problema es crucial de resolver debido a su impacto directo en la eficiencia operativa, la productividad y la rentabilidad de la empresa. La reducción de estas interrupciones no solo mejora la continuidad del proceso de corte de caña, sino que también tiene beneficios ambientales, sociales y económicos significativos.

### ***1.2.1 Indicador ambiental***

En esta línea, la mejora de este indicador es fundamental para reducir la huella de carbono del ingenio y promover prácticas agrícolas más sostenibles, de modo que, al disminuir las paradas no programadas, se optimiza el uso de maquinaria y, por ende, se reduce el consumo innecesario de combustible.

### ***1.2.2 Indicador social***

El tiempo de producción sin fallos es beneficioso tanto para los trabajadores como para la empresa. Para los empleados, un entorno de trabajo más estable y sin interrupciones constantes significa menos estrés y una mayor satisfacción laboral. Además, tiempos prolongados de operación continua permiten a los trabajadores desarrollar un ritmo de trabajo más eficiente y seguro. Lo que promueve también una mejor relación entre operadores y mecánicos, omitiendo buscar culpables por constantes fallas operacionales, fomentando un ambiente agradable de trabajo.

### ***1.2.3 Indicador económico***

Este indicador refleja el valor monetario de la cantidad de caña cosechada diariamente, sin considerar costos asociados al proceso. Resolver el problema de las paradas no programadas indica un aumento en las horas efectivas de producción por día, lo cual que establece una mejora en la cantidad de caña procesada y, por ende, las ganancias diarias de la empresa. Mejorar este indicador no solo maximiza el retorno sobre la inversión, sino que también fortalece la posición competitiva de la compañía en el mercado, permitiendo reinvertir en innovación tecnológica y desarrollo sostenible.

## **1.3 Objetivos**

### ***1.3.1 Objetivo general***

Implementar mejoras en el proceso de corte de caña de azúcar reduciendo significativamente el número de paradas no programadas en una línea de cosechadoras de caña durante la temporada de zafra.

### ***1.3.2 Objetivos específicos***

- i. Recopilar información detallada sobre las paradas no programadas y la productividad de las cosechadoras de caña de azúcar identificando áreas de mejora.
- ii. Analizar las causas raíz de las paradas no programadas en la línea de cosechadoras de caña de azúcar determinando los factores clave que impactan el proceso.
- iii. Implementar soluciones diseñadas reduciendo de manera las paradas no programadas en la línea de cosechadoras de caña de azúcar, mejorando así la eficiencia operativa y aumentando la productividad durante la temporada de zafra.

## **1.4 Marco teórico**

### ***1.4.1 DMAIC***

DMAIC es una metodología estructurada de mejora de procesos utilizada en Six Sigma. Su nombre es un acrónimo de las cinco fases que lo componen: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. Estas etapas se siguen secuencialmente para resolver problemas y mejorar procesos existentes. La fase de definición establece el alcance del proyecto y los objetivos. La fase de medición implica la recolección de datos pertinentes. En la fase de análisis, los datos recolectados se examinan para identificar causas raíz de los problemas. La fase de mejora busca desarrollar e implementar soluciones. Finalmente, la fase de control asegura que las mejoras sean sostenibles a largo plazo (Brue, 2002).

### ***1.4.2 VOC (Voice of the Customer)***

VOC, o la Voz del Cliente, es una técnica para capturar los requisitos, deseos y expectativas de los clientes. Esta información es fundamental para orientar las mejoras y desarrollos en

productos o servicios. El proceso VOC puede incluir encuestas, entrevistas, grupos focales y análisis de comentarios. Es crucial para garantizar que las iniciativas de mejora de procesos estén alineadas con las necesidades del cliente (Griffin & Hauser, 1993).

#### **1.4.3 SIPOC**

SIPOC es una herramienta de mapeo de procesos que ayuda a identificar los componentes clave de un proceso en términos de Proveedores (Suppliers), Entradas (Inputs), Proceso (Process), Salidas (Outputs) y Clientes (Customers). Este diagrama proporciona una visión de alto nivel del proceso y es útil para entender su alcance y elementos esenciales. SIPOC se utiliza frecuentemente al inicio de los proyectos de mejora de procesos para obtener una comprensión clara del proceso en cuestión (Pyzdek, 2003).

#### **1.4.4 Diagrama de Ishikawa**

El diagrama de Ishikawa, también conocido como diagrama de espina de pescado o diagrama de causa y efecto, es una herramienta utilizada para identificar, explorar y representar gráficamente las posibles causas de un problema específico. Esta técnica fue desarrollada por Kaoru Ishikawa y es ampliamente utilizada en el análisis de calidad. El diagrama categoriza las causas en varias ramas principales, tales como mano de obra, maquinaria, métodos, materiales, mediciones y medio ambiente (Ishikawa, 1985).

#### **1.4.5 3W+2H**

La técnica 3W+2H es una herramienta para la formulación de preguntas que ayuda a entender un problema o situación en profundidad. Las preguntas son: Qué (What), Quién (Who), Cuándo (When), Cómo (How) y Cómo lo sé (How i know). Esta metodología facilita una comprensión integral de los aspectos críticos de un problema y es útil en la fase de análisis de diversos procesos de mejora (Tapping & Dunn, 2006).

#### **1.4.6 5 porqués**

Los 5 Porqués es una técnica de análisis de causa raíz que se utiliza para identificar la causa subyacente de un problema. Se basa en la pregunta iterativa de "¿Por qué?" hasta que se descubre la causa fundamental. Generalmente, se requiere preguntar al menos cinco veces, aunque el número puede variar según la complejidad del problema. Esta técnica es simple pero efectiva para resolver problemas profundos y recurrentes (Ohno, 1998).

#### **1.4.7 Diagrama de Pareto**

El diagrama de Pareto es una herramienta gráfica que representa la distribución de las causas de problemas o defectos en un proceso. Basado en el principio de Pareto, también conocido como la regla del 80/20, sugiere que aproximadamente el 80% de los problemas son causados por el 20% de las causas. El diagrama de Pareto prioriza las causas para enfocarse en las que tendrán el mayor impacto en la mejora del proceso (Juran, 1998).

#### **1.4.8 Gemba walk**

Gemba Walk es una práctica de gestión de calidad en la cual los líderes visitan el lugar donde ocurre el trabajo (el "Gemba") para observar y entender los procesos, interactuar con los empleados e identificar oportunidades de mejora. Este enfoque promueve la comunicación directa, la observación de primera mano y la resolución de problemas en el sitio, permitiendo a los líderes tomar decisiones informadas y basadas en la realidad del terreno (Imai, 1986).

## **Capítulo 2**

## **2. Metodología**

De acuerdo con la metodología DMAIC, se ejecuta la primera etapa donde se define el problema a través de las necesidades del cliente, se recolecta y analiza los datos. Lo cual permite indagar las variables que intervienen, y con ello determinar un enfoque para abordar el problema.

### **2.1 Definición**

En esta fase, se establecieron las bases sobre las cuales se desarrolla el proyecto, los objetivos a lograr y el alcance del proyecto. La finalidad de esta etapa fue identificar y definir el problema, así como las metas y requisitos del proyecto, lo que permitió alinear esfuerzos hacia un objetivo común.

#### **2.1.1 Antecedentes**

La compañía bajo estudio es un ingenio azucarero situado en la ciudad de Milagro. Se dedica al cultivo continuo de caña de azúcar a lo largo del año y, durante el período de zafra, que se lleva a cabo en verano, se encarga de la cosecha de la caña para posteriormente producir y distribuir azúcar destinada al consumo humano.

#### **2.1.2 Necesidades del cliente**

La gerencia de cosecha junto con taller agrícola identificó interrupción durante el flujo de sus operaciones debido a un elevado número de paradas no programadas en la línea de cosechadoras de caña y los tiempos que conllevan a lo largo de todo el proceso de corte mecanizado de caña; por lo que fue necesario averiguar la causa raíz de este problema.

Se ejecutaron reuniones presenciales con el personal operativo y administrativo, con el fin de conocer las opiniones y determinar los dolores del personal involucrado en el proceso. Lo que permitió recopilar las ideas de los clientes, y agruparlas en el VOC descrito en la figura 1.

**Figura 1**

*Necesidades del cliente*



Luego de recibir las necesidades por parte del equipo de cosecha, se las clasificó en tres categorías como se muestra en la figura 2.

**Figura 2**

*Diagrama de afinidad*

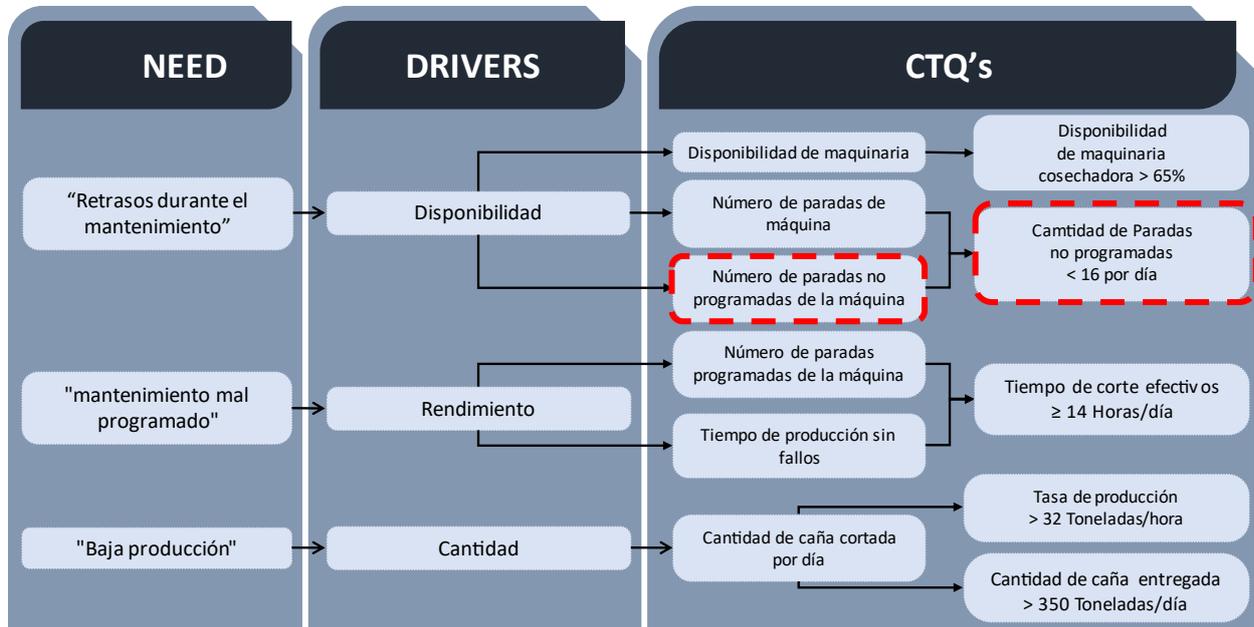


A partir de las opiniones clasificadas junto con el equipo y el cliente clave, se empleó la herramienta CTQ's Tree y se determinó las necesidades representadas por indicadores clave como

se muestra en la figura 3.

**Figura 3**

*CTQ's Tree*



Junto con el cliente clave se obtuvieron las necesidades, la métrica de número de paradas no programadas está resaltada dado que al revisar con el cliente clave, esta frecuencia de parada no programada se relaciona, tanto con la efectividad de ejecución de mantenimientos y reparaciones que afectan directamente la producción.

### 2.1.3 Estratificación del problema

En respuesta a las necesidades del cliente clave, el enfoque de este proyecto será con el factor de disponibilidad mecánica, quitando factores ajenos a la operación de corte mecanizado y agentes externos que no se pueden controlar, ya sean condiciones adversas al clima o terreno.

En este contexto, no es práctico trabajar con variables relacionadas a otros departamentos como la fábrica o transporte ya que esto no está dentro del enfoque de disponibilidad mecánica. La tabla 1 detalla los tipos de paradas no programadas que sobrellevan las máquinas cosechadoras, en donde se excluyen del análisis los tipos de paradas no programadas resaltadas de rojo, para garantizar la precisión y relevancia de los resultados obtenidos.

**Tabla 1***Tipos de paradas no programadas*

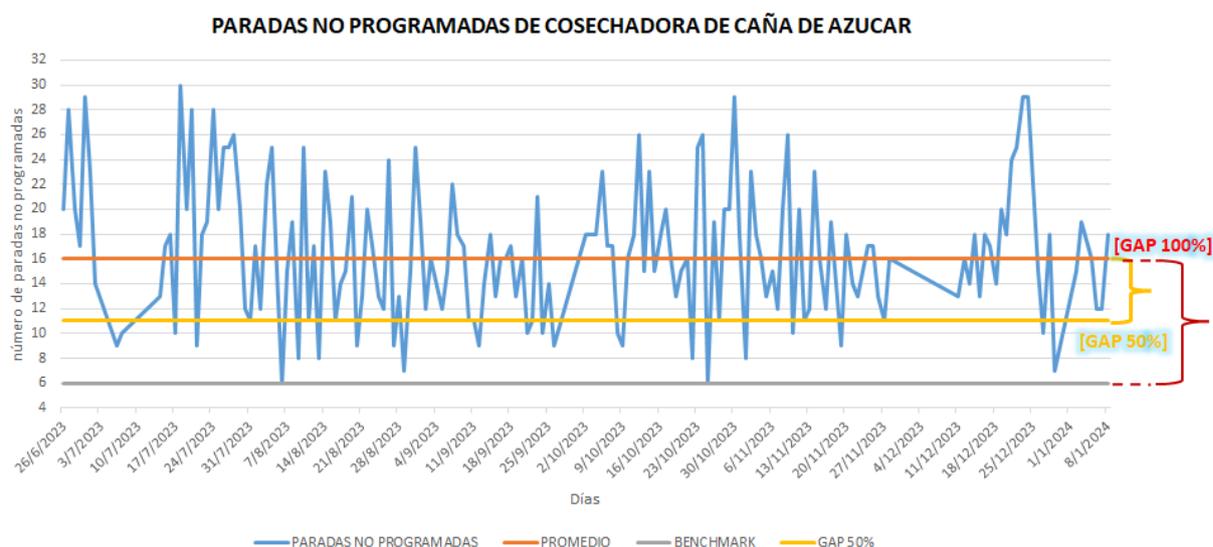
<b>Tipo de paradas no programadas</b>	<b>Afecta a</b>	<b>En el análisis</b>
Falta de camiones	Productividad	Excluido
Paro en fabrica	Productividad	Excluido
Daño mecánico del sistema hidráulico en campo	Disponibilidad	Incluido
Daño mecánico del sistema de picador en campo	Disponibilidad	Incluido
Daño del sistema eléctrico en campo	Disponibilidad	Incluido
En espera de cama baja	Productividad	Excluido
Volteable espera -cosecha	Productividad	Excluido
Terreno húmedo por lluvia	Productividad	Excluido
Daño mecánico chasis-estruc ca	Disponibilidad	Incluido
Daño mecánico Motor comb en campo	Disponibilidad	Incluido
Daño mecánico en el campo	Disponibilidad	Incluido
Daño mecánico de sistema de corte	Disponibilidad	Incluido
Daño mecánico de sistema de trans. oruga	Disponibilidad	Incluido
Daño mecánico de elevador de cañ	Disponibilidad	Incluido
Falta de aceite	Disponibilidad	Incluido
Daño mecánico cabina -peri cam	Disponibilidad	Incluido
Falta de combustibles	Disponibilidad	Incluido
Daño mecánico chasis/estruc t	Disponibilidad	Incluido
Necesidades básicas	Productividad	Excluido
Daño mecánico de sistema de picado tall	Disponibilidad	Incluido
Daño mecánico talleres ex	Disponibilidad	Incluido
Daño mecánico de sistema hidra tall	Disponibilidad	Incluido
Daño mecánico elevador caña	Disponibilidad	Incluido
Daño mecánico de sistema de trans. rueda	Disponibilidad	Incluido
Falta de operador	Productividad	Incluido
Daño mecánico motor comb tall	Disponibilidad	Incluido
Daño en sistema eléctrico tal	Disponibilidad	Incluido
Falla terreno agente externo	Productividad	Excluido
Daño mecánico de sistema de corte tal	Disponibilidad	Incluido
Falta de agua	Disponibilidad	Incluido
Daño mecánico taller	Disponibilidad	Incluido
Falta de combustible/aceite	Disponibilidad	Incluido
Falta de área por laborar en el campo	Productividad	Excluido
Falta de planificación en campo	Productividad	Excluido
Daño mecánico cabina-perife t	Disponibilidad	Incluido

Analizando la serie de tiempo mostrada en la figura 4, se determinó que, entre el 26 de junio de 2023 y el 9 de enero de 2024 (Zafra 139), se registró un promedio de 16 paradas no programadas por día en la línea de cosechadoras. Este valor se convierte en un indicador clave para evaluar la frecuencia de las interrupciones. A su vez, en los días con menor incidencia de

problemas, se registraron un mínimo de 6 paradas no programadas, estableciendo este valor como el benchmark o mejor caso.

#### Figura 4

*Serie de tiempo de paradas no programadas por día de la línea de cosechadoras*



En la tabla 2 se muestra un resumen de las medidas de control determinadas a partir de los datos históricos. El GAP entre la cantidad promedio de 16 paradas no programadas al día y la cantidad mínima registrada de 6, se cuantificó en 10 paradas representando el potencial de mejora disponible. Se decidió trabajar con el 50% del GAP, lo que implica un objetivo de reducción de 5 paradas no programadas, con el objetivo de disminuir de 16 a 11 paradas no programadas por día.

**Tabla 2**

*Medidas de control de la cantidad de paradas no programadas*

Medida de control	Cantidad de paradas no programadas por día
Promedio	16
Benchmark	06
Gap	10
Gap 50%	05
Objetivo	11

#### 2.1.4 Mapeo del proceso

El enfoque de este proyecto está en el área agrícola, detallado en la figura 5, en esta sección, se centra en el departamento de gestión de cosecha y logística, que juega un papel crucial en la eficiencia de la recolección de caña de azúcar.

**Figura 5**

*Mapa de procesos del área agrícola*

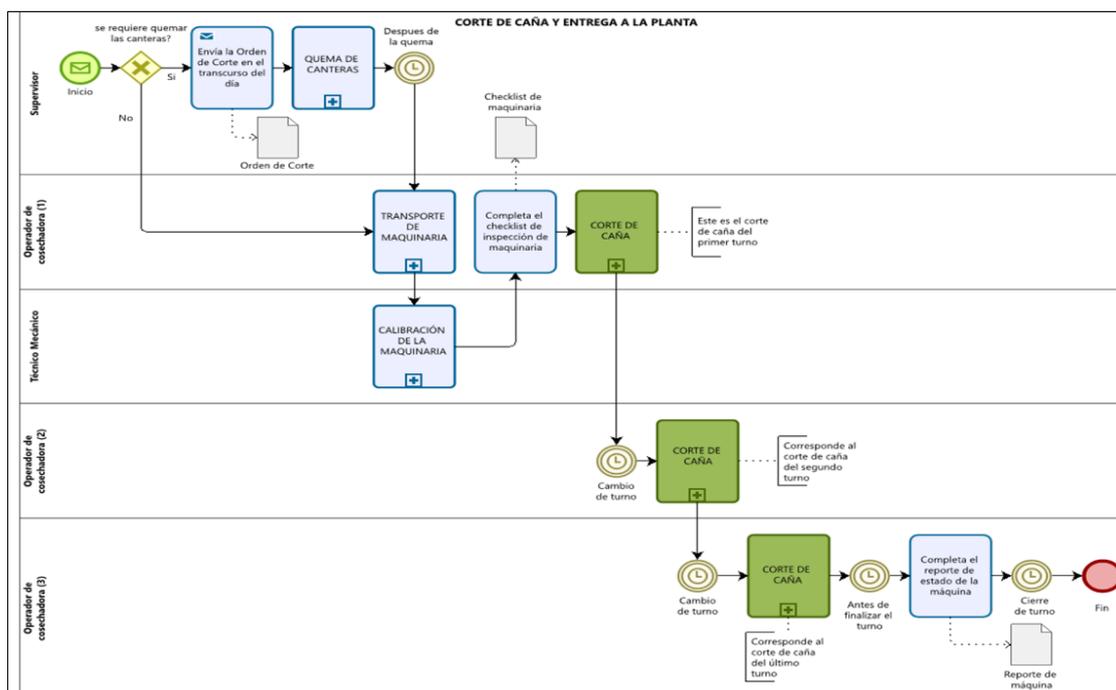


*Nota.* Mapa de procesos del área agrícola obtenido de Ingenio azucarero.

El proceso de corte mecanizado de caña se muestra el detalle en la figura 6, cargos y la secuencia de las actividades involucradas en el corte mecanizado de caña.

**Figura 6**

*Flujograma del proceso de corte mecanizado de caña*



*Nota.* Mapeo del proceso de corte de caña levantado desde Ingenio Azucarero, elaborado con Bizagi Modeler.

Se realizó el SIPOC centrado en el proceso bajo estudio, como se muestra en la figura 7 se identifica las partes y materiales que intervienen en el proyecto, para mantener el flujo de la operación.

**Figura 7**

*SIPOC del proceso de corte mecanizado de caña de azúcar*



### 2.1.5 Variables del problema

La problemática se centró en el elevado número de paradas no programadas, el objetivo es reducir hasta el nivel del GAP del 50%.

La cantidad de paradas no programadas, influenciado por el factor de disponibilidad mecánica, significa que la cantidad de veces que se detiene el proceso de manera no planificada está estrechamente relacionada con la capacidad y fiabilidad de los equipos mecánicos utilizados en el sistema de producción.

Se definen las variables que se encuentran interrelacionadas:

$Y_1$ : Cantidad de paradas no programadas (Variable de respuesta)

$X_1$ : Cantidad total de paradas

$X_2$ : Cantidad de paradas programadas

$X_3$ : Disponibilidad de la maquinaria [%]

$X_4$ : Tiempo de producción sin fallos [horas]

$X_5$ : Cantidad de caña cortada por día [tm/día]

$X_6$ : Tiempo de paradas no programadas [horas]

"La cantidad de paradas no programadas se calcula restando la cantidad total de paradas programadas de la cantidad total de paradas."

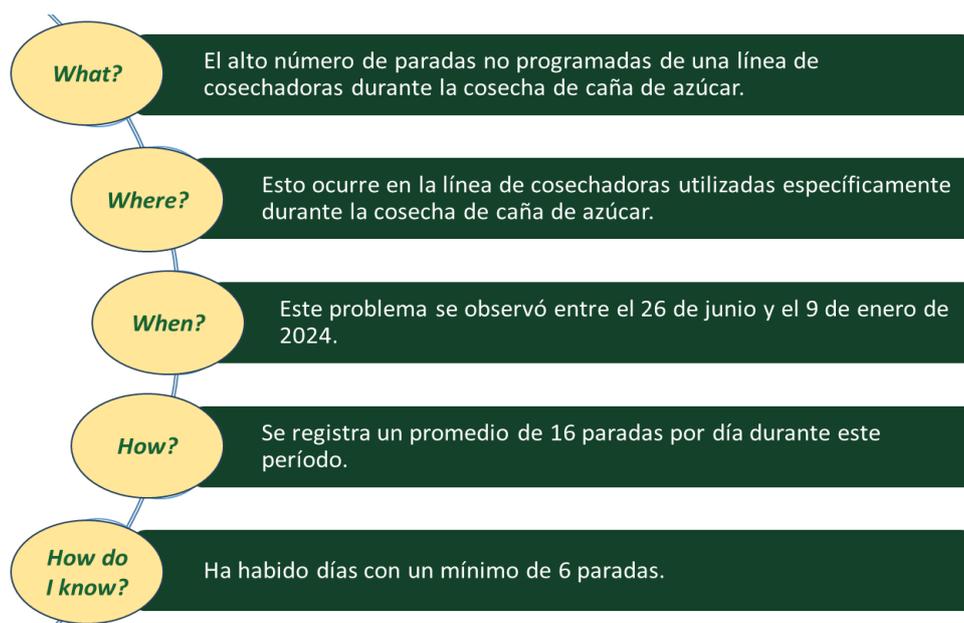
$$Y = X_1 - X_2 \quad (2.1)$$

### 2.1.6 Planteamiento del problema

A partir de los datos recopilados, se aplicó la herramienta 3W+2H para realizar el planteamiento del problema, como se muestra en la figura 8.

**Figura 8**

*Herramienta 3W+2H*



Se enuncia el planteamiento del problema como:

“El alto número de paradas no programadas de la línea de cosechadoras durante la cosecha de caña de azúcar, con un promedio de 16 paradas por día entre el 26 de junio y el 9 de enero de 2024, indica una interrupción significativa en las operaciones, conociendo a partir de los datos históricos, que se han registrado mínimos de 6 paradas no programadas en un día.”

A su vez, se estableció el siguiente objetivo del proyecto: Reducir la brecha en un 50% (16 a 11) por día de paradas no programadas en el primer trimestre de la cosecha - Zafra 140 (Junio –

Agosto).

## 2.2 Medición

Se inició la fase medición con la elaboración del plan de recolección de datos, cómo se describe en la tabla 3. Este plan detalla todas las variables predictoras ( $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6$ ) que impactan en la variable de interés (variable de respuesta:  $Y_1$ ), cómo se recopilaban esos datos y su estado.

**Tabla 3**

*Plan de recolección de datos*

What?						When?	Where?	How?	Why?	Who?	Estado
Variable	Importancia operativa	Unidad de medida	Tipo de dato	Tamaño de la muestra	Factores de estratificación n	Fecha	Punto de origen	Método de recolección	Uso futuro	Responsable	
Y1	Paradas no programadas por día	Paradas/día	Discreto	No se necesita tamaño de muestra, todos los datos se registran	Tipo de parada	<ul style="list-style-type: none"> <li>Datos históricos de la cosecha n°139: Mayo 2023 - Enero 2024</li> <li>Datos de cosecha n°140 (actualizado) 31 de mayo de 2024 – 26 de junio de 2024</li> </ul>	Datos históricos de la última cosecha	Verifique los datos comparando los datos históricos con los datos actuales, los informes físicos y virtuales	Identificar si esta es una causa de la disminución de la producción	Líder de Proyecto	En proceso
X1	Paradas totales de la máquina cosechadora	Paradas/día	Discreto		Tipo de parada				Conocer el estado real de la variable de respuesta		
X2	Paradas programadas de la máquina cosechadora	Paradas/día	Discreto		Tipo de parada				Conocer el estado real de la variable de respuesta		
X3	Disponibilidad de maquinaria	Porcentaje	Continuo		Tipo de parada				Analice el estado de la máquina		
X4	Tiempo de producción sin fallos	Horas	Continuo		Tipo de parada				Analice el impacto del tiempo de inactividad no programado en la productividad de la máquina		
X5	Cantidad de caña cortada por día	Toneladas	Continuo		Tipo de corte - Mecanizado				Analice el estado de la máquina		
X6	Tiempo de inactividad no programado por máquina	Horas	Continuo		Tipo de parada				Impacto de las horas no productivas durante la operación		

### 2.2.1 Prueba de normalidad

Una vez se recopiló todos los datos del período mencionado, se realizó la limpieza de las variables externas al proceso para eliminar sesgos de los datos. Posterior a ello, se realizó la prueba de normalidad para los datos y la verificación de fiabilidad.

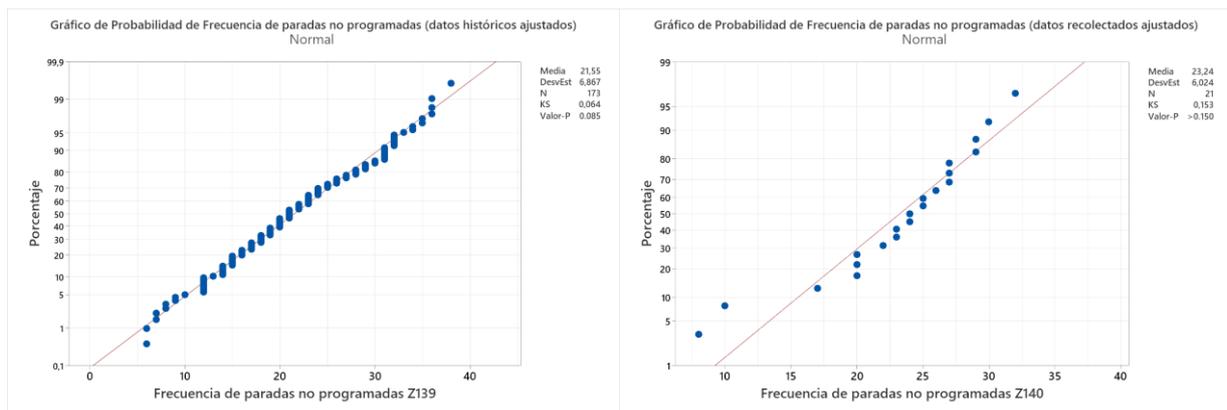
Como primera parte del análisis de los datos, se llevó a cabo la prueba de normalidad, para verificar si los datos tomados siguen una distribución normal, tanto de los datos históricos de la zafra 139 como de los datos recolectados en la zafra 140, utilizando la herramienta Minitab para este fin.

Las figuras 9 a la 15, muestran las pruebas de normalidad de los datos correspondientes a las variables predictoras y de respuesta. El planteamiento de la prueba de normalidad contiene dos hipótesis,  $H_0$ : Los datos siguen una distribución normal y  $H_a$ : Los datos no siguen una distribución normal.

Con esta base, suponiendo un nivel de confianza del 95%, el valor p resultante permite concluir respecto a las hipótesis: para  $p > 0.05$  que no hay evidencia suficiente para rechazar  $H_0$  (acepta la normalidad de los datos), por otro lado, para  $p \leq 0.05$  rechaza  $H_0$  (los datos no son normales).

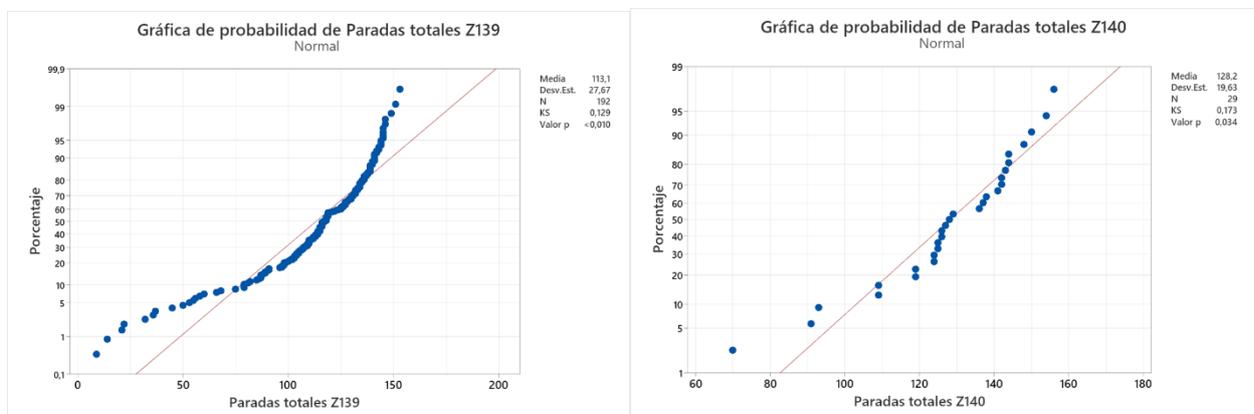
### Figura 9

*Prueba de normalidad de la cantidad de paradas no programadas ( $Y_1$ )*



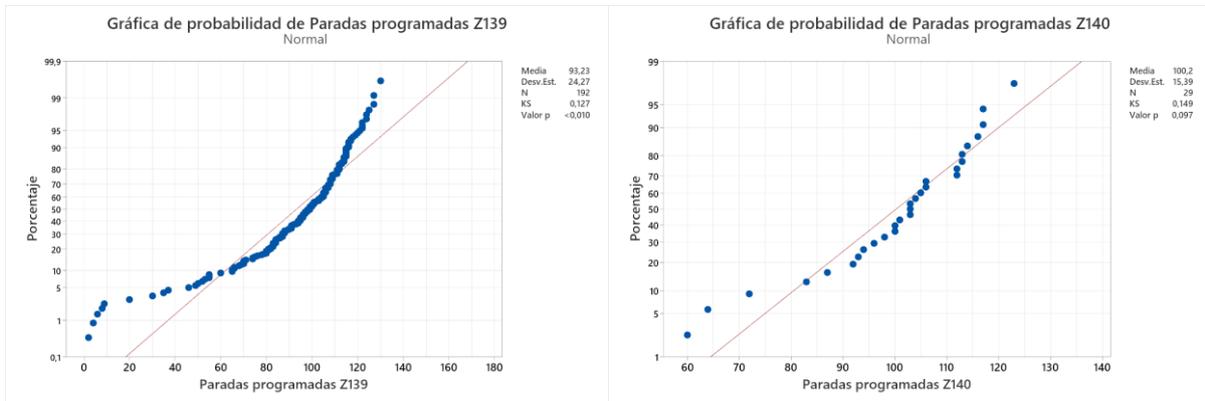
### Figura 10

*Prueba de normalidad de la cantidad de paradas totales ( $X_1$ )*



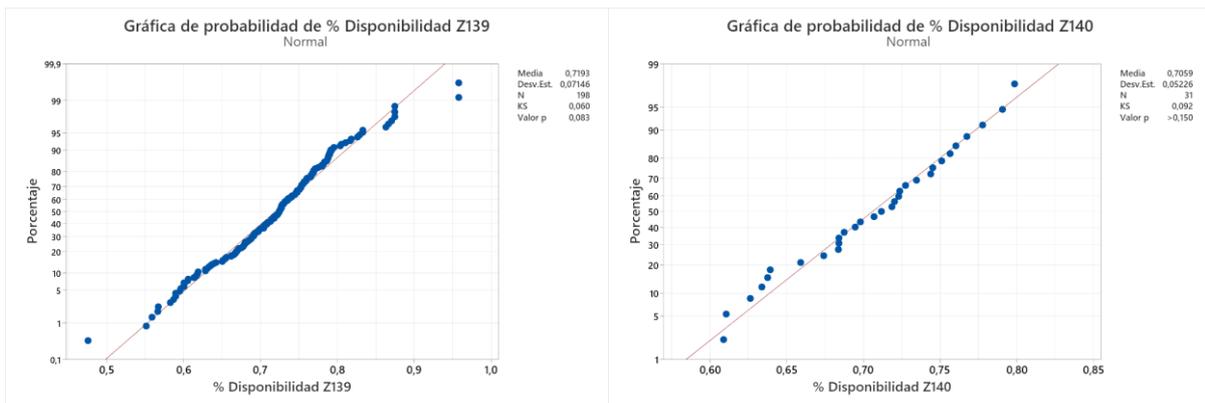
**Figura 11**

*Prueba de normalidad de la cantidad de paradas programadas ( $X_2$ )*



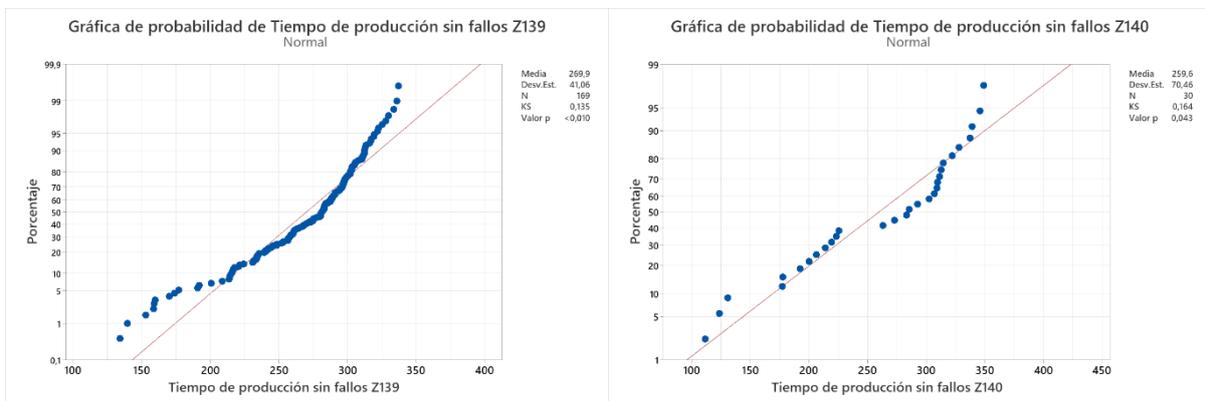
**Figura 12**

*Prueba de normalidad del porcentaje de disponibilidad de la maquinaria ( $X_3$ )*



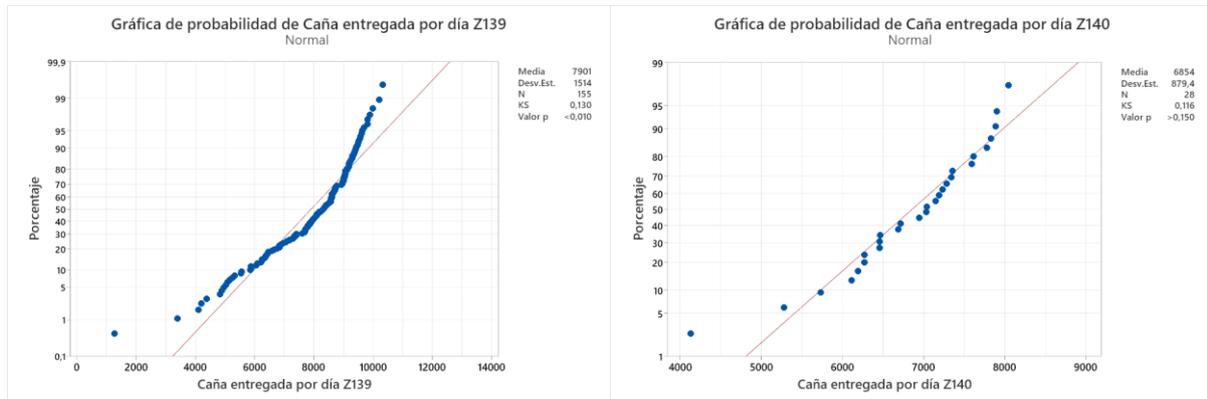
**Figura 13**

*Prueba de normalidad del Tiempo de producción sin fallos ( $X_4$ )*

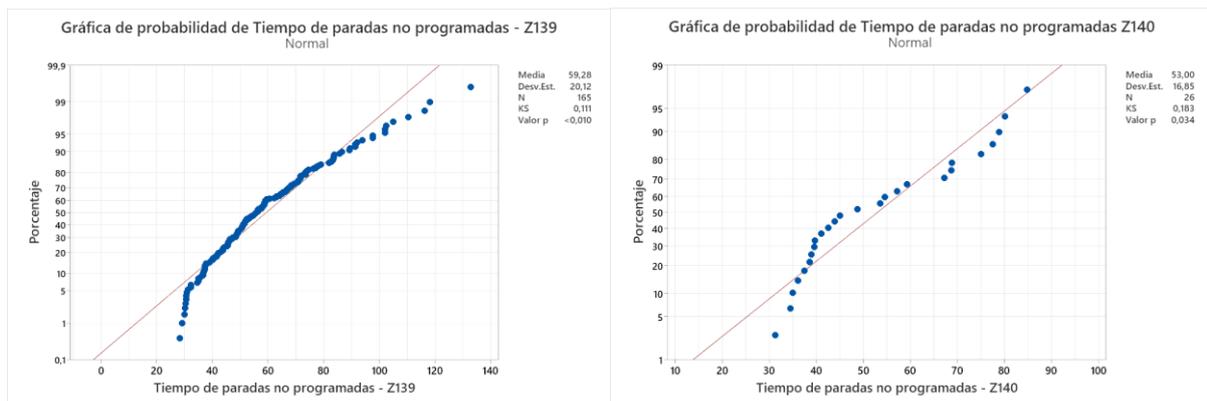


**Figura 14**

*Prueba de normalidad del Cantidad de caña entregada ( $X_5$ )*

**Figura 15**

*Prueba de normalidad del tiempo de paradas no programadas ( $X_6$ )*



Realizada la prueba de normalidad, como se observa en la tabla 4, se agrupa el valor p de cada variable y se determina si el conjunto de datos analizado sigue una distribución normal. En la tabla 3, figura 9 y figura 12, los datos de las variables  $Y_1$  y  $X_3$  siguen una distribución normal tanto para los datos históricos (Z-139), como para los datos recolectados (Z-140).

Por otra parte, uno de los supuestos de la no normalidad de estos datos es la estacionalidad durante el período de zafra, concretamente, el final del período de cosecha de caña coincide con el inicio de la temporada de lluvias en el país. Esto conduce, a que la posible correlación entre estas variables favorezca el aumento de algún tipo de parada.

**Tabla 4**

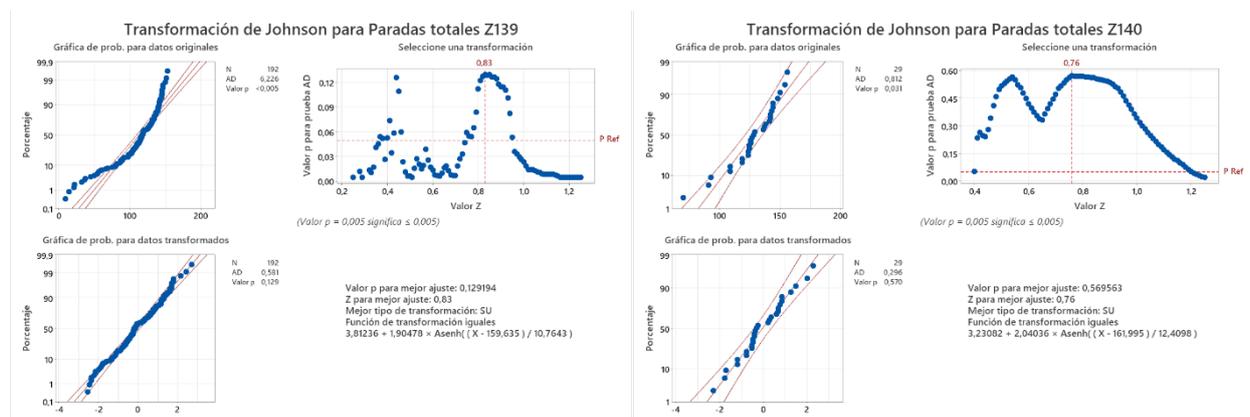
*Resultados de la prueba de normalidad de las variables*

Variable	Datos históricos Z-139		Datos colectados Z-140	
	Valor p	Distribución	Valor p	Distribución
Y <sub>1</sub>	0.085	Normal	>0.150	Normal
X <sub>1</sub>	<0.010	*	0.034	*
X <sub>2</sub>	<0.010	*	0.097	Normal
X <sub>3</sub>	0.083	Normal	>0.150	Normal
X <sub>4</sub>	<0.010	*	<0.010	*
X <sub>5</sub>	<0.010	*	0.032	*
X <sub>6</sub>	<0.010	*	>0.150	Normal

Para continuar con el análisis de las variables que no siguen una distribución normal, por medio del software minitab, se aplicó la Transformación de Johnson. Esta transformación aplica la prueba de normalidad a los datos originales y los transformados, junto con su respectivo valor p además de la función de transformación, lo que permite usar el mismo criterio del valor p para determinar la distribución de los datos.

**Figura 16**

*Transformación de Johnson para las paradas totales de la maquinaria (X<sub>1</sub>)*



*Nota.* La transformación aplica la prueba de normalidad a los datos originales y los transformados, junto con su respectivo valor p además de la función de transformación.

En la figura 16 se aplica la transformación de Johnson, con una sensibilidad de  $\alpha = 0.05$ , a los datos de la variable X<sub>1</sub>: Cantidad de paradas totales de la maquinaria. Este procedimiento se aplica a todas las variables (mostradas en la tabla 4) que no siguen la distribución normal, y cuyo valor p resultante se recogen en la tabla 5.

**Tabla 5**

*Resultados del valor p de la transformación de Johnson aplicados a las variables no normales*

Variable	Datos históricos Z-139		Datos colectados Z-140	
	Valor p	Valor p transformado	Valor p	Valor p transformado
X <sub>1</sub>	<0.005	0.129	0.031	0.570
X <sub>2</sub>	<0.005	0.864	0.097	*
X <sub>4</sub>	<0.005	0.738	0.019	0.622
X <sub>5</sub>	<0.005	0.597	0.032	0.905
X <sub>6</sub>	<0.005	0.951	>0.150	*

### 2.2.2 Prueba T: comparación de muestras

Una vez verificada la normalidad de los datos, a través del software Minitab se ejecutó la prueba T para la comparación de 2 muestras y así comprobar si existe una diferencia significativa entre los datos históricos (zafra 139) y los datos colectados (zafra 140). Se define la prueba T con las hipótesis, H<sub>0</sub>: No existe diferencia significativa entre las medias de las variables, y H<sub>a</sub>: Los datos no tienen una diferencia significativa.

En la figura 17, se muestra la prueba-T aplicada a la variable Y<sub>1</sub> que devuelve el método de comparación, las estadísticas descriptivas de las variables, una estimación de la diferencia entre las variables junto a un intervalo de confianza, y finalmente el resultado de la prueba con un valor-p. La conclusión de esta prueba para la variable X<sub>1</sub>, resulta en un valor-p de 0.243, lo que indica que estadísticamente no existe una diferencia significativa entre los datos históricos y los datos recolectados.

#### Figura 17

*Prueba-T de 2 muestras: Paradas no programadas de la zafra 139(datos históricos) vs. zafra 140*

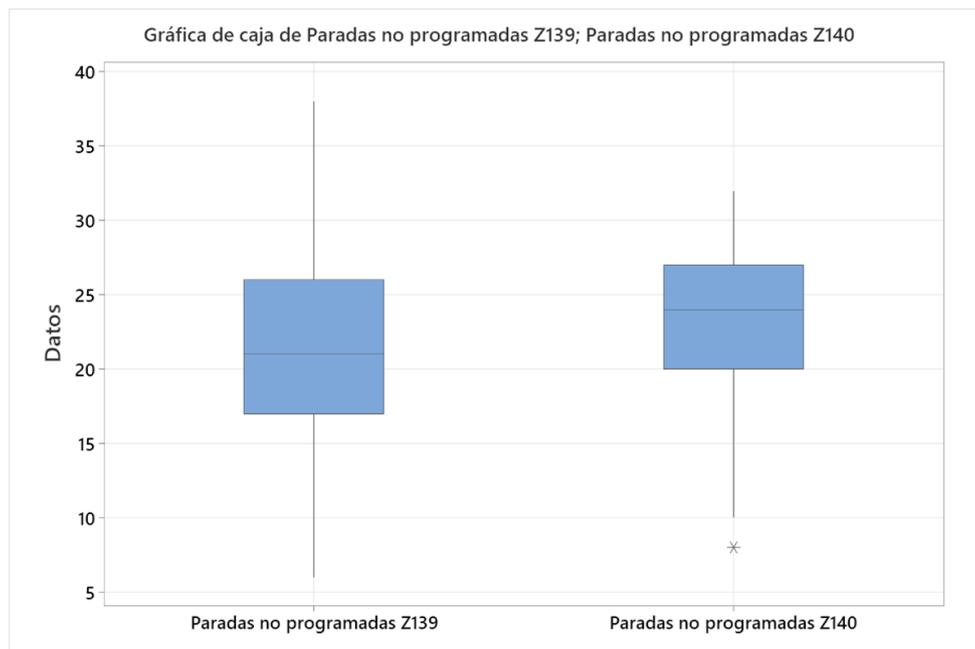
Método	Estimación de la diferencia				
$\mu_1$ : media de población de Paradas no programadas Z139 $\mu_2$ : media de población de Paradas no programadas Z140 Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$	<b>IC de 95% para la diferencia</b>				
<i>No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.</i>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Diferencia</th> <th>la diferencia</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-1,69</td> <td>(-4,60; 1,22)</td> </tr> </tbody> </table>	Diferencia	la diferencia	-1,69	(-4,60; 1,22)
Diferencia	la diferencia				
-1,69	(-4,60; 1,22)				

Estadísticas descriptivas					Prueba		
				Error estándar de la media	Hipótesis nula	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$	
					Hipótesis alterna	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$	
Muestra	N	Media	Desv.Est.		Valor T	GL	Valor p
Paradas no programadas Z139	173	21,55	6,87		-1,19	26	0,243
Paradas no programadas Z140	21	23,24	6,02				

Del mismo modo que la prueba-T compara las medias de manera analítica, se puede representar los datos y compararlos de manera gráfica, como se aprecia en la figura 18, a través de un diagrama de cajas.

### Figura 18

*Diagrama de cajas de las Paradas no programadas de la zafra 139(datos históricos) vs. zafra 140*



En la prueba-T, este análisis se realizó para todas las variables predictoras y considera el supuesto de la normalidad de los datos. En ese sentido, para las variables que no tienen una distribución normal y se ajustaron a través de la transformación de Johnson, usamos los datos transformados con el fin de comprobar si existe diferencia significativa entre estos.

### 2.2.3 Gráficos de control

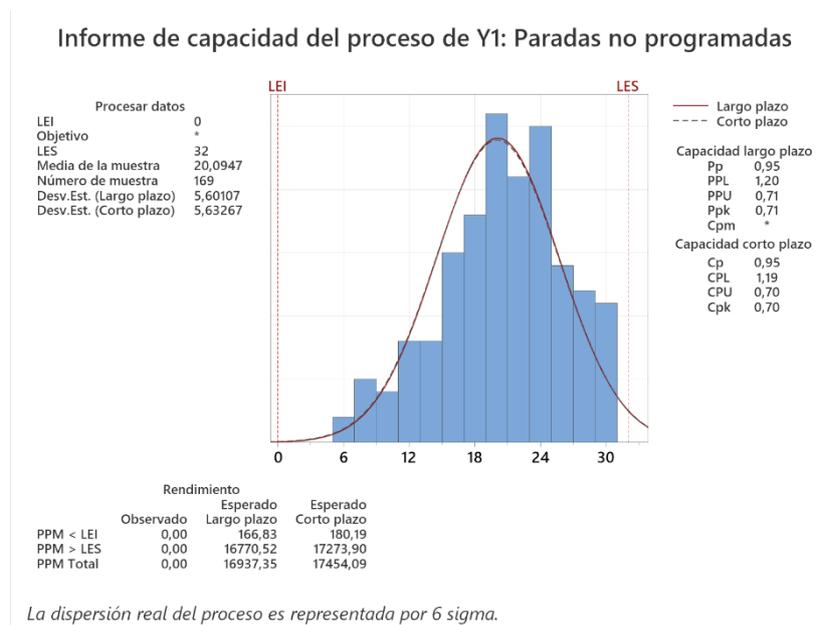
En el análisis de la variable del proceso Y1 (cantidad de paradas no programadas), se

realizaron estudios de capacidad y estabilidad del proceso para evaluar su desempeño y variabilidad.

A través del software Minitab, se llevó a cabo un análisis de capacidad del proceso (figura 19). Como resultado se obtuvo una media de 20.09 paradas no programadas. El índice de capacidad del proceso ( $C_p$ ) se calculó en 0.95, mientras que 0.70 resultó en el índice de capacidad centrado ( $C_{pk}$ ). Lo que indica que el proceso tiene una capacidad insuficiente para cumplir consistentemente con los límites de especificación establecidos, dado que un  $C_p$  menor a 1.0 y un  $C_{pk}$  significativamente menor que el  $C_p$  sugieren una considerable variabilidad y un proceso descentrado.

**Figura 19**

*Análisis de capacidad de la variable de respuesta Paradas no programadas*



*Nota.* Análisis de capacidad del proceso realizado en el software Minitab.

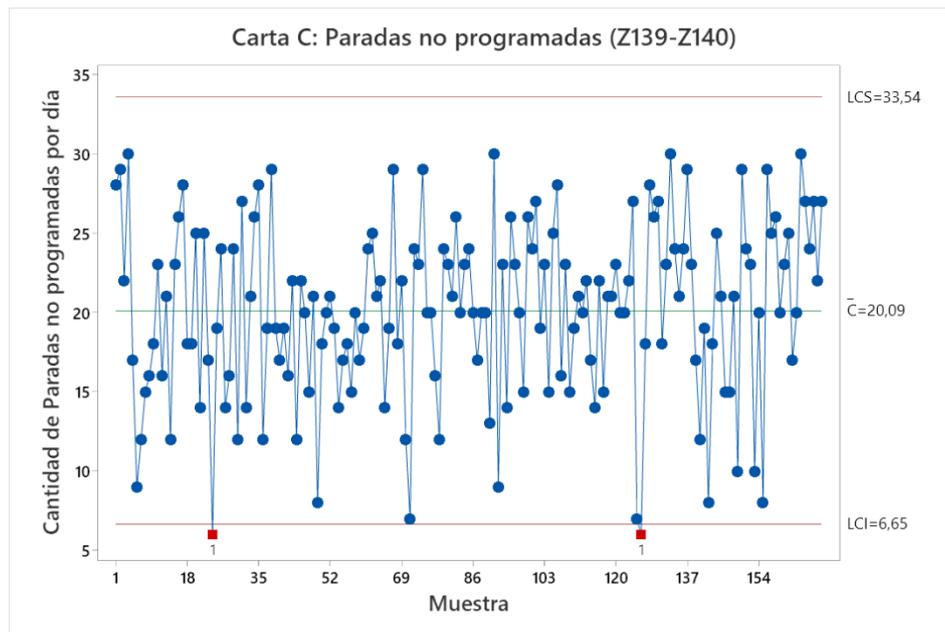
## 2.2.4 Cartas de control

Se utilizó una carta C de atributos, la cual es adecuada para monitorear el número de ocurrencias de un evento dentro de un grupo constante. En la figura 20 indican que la media de paradas no programadas fue nuevamente 20.09, con un límite superior de control (UCL) de 33.54 y un límite inferior de control (LCL) de 6.65. Este gráfico indicó que dos puntos se encontraban

fuera del límite de especificación, específicamente aquellos con 6 paradas no programadas, que corresponde al mínimo histórico registrado.

**Figura 20**

*Carta C de atributos para las paradas no programadas*



*Nota.* Análisis de capacidad del proceso realizado en el software Minitab.

Este análisis revela que el proceso no es completamente estable, existen eventos fuera de los límites de control, lo que sugiere presencia de causas especiales de variabilidad que deben ser investigadas y corregidas. Además, la incapacidad del proceso para mantener un número de paradas no programadas dentro de los límites deseados refleja necesidad de implementar mejoras significativas en el mantenimiento y operación de las máquinas cosechadoras, así como en la capacitación del personal involucrado.

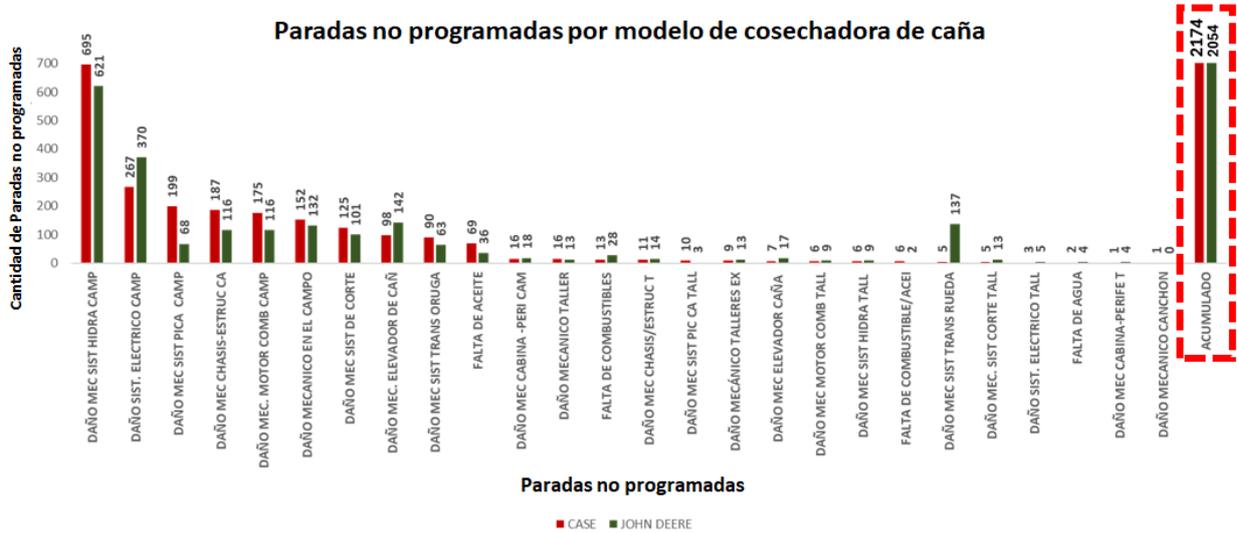
### 2.2.5 Planteamiento del problema enfocado

La compañía mantiene un total de 21 cosechadoras de caña de azúcar, con dos modelos distintos: *Case* y *John Deere*, se hizo enfoque en las cosechadoras case (11) dado que presentan un número mayor de paradas no programadas, haciendo hincapié en que es maquinaria que fue adquirida nueva y llevan trabajando 3 zafras, con respecto al modelo John Deere (10) entre 8 a 7

zafras, como se evidencia en la figura 21.

**Figura 21**

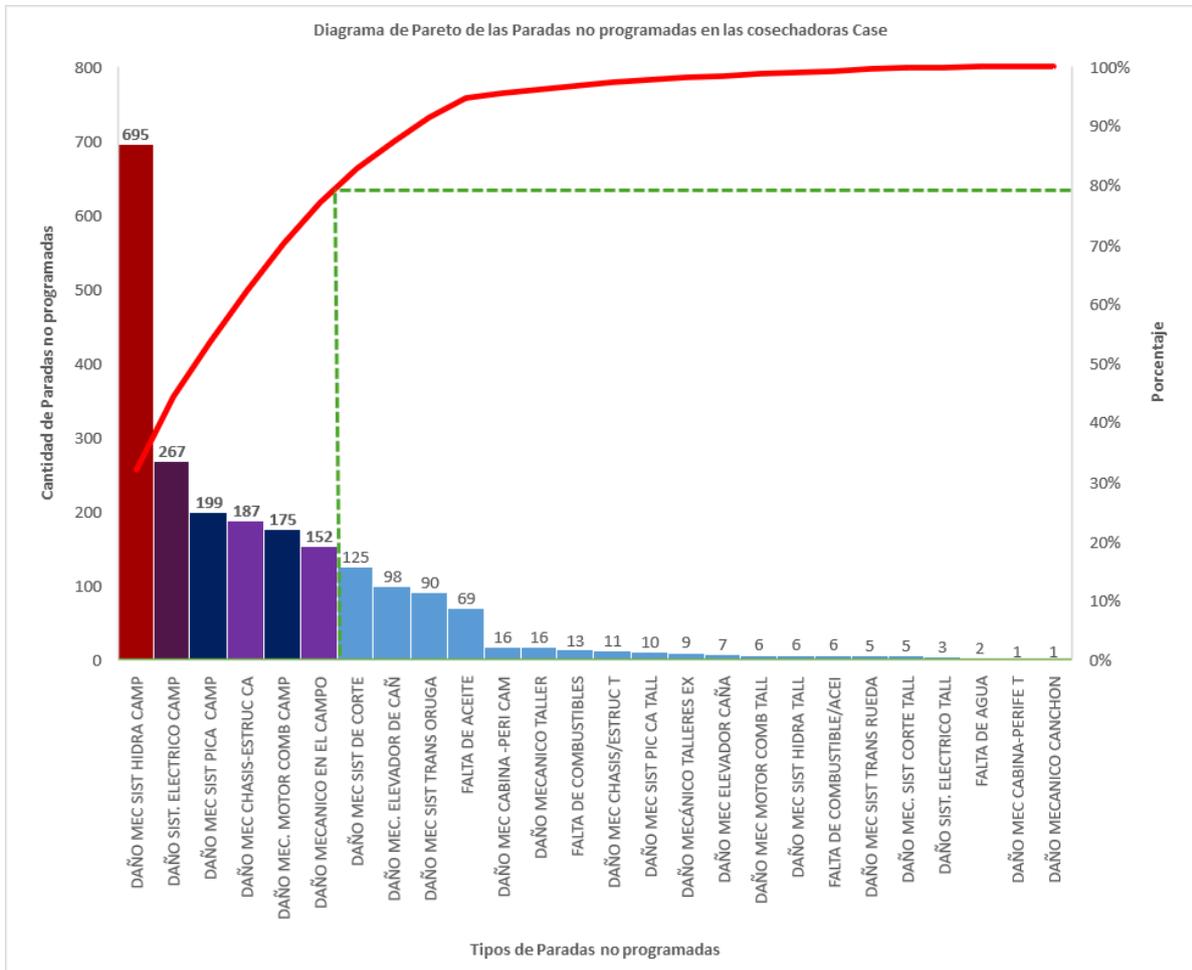
*Numero de paradas no programadas por modelo de cosechadora de caña durante las zafras 139 – 140 (1– 26 Jun)*



De acuerdo con el enfoque de modelo de maquinaria, a través de un diagrama de Pareto, se realizó una estratificación de las razones por las que ocurre el elevado número de paradas no programadas. En la figura 22, se determinó que el 80% de la cantidad de paradas no programadas, ocurren por los siguiente: Daños mecánicos en el sistema hidráulico, sistema eléctrico, sistema de picadores, chasis-estructura de la máquina cosechadoras y daños del motor. Estos problemas se dan en el campo, lo que indica una influencia directa en el proceso.

**Figura 22**

*Diagrama de Pareto de número de paradas no programadas en cosechadoras Case*



Conocida esta información, se redefinió el planteamiento del problema enfocado a las causas principales:

"La alta cantidad de paradas no programadas de una línea de cosechadoras durante la cosecha de caña de azúcar, con un promedio de 16 paradas por día entre el 26 de junio y el 9 de enero de 2024, se debe a daños mecánicos en el sistema hidráulico, eléctrico, sistema de picadores y chasis-estructura. Esto resulta en una interrupción significativa de las operaciones y una pérdida de productividad, esto se puede mejorar conociendo que existen días con un mínimo de 6 paradas no programadas registradas".

Con ello se pudo determinar, que efectivamente existe margen de mejora al usar un GAP del 50%.

## 2.3 Análisis

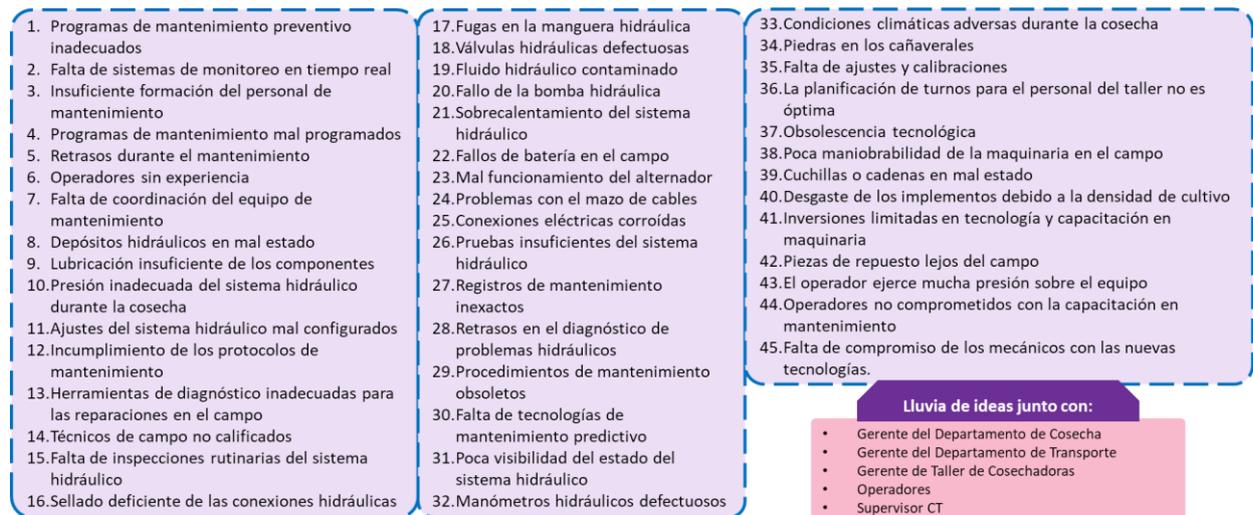
En esta fase, se exploran los datos recolectados con la finalidad de encontrar las causas raíz del problema definido, a través de una serie de herramientas aplicadas de manera sistemática sobre los datos.

### 2.3.1 Lluvia de ideas

Se llevó a cabo una lluvia de ideas mediante una sesión con el equipo de cosecha, gerentes, operadores y supervisores relacionado al proceso de corte de caña de azúcar (figura 23).

**Figura 23**

*Lluvia de ideas*

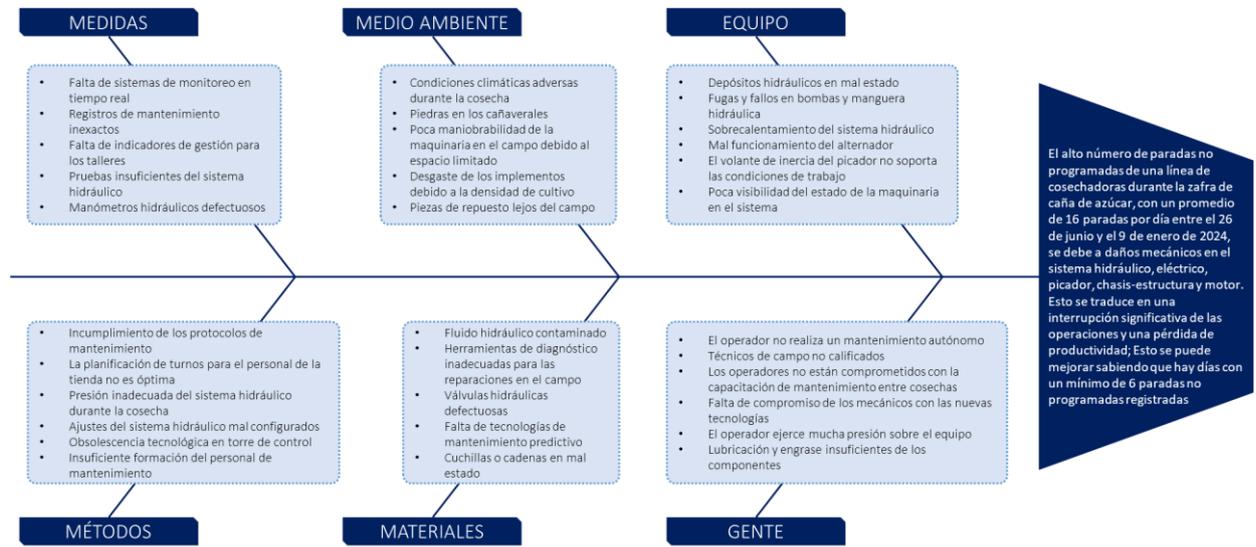


### 2.3.2 Diagrama de Ishikawa

Se clasificaron estos hallazgos en las 6 categorías del diagrama de Ishikawa: medida, medio ambiente, equipo, métodos, materiales y personal (figura 24).

**Figura 24**

*Diagrama de Ishikawa*



**2.3.3 Matriz Causa-Efecto**

Junto con el equipo de cosecha desde el gerente hasta el operador de maquinaria como se observa en la figura 24, se elaboró la matriz causa–efecto para cuantificar la importancia de las potenciales causas. En este proceso se evaluaban el nivel de importancia de las variables predictoras definidas en el problema enfocado y también, el nivel de relación de las posibles causas, de tal manera que se puedan cuantificar las más relevantes. Se utilizó la escala de valoración de la tabla 6.

**Tabla 6**

*Escala de valoración para matriz causa-efecto*

Valor	Descripción
1	Relación muy débil
3	Relación débil
6	Relación moderada
9	Relación fuerte

Nota: Valores utilizados para calificación en matriz causa-efecto

Tabla 7

Matriz causa-efecto

MATRIZ DE CAUSA-EFECTO			Gerente de Cosecha	Coord. Transporte	Jefe de Taller Agrícola	Supervisor Torre de Control	Supervisor de Cosecha	Operador	Suma
MEASUREMENT	1	Falta de sistemas de monitoreo en tiempo real	1	1	3	3	3	3	14
	2	Registros de mantenimiento inexactos	6	6	3	6	9	9	39
	3	Falta de indicadores de gestión para taller agrícola	6	3	3	6	6	3	27
	4	Pruebas insuficientes del sistema hidráulico	9	6	6	9	6	3	39
	5	Manómetros hidráulicos defectuosos	1	1	1	1	1	1	6
ENVIRONMENT	6	Condiciones climáticas adversas durante la cosecha	3	6	6	3	3	9	30
	7	Piedras en los cañaverales	3	3	3	6	6	3	24
	8	Poca maniobrabilidad de la maquinaria en el campo por espacio limitado	3	1	1	1	1	3	10
	9	Desgaste de los implementos debido a la densidad de cultivo	3	1	3	3	3	3	16
	10	Desgaste de los implementos debido a la densidad de cultivo	6	1	3	1	6	3	20
EQUIPMENT	11	Depósitos hidráulicos en mal estado	3	3	1	3	6	6	22
	12	Sobrecalentamiento del sistema hidráulico	1	3	3	3	3	3	16
	13	Mal funcionamiento del alternador	1	3	1	3	6	1	15
	14	El volante de inercia del picador no soporta las condiciones de trabajo	1	3	1	3	3	3	14
	15	Poca visibilidad del estado de la maquinaria en el sistema	3	3	3	1	6	6	22
METHODS	16	Incumplimiento de los protocolos de mantenimiento	9	9	9	6	9	6	48
	17	La planificación de turnos para el personal de la tienda no es óptima	6	9	6	6	6	9	42
	18	Presión inadecuada del sistema hidráulico durante la cosecha	6	3	3	9	6	6	33
	19	Ajustes del sistema hidráulico mal configurados	3	6	6	9	3	9	36
	20	Obsolescencia tecnológica en torre de control	9	3	9	6	9	6	42
	21	Insuficiente formación del personal de mantenimiento	1	9	9	6	6	9	40
MATERIALS	22	Fluido hidráulico contaminado	1	1	1	1	1	1	6
	23	Herramientas de diagnóstico inadecuadas para las reparaciones en el campo	3	3	9	9	3	6	33
	24	Válvulas hidráulicas defectuosas	1	3	3	3	1	6	17
	25	Falta de tecnologías de mantenimiento predictivo	6	6	1	3	6	6	28
	26	Cuchillas o cadenas en mal estado	3	6	3	1	3	6	22
PEOPLE	27	Ejecución ineficiente de mantenimiento o reparaciones por parte de técnico mecánicos	9	1	3	3	3	6	25
	28	Los operadores no han realizado la capacitación de mantenimiento entre cosechas	9	3	6	6	6	9	39
	29	Falta de compromiso de los mecánicos con las nuevas tecnologías	9	6	9	9	6	6	45
	30	El operador ejerce mucha presión sobre el equipo	6	3	6	6	6	3	30
	31	Bajo nivel de aceite hidráulico	6	6	6	3	9	9	39

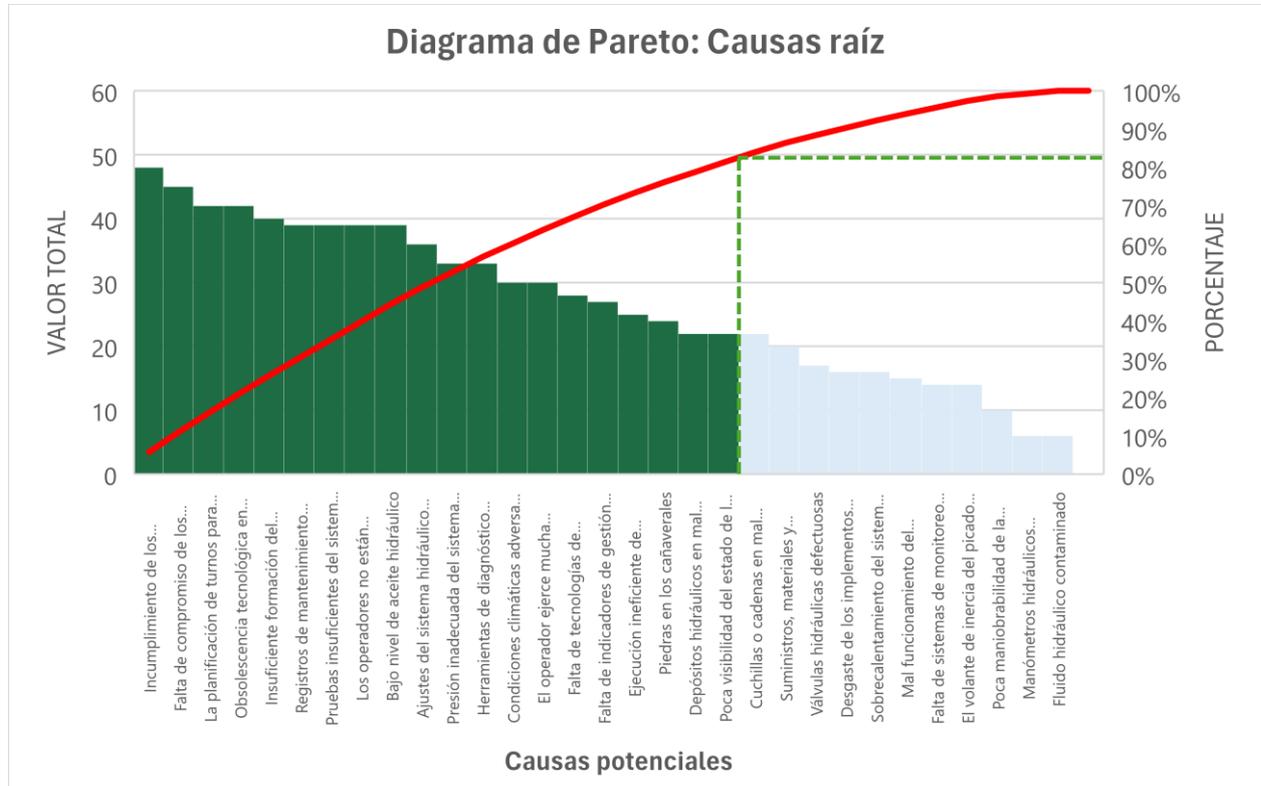
### 2.3.4 Diagrama de Pareto

Una vez establecidas y cuantificadas las posibles causas potenciales del problema, se planteó el diagrama de Pareto. A partir de este se toma las causas que generan el 80% de las

paradas no programadas (figura 25).

**Figura 25**

*Diagrama de Pareto: posibles causas potenciales del problema*



Para su posterior análisis, se extrajeron las causas potenciales dentro del 80% y se ordenaron de mayor a menor acorde al valor cuantificado de la matriz causa-efecto. Cada causa mantiene el número de su orden inicial encontrado en la matriz anterior (Tabla 8).

**Tabla 8**

*Posibles causas potenciales*

Ítem	Causas potenciales	Total
16	Incumplimiento de los protocolos de mantenimiento	48
29	Falta de compromiso de los mecánicos con las nuevas tecnologías	45
17	La planificación de turnos para el personal mecánico no es óptima	42
20	Obsolescencia tecnológica en torre de control	42
21	Insuficiente formación del personal de mantenimiento	40
2	Registros de mantenimiento inexactos	39
4	Pruebas insuficientes del sistema hidráulico	39
28	Los operadores no están comprometidos con la capacitación de mantenimiento entre cosechas	39
31	Insuficiente lubricación de los componentes	39
19	Ajustes del sistema hidráulico mal configurados	36
18	Presión inadecuada del sistema hidráulico durante la cosecha	33

23	Herramientas de diagnóstico inadecuadas para las reparaciones en el campo	33
6	Condiciones climáticas adversas durante la cosecha	30
30	El operador ejerce mucha presión sobre el equipo	30
25	Falta de tecnologías de mantenimiento predictivo	28
3	Falta de indicadores de gestión para el taller agropecuario	27
27	Ejecución ineficiente de mantenimiento o reparaciones por parte de técnicos mecánicos	25
7	Piedras en los cañaverales	24
11	Depósitos hidráulicos en mal estado	22
15	Poca visibilidad del estado de la maquinaria en el sistema	22

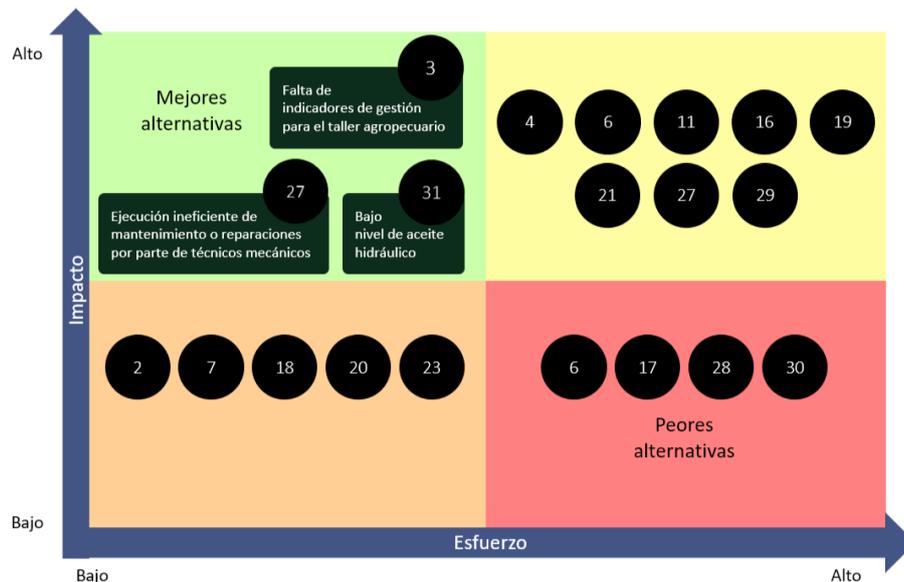
*Nota.* Las posibles causas potenciales se ordenaron de acuerdo con la calificación total dada por el personal

### 2.3.5 Diagrama impacto esfuerzo

En el diagrama Impacto-Esfuerzo (figura 26), se logró clasificar las causas potenciales e identificar las más aptas para el análisis. Estas causas identificadas son las que generan un gran impacto y bajo esfuerzo resolverlas: Falta de indicadores de gestión para taller agrícola, ejecución ineficiente de mantenimiento o reparaciones por parte de técnico mecánicos, y bajo nivel de aceite hidráulico

**Figura 26**

*Diagrama impacto-esfuerzo con posibles causas raíz*



*Nota.* Se utilizan causas potenciales con una puntuación dentro del grupo con > el 80% del total.

### 2.3.6 Plan de verificación de causas

La figura 30 explica el impacto de la causa sobre la variable de respuesta. Además, esta matriz recoge otros factores cruciales para el análisis como el método de verificación, responsable y el lugar de verificación.

**Tabla 9**

*Plan de verificación de causas*

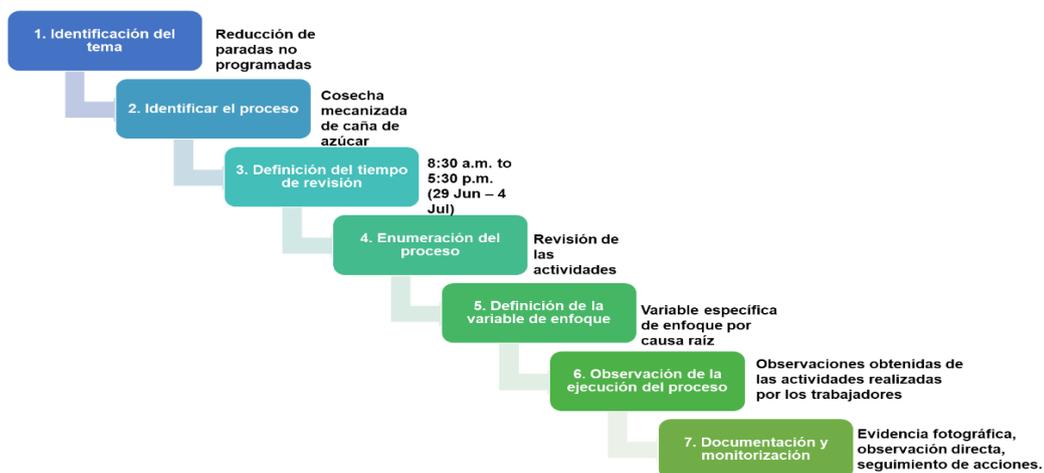
Posibles causas	Impacto → Y1	¿Cómo se comprueba?	¿Quién lo verifica?	¿Dónde se comprueba?	Estado
Descripción		Método	Responsable	Lugar	
Bajo nivel de aceite hidráulico	Cuando se produce una fuga, es posible que la maquinaria tenga que detenerse para reparar o reemplazar el aceite perdido, lo que resulta en un aumento de las paradas no programadas.	Gemba Walk	Líder del Proyecto	Campo de caña	Pendiente
Falta de indicadores de gestión para los talleres	Sin indicadores de gestión claros, el taller tendrá dificultades para llevar a cabo una planificación de mantenimiento eficaz, lo que aumentaría las paradas innecesarias o no programadas.	Gemba Walk	Líder del Proyecto	Taller Agropecuario	Pendiente
Ejecución ineficiente de mantenimiento o reparaciones por parte de técnicos mecánicos	El mantenimiento y las reparaciones poco confiables disminuyen la disponibilidad de las cosechadoras, disminuyen el tiempo de producción, lo que lleva a una disminución en la entrega de caña a la fábrica debido al aumento de las paradas no programadas.	Gemba Walk	Líder del Proyecto	Taller Agropecuario Campo de caña	Pendiente

### 2.3.7 Gemba walk

Es una herramienta crítica para la identificación y el análisis de las posibles causas raíz de problemas operativos. Se definieron los pasos a seguir para todas las posibles causas bajo estudio en la figura 27:

**Figura 27**

*Pasos para ejecución de gemba walk*



**2.3.7.1 Posible causa 1: Bajo nivel de aceite hidráulico.** Se revisó los procedimientos actuales para la actualización y creación de procedimientos relacionados con la planificación del mantenimiento. La explicación de los procesos vigentes para la ejecución del mantenimiento reveló que la maquinaria se detiene para el mantenimiento programado, pero continuamente muestra una alerta de bajo nivel de aceite hidráulico. Esta situación obliga a completar los niveles y prolonga la parada debido a la falta de aceite, el cual debe ser solicitado desde el almacén del taller. Este hallazgo resalta la necesidad de mejorar la gestión y el monitoreo del nivel de aceite hidráulico para evitar interrupciones prolongadas y no planificadas en el proceso bajo estudio. Se concluyó que las paradas debido al sistema hidráulico específicamente por bajo nivel de aceite tienen un impacto significativo en el número total de paradas y, consecuentemente, en las paradas no programadas.

**2.3.7.2 Posible causa 2: Falta de indicadores de gestión para los talleres.** Se revisaron los procedimientos para la actualización y creación de planes de mantenimiento, se recibió explicación del proceso actual de ejecución de mantenimiento. Se identificó que no existen datos actualizados adaptados al proceso de la empresa dentro de la plataforma ERP. Por otra parte, la programación del mantenimiento preventivo para las cosechadoras mostró que las máquinas a menudo se detienen durante los cambios de turno o almuerzo, resultando en tiempos de inactividad adicionales mientras se espera que la nueva guardia inicie el mantenimiento. Esta situación ha llevado a paradas durante la jornada laboral, con hasta cuatro paradas observadas, sumando un total de 11.5 horas de inactividad en una operación que dura 24 horas. En síntesis, sin indicadores adecuados, no se puede realizar una programación eficaz, lo cual afecta la eficiencia del mantenimiento y aumenta las paradas no programadas.

**2.3.7.3 Posible causa 3: Ejecución ineficiente de mantenimiento o reparaciones por parte de técnicos mecánicos.** El Gemba Walk permitió evaluar la eficiencia en la ejecución del mantenimiento por parte de los técnicos mecánicos. Se revisaron los procedimientos actuales para la planificación del mantenimiento y se realizó una evaluación dirigida a los técnicos mecánicos de las cosechadoras, dicha evaluación fue llevada a cabo por Case-Autec y la empresa azucarera. Se mostró que 13 de los técnicos evaluados obtuvieron calificaciones por debajo del 56%. En particular, se evidenció que en la sección “L” se concentra el mayor número de mecánicos (9) con baja experiencia. La sección L presentó una disponibilidad mecánica del 69%, lo que correlaciona una menor disponibilidad con un tiempo de producción más corto, generado por un mayor número de paradas no programadas. En síntesis, se subraya que la falta de experiencia y capacitación adecuada de los técnicos mecánicos contribuye significativamente a las paradas no programadas, afectando negativamente la entrega programada de toneladas de caña de azúcar.

### 2.3.8 Herramienta 5 porqués

Una vez se validó las causas potenciales y su impacto en el proceso, se aplica la herramienta “5 porqués” junto con el equipo de cosecha para determinar las causas raíz detrás de ellas.

**Tabla 10**

*Herramienta “5 ¿Por qué?”*

<b>Herramienta: 5 ¿Por qué?</b>					
<b>CAUSAS POSIBLES</b>	<b>1. ¿Por qué?</b>	<b>2. ¿Por qué?</b>	<b>3. ¿Por qué?</b>	<b>4. ¿Por qué?</b>	<b>5. ¿Por qué?</b>
<b>Bajo nivel de aceite hidráulico</b>	Demora en reponer componentes por fuga de aceite hidráulico	Falta de repuestos, mangueras, sellos y aceite hidráulico en carro taller	Sin gestión de stock de repuestos críticos		
<b>Falta de indicadores de gestión para taller agrícola</b>	Métricas no son claras para medir rendimiento del taller agrícola	Seguimiento sistemático de las actividades y resultados de taller	La empresa no ha reconocido la importancia estratégica de configurar adecuadamente el ERP para		

---

		no se realiza	mejorar la gestión operativa y el rendimiento del taller de mantenimiento	
<b>Ineficiente</b>	Porque los técnicos	No tienen acceso o	No se ha proporcionado los	No se ha priorizado
<b>ejecución de</b>	mecánicos no	no están	recursos necesarios para	la inversión en
<b>mantenimiento o</b>	siguen los	adecuadamente	capacitar a los técnicos en	desarrollo
<b>reparaciones por</b>	procedimientos de	entrenados en los	los procedimientos de	profesional y
<b>técnicos</b>	mantenimiento	manuales y	mantenimiento	capacitación técnica
<b>mecánicos</b>	recomendado por	directrices de	recomendados	para el personal de
	el fabricante	mantenimiento del		mantenimiento.
		equipo		

---

## **Capítulo 3**

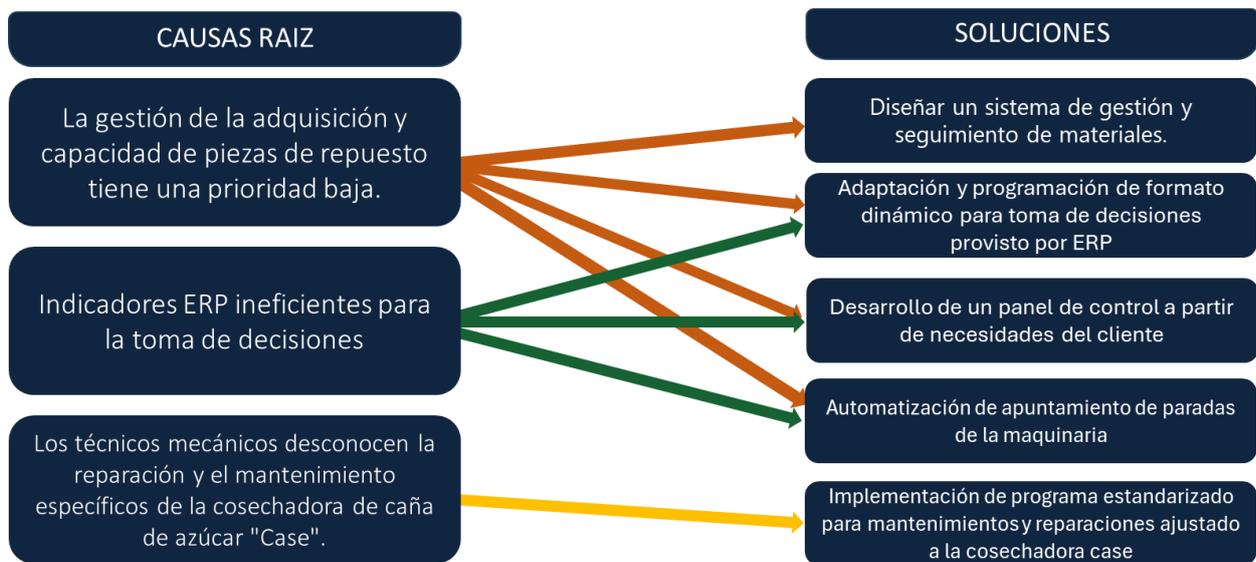
### 3. Implementación de soluciones

#### 3.1 Posibles soluciones

Luego de encontrar las causas raíz se propuso las siguientes ideas que dan solución a una o varias causas raíz como muestra la figura 28.

**Figura 28**

*Posibles soluciones*



#### 3.2 Análisis económico

Cada una de las soluciones propuestas fue puesta bajo un análisis económico, para visualizar cuales son los factores que implican cada uno de sus costos, se muestra el detalle en la tabla 11.

**Tabla 11**

*Análisis financiero de posibles soluciones*

ANÁLISIS FINANCIERO DE POSIBLES SOLUCIONES												
ITEM	POSIBLE SOLUTION	PERSONAL INTERNO	PERSONAL EXTERNO	TIEMPO IMPLEMENT.	TIEMPO CAPACITACIÓN [Hrs]	COSTO PERSONAL INTERNO	COSTO SOFTWARE	COSTO CONSULTORIA	COSTO DE INTEGRACIÓN	COSTO DE EQUIPO	BIÁTICOS	COSTO TOTAL [\$]
1	Diseñar un sistema de gestión y seguimiento de materiales.	2	1	90 días	4 horas	\$ 2,100.00	\$ 1,000.00	\$ 1,200.00	\$ 1,100.00	\$ -	\$ 500.00	\$ 5,900.00
2	Adaptación y programación de formato dinámico para toma de decisiones provisto por ERP	2	1	60 días	8 horas	\$ 1,400.00	\$ 1,000.00	\$ 1,200.00	\$ 1,100.00	\$ -	\$ 500.00	\$ 5,200.00
3	Desarrollo de un panel de control en Power BI para seguimiento, control y gestión de taller.	1	0	15 días	2 horas	\$ 350.00	\$ 100.00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 450.00
4	Automatización de ingreso de paradas de maquinaria	2	3	30 días	8 horas	\$ 650.00	\$ 13,800.00	\$ -	\$ 1,100.00	\$ 8,910.00	\$ 500.00	\$ 24,960.00
5	Implementación de programa estandarizado para mantenimientos y reparaciones ajustado al tipo de maquinaria	2	1	20 días	6 horas	\$ 350.00	\$ -	\$ 500.00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 850.00

### 3.3 Matriz de priorización esfuerzo – impacto

Se realizó un análisis de esfuerzo e impacto, lo cual ayudó a identificar las ideas con mayor impacto y con menor esfuerzo para dar solución al problema planteado, se clasificaron 4 soluciones como alto impacto, dos con criterio de esfuerzo alto y dos de bajo, a su vez una propuesta encasillada con alto esfuerzo y bajo impacto como se muestra en la figura 29.

**Figura 29**

*Matriz esfuerzo - impacto*

	BAJO ESFUERZO	ALTO ESFUERZO
ALTO IMPACTO	<p>Desarrollar un panel de Power BI para la supervisión, el control y la gestión del taller.</p> <p>Implementar un programa estandarizado de mantenimiento y reparaciones ajustado a cosechadora de caña</p>	<p>Implementación de la planta de procesamiento de caña</p> <p>Diseñar un sistema de gestión y seguimiento de materiales</p>
BAJO IMPACTO		<p>Adaptar y programar un formato dinámico para la toma de decisiones proporcionado por el ERP.</p>

### 3.4 Matriz de priorización ponderada

Con los resultados obtenidos en la matriz de esfuerzo impacto y el análisis económico para cada propuesta de solución, se procedió a ponderar cada una de estas características, dando con mayor peso el impacto (40%) que provocará la solución al problema, bajo costo (30%) que es importante a la hora de ejecutar el proyecto, la implementación (30%) que considera la facilidad de aplicación del proyecto y lo amigable que será con el trabajador como se muestra en la tabla 12, se distribuyeron puntajes entre 1 a 5 de acuerdo a los siguientes criterios de la tabla 13.

**Tabla 12**

Matriz de priorización ponderada

Matriz de priorización ponderada							
Solución	Impacto (40%)		Bajo costo (30%)		Implementación (30%)		Puntuación total ponderada
	Puntuación	Peso	Puntuación	Peso	Puntuación	Peso	
Diseñar un sistema de gestión y seguimiento de materiales	4	1,6	2	0,6	2	0,6	2,8
Adaptar y programar un formato dinámico para la toma de decisiones proporcionado por el ERP.	2	0,8	2	0,6	2	0,6	2
Desarrollar un panel de Power BI para la supervisión, el control y la gestión del taller.	5	2	5	1,5	5	1,5	5
Automatización de apuntes de parada de la máquina	5	2	2	0,6	5	1,5	4,1
Implementar un programa estandarizado de mantenimiento y reparaciones ajustado al tipo de maquinaria.	4	1,6	5	1,5	4	1,2	4,3

**Tabla 13**

Criterios de calificación para matriz ponderada

Criterio	Puntaje
Malo	1
No tan bueno	2
Bueno	3
Muy Bueno	4
Excelente	5



Tabla 14

## Plan de implementación

Solución	¿Por qué?	¿Cómo?	¿Dónde?	¿Quién?	¿Cuanto?	Inversión	¿Cuándo?
Desarrollo de un panel de control en Power BI para seguimiento, control y gestión de taller.	El módulo de mantenimiento en el taller registra datos atípicos, esto impide disponer de la información necesaria como consumibles o permanencia, para la toma de decisiones durante el proceso.	Indicadores que reflejen las operaciones diarias y gestión del taller agrícola por medio de la integración de datos en Power BI.	Taller Agrícola	- Analista de Planeación Agrícola - Líder de proyecto	\$450,00	\$-	22/07/2024
Automatización de apuntamiento de paradas de maquinaria	Prioridad baja, no se aprecia en tiempo real el estado (métricas) de la máquina. <b>Riesgo humano</b> al momento de administrar/apuntar la información.	Implementando un sistema de control en tiempo real, permitiendo visualización del estado de la maquinaria, para tomar decisiones oportunas de manera más ágil.	Cosechadora de caña case	- Analista de implementación - Proveedor - Programador - Supervisor de Torre de control - Líder de proyecto	\$24.960,00	\$24.310,00	15/07/2024
Implementación de programa estandarizado para mantenimientos y reparaciones ajustado/ al tipo de maquinaria	El programa de mantenimiento de las cosechadoras se ejecuta en horarios no adecuados, sin ejecutar la reparación y priorizar el tipo de daño para que el proceso de corte continúe.	Diagramación de proceso de reparación o mantenimiento ajustado a cosechadora case, junto con cronograma de ejecución y formato de mantenimiento y reparación acorde a tipo de maquinaria (case).	Secciones de corte mecanizado (Carros de Mantenimiento en campo)	- Gerente de Servicio Proveedor - Coordinador de Taller - Analista de Taller - Líder de proyecto	\$850	\$-	17/07/2024

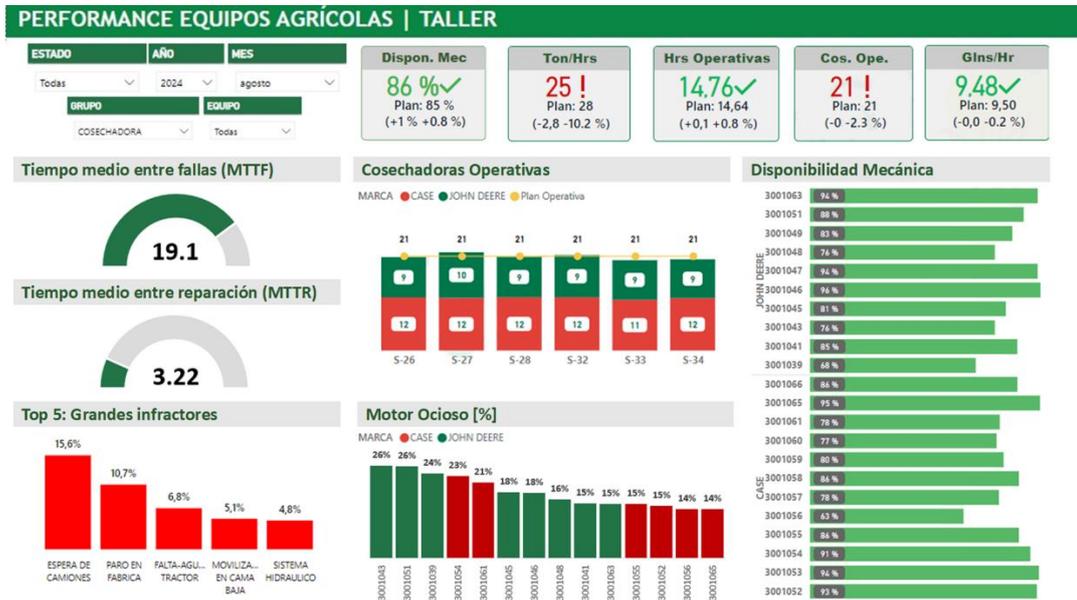
### 3.7 Desarrollo de las soluciones

#### 3.7.1 Desarrollar un dashboard en power bi para la supervisión, el control y la gestión del taller

Partiendo por la necesidad de visibilizar de manera centralizada y en tiempo real la información, estado de la maquinaria y los procesos del taller. Se diseñó un dashboard que permite al personal supervisor y administrativo monitorear de forma efectiva el rendimiento de las cosechadoras de caña, identificar las causas de las paradas no programadas y analizar a partir de los datos para prevenir futuras consecuencias. Al entregar visualizaciones claras y accesibles de indicadores clave de desempeño, de acuerdo con los requerimientos necesarios del equipo de mantenimiento, la herramienta de control visual facilita la toma de decisiones y la optimización de operaciones por parte del taller, reduciendo el tiempo de permanencia del equipo en reparación y mejorando la eficiencia general de las cosechadoras.

Figura 31

Dashboard Taller Agrícola

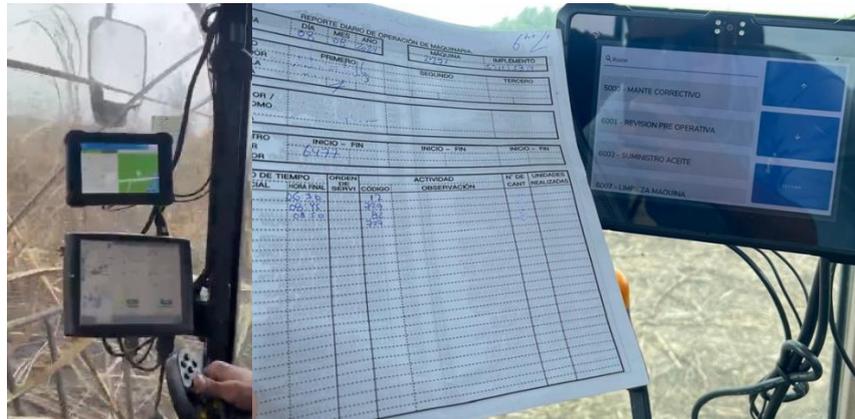


### 3.7.2 Automatización de apuntamiento de paradas de la maquinaria

El apuntamiento de actividades que realiza la cosechadora era netamente en un formato de reporte de papel, el cuál era manipulable por parte del operador, estos reportes ciertas veces no eran llenados al momento lo cual abría una brecha de error entre tiempos de parada y de corte efectivo, así mismo el ingreso de la información llevaba mucho tiempo dado que eran muchos por cosechadora, por turno, por sección y por día, la información a analizar se obtenía con 3 días de diferencia. Es por ello que se propuso reemplazar los reportes con un equipo instalado en la cosechadora (figura 32) que automáticamente toma las horas de corte efectivo por medio de los sensores de la maquinaria, y obliga al operador a realizar el apunte de la parada del equipo en tiempo real, eliminando el error humano, esta información es enviada directamente al ERP de la empresa, lo cual permite obtener información veraz y específica, ya que con dicha información se alimenta el dashboard, lo cual facilita la respuesta del taller y permite una mejor toma de decisiones.

Figura 32

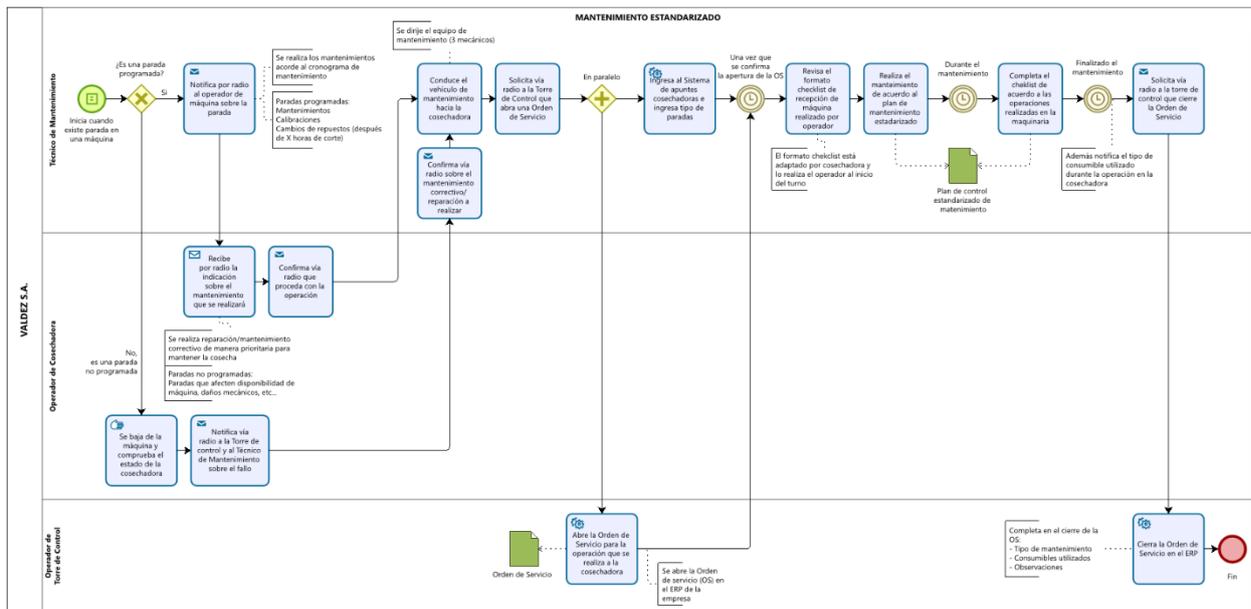
Uso de equipos de automatización de apuntamientos en cosechadora de caña case



3.7.3 Implementar un programa estandarizado de mantenimiento y reparaciones ajustado a la cosechadora case

Figura 33

Diagrama de flujo de mantenimiento o reparacion de cosechadora



La ejecución de un programa estandarizado de reparación y mantenimiento, enfocado en las especificaciones y características de la cosechadora case, se llevó a cabo con el objetivo de asegurar una dirección más efectiva y predictiva del mantenimiento. Este programa presenta un protocolo estandarizado (ver figura 33) y utiliza un formato específico para este modelo (ver figura 34), garantizando que todas las cosechadoras reciban atención adecuada. Esta solución facilita la planificación de intervenciones de reparaciones y mantenimientos, lo que ayuda prevenir fallos y optimiza el rendimiento de la maquinaria. A su vez, se diseñó un cronograma de mantenimiento preventivo por día, por máquina y por frente de cosecha



**Figura 35**

Cronograma de mantenimiento diario, por máquina y sección de corte

Mantenimiento Preventivo / 8 horas (Lunes)				Mantenimiento Preventivo / 8 horas (martes)				Mantenimiento Preventivo / 12 horas (Miércoles)			
HORARIO	FRENTE E	FRENTE F	FRENTE L	HORARIO	FRENTE E	FRENTE F	FRENTE L	HORARIO	FRENTE E	FRENTE F	FRENTE L
*07:00-09:00	1052			*07:00-09:00			1059	*07:00-09:00			1055
*09:00-11:00		1054		*09:00-11:00	1062			*09:00-11:00			
*11:00-13:00			1053	*11:00-13:00		1061		*11:00-13:00		1058	
*13:00-15:00		Cambio de Turno Cosecha		*13:00-15:00		Cambio de Turno Cosecha		*13:00-15:00			1059
*13:00-17:00	1057			*13:00-17:00	1052			*13:00-17:00			
*17:00-19:00		Cambio de Turno Cosecha		*17:00-19:00		Cambio de Turno Cosecha		*17:00-19:00	Cambio de Turno Cosecha y taller		
*19:00-21:00		1056		*19:00-21:00		1054		*19:00-21:00		1061	
*21:00-23:00		Cambio de Turno Cosecha		*21:00-23:00		Cambio de Turno Cosecha		*21:00-23:00	1052		
*23:00-01:00			1055	*23:00-01:00			1053	*23:00-01:00		1054	
*01:00-03:00	1060			*01:00-03:00	1057			*01:00-03:00			1053
*03:00-05:00			1058	*03:00-05:00		1056		*03:00-05:00	1057		
*05:00-07:00	Cambio de Turno Cosecha			*05:00-07:00	Cambio de Turno Cosecha			*05:00-07:00	Cambio de Turno Cosecha y taller		

Mantenimiento Preventivo / 8 horas (Jueves)				Mantenimiento Preventivo / 12 horas (Viernes)				Mantenimiento Preventivo / 8 horas (Sábado)			
HORARIO	FRENTE E	FRENTE F	FRENTE L	HORARIO	FRENTE E	FRENTE F	FRENTE L	HORARIO	FRENTE E	FRENTE F	FRENTE L
*07:00-09:00		1056		*07:00-09:00		1054		*07:00-09:00	1052		
*09:00-11:00			1055	*09:00-11:00			1053	*09:00-11:00		1054	
*11:00-13:00	1060			*11:00-13:00	1057			*11:00-13:00			1053
*13:00-15:00		Cambio de Turno Cosecha		*13:00-15:00		1056		*13:00-15:00	Cambio de Turno Cosecha		
*13:00-17:00		1058		*13:00-17:00			1055	*13:00-17:00	1057		
*17:00-19:00		Cambio de Turno Cosecha		*17:00-19:00	Cambio de Turno Cosecha y taller			*17:00-19:00		Cambio de Turno Cosecha	
*19:00-21:00			1059	*19:00-21:00	1060			*19:00-21:00		1056	
*21:00-23:00		Cambio de Turno Cosecha		*21:00-23:00		1058		*21:00-23:00		Cambio de Turno Cosecha	
*23:00-01:00	1062			*23:00-01:00			1059	*23:00-01:00			1055
*01:00-03:00		1061		*01:00-03:00	1062			*01:00-03:00	1060		
*03:00-05:00			1052	*03:00-05:00		1061		*03:00-05:00		1058	
*05:00-07:00	Cambio de Turno Cosecha			*05:00-07:00	Cambio de Turno Cosecha y taller			*05:00-07:00	Cambio de Turno Cosecha		

### 3.8 Resultados y análisis

Mediante la implementación de las soluciones propuestas, se evidenció un impacto positivo en el objetivo de reducir las paradas no programadas en la línea de cosechadoras. Se logró disminuir el promedio diario de paradas de 16 a 12, lo que representa un incremento en las horas productivas diarias de 13.94 a 15.8. Esto garantiza un flujo continuo de las operaciones y ha mejorado significativamente la relación laboral entre los operadores de cosechadoras y los técnicos del taller mecánico. A su vez, se ha incrementado la entrega de caña a fábrica en 80 toneladas diarias, pasando de 358 a 438 toneladas. Este aumento ha generado un ingreso adicional por venta de sacos de azúcar de \$29,784 diarios. Asimismo, se ha obtenido una reducción en el consumo promedio de combustible por hora, disminuyendo de 9.81 a 9.28 galones. Esta mejora representa un ahorro diario de \$275.83, reduciendo los costos diarios de operación de \$5,198.29 a \$4,922.46. Estas mejoras operativas han contribuido a una reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero y en la huella de carbono, demostrando los beneficios ambientales de las soluciones implementadas.

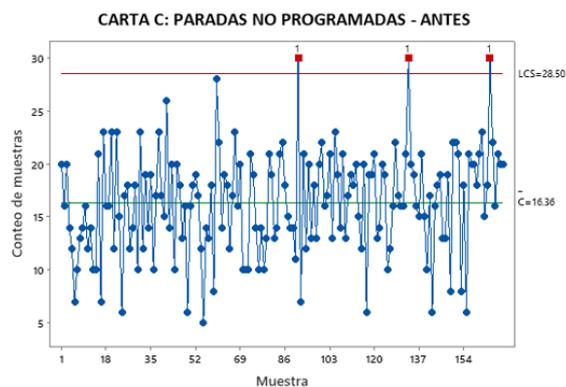
### 3.9 Análisis mediante herramientas estadísticas

Se utilizó la carta C de atributos, la cual permitió analizar la frecuencia de eventos considerados como paradas no programadas, dentro de un grupo constante. En la figura 36 indica que la media de paradas no programadas fue de 16.3, con un límite superior de control (UCL) de 28.5. Este gráfico indicó que tres puntos se encontraban fuera del límite de especificación, puntualmente aquellas 28 paradas no programadas. Así mismo se visualiza en la figura 37 como al aplicar las soluciones los eventos no presentan comportamiento atípico.

Al comparar el desempeño inicial del proceso, que se caracterizó con un Cpk de 0.7 (figura 37), con los resultados obtenidos luego de la implementación de soluciones, se muestra un incremento significativo en la capacidad del proceso, alcanzando un valor Cpk de 1.36 (figura 39). Este incremento sustancial se atribuye directamente a las mejoras introducidas en el sistema, las cuales redujeron de manera efectiva la variabilidad del proceso y lo acercaron a los límites de especificación. Cada una de las soluciones implementadas ha contribuido a este aumento en el Cpk, demostrando la eficacia del enfoque ejecutado basado en los hallazgos del análisis inicial.

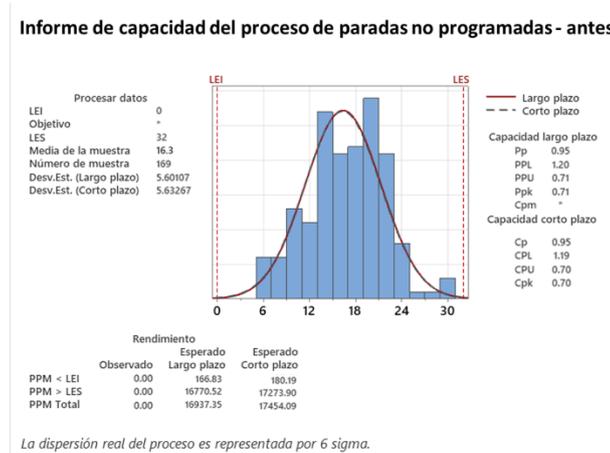
#### Figura 36

Carta c: Paradas no programadas - antes



**Figura 37**

Análisis de capacidad antes de la solución



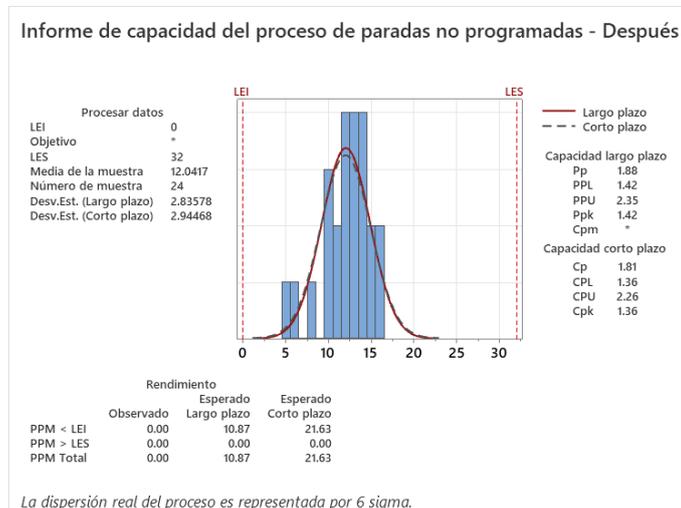
**Figura 38**

Carta c: Paradas no programadas - después



**Figura 39**

Análisis de capacidad después de la solución



En la figura 40 se puede observar el impacto de las soluciones aplicadas, donde se pasó de 16 paradas no programadas en promedio por día a 12.

**Figura 40**

Estado del proceso después de la implementación de las soluciones



**3.10 Plan de control**

Para garantizar la efectividad de las soluciones implementadas, se diseñó un plan de control detallado (ver tabla 15) y se creó una herramienta de visualización en Power BI para monitorear el desempeño del taller agrícola (ver figura 31).

**Tabla 15**

*Plan de control*

CONTROL PLAN						
Fecha	Agosto 2024		Lider de proyecto	Galo Xavier Gallo Aguirre		
Proceso	Corte mecanizado de caña de azúcar					
Proyecto	Disminución de paradas no programadas en una línea de cosechadoras de caña de azúcar en un taller agrícola					
¿Qué?	¿Quién?	¿Por qué?	¿Cómo?	¿Cuándo?	¿Dónde?	¿Qué tanto?
Controlar que los operadores de cosechadora mantengan constante y correcto apuntamiento de paradas	Operador Torre de Control	Garantiza la correcta imputación de datos en tiempo real permitira información veraz y especifica para la toma de decisiones	Operador de torre de control asignado llevará constante seguimiento en plataforma solinftec a cosechadoras y se comunicará de manera inmediata con el jefe directo de sección para el correcto ingreso de datos	Diario	Torre de Control	Sin apuntes < 2%
Funcionamiento de sistema y equipos en cosechadora (Pantalla, antena, SD, conexiones y aplicativos)	Analista de implementación	Funcionamiento de equipo es indispensable para recolección de datos en tiempo real.	Por medio de un grupo en Wsp, se enviará evidencias de fallos, con datos de maquinaria y problemas de equipo, se registrará en un excel de seguimiento y se calificará de acuerdo a prioridad, posterior a ello su atención inmediata.	Diario	Torre de Control - Sección de cosecha	Tiempo de atención < 1 día (Depende de prioridad)
Información actualizada de dashboard en power bi.	Supervisor Taller Agrícola	Garantiza que la información recolectada por el panel de control sea al día, lo que permite la toma de decisiones a inicio de turno.	Supervisor encargado actualizará información en PBI en busca de que no existan errores en la descarga de datos, para su posterior publicación en indicadores agrícolas de cosecha.	Cada turno de cosecha	Taller Agrícola	Aactualización < 12 hrs
Verificar el estado de las actividades de mantenimiento de la línea de cosechadoras	Supervisor Taller Agrícola	Verificar el cumplimiento de la ejecución total o parcial apropiada de las actividades de mantenimiento, permitirá que todos los requerimientos de la maquinaria sean atendidos, lo cual genera mayor disponibilidad de equipos evitando mantenimientos correctivos	Revisión y aprobación de check list de cosechadora y hoja de control de mantenimiento de cosechadora propuesta, así mismo auditorías eventuales verificando proceso detallado en enfoque de mantenimiento.	Semanal	CAMPO	Disponibilidad > 80%

### 3.11 Plan de reacción

En caso de que las paradas no programadas se incrementen, se diseñó un plan de reacción (ver figura 41), para ejecutar acciones inmediatas y a mediano plazo, con sus respectivos responsables y herramientas de seguimiento.

Figura 41

*Plan de reacción*



## **Capítulo 4**

## **4. Conclusiones y recomendaciones**

### **4.1 Conclusiones**

- I. Se logró reducir significativamente las paradas no programadas, pasando de 16 a 12 por día, gracias a nuevas tecnologías y adaptaciones en los procedimientos.
- II. La recopilación de datos garantizó identificar las causas raíz, el enfoque y áreas específicas donde se pueden realizar mejoras, como el modelo de maquinaria y sistemas con mayor índice de atención, lo que impactaba en la fuerza de trabajo y la cantidad despachada de materia prima, donde la mejora da como resultado 12 paradas no programadas por día, con una entrega de 430 ton/día.
- III. La automatización de los registros de paradas reduce errores, mejora el control del tiempo y facilita la toma de decisiones gracias a un panel de control visual.

### **4.2 Recomendaciones**

- I. Ampliar la implementación de la automatización de registros de actividades a toda la flota de maquinaria, incluyendo cosechadoras, tractores y camiones de transporte de caña, para optimizar los procesos productivos.
- II. Establecer un sistema unificado de formatos de control de mantenimiento para toda la maquinaria agrícola, incluyendo tractores y cosechadoras John Deere, garantizando la compatibilidad y optimización de los procesos de mantenimiento
- III. Implementar un programa de mantenimiento productivo total (TPM) a largo plazo de acuerdo con los lineamientos de la filosofía de manufactura esbelta.

## Referencias

- Brue, G. (2002). *Six Sigma for Managers*. McGraw-Hill.
- Griffin, A., & Hauser, J. R. (1993). *The voice of customer* (Vol. 12). doi:10.1287/mksc.12.1.1
- Imai, M. (1986). *Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success*. New York, NY: McGraw-Hill.
- Ishikawa, K. (1985). *What is total quality control? The Japanese way*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Juran, J. M. (1998). *Juran's Quality Handbook* (Vol. 4). New York, NY: McGraw-Hill.
- Ohno, T. (1998). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Portland, OR: Productivity Press.
- Pyzdek, T. (2003). *The Six Sigma Handbook* (Vol. 1). New York, NY: McGraw-Hill.
- Tapping, D., & Dunn, T. (2006). *Lean Office Demystified*. Greensboro, NC: MCS Media, Inc.