



POSGRADOS

Maestría en
**PRODUCCIÓN Y
OPERACIONES INDUSTRIALES**

RPC-SO-30-NO.506-2019

Opción de Titulación:

Propuestas metodológicas y tecnológicas avanzadas

Tema:

Propuesta para reducción de fallas en sistemas de aireación eléctrica del sector camaronero mediante la metodología Lean Six Sigma

Autor(es)

Cesar Jara Ordoñez

Director:

Lenin Cevallos Robalino, Ph.D

GUAYAQUIL – ECUADOR
2025



Autor(es):



Cesar Augusto Jara Ordoñez

Ingeniero Electrico esp. Electrónica y automatización industrial
Candidato a Magíster en Producción y Operaciones Industriales por
la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Guayaquil.
Cesar_jara@live.com

Dirigido por:



Lenin E. Cevallos Robalino

Ingeniero Industrial
Máster en Ciencia y Tecnología Nuclear
Doctor en Energía Sostenible, Nuclear y Renovable
lcevallos@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

2025 © Universidad Politécnica Salesiana.

GUAYAQUIL– ECUADOR – SUDAMÉRICA

Cesar Augusto Jara Ordoñez

Propuesta para reducción de fallas en sistemas de aireación eléctrica del sector camaronero mediante la metodología Lean Six Sigma.

DEDICATORIA.

Dedico este trabajo:

A Dios, por ser mi guía y mi fortaleza en cada paso del camino, brindándome apoyo en los momentos de dificultad y recordándome siempre que hay esperanza.

A mis padres, por ser mi inspiración constante y mi pilar fundamental. Su amor sin condicion y sus consejos basados en sus experiencias vividas han sido la principal fuente de energía que me impulsa a seguir adelante en cada etapa de mi vida.

A mi esposa, por su apoyo, dedicación y sacrificio, que me han enseñado que, aunque el camino se complique, con amor y perseverancia todo es posible.

AGRADECIMIENTO.

Agradezco profundamente a mis padres, esposa y hermanos por su inquebrantable apoyo emocional, que ha sido esencial en la realización de este proyecto.

A mi tutor, Lenin Cevallos, por su paciencia, orientación y las valiosas correcciones que me han permitido crecer y mejorar en mi trabajo.

A la Universidad Politécnica Salesiana, por proporcionarme las herramientas y conocimientos que han sido clave en mi desarrollo profesional.

Tabla de Contenido

Resumen	11
Abstract.....	12
1. INTRODUCCIÓN.....	13
2. DETERMINACION DEL PROBLEMA	14
2.1. Situación de la problemática	14
2.2. Formulación del problema	15
2.2.1. Problema general	15
2.2.2. Problemas específicos	15
2.3. Justificación de la investigación.....	15
2.3.1. Justificación teórica	16
2.3.2. Justificación practica.....	16
2.4. Objetivos.....	17
2.4.1. Objetivo General.....	17
2.4.2. Objetivos Específicos	17
2.5. Hipótesis de la investigación	17
3. MARCO TEORICO	18
3.1. Antecedentes.....	18
3.1.1. Sector Camaronero Ecuatoriano.	18
3.2. Bases Teóricas.....	20
3.2.1. Sistemas de aireación	20
3.2.2. Aireadores eléctricos.....	26
3.2.3. Gestión de mantenimiento.....	27
3.2.4. Sistema de adquisición de datos	30
3.2.5. Lean Six Sigma	31
4. MATERIALES Y METODOS.....	35
4.1. Tipo, diseño y enfoque de la investigación	35
4.2.1. Tipo de investigación	35
4.2.2. Diseño de la investigación	35
4.2.3. Nivel de la investigación	36
4.2. Método de investigación	37
4.2.1. Método No experimental	37
4.3. Determinación de la muestra	38

4.4.	Técnicas e instrumentos de la investigación	38
4.2.2.	Manuales de mantenimiento de los equipos.....	39
4.2.3.	Registros	39
4.2.4.	Sistema de monitoreo y control – SCADA	40
4.2.5.	Cronómetro	40
4.2.6.	Observaciones de tareas	40
4.5.	Tratamiento de la información.....	40
4.6.	Operacionalización de las variables.	40
5.	PROPUESTA DE SOLUCION DEL PROBLEMA.	42
5.1.	Desarrollo de la propuesta en base a la metodología DMAIC.	42
5.1.1.	Definir.	42
5.1.2.	Medir	48
5.1.3.	Analizar	64
5.1.4.	Mejorar	88
5.1.5.	Controlar.....	107
6.	CONCLUSIONES.....	112
7.	RECOMENDACIONES	113
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	114

Índice de tablas

Tabla 1 Reconstrucción racional del procedimiento DMAIC.....	34
Tabla 2 Operacionalización de las variables	41
Tabla 3 Matriz CTQ	45
Tabla 4 Matriz CTQ + Indicadores a medir	49
Tabla 5 Matriz Resumen - Medir	63
Tabla 6 “5 porques” – Causa 1: Estructura organizacional y roles.....	74
Tabla 7 Posibles soluciones (Causa 1)	75
Tabla 8 Impacto y factibilidad (Causa 1) figura 32	76
Tabla 9 Posibles soluciones + Análisis de impacto/Factibilidad (Causa 2) f35.....	79
Tabla 10 Análisis de "5 porque" (Causa 3).....	81
Tabla 11 Posibles soluciones + Análisis de impacto/Factibilidad (Causa 3)39.....	82
Tabla 12 Plan de acción - Etapa Mejorar	88
Tabla 13 Roles y responsabilidades Monitorista.....	95
Tabla 14 Roles y responsabilidades Técnico Liniero	96
Tabla 15 Roles y responsabilidades técnico eléctrico 48	97
Tabla 16 Roles y responsabilidades Ayudantes y Operadores.....	98
Tabla 17 Roles y responsabilidades Supervisor.....	99
Tabla 18 Roles y Responsabilidades Líder	100
Tabla 19 Plan de control.....	111

Índice de figuras

Figura 1	Árbol de problema	15
Figura 2	Tendencia de exportación de camarón ecuatoriano.	19
Figura 3	Aireadores con sistema de aire difuso.	23
Figura 4	Aireador de hélice-aspirador-bomba.	24
Figura 5	Pulverizador de bomba vertical.	24
Figura 6	Aireadores de paletas.	25
Figura 7	SIPOC del proceso	46
Figura 8	Carta de definición del proyecto	47
Figura 9	Cantidad de fallas totales mensuales y Promedio de fallas/día (mes).....	51
Figura 10	Cantidad de fallas totales semanales y Promedio de fallas/día (semana)	52
Figura 11	Cantidad de fallas por día	52
Figura 12	Estadísticos descriptivos de cantidad de Fallas/día.	53
Figura 13	Histograma de Fallas/día	53
Figura 14	Gráfica de control de fallas/día	54
Figura 15	Tiempo medio de reparación acumulado mes.....	55
Figura 16	Tiempo Medio de reparación acumulado por semana	55
Figura 17	Tiempo medio de reparación por día	56
Figura 18	Agrupación por sector	56
Figura 19	Pareto de partes del aireador de paletas más afectadas	57
Figura 20	Tiempo medio de reparación por sector	57
Figura 21	Análisis de capacidad de proceso (Fallas /Día).....	59
Figura 22	Análisis de capacidad de proceso (Tiempo medio de reparación).....	61
Figura 24	Matriz Causa - Efecto	66
Figura 25	Organigrama, roles y horario del personal del área eléctrica.	67
Figura 26	Horario de aireación vs horario del personal.	68
Figura 27	Simulación de problema con grupo de ronda	70
Figura 28	Diagrama de Ishikawa - Causa1: Estructura organizacional y roles	72
Figura 29	Resumen de las principales hipótesis (Causa 1)	73
Figura 33	Diagrama de Ishikawa - Causa 2: Falta de información y registros de fallas. 77	
Figura 34	Resumen principales hipótesis (Causa 2)	78
Figura 36	Diagrama de Ishikawa - Causa 3: Falta de mantenimiento en los aireadores eléctricos.....	80
Figura 37	Resumen de principales hipótesis (Causa 3)	81
Figura 40	Agrupación de VOC por afinidad - Etapa Analizar	83
Figura 41	Agrupación de CTQ por afinidad – Etapa Analizar.....	84
Figura 42	Agrupación de hipótesis por afinidad - Etapa Analizar	85
Figura 43	Agrupación de causas raíz por afinidad - Etapa Analizar.....	86
Figura 44	Agrupación de posibles soluciones por afinidad - Etapa Analizar.....	87
Figura 45	Organigrama futuro	93
Figura 52	Aireador eléctrico 3hp - 8 paletas (partes e inspecciones necesarias)	101
Figura 53	Calculo de personas para tareas de mantenimiento preventivo	103
Figura 54	Calculo de cantidad de personas por día según horario laboral	104
Figura 55	KPI, Sistema de visualización y análisis de datos en Power BI	106
Figura 56	Análisis de capacidad inicial vs final - Fallas/día.....	108

Figura 57 Análisis de capacidad Inicial vs final - MTTR..... 110

Propuesta para reducción de fallas en sistemas de aireación eléctrica del sector camaronero mediante la metodología Lean Six Sigma

Autor:

Cesar Jara Ordoñez

Resumen

Esta investigación servirá como una guía para los actuales gestores o líderes de mantenimiento que deseen disminuir el porcentaje de fallas en los sistemas de aireación eléctrica, utilizando un enfoque metodológico para la resolución de problemas, se espera obtener una reducción del porcentaje de averías en los equipos de aireación eléctrica y lograr así un incremento en la confiabilidad de estos, lo que eliminaría los problemas por baja oxigenación.

Adicional se espera mejorar y establecer nuevos controles que sirvan para optimizar procesos del área de mantenimiento, todo esto con la finalidad de satisfacer las necesidades de los clientes internos y optimizar los costos de producción.

La metodología a utilizar es la lean six sigma, la cual se centra en la disminución de desperdicios y disminuir la variabilidad de los procesos, trabajaremos con las 5 etapas del DMAIC con el objetivo de disminuir la tasa de falla en los sistemas de aireación eléctrica.

Palabras Claves: DMAIC, aireadores, eléctricos, piscina, camarón, oxígeno.

Abstract

This research will serve as a guide for current managers or maintenance leaders who wish to reduce the failure rate in electrical aeration systems. By using a methodological approach to problem-solving, the goal is to achieve a reduction in the failure rate of electrical aeration equipment, thereby increasing its reliability and eliminating issues caused by low oxygenation.

Additionally, it is expected to improve and establish new controls that will optimize maintenance processes, all with the aim of meeting the needs of internal customers and optimizing production costs.

The methodology to be used is Lean Six Sigma, which focuses on reducing waste and minimizing process variability. We will work through the 5 stages of DMAIC with the objective of reducing the failure rate in electrical aeration systems.

Key Words: DMAIC, aerators, electric, pool, shrimp, oxygen.

INTRODUCCIÓN

El sector camaronero ecuatoriano ha ido creciendo a lo largo de los años tanto en términos de producción como en tecnología, en la actualidad los procesos de producción de engorde camarón cuentan con equipos con tecnología que hace pocos años atrás no se creían integrables (PLC, Sensores de oxígeno).

La inclusión de nuevas normativas y con el impulso de usar energías más limpias que las comúnmente usadas como el diesel, ha iniciado que los sistemas de aireación y bombeo migren al uso de sistemas eléctricos, con ello la aparición de nuevos desafíos en términos de gestión de mantenimiento y gestión de activos.

Exploraremos el uso de diferentes herramientas de mejora continua, en especial la fusión entre Lean Manufacturing y Six Sigma, que nos ayudara a comprender mejor la resolución de la problemática y su posible solución en base a sus herramientas estadísticas.

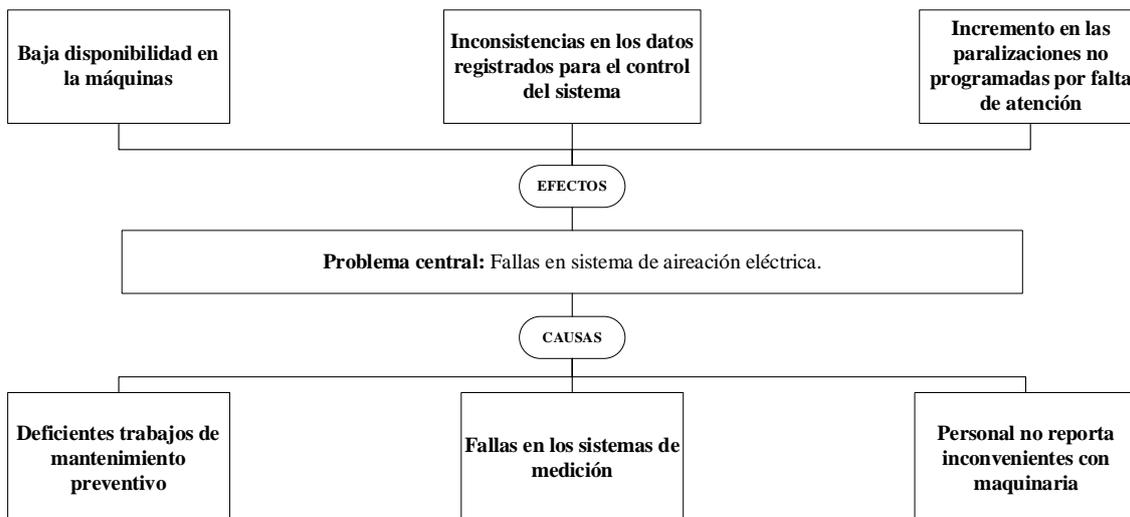
DETERMINACION DEL PROBLEMA

2.1. Situación de la problemática

A lo largo de los últimos años, la producción de productos derivados de la acuicultura, en especial el camarón, ha tenido un crecimiento exponencial, por ende, en búsqueda de obtener ganancias elevadas y mayor rentabilidad, los actuales productores de camarón han encontrado en la electrificación de sus fincas un beneficio económico (Ecuador Verifica, 2022)

Con la llegada de la electrificación, se genera la inclusión de nuevas máquinas o equipos a los procesos productivos, entre los más importantes tenemos los sistemas de bombeo, los equipos de aireación, sistemas de generación, equipos de alimentación automática entre otros (El Telégrafo, 2018).

Para esta investigación se toma como antecedente el porcentaje de fallas de la empresa “Finca camaronera”, cuya principal línea de negocio es el cultivo y engorde de camarón, la cual en los últimos 12 meses tiene un porcentaje de averías en los equipos de aireación eléctrica de más del 18%, teniendo picos de hasta 24% en algunos meses, esto implica que cada mes cerca de 549 equipos fallen durante su operación, lo que deriva en problemas con los niveles de oxigenación del agua y posterior mortalidad del camarón. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** presenta el árbol de problema con las principales causas identificadas y relacionadas con las fallas en el sistema de aeración eléctrica.

Figura 1*Árbol de problema*

2.2. Formulación del problema

2.2.1. *Problema general*

¿Se puede reducir las fallas en el sistema de aireación eléctrica del sector camaronero mediante la metodología lean six sigma?

2.2.2. *Problemas específicos*

- ¿Debemos mejorar los procesos y técnicas de mantenimiento preventivo?
- ¿Existe un adecuado sistema de medición que permita recopilar datos de las fallas en los equipos y mejore la toma de decisiones?
- ¿Existe la cantidad de mano de obra adecuada para suplir la demanda de trabajo en el área?

2.3. Justificación de la investigación

Esta investigación servirá como una guía para los actuales gestores o líderes de mantenimiento que deseen disminuir el porcentaje de fallas en los sistemas de aireación eléctrica, utilizando un enfoque metodológico para la resolución de problemas, se espera

obtener una reducción del porcentaje de averías en los equipos mencionados y lograr así un incremento en la confiabilidad de estos.

Adicional se espera mejorar y establecer nuevos controles que sirvan para optimizar procesos del área de mantenimiento, todo esto con la finalidad de satisfacer las necesidades de los clientes internos y optimizar los costos de producción.

2.3.1. *Justificación teórica*

La justificación teórica para la investigación sobre la reducción de fallas en sistemas de aireación eléctrica en el sector camaronero utilizando la metodología Lean Six Sigma se fundamenta en la necesidad crítica de optimizar los procesos productivos para asegurar la sostenibilidad y rentabilidad del cultivo de camarón. La metodología Lean Six Sigma, reconocida por su eficacia en la mejora continua y la calidad, se enfoca en la eliminación de desperdicios y la reducción de variabilidad en los procesos. (“Lean Six Sigma - ADUM”)

En el contexto de la “Finca camaronera”, donde se reporta un elevado porcentaje de averías en los equipos de aireación eléctrica, la aplicación de esta metodología no solo es pertinente sino esencial. Las fallas recurrentes, que alcanzan hasta un 24% mensual, implican una amenaza directa a la viabilidad del negocio debido a la mortalidad del camarón causada por niveles inadecuados de oxigenación del agua.

2.3.2. *Justificación practica*

La investigación propuesta para reducir las fallas en los sistemas de aireación eléctrica del sector camaronero mediante la metodología Lean Six Sigma es prácticamente justificada por la necesidad urgente de abordar el alto porcentaje de averías en los equipos de aireación eléctrica en la empresa "Finca camaronera". Estas fallas no solo generan costos adicionales por mantenimiento y reparación, sino que también tienen

consecuencias directas en los niveles de oxigenación del agua, lo que puede provocar la mortalidad del camarón y afectar gravemente la productividad y la rentabilidad de la empresa.

La aplicación de la metodología Lean Six Sigma ofrece un enfoque práctico y estructurado para identificar las causas subyacentes de estas fallas, implementar mejoras eficientes y sostenibles en los procesos de mantenimiento y operación, y finalmente, optimizar el rendimiento general del sistema de aireación eléctrica. Así, esta investigación no solo busca resolver el problema inmediato de las fallas recurrentes, sino también mejorar la eficiencia operativa, reducir costos y garantizar la calidad del producto final en el cultivo y engorde de camarón en "Finca camaronera".

2.4. Objetivos

2.4.1. *Objetivo General*

Plantear una propuesta para reducción de fallas en sistemas de aireación eléctrica del sector camaronero mediante la metodología lean six sigma.

2.4.2. *Objetivos Específicos*

- Mejorar los procesos y técnicas de mantenimiento preventivo.
- Proponer un adecuado sistema de medición que permita recopilar datos de las fallas en los equipos de aireación y mejore la toma de decisiones.
- Analizar y dar a conocer la cantidad de mano de obra adecuada que se requiere para suplir la demanda de trabajo en el área.

2.5. Hipótesis de la investigación

Para esta propuesta de mejora se plantean las siguientes hipótesis:

- El uso de la metodología de resolución de problemas Lean six sigma posiblemente lograra mitigar el incremento de fallas en los sistemas de aireación eléctrica.
- El determinar la cantidad de mano de obra adecuada para el área de mantenimiento probablemente disminuya los casos de fallos no atendidos en sistemas de aireación.
- El uso de un sistema de medición de averías o fallas posiblemente mejore la detección de los problemas en sistemas de aireación eléctrica.

MARCO TEORICO

3.1. Antecedentes

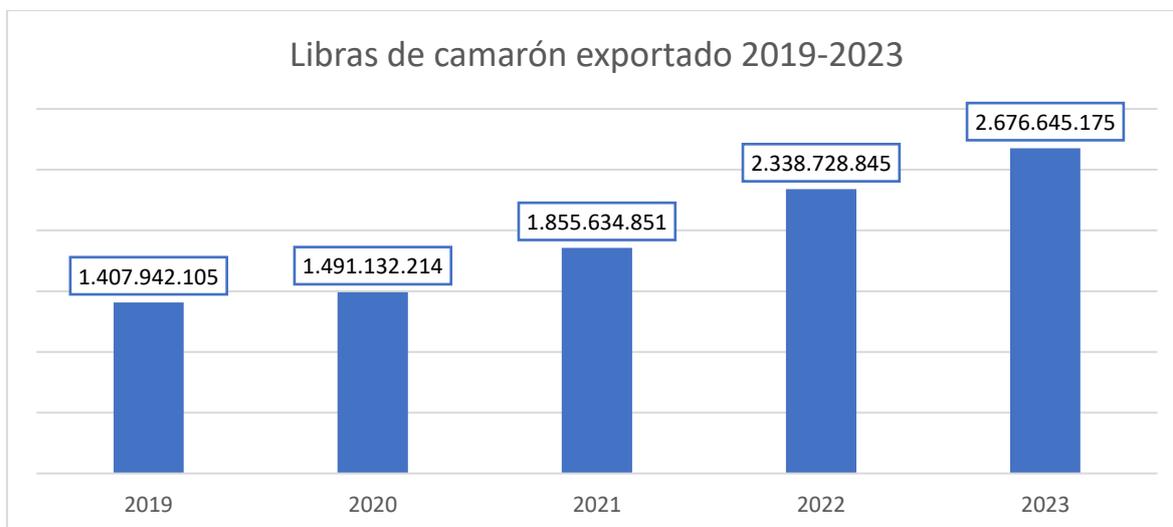
3.1.1. *Sector Camaronero Ecuatoriano.*

A lo largo de los últimos años, el sector camaronero ecuatoriano ha tenido un crecimiento en los niveles de exportación del camarón, llegando incluso a producir más de un millón de toneladas en 2021, convirtiéndose así en el primer país en exportar esta cifra (Cruz & Meza, 2019)

En investigaciones de Fundamedios (2022) Ecuador es el primer productor de camarón en cautiverio del mundo, y a su vez el mayor proveedor de productos de mar; siendo Estados Unidos, China, España, Italia y Francia los primeros destinos de exportación de este producto. Según las estadísticas de la Cámara de Acuicultura, se exportaron 1.855'634.851 libras de camarón, entre enero y diciembre de 2021, lo que representó USD 5.078'825.249. Solo en el mes de diciembre se exportaron 185'686.546 libras.

Figura 2

Tendencia de exportación de camarón ecuatoriano.



Nota. Adaptado de Revista Acuicultura-Cámara Nacional de Acuicultura).

Fuente: Reporte de Exportaciones Ecuatorianas Totales de Camarón (CNA, 2024)

Según Primicias (2022) el volumen de crédito destinado a las actividades y a la venta a gran escala del camarón asciende a USD 435 millones en el primer trimestre de 2022. Equivalente al 82% en el volumen de crédito frente a los primeros meses del año 2021 cuando se produjo un desembolso de USD 239 millones.

Debido a este crecimiento el sector camaronero se ha visto en la necesidad de ser más eficientes con el uso de sus recursos y para lograr ese objetivo muchas industrias del sector han acogido con buenos ojos la aplicación de energía eléctrica para alimentar los procesos de aireación, alimentación y bombeo. De esta manera se deja atrás el uso de maquinaria que comúnmente es alimentada con combustibles fósiles.

Al implementar energías renovables no contaminantes dentro del proceso de producción camaronera permitirá al sector captar nuevos mercados de exportación, por ello el Gobierno Nacional ha desarrollado programas de electrificación, especialmente en los camaroneros de Esmeraldas, Manta y Santa Elena cuyo objetivo es reemplazar la utilización de combustibles fósiles por energía limpia y renovable, convirtiéndose en un

sector competitivo, generando más empleo y divisas para el país ecuatoriano (Ministerio de Producción Comercio Exterior Inversiones y Pesca, 2021)

3.2. Bases Teóricas

3.2.1. *Sistemas de aireación*

Los sistemas de aireación para estanques de camarones son una modificación de la aireación mecánica de aguas residuales que se utilizó para investigaciones en las décadas de 1880 y 1890, y luego para los sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales entre 1910 y 1930. Los aireadores de paletas se empleaban comúnmente en la acuicultura en estanques ya en la década de 1950 (Márquez, 2024). Los pequeños aireadores eléctricos con potencias de 0,25 a 2 hp son populares para su uso en estanques más pequeños, especialmente los pequeños aireadores de paletas fabricados en el mercado, ya que son eficientes y económicos. Se han desarrollado tipos comunes de aireadores mecánicos que son modificaciones de aireadores de aguas residuales menos costosos para la acuicultura en estanques, como bombas verticales, pulverizadores de bomba, bombas aspiradoras de hélice, ruedas de paletas y sistemas de aire difundido (López, 2020).

3.2.1.1. *Principios de aireación*

El gas de la atmósfera contiene aproximadamente un 21% de oxígeno. Normalmente, la presión del aire es mayor que la presión del agua; Por lo tanto, el oxígeno de la atmósfera pasa al agua. Este proceso se detiene cuando las presiones del aire y del agua son iguales. Como resultado, la concentración de OD (oxígeno disuelto) en el agua se satura. La concentración de OD en los estanques de camarones no sólo depende de la temperatura, la salinidad y la presión barométrica, sino también de la tasa de respiración de los camarones, los sedimentos, el agua y la densidad de población (Piñeros, 2020).

El fitoplancton constituido por la combinación de amoníaco y fosfato es abundante en los estanques, pudiendo producir oxígeno mediante la fotosíntesis. La concentración de OD durante el día aumenta por encima del nivel de saturación ya que la cantidad de OD producida por la fotosíntesis es mayor que la utilizada en la respiración de los organismos en los estanques (Ivailova, 2020). Por el contrario, durante la noche o en tiempo nublado, la respiración de los camarones, el fitoplancton y otros organismos en los estanques conduce a una disminución significativa en el nivel de OD. Las bajas concentraciones de OD en los estanques son peligrosas porque los camarones pueden quedarse sin aliento o sufrir estrés, lo que resulta en pérdida de apetito, vulnerabilidad a enfermedades, baja eficiencia en el uso de alimento, alta tasa de mortalidad y bajo rendimiento (Huatangari, 2020).

La fotosíntesis produce oxígeno en la capa superficial del agua; Por lo tanto, la concentración de OD disminuye con la profundidad del agua y es más baja en el fondo del estanque. Como resultado, se recomiendan estanques poco profundos para el cultivo de camarón porque los camarones consumen oxígeno en las capas media e inferior de los estanques. Mezclar una alta concentración de OD en el agua superficial con agua en capas más profundas que tienen un nivel bajo de OD es esencial para mantener una OD adecuada en los estanques de camarones (Blanco, 2021). Mejorar continuamente el oxígeno en los estanques de camarones juega un papel vital en el mantenimiento de la vida de los camarones, ayudándolos a crecer rápidamente, reduciendo la incidencia de enfermedades, aumentando la tasa de supervivencia y aumentando los rendimientos. Como consecuencia, es necesario construir sistemas que mejoren el oxígeno para las granjas camaroneras (Bonte, 2020).

Los sistemas de aeración se utilizan para proporcionar suplemento de oxígeno en los estanques, especialmente durante la noche o en tiempo nublado para compensar el

agotamiento de oxígeno debido a la respiración de los camarones, el fitoplancton y otros organismos en los estanques. Los aireadores se operan en casos de emergencia relacionados con el cultivo semi-intensivo de camarón; Sin embargo, tienen que funcionar todas las noches o incluso de forma continua en el caso de la acuicultura intensiva de camarón. Además de promover la oxigenación, estos sistemas funcionan para proporcionar circulación de agua oxigenada sobre el fondo del estanque (López, 2020).

El mecanismo de los sistemas de aeración tiene como objetivo aumentar el contacto entre el agua, el aire y el oxígeno disuelto en el agua. Cuando más oxígeno del aire llena la masa de agua, las concentraciones de oxígeno disuelto en los estanques se mantienen estables. Estos sistemas empleados en la industria acuícola son de tres tipos básicos: rociadores, burbujeadores y sistemas de contacto con oxígeno puro. Los aireadores de salpicadura y los aireadores de burbujeo suministran oxígeno del aire a los estanques de agua, mientras que los sistemas de contacto de oxígeno puro liberan oxígeno puro para afectar directamente la aireación (Márquez, 2024).

3.2.1.2. Tipos de aireador

Los tipos de aireadores utilizados en la acuicultura de camarón son modificaciones de los aireadores de tratamiento de aguas residuales; por lo tanto, comparten las mismas funciones y características de diseño. Los aireadores de aspersión, por ejemplo, los pulverizadores de bomba vertical o los aireadores de rueda de paletas, lanzan agua al aire. Los aireadores de burbujeo, como los sistemas de aire difuso, los aireadores de bomba-aspirador-hélice liberan burbujas de aire en el agua (Roy, 2021).

Los aireadores del sistema de aire difuso son sopladores de aire de baja presión y alto volumen para soplar aire a través de difusores de burbujas finas ubicados en el fondo del estanque o suspendidos en el agua, como se muestra en la Figura 3. Aunque existen varios tipos de sistemas de aire difundido, como compresores de aire, sopladores,

difusores de domo cerámico y tubos cerámicos porosos, su aplicación en el cultivo de camarones no es tan popular (Magallón, 2021). Se emplean en laboratorios y criaderos. La alta eficiencia para transferir burbujas de oxígeno del aire al agua se logra para los sistemas de aire difuso cuando la columna de agua en el estanque es lo suficientemente profunda como para proporcionar suficiente tiempo de contacto de las burbujas de aire en los estanques de agua. Por lo tanto, los sistemas son más eficientes con estanques más profundos que con estanques poco profundos (Valencia, 2019).

Figura 3

Aireadores con sistema de aire difuso.



Nota. Obtenido de la página de AquaHoy (2022)

Los aireadores de hélice-aspirador-bomba son dispositivos de superficie flotante (Figura 4) que comprenden componentes principales como un motor eléctrico, un eje hueco y giratorio encerrado en una carcasa. Hay un difusor de aire conectado al final de la carcasa. Un impulsor unido al extremo del eje giratorio gira a alta velocidad para crear vacío en la carcasa forzando el agua a través del extremo del eje hueco (Tanveer, 2019). Cuando la presión atmosférica es mayor que la presión en la carcasa, el aire sobre la superficie del agua se aspira a través de un eje hueco y se inyectan burbujas de aire en el agua después de salir del difusor. El aireador con bomba aspiradora de hélice es una máquina mezcladora de agua muy útil (Roy, 2021).

Figura 4

Aireador de hélice-aspirador-bomba.



Nota. Obtenido de la página de Tsurumi Pump España (2022)

Un pulverizador de bomba vertical consta de un motor eléctrico sumergido y una hélice suspendida dentro de un flotador como se muestra en la Figura 5. La hélice unida a un eje justo debajo de la superficie del agua gira a 1730 o 3450 rpm para lanzar el agua verticalmente al aire y afectar la oxigenación. El inconveniente de los aireadores de bomba vertical es que sólo pueden mejorar la concentración de oxígeno disuelto en su proximidad, mientras que las otras regiones de agua que están lejos de los aireadores no están aireadas (Irawan, 2023). Además, sólo el agua cerca de la superficie se lanza al aire. Como resultado, los pulverizadores de bomba vertical se han aplicado en estanques de camarones pequeños y poco profundos o se han combinado con otros tipos de aireadores.

Figura 5

Pulverizador de bomba vertical.



Nota. Obtenido de la página de Pirarucú Acuicultura (Pirarucú Acuicultura, 2017)

Los aireadores de rueda de paletas en la Figura 6 se utilizan ampliamente en la acuicultura de camarón. Los componentes principales del aireador incluyen un motor eléctrico y ruedas de paletas unidas a un eje giratorio (Boyd, 2021). Las ruedas de paletas están suspendidas por unidades flotantes. En estanques pequeños se suelen utilizar motores eléctricos de 0,8 a 2 kW, que giran a 1750 rpm; sin embargo, se aplica una caja de cambios para reducir la velocidad del eje de salida del motor de modo que las ruedas de paletas giren a 70-120 rpm. A medida que las ruedas de paletas giran, salpican agua en el aire para afectar la aireación. Estos aireadores son muy eficientes en la transferencia de oxígeno del aire al agua en comparación con otros tipos de aireadores (Magallón, 2021).

Figura 6

Aireadores de paletas.



Nota. Obtenido de la página de Tecnoacua (Tecnoacua, 2023)

Los sistemas de contacto con oxígeno puro, que rara vez se aplican en el cultivo de camarón, proporcionan oxígeno puro a los estanques de agua. Aunque la utilización de oxígeno puro puede aumentar la capacidad de carga de los sistemas de cultivo y la productividad, el transporte de oxígeno puro desde los proveedores industriales a las granjas camaroneras no sólo aumenta los costos adicionales sino que también causa las emisiones de CO₂ asociadas (Irawan, 2023).

3.2.2. Aireadores eléctricos.

Como parte del proceso productivo del camarón, encontramos que el oxígeno disuelto en el agua de las piscinas camaroneras es un factor crítico en los centros de cultivo, donde los equipos de aireación juegan un papel fundamental para lograr generar los niveles adecuados de oxigenación (Ramesh, 2023).

Según Fauzi (2021) normalmente los estanques presentan una reducción en el nivel de oxígeno que se encuentra disuelto en el agua por un determinado tiempo, por eso el aireador se ha convertido en un gran aliado dentro del área de la piscicultura; cuya función permite que el agua pueda moverse, desde el fondo sin remover sólidos y a su vez realiza un proceso de desgasificación, que consiste en la liberación de los gases tóxicos presentes en lo más profundo del lago o estanque lo que es especialmente importante en el caso de los camarones.

Existen diferentes tipos de sistemas de aireación en el mercado, los más comunes son los aireadores cuyo movimiento es generado por la combustión, también existen aireadores alimentados por la red eléctrica, estas máquinas están compuestas por un motor trifásico generalmente de 3 a 4hp, acoplados a una caja reductora y que por medio de paletas logran dar movimiento al agua (Pesantez, 2021).

Con los años, los camaroneros han aprendido a fabricar y utilizar versiones menos costosas de aireadores, pero también menos eficientes, aquellos que son fabricados en fábrica. En Asia se desarrolló para pequeños aireadores flotantes de rueda de paletas eléctricos de 1 o 2 hp usados en estanques de camarones y para hélices de 1 a 2 hp se implementaron aireadores con bomba de aspiración que también han sido acogidos dentro del proceso de la cría de camarones (Romero, 2021).

Los motores diésel y otros equipos de combustión interna presentan eficiencias energéticas mucho más bajas en comparación con los motores eléctricos, pero la energía

utilizada en estos dos tipos de unidades tiene diferentes relaciones con los combustibles primarios (Obregón, 2019).

Aunque los motores de combustión interna que funcionan con diferentes combustibles tienen eficiencias similares, en tal caso, un motor que funciona con etanol utilizará un mayor volumen de combustible para producir la misma cantidad de energía que un motor que funciona con diésel, ya que el etanol tiene un contenido de energía por litro menor que el combustible diésel. En otras palabras, un combustible de menor contenido energético puede ser menos o más económico que un combustible de mayor energía, dependientemente del precio de cada combustible por litro (Ramesh, 2023).

3.2.3. *Gestión de mantenimiento*

La gestión del mantenimiento consiste en mantener los activos físicos de una empresa o industria para alargar la vida útil de los mismos y lograr que la producción sea efectiva, optimizando recursos y mejorando los costos. De acuerdo con Lantaca (2023) para las organizaciones que operan con múltiples maquinarias y equipos, la gestión del mantenimiento es un proceso imprescindible para incorporar, ya que este enfoque metodológico logrará mantener los procesos en orden. Cabe destacar que, el mantenimiento no se limita a la reparación de activos, sino que también incluye otros procedimientos como la limpieza e inspección para mantenerlos en condiciones de funcionamiento optimizando su rendimiento (Campanaro, 2021).

Una óptima gestión de mantenimiento evita la pérdida de producción, disminuye el desperdicio, incrementa la disponibilidad de la maquinaria, garantiza la seguridad del personal al hacer las máquinas más confiables, esto es algo que toda empresa busca dentro de sus procesos productivos. Se debe mantener un balance entre un mantenimiento preventivo, planificado y rutinario, donde éste se lo realiza antes de que haya fallas en los equipos evitando problemas futuros; y uno correctivo, que permita solucionar los

imprevistos ocasionales con respecto a todas las actividades de la industria. Este mantenimiento evita tener que renovar la instalación o máquina concreta lo que podría estropear trabajos ya elaborados (Mishuk, 2022).

Actualmente existen muchas metodologías que se enfocan en mejorar la gestión de mantenimiento, entre ellas podemos citar TPM, RCM e incluso podemos obtener guías de normativas como la ISO 55000 que se enfoca en el cuidado de los activos. (Díaz-Concepción y otros, 2019). Primeramente, el TPM (de sus siglas en inglés “total productive maintenance”) es una técnica de mantenimiento productivo total que surgió en Japón en 1971 (Agila, 2021).

Su objetivo es aumentar la eficiencia de las máquinas de una empresa y a su vez, prohibir los tiempos de parada no planificados, las pérdidas de tiempo presentadas en el momento que un técnico pone en marcha una máquina, o las reparaciones y residuos provocados por el rendimiento degradado del equipo. Evitando las pérdidas de productividad debido a fallos o a una posible falta de atención por parte de los técnicos. Para lograr el objetivo mencionado, Vera (2024) presenta los objetivos de las 5S del cual se divide en dos fases: La primera fase agrupa las actividades que se van a llevar a cabo directamente sobre el puesto y área de trabajo, clasificar los materiales, organizar los instrumentos que queden después de haber realizado una evaluación de necesidad y por último limpiar la suciedad y desechos del área. La segunda fase reúne las actividades que deben realizarse a la hora de mantener en el tiempo las acciones del primer grupo, por lo tanto, consiste en el seguimiento, control y estandarización de aquellas actividades indispensables para el funcionamiento correcto del Método 5S, facilitando las labores previas, posteriores y durante la producción, lo que se atribuye a lograr la satisfacción del cliente (Salazar, 2022).

Según Montalvo (Montalvo, 2019) el mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) es una metodología enfocada en la organización de las actividades y de uso extendido para elaborar planes de mantenimiento que incluyan todo tipo de estrategias (preventivo, búsqueda de fallas, predictivo, etc.). Fue desarrollada por la industria comercial de aviación de los Estados Unidos con el objetivo de mejorar la seguridad y confiabilidad de sus equipos, fue definida por los empleados de la United Airlines Stanley Nowlan y Howard Heap en 1978 y actualmente es utilizado con frecuencia para identificar tareas de mantenimiento, analizar el riesgo en equipos, clasificar los componentes significativos para el mantenimiento o detectar áreas de oportunidad de mejora las máquinas (Campanaro, 2021).

3.2.3.1. Mantenimiento preventivo

Para mantener los activos y equipos operativos y evitar costosos tiempos de inactividad no programados debido a averías inesperadas del equipo, el mantenimiento preventivo (MP) es un mantenimiento rutinario y regular. La planificación y programación del mantenimiento preventivo es esencial para un enfoque exitoso. La documentación de inspecciones y servicios anteriores también es una parte importante de un plan de mantenimiento preventivo eficaz (Coutinho, 2022).

Varias empresas utilizan software de mantenimiento preventivo para ayudarles a organizar las diversas tareas de mantenimiento preventivo que son necesarias debido a la dificultad de realizar un seguimiento de un cronograma para una cantidad significativa de equipos. El curso de acción ideal es realizar MP en todos los equipos de forma regular para prevenir fallas relacionadas con la edad, pero en la práctica esto no siempre es posible (Hammer, 2020). Hay tres categorías principales de tareas de mantenimiento preventivo; sin embargo, los fabricantes suelen hacer recomendaciones:

La cantidad específica de mantenimiento preventivo que se necesita varía dependiendo de la maquinaria y la tarea que está realizando. Para evitar que los activos fallen, la industria adopta estándares para ayudar a establecer programas de mantenimiento. También se incluye en estas normas el tipo de inspección o mantenimiento necesario (Sacristán, 2019).

Idealmente, un programa de MP garantizaría un mantenimiento proactivo siguiendo los requisitos estándar o del fabricante, para que las cosas no empiecen a fallar y luego tengan que repararse. Documentar con precisión las inspecciones y el servicio en relación con el conocimiento de la vida útil de un equipo es esencial para seguir este tipo de plan de mantenimiento predictivo a través de tareas como el monitoreo del estado (Durocher, 2019). Puede utilizar estos datos para determinar cuándo necesita realizar mantenimiento preventivo.

3.2.4. Sistema de adquisición de datos

Los sistemas de adquisición de datos nos permiten recopilar información para documentar diferentes variables en un proceso para luego poder ser almacenada, transmitida o manipulada matemáticamente con el objetivo de entender un fenómeno visualizado. Las aplicaciones de adquisición de datos normalmente son controladas por programas de software desarrollados, de los cuales utilizan varios lenguajes de programación como BASIC, Assembly, C, C ++, Lisp, LabVIEW, Fortran, Java, entre otros. De la misma manera, existe software de código abierto dedicados para adquirir datos desde diferentes equipos de hardware. Aquellas son provenientes de las comunidades científicas donde las experimentaciones complejas requieren del respaldo de un software rápido, adaptable y flexible (Pontes, 2019).

Los primeros sistemas de adquisición de datos fueron desarrollados por IBM en 1960 y estaban enfocados en registrar datos científicos. En 1980 National Instruments

empieza la venta de tarjetas de adquisición de datos que se pueden instalar en computadoras a un bajo costo lo cual revolucionó y permitió la inclusión tecnológica para diferentes fines investigativos (Sarma, 2019). Este acontecimiento se dio mucho antes de la llegada de la computadora personal (PC), por lo que estos sistemas eran computadoras muy costosas y a gran escala que requerían una programación y configuración significativas para realizar su trabajo. Fueron utilizados principalmente por gobiernos y contratistas gubernamentales muy grandes, incluida la NASA, varias ramas militares y sus contratistas. Pero representaron un gran paso en el registro de datos lo que condujo directamente a los sistemas de adquisición de datos basados en PC actuales (Sembiring, 2020).

A lo largo de los últimos años la evolución de estos sistemas ha crecido con una curva exponencial, convirtiéndose en parte de nuestro día a día, incluso podemos encontrar sistemas de adquisición de datos en nuestros hogares los cuales nos ayudan en diferentes eventos de nuestra vida cotidiana. Un ejemplo de tarjetas de adquisición de datos abierto según Parrado, (2019) es la serie de Advantech de comunicación PCI Express, las cuales pueden conectarse a cualquier bus compatible y adquirir datos de una gran variedad de sensores. PCI Express es una interfaz de hardware que se utiliza en muchas plataformas de cómputo debido a su alto rendimiento y velocidad, es en una opción ideal para las aplicaciones de adquisición de datos, pero para ello, se requiere tener todo integrado en un solo dispositivo, por lo que los protocolos Wifi, USB, bluetooth, ethernet se hacen cada vez más comunes.

3.2.5. Lean Six Sigma

Metodología resultada de la unión de dos filosofías: Lean Manufacturing y Six Sigma cuyo objetivo es la mejora de los procesos reduciendo la variabilidad y los desperdicios para lograr 3.4 defectos por millón de oportunidades. El principio

fundamental de Lean consiste en la eliminación de residuos, mientras que Six Sigma es un método centrado en el análisis de datos y métricas encargado de examinar los procesos repetitivos de las organizaciones teniendo como objetivo el llevar la calidad hasta niveles cercanos a la perfección, reduciendo los defectos al máximo (Felizzola, 2019).

Por tanto, la unión de ambos métodos, ayudan a prevenir los problemas antes de que se presenten y conjugan un enfoque para lograr la estabilidad del negocio, reducir tiempos y costes de las operaciones llevadas a cabo, incrementar la calidad y aplicar eficientemente los recursos (Pérez, 2021).

Dentro de las características del Lean Six Sigma se pueden mencionar que: se implementa una estructura de entrenamiento con diversos instrumentos, su enfoque es proactivo por el que aplica variables clave dentro de un proceso, la máxima es trabajar con características críticas de la calidad y ésta se obtiene en proceso y no en inspecciones, por último, las salidas del proceso dependen de las entradas (Becerra, 2022).

El enfoque utilizado para la mejora de los procesos es el DMAIC (definir, medir, analizar, mejorar y controlar) el cual permitirá tener un mejor control del sistema para poder lograr la menor cantidad de defectos. El principal beneficio de la DMAIC es ser un enfoque riguroso para solucionar problemas basado en datos con objetivos y etapas definidos y diseñado que conlleva a la evaluación objetiva de los cambios producidos dentro del proceso (Carrillo, 2021). Por ello, con respecto a los experimentos donde se implementan nuevos procesos en los flujos de trabajo frecuentemente pueden terminar no dando respuestas definitivas sobre lo que ha ido cambiando, sin importar la actividad a la que se dedica el negocio, la DMAIC es el equipamiento adecuado que cuenta con los datos para realizarlo.

3.2.5.1.DMAIC

El fenómeno Six Sigma no está asociado a un enfoque específico y bien definido. El término describe con mayor precisión un conjunto de actividades comerciales interrelacionadas, como la capacitación Six Sigma para profesionales, libros de texto escritos por consultores y esfuerzos y proyectos de mejora de la marca Six Sigma. De Godina et al. (2021) proporcionan una redefinición razonable de la técnica de Six Sigma. Con una mentalidad de prescripción, dividen la metodología Six Sigma en cuatro partes distintas:

- Un modelo de la función y el propósito aplicables del método.
- Un modelo DMAIC que establece un proceso secuencial.
- Una variedad de métodos.
- Los rasgos críticos para la calidad (CTQ) y la diferencia entre causas importantes e insignificantes son ejemplos de tales ideas y categorías.

Estos autores, afirman la validez convergente de la técnica después de realizar una investigación de las descripciones de estos aspectos en la literatura de los profesionales. Encuentran que las diversas explicaciones tienen suficientes puntos en común como para ser consideradas variantes de un enfoque único. La Tabla 1 muestra las fases DMAIC reconstruidas, sus propósitos, procesos y actividades encomendadas de una multitud de fuentes. Además, Godina et al. (2021) asocian estas fases DMAIC con métodos y recursos. Su examen de los componentes de la técnica los lleva a describir el proceso de Six Sigma de la siguiente manera:

- El procedimiento requiere la parametrización y cuantificación de las cuestiones. Las acciones de mejora se producen a partir de los vínculos identificados entre las variables.

- Específicamente, la metodología y las técnicas Six Sigma están fuertemente influenciadas por el modelado causal, que considera los efectos de los factores causales (X) sobre las características críticas de calidad del proceso (CTQ).
- Las técnicas icónicas de Six Sigma incluyen el estudio de la capacidad del proceso, el estudio R&R de calibres y el diseño y análisis de experimentos.

El propósito de cada etapa de la técnica DMAIC y las acciones habituales para realizar estas tareas se enumeran en la Tabla 1.

Tabla 1

Reconstrucción racional del procedimiento DMAIC.

Fase	Sub fases
Definir: selección de problemas y análisis de beneficios.	D1. Identificar y mapear procesos relevantes. D2. Identificar partes interesadas D3. Determinar y priorizar las necesidades y requisitos del cliente. D4. Elaborar un caso de negocio para el proyecto.
Medir: traducción del problema a una forma medible y medición de la situación actual; definición refinada de objetivos	M1. Seleccione uno o más CTQ M2. Determinar definiciones operativas para CTQ y requisitos. M3. Validar sistemas de medición de los CTQs M4. Evaluar la capacidad del proceso actual. M5. Definir objetivos
Analizar: identificación de factores de influencia y causas que determinan el comportamiento de los CTQ	A1. Identificar posibles factores de influencia. A2. Seleccione los pocos factores de influencia vitales
Mejorar: diseño e implementación de ajustes al proceso para mejorar el desempeño de los CTQ	I1. Cuantificar las relaciones entre X y CTQ I2. Diseñar acciones para modificar el proceso o la configuración de los factores de influencia de tal manera que se optimicen los CTQ.

Control: verificación empírica de los resultados del proyecto y ajuste del sistema de gestión y control de procesos para que las mejoras sean sostenibles.

I3. Realizar prueba piloto de acciones de mejora

C1. Determinar la capacidad del nuevo proceso.

C2. Implementar planes de control.

Nota. Adaptado de Godina et al. (2021)

MATERIALES Y METODOS

4.1. Tipo, diseño y enfoque de la investigación

4.2.1. Tipo de investigación

La investigación descriptiva se centra en describir situaciones, fenómenos o eventos tal como se presentan en su contexto natural, sin manipularlos ni controlarlos. En este caso, la intención es analizar y describir el estado actual de los sistemas de aireación eléctrica en el sector camaronero, identificando las fallas existentes y comprendiendo los factores que contribuyen a ellas. Donde la metodología Lean Six Sigma, con su enfoque DMAIC, se adapta perfectamente a este tipo de investigación.

4.2.2. Diseño de la investigación

Este diseño de investigación se enfoca específicamente en proponer soluciones y estrategias para abordar el problema identificado: las fallas en los sistemas de aireación eléctrica utilizados en la industria camaronera. Al utilizar el enfoque DMAIC de Lean Six Sigma, el trabajo se estructura de manera sistemática para abordar cada fase del proceso de mejora continua.

La fase de Definir se concentra en establecer claramente los objetivos y alcances del estudio, así como en identificar el problema principal que se abordará: las fallas en los sistemas de aireación eléctrica. A continuación, en la fase de Medir, se recopilan datos

relevantes sobre la frecuencia y naturaleza de las fallas, así como sobre su impacto en la operación del sector camaronero.

Luego, en la fase de Analizar, se examinan a fondo estos datos para comprender las causas subyacentes de las fallas. Esta etapa implica identificar posibles factores que contribuyen a las fallas, como defectos en el diseño, mantenimiento inadecuado o problemas en el proceso de producción.

Basándose en los hallazgos de la fase de Análisis, se desarrollan estrategias de Mejora en la siguiente etapa. Estas estrategias pueden incluir la implementación de cambios en los procesos de diseño, la optimización de los programas de mantenimiento preventivo o la introducción de nuevas tecnologías para mejorar la confiabilidad de los sistemas de aireación eléctrica.

Finalmente, en la fase de Controlar, se establecen medidas para monitorear y mantener los resultados obtenidos a través de las mejoras implementadas, asegurando así que las fallas se reduzcan de manera sostenible a lo largo del tiempo.

4.2.3. Nivel de la investigación

El enfoque de la investigación es de tipo cuantitativo, que implica la recolección y análisis de datos numéricos y estadísticos para comprender fenómenos, tendencias o relaciones entre variables. En tu investigación, se utilizará el enfoque DMAIC para abordar el problema de las fallas en los sistemas de aireación eléctrica, lo que implica recopilar datos cuantitativos sobre la frecuencia, naturaleza y causas de estas fallas.

Durante la fase de Medir del enfoque DMAIC, se recolectarán datos numéricos sobre la cantidad de fallas, el tiempo de inactividad asociado, el costo de las reparaciones y otros aspectos relevantes. Estos datos proporcionarán una comprensión cuantitativa del alcance y la gravedad del problema de las fallas en los sistemas de aireación eléctrica.

En la fase de Analizar, se utilizarán técnicas estadísticas y análisis cuantitativos para identificar patrones, tendencias o correlaciones entre las variables relacionadas con las fallas. Esto puede incluir el uso de herramientas como análisis de Pareto, gráficos de control y análisis de regresión para identificar las principales causas de las fallas y su impacto en la operación del sector camaronero.

Basándose en estos análisis cuantitativos, se desarrollarán estrategias de Mejora para reducir las fallas en los sistemas de aireación eléctrica. Estas estrategias pueden estar respaldadas por datos numéricos que demuestren la efectividad de las soluciones propuestas en la fase de Controlar, donde se implementarán medidas para monitorear y mantener los resultados obtenidos a través de las mejoras implementadas.

4.2. Método de investigación

4.2.1. Método No experimental

En un método de investigación no experimental, no se manipulan deliberadamente variables ni se aplican tratamientos o intervenciones controladas. En lugar de eso, se observan fenómenos tal como ocurren naturalmente en su contexto real. En este trabajo, la investigación se centrará en comprender y proponer soluciones para las fallas en los sistemas de aireación eléctrica sin intervenir directamente en el entorno de estudio.

El enfoque DMAIC de Lean Six Sigma proporciona un marco metodológico que se ajusta bien a esta clasificación. A través de las fases de Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, se recolectan datos, se analizan las causas de las fallas, se implementan mejoras y se monitorean los resultados, todo ello sin la necesidad de manipular deliberadamente las variables o realizar experimentos controlados.

En lugar de realizar pruebas o experimentos en un entorno controlado, el presente trabajo se basará en la observación y el análisis de datos reales relacionados con las fallas

en los sistemas de aireación eléctrica del sector camaronero. Esto implica recopilar información sobre la frecuencia, naturaleza y causas de las fallas, así como sobre el impacto que tienen en la operación del sector camaronero.

4.3. Determinación de la muestra

La población es de un total de 5420 equipos de aireación eléctrica los cuales conforman el 80% de los activos a cargo del área de mantenimiento eléctrico.

Para la propuesta se tomará una muestra de 94 equipos de aireación eléctrica, los mismos que fueron determinados mediante la ecuación estadística para proporciones poblacionales:

$$n = \frac{z^2(p * q)}{e^2 + \frac{(z^2)(p * q)}{N}}$$

N=5420	Tamaño poblacional.
Z=95%	Nivel de confianza.
p=0.5	Posibilidad de éxito.
q=0.5	Posibilidad de fracaso.
e=10%	Error.
n= 94	Tamaño de la muestra.

4.4. Formulación de indicadores

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^N (t_{fin,i} - t_{inicio,i})}{N}$$

N : Número total de filas ocurridas en el periodo.

$t_{inicio,i}$: Momento en el que inicia la reparación de la falla i .

$t_{fin,i}$: Momento en el que finaliza la reparación de la falla i .

$(t_{fin,i} - t_{inicio,i})$: Tiempo efectivo dedicado a reparar la falla i .

$$\% \text{ Fallas (en } d \text{ días)} = \frac{\sum_{j=1}^d F_j}{\sum_{j=1}^d A_j} \times 100\%$$

d : Cantidad total de días analizados.

F_j : Numero de equipos fallados en el día j .

A_j : Numero de equipos operativos en el día j .

4.5. Técnicas e instrumentos de la investigación

Para llevar a cabo la recolección de datos en el marco de tu investigación sobre la propuesta para reducir las fallas en sistemas de aireación eléctrica del sector camaronero mediante la metodología Lean Six Sigma y el enfoque DMAIC, se utilizarán varios instrumentos y fuentes de información. A continuación, describiré cómo se emplearán cada uno de los instrumentos mencionados:

4.2.2. Manuales de mantenimiento de los equipos

Los manuales de mantenimiento proporcionarán información detallada sobre los procedimientos de mantenimiento recomendados por el fabricante para los equipos de aireación eléctrica. Estos manuales servirán como referencia para identificar las actividades de mantenimiento programado, así como para entender las especificaciones técnicas y los requerimientos de operación de los equipos.

4.2.3. Registros

Los registros son documentos que registran datos relevantes sobre el funcionamiento y mantenimiento de los sistemas de aireación eléctrica. Estos registros pueden incluir registros de mantenimiento preventivo, registros de incidentes y fallas, registros de tiempos de inactividad y cualquier otra información relacionada con el rendimiento de los equipos.

4.2.4. Sistema de monitoreo y control – SCADA

Un sistema de monitoreo y control SCADA se utilizará para recopilar datos en tiempo real sobre el funcionamiento de los sistemas de aireación eléctrica. Este sistema permitirá supervisar variables clave, equipos detenidos, tiempos de operación y otras métricas relevantes para identificar posibles problemas o tendencias que puedan indicar la presencia de fallas.

4.2.5. Cronómetro

El cronómetro se utilizará para medir el tiempo requerido para realizar ciertas tareas de mantenimiento o actividades operativas relacionadas con los sistemas de aireación eléctrica. Estas mediciones de tiempo serán importantes para evaluar la eficiencia de los procesos y determinar posibles áreas de mejora en términos de tiempo y recursos utilizados.

4.2.6. Observaciones de tareas

Las observaciones directas de las tareas realizadas en el campo proporcionarán información cualitativa sobre el proceso de mantenimiento y operación de los sistemas de aireación eléctrica. Estas observaciones ayudarán a identificar posibles problemas, prácticas ineficientes o áreas de oportunidad para optimizar los procesos.

4.6. Tratamiento de la información

Para el tratamiento de la información se usarán las siguientes herramientas: Diagrama de Pareto, Histogramas, 5w2h y diagrama causa efecto, análisis de modo y efectos de fallas, modelos estadísticos y prueba de hipótesis. Los softwares que se usarán son: Minitab, LabVIEW, Jmp, Excel.

4.7. Operacionalización de las variables.

La tabla 2 presenta la operacionalización de las variables en donde se encuentran la variable independiente (Lean Six Sigma) y las dependientes (# de mano de obra,

procesos y técnica de mantenimiento, fallas en los sistemas de aireación, sistemas de medición de fallas

Tabla 2

Operacionalización de las variables

Variables	Definición conceptual	Dimensión	Indicadores
VI: Metodología Lean Six Sigma.	Sistema de mejora continua producto de la unión de las metodologías Lean y Six Sigma, que busca reducir la variabilidad de los procesos y la eliminación de desperdicios	Aplicación de la metodología Lean Six Sigma para la resolución de problemas.	Reducción de averías.
VD: Cantidad de mano de obra.	Numero de personal necesario para efectuar las tareas.	Validando tareas de mantenimiento, aplicando herramientas Lean para reducción de tiempos	# técnicos de aireadores para mantenimiento preventivo
VD: Procesos y técnicas de mantenimiento preventivo.	Documentación del marco de trabajo y la metodología que se usa para efectuar cada tarea.	Matriz de criticidad, reporte de fallas, reportes de compra de repuestos y servicios.	# Procedimiento de Mantenimiento #Registros de fallas / averías documentados.
VD: Fallas en los sistemas de aireación.	Falla o avería causada por un evento inesperado que deriva en una pérdida de tiempo a la operación	Disminución de roturas en diferentes partes del equipo (motor, reductor, paletas, etc....)	% de Fallas en sistema de aireación eléctrica.

PROPUESTA DE SOLUCION DEL PROBLEMA.

5.1. Desarrollo de la propuesta en base a la metodología DMAIC.

El diseño de la propuesta se estructuró siguiendo las cinco etapas del modelo DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), una metodología utilizada en la mejora continua de procesos. Este enfoque asegura que cada etapa de la propuesta esté basada en un análisis riguroso y enfocado en la solución de problemas.

A lo largo de este capítulo, se presentarán los resultados obtenidos en cada una de estas etapas, desde la identificación de problemas hasta la implementación de mejoras y su control a largo plazo.

5.1.1. Definir.

Esta etapa es el punto de partida del ciclo DMAIC, su objetivo es establecer una clara comprensión del problema u oportunidad, definir los límites del proyecto (alcance del proyecto) y la relación que existe entre los objetivos del proyecto y los objetivos estratégicos de la empresa. La carta de definición del proyecto es uno de los documentos claves en esta etapa, la misma que formaliza la iniciativa de mejora, da claridad al caso de negocio

5.1.1.1.Caso de Negocio.

En el marco estratégico de la compañía para el año 2024, uno de los objetivos clave es incrementar los niveles de producción en un 7,2%. Este objetivo está directamente involucrado con la eficiencia y disponibilidad de los equipos críticos en la cadena productiva, particularmente los sistemas de aireación eléctrica. Estos equipos juegan un papel fundamental en la oxigenación del agua en las piscinas de camarón y permiten un ambiente adecuado para el crecimiento del crustáceo.

El área de mantenimiento de aireadores eléctricos tiene como meta específica garantizar la disponibilidad de estos equipos, ya que su funcionamiento continuo es esencial para evitar situaciones de estrés en los camarones por falta de oxígeno, lo cual podría traducirse en una disminución en las tasas de crecimiento y una mayor mortalidad. El no cumplir con esta meta impacta en la capacidad de la empresa para alcanzar el incremento de producción proyectado. Por lo tanto, hay que asegurar que los equipos de aireación se mantengan en condiciones óptimas.

5.1.1.2.Oportunidad

La empresa “Finca camaronera” tiene una tasa de averías en los equipos de aireación eléctrica de más de 21,6 fallas/día, teniendo picos de hasta 47 fallas/día, esto implica que cada mes cerca de 648 equipos fallen durante su operación en el mes, lo que deriva en problemas con los niveles de oxigenación del agua en las piscinas de camarón y posterior mortalidad de este.

5.1.1.3.VOC (voz de cliente)

En la actualidad, se han identificado diversas preocupaciones por parte del personal interno con respecto al servicio y rendimiento de los equipos de aireación, lo que genera incertidumbre sobre la capacidad de alcanzar los objetivos establecidos por la dirección.

A través de entrevistas, hemos recopilado los siguientes hallazgos:

- Los equipos no encienden en los horarios acordados causando decrementos en los niveles de oxígeno de las piscinas.
- Existe una gran cantidad de aireadores eléctricos averiados en las piscinas durante los ciclos productivos.
- Existe poca información de equipos detenidos en piscinas, no se puede determinar cuántos equipos se apagaron durante el ciclo de producción.

- No existe el adecuado soporte técnico y acompañamiento durante las actividades de cosecha.
- Tiempo de respuesta de un técnico en horario nocturno es elevado.
- La solución de un problema en redes eléctricas y aireadores suele demorar varias horas y no es evidenciada desde el área responsable (principalmente en horario nocturno), poniendo en riesgo el camarón en piscina.
- Cuando se reporta un equipo en falla, la resolución del problema demora una gran cantidad de tiempo.

5.1.1.4. Variables CTQ / Matriz CTQ

La matriz CTQ permite enfocarse en aspectos esenciales para la satisfacción del cliente interno, priorizar acciones de mejora, orientar los esfuerzos hacia las necesidades del cliente, reducir costos asociados con problemas no críticos y promover la mejora continua al mantenerse alineados con las expectativas cambiantes del cliente y los objetivos de la empresa. A continuación, en la **Tabla 3**, se presenta la matriz CTQ, proveniente los resultados del entendimiento de la voz del cliente (VOC) de la sección anterior.

Tabla 3

Matriz CTQ

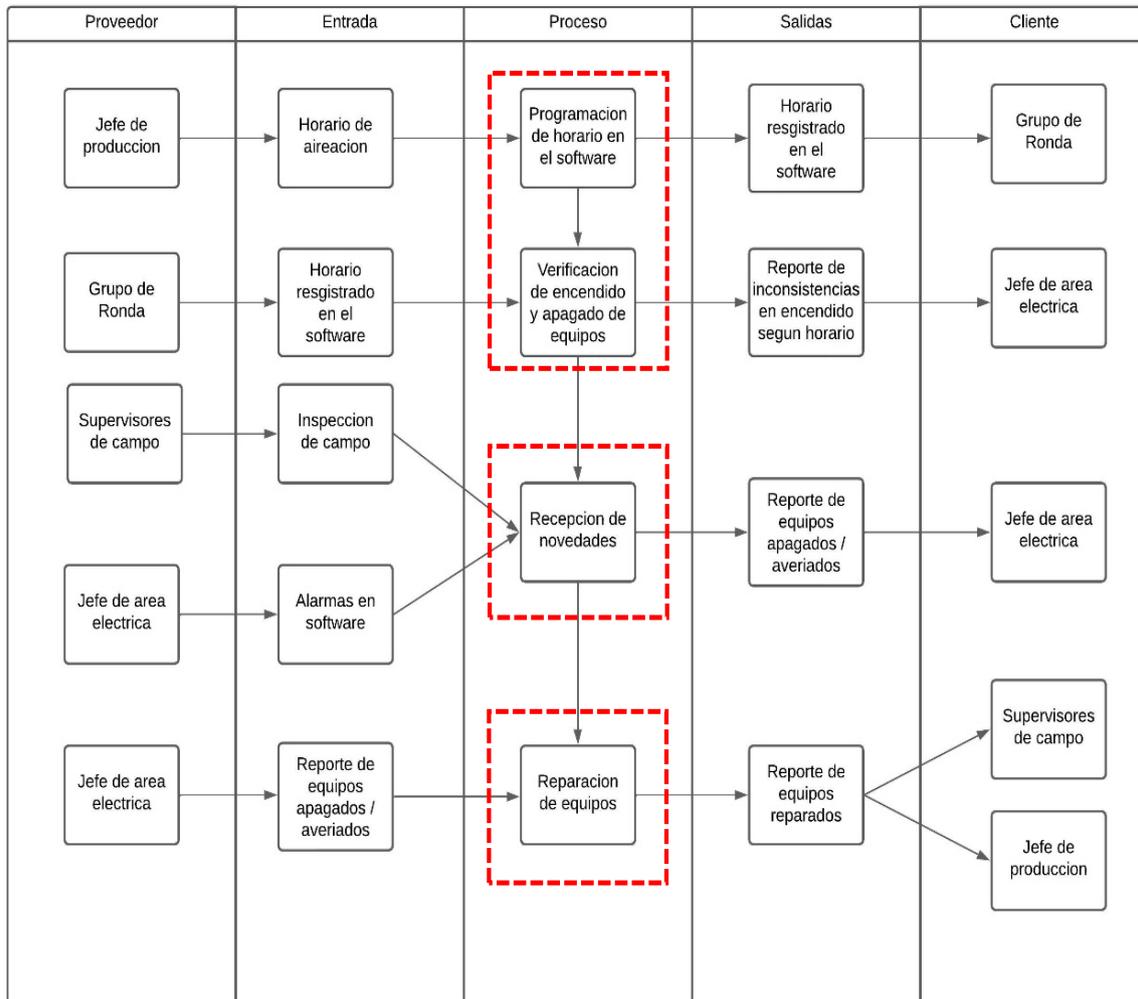
VOC / Quejas	Característica de Calidad / Problema Clave	CTQ's - Necesidades
Los equipos no encienden en los horarios acordados causando decrementos en los niveles de oxígeno de las piscinas.	Continuos reclamos por aireadores apagados en piscina	Minimizar inconsistencias entre el horario de encendido enviado vs el encendido real de los equipos en las piscinas
Poca información de equipos detenidos en piscinas, no se puede determinar cuántos equipos se apagaron durante el ciclo de producción, ni cuantos fueron reparados	Falta de información, falta de comunicación	Información de equipos averiados en piscinas - para tomar acción ante posibles problemas de oxígeno por equipos averiados
No existe el adecuado soporte técnico y acompañamiento durante las actividades de cosecha/ turnos nocturnos.	Falta de soporte técnico	Acompañamiento de personal presencial o vía software para encendido y apagado de equipos
Tiempo de respuesta de un técnico en horario nocturno es elevado. Cuando se reporta un equipo en falla, la resolución del problema demora una gran cantidad de tiempo.	Alto tiempo de respuesta de atención a fallas	Disminuir los tiempos de atención a fallas Disminuir los tiempos de reparación
Existe una gran cantidad de aireadores eléctricos averiados en las piscinas durante los ciclos productivos.	Alta tasa de equipos en fallas / día	Minimizar la cantidad de equipos de aireación eléctrica averiados en piscinas

5.1.1.5.SIPOC

Se utiliza la herramienta SIPOC mostrada en la Figura 7 , que es un mapa se procesos de alto nivel, que permite el entendimiento del proceso con sus respectivas entradas y salidas, los proveedores y clientes

Figura 7

SIPOC del proceso



Nota. Resumen del proceso de alto nivel en diagrama SIPOC para la comprensión de nuestro proceso

5.1.1.6. Carta de definición del proyecto

Este documento cumple una doble función esencial. En primer lugar, resume de manera clara y concisa todo el trabajo que se llevará a cabo, delineando los objetivos, alcance y actividades planificadas. Por otro lado, sirve como una herramienta de documentación formal que detalla exhaustivamente los requisitos necesarios para satisfacer las expectativas de todas las partes interesadas involucradas en el proyecto. La *Figura 8* muestra el resultado de la integración de todos los pasos anteriores en la carta de definición del proyecto.

Figura 8

Carta de definición del proyecto

Proyecto: Reducción de fallas en sistemas de aireación eléctrica			
Producto/Servicio	Engorde de camarón	Departamento/Sector	Mantenimiento
Líder	Cesar Jara	Dueño del proceso	Gerente de producción
Dueño del proceso	Gerente de producción	Fecha:	

Información	Descripción		
1. Caso de negocio	Dentro del marco estratégico de la compañía en el año 2024, se encuentra incrementar los niveles de producción en 7,2%, para lo cual se ha cascadeado como objetivo para el área de mantenimiento el mantener la disponibilidad de los equipos de aireación eléctrica, estos equipos son claves para un óptimo crecimiento del camarón.		
2. Oportunidades	La empresa "Finca camaronera" tiene una tasa de averías en los equipos de aireación eléctrica de más de 21,6 fallas/día, teniendo picos de hasta 47 fallas/día, esto implica que cada mes cerca de 648 equipos fallen durante su operación en el mes, lo que deriva en problemas con los niveles de oxigenación del agua en las piscinas de engorde de camarón y posterior mortalidad de este.		
3. Metas	La meta es lograr disminuir la cantidad de fallas en los equipos de aireación eléctrica y lograr un objetivo de fallas por día del 0.25%, lo que significa un promedio de 14 fallas/día en los equipos, adicional es de suma importancia controlar el tiempo medio de reparación de los equipos de aireación ya que el mismo no puede superar los límites de 1 día sin atención.		
4. Alcance del proyecto	Dentro del macro de sistemas que conforman los equipos eléctricos de "Finca Camaronera", este proyecto se centrara en la resolución de problemas de aireación causada por una afectación directa de los aireadores eléctricos. Los procesos o áreas que se involucraran en este proyecto son las áreas productivas, áreas de talento humano, área de mantenimiento eléctrico.		
5. Miembros del equipo	Líder del área eléctrica. Técnico del área eléctrica. Ayudante del área eléctrica.		
6. Beneficios para clientes interno	Mantener los niveles de oxigenación en piscinas de engorde de camarón por encima de 4 mg/l		
7. Agenda	Etapas del DMAIC	Inicio planeado	Inicio real
	Definir	1/7/2023	
	Medir	1/8/2023	
	Analizar	1/10/2023	
	Mejorar	1/12/2023	
	Controlar	1/3/2024	
Beneficios	1/5/2024		
8. Recursos requeridos	Computador Personal para toma de datos Equipos de comunicación (celular, radio)		
9. Restricciones del proyecto	autorización de recursos (Computador, equipos de comunicación, personal) autorización de cambios en organigramas		

Nota. Carta del proyecto, resultado de la consolidación de la etapa Definir.

5.1.2. Medir

En esta etapa de medición se debe recopilar datos fiables y verificables. Esto es necesario para comprender mejor el problema y enfocarlo de manera adecuada. Durante esta etapa, se identificará qué información es necesaria y se deberá recolectar de manera precisa.

5.1.2.1. Indicadores de medición.

La matriz CTQ de la etapa definir Tabla 3 nos proporcionó información sobre las necesidades a ser atendidas, se han seleccionado los indicadores que servirán para medir el desempeño y que se pueden visualizar en la columna medición/indicador de la Tabla 4, en base a esta información crearemos el plan de recolección de datos, estos datos nos permitirán profundizar en las quejas del cliente y en los problemas.

Tabla 4

Matriz CTQ + Indicadores a medir

VOC / Quejas	Característica de Calidad / Problema Clave	CTQ's - Necesidades	Medición /Indicador
Los equipos no encienden en los horarios acordados causando decrementos en los niveles de oxígeno de las piscinas.	Continuos reclamos por aireadores apagados en piscina	Minimizar inconsistencias entre el horario de encendido enviado vs el encendido real de los equipos en las piscinas	# de inconsistencias en encendido/apagado de equipos.
Poca información de equipos detenidos en piscinas, no se puede determinar cuántos equipos se apagaron durante el ciclo de producción, ni cuantos fueron reparados	Falta de información, falta de comunicación	Información de equipos averiados en piscinas - para tomar acción ante posibles problemas de oxígeno por equipos averiados	# Fallas / Dia.
No existe el adecuado soporte técnico y acompañamiento durante las actividades de cosecha/ turnos nocturnos.	Falta de soporte técnico	Acompañamiento de personal presencial o vía software para encendido y apagado de equipos	# de inconsistencias en atenciones (llamados no atendidos – Soporte técnico).
Tiempo de respuesta de un técnico en horario nocturno es elevado. Cuando se reporta un equipo en falla, la resolución del problema demora una gran cantidad de tiempo.	Alto tiempo de respuesta de atención a fallas	Disminuir los tiempos de atención a fallas Disminuir los tiempos de reparación	MTTR - Tiempo medio de reparación.
Existe una gran cantidad de aireadores eléctricos averiados en las piscinas durante los ciclos productivos.	Alta tasa de equipos en fallas / día	Minimizar la cantidad de equipos de aireación eléctrica averiados en piscinas	# Fallas / Dia.

Nota: Tabla para relacionar la voz del cliente y los indicadores de medición.

5.1.2.2. Plan de recolección de datos

1 - 2 semanas

Cantidad de reclamos ante la solicitud de soporte técnico Y fallas de encendido de equipos.

Campos para recopilar

Fecha de inicio del evento

Hora de inicio del evento

Descripción del reclamo

Ubicación del evento nivel 1 (Sector)

Ubicación del evento nivel 2(Piscina)

Ubicación del evento nivel 3 (Tablero)

12 - 15 semanas

Cantidad de fallas en los equipos y tiempo medio de reparación de equipos

Campos para recopilar

Fecha de inicio del evento

Hora de inicio del evento

Ubicación del evento nivel 1 (Sector)

Ubicación del evento nivel 2(Piscina)

Ubicación del evento nivel 3 (Tablero)

Equipo en falla (identificación del equipo)

Familia o subgrupo de equipo

Parte afectada

Descripción inicial del evento (efecto)

Fecha de fin del evento

Hora de fin del evento

Descripción final del evento (causa)

Responsable de reparación

Tipo de equipo

Observaciones adicionales/comentarios

5.1.2.3. Resultados obtenidos de los datos – Etapa Medir

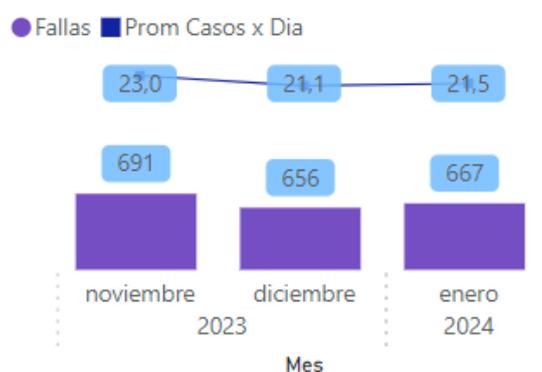
Con los datos obtenidos se realizó un resumen grafico que nos ayudara en la siguiente etapa (Analizar).

Resultados: Fallas en aireadores eléctricos.

Haciendo uso de la herramienta Power Bi, graficamos los datos presentados en la Figura 9, Figura 10 y Figura 11, correspondiente a fallas en los equipos de aireación eléctrica en función del tiempo, esto nos ayudara a entender nuestros datos y tener un análisis preliminar de los mismos.

Figura 9

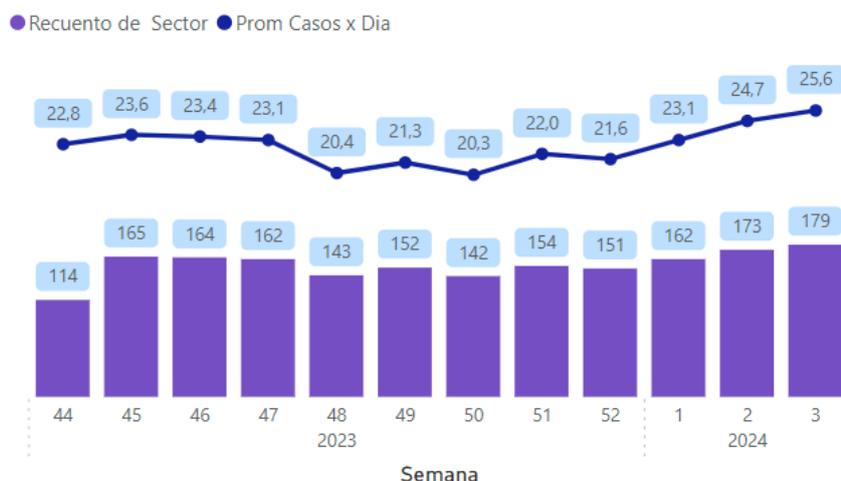
Cantidad de fallas totales mensuales y Promedio de fallas/día (mes)



Nota: Este grafico combinado de barras y tendencia nos muestra la evolución mensual tanto de la cantidad de fallas como de su promedio diario.

Figura 10

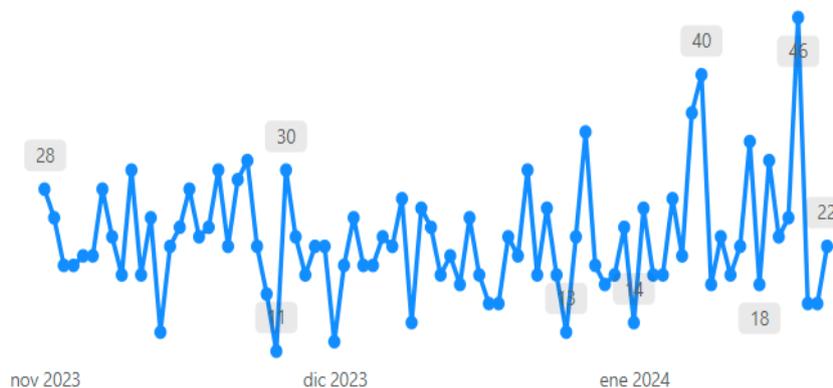
Cantidad de fallas totales semanales y Promedio de fallas/día (semana)



Nota: En este gráfico combinado podemos observar la tendencia de las fallas promedio día (Fallas/Día) y la cantidad de fallas por semana, la gráfica nos muestra una tendencia que va en incremento.

Figura 11

Cantidad de fallas por día



Nota: En este gráfico podemos observar la cantidad de fallas de manera diaria, con este análisis diario, podemos entender a mayor profundidad la problemática, visualmente se evidencia una gran variabilidad.

Para profundizar en el entendimiento de los datos, se hizo uso de la herramienta Minitab ya que tiene un fuerte motor de análisis estadístico las Ffigurasxxxxxx , Muestran los resultados obtenidos.

Figura 12

Estadísticos descriptivos de cantidad de Fallas/día.

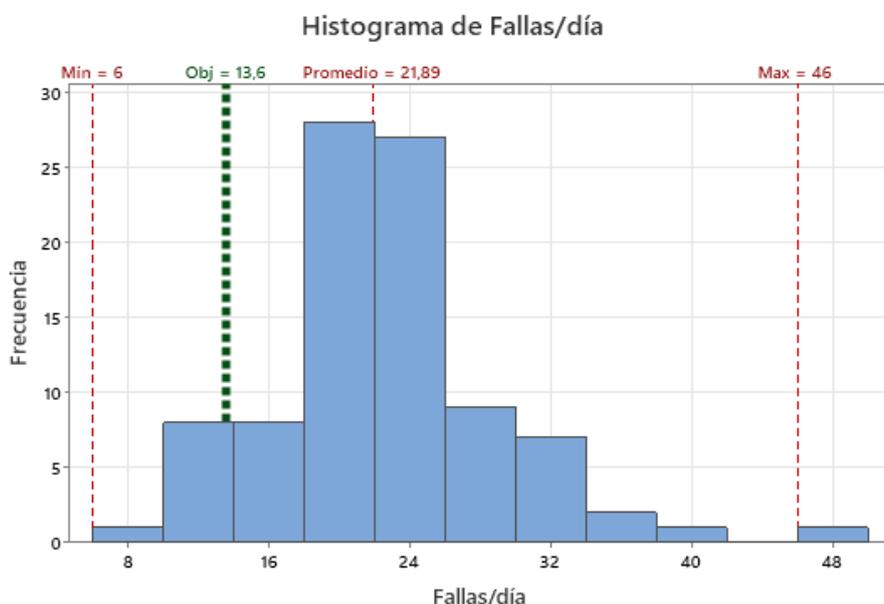
Estadísticas

Variable	Conteo total	Media	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Fallas/día	92	21,891	6,400	6,000	19,000	22,000	25,000	46,000

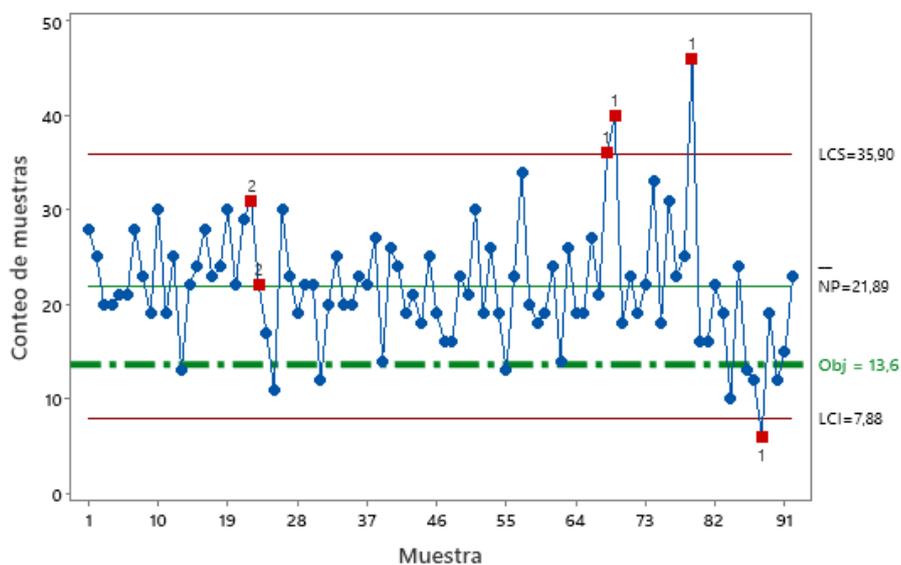
Nota: Estadísticos descriptivos en base a los datos recopilados. La media de los datos es 21.89 Fallas/Día (0.404 % del total de 5421 equipos de aireación eléctrica), cantidad de 92 días de recopilación de datos.

Figura 13

Histograma de Fallas/día



Nota: En este histograma realizado en la herramienta Minitab, vemos gráficamente como la media de nuestro proceso está por encima del objetivo de 13.6, existen datos extremos (max = 46 fallas/día) que no son comunes por lo evidenciado en el histograma, analizar los factores de esos días en específico, ayudará a comprender mejor la causa de la gran dispersión del proceso.

Figura 14*Gráfica de control de fallas/día*

Nota: El promedio = 21.89 nos muestra el valor esperado de fallas en base al comportamiento histórico del proceso. Existen puntos por fuera de los límites de control (LCS=35.9 y LCI = 7.88) lo que evidencia comportamiento inusual, de debe investigar estas causas a fin de determinar si provienen de eventos específicos (problema de mantenimiento, condición ambiental, entre otros).

En la Figura 14 podemos observar que el proceso tiene una gran dispersión, los puntos con el subíndice 1 significa que existen un punto fuera más allá de 3,00 desviaciones estándar de la línea central. Los puntos encontrados fueron: 68; 69; 79; 88. Al revisar los comentarios registrados en los días en específico a esos puntos, encontramos causas como: Variación de voltaje, Lluvia extrema, falta de energía para validar los equipos.

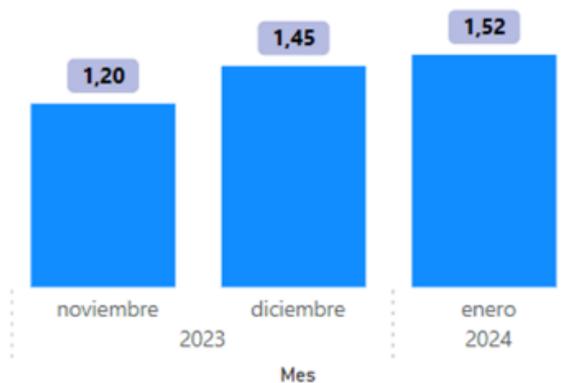
El subíndice 2 significa que existen 9 puntos consecutivos en el mismo lado de la línea central. La prueba falló en los puntos: 22; 23. Al revisar la data se encontró un mal registro de datos.

Resultados: Tiempo de reparación de aireadores eléctricos.

En las Figura 15, Figura 16 y Figura 17 podemos observar los resultados obtenidos en la herramienta powerbi, esto no da una apreciación grafica de nuestros datos.

Figura 15

Tiempo medio de reparación acumulado mes



Nota: El dato acumulado mes de las gráficas de barras del tiempo medio de reparación nos muestra una tendencia al incremento, los datos están por encima del valor objetivo (< 1 día).

Figura 16

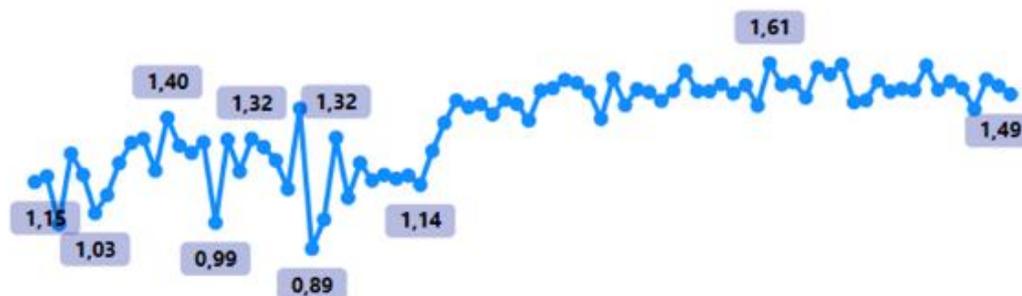
Tiempo Medio de reparación acumulado por semana



Nota: El análisis semanal nos muestra un incremento en los valores del MTTR en las últimas 7 semanas, todos los valores están por sobre el valor objetivo (< 1 día).

Figura 17

Tiempo medio de reparación por día

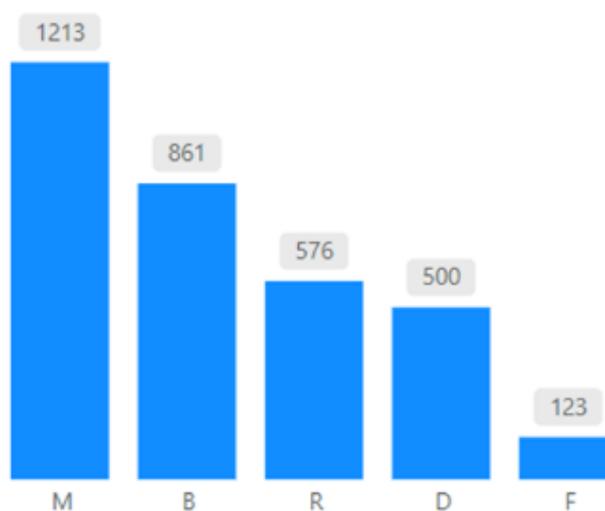


Nota: El análisis diario podremos entender a mayor detalle la variabilidad del proceso, visualmente vemos un cambio en los datos a partir del mes de diciembre.

Resultados: Resultados varios (Pareto, agrupaciones, etc.)

Figura 18

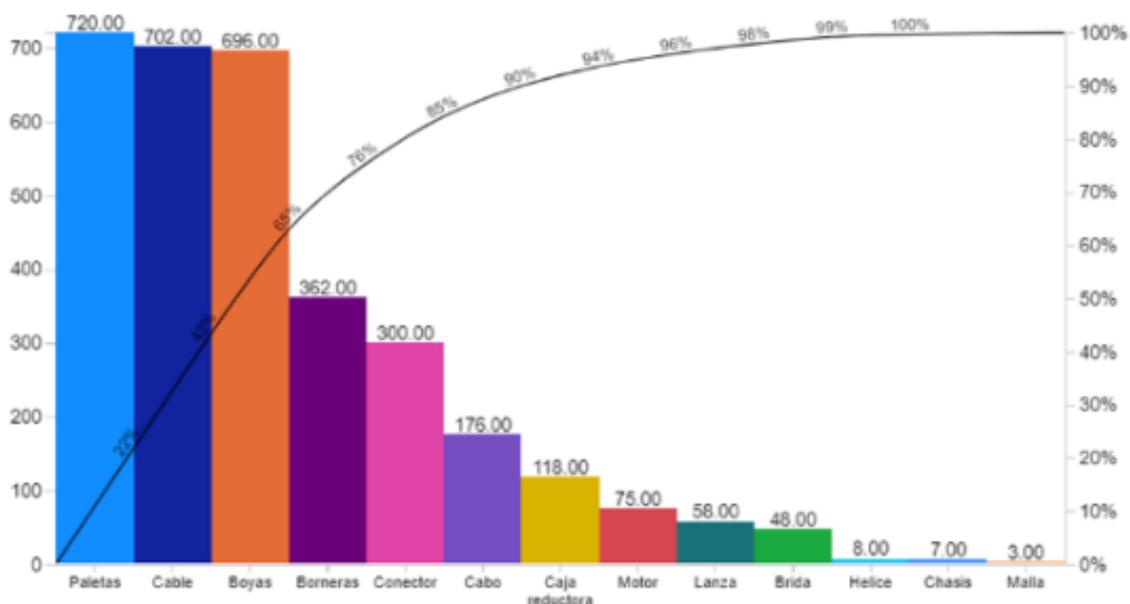
Agrupación por sector



Nota: Se agrupo los datos por diferentes sectores, y existen sectores que tienen mayor cantidad de fallas.

Figura 19

Pareto de partes del aireador de paletas más afectadas



Nota: El análisis de Pareto nos muestra las partes más afectadas de un aireador eléctrico en este muestreo, si bien el cable es también parte del Pareto, no es directamente parte del equipo aireador eléctrico como lo son las paletas, boyas, chasis, borneras.

Figura 20

Tiempo medio de reparación por sector



Nota: El tiempo medio para reparación agrupado por sectores no da datos concluyentes, en todos los sectores el valor supera el objetivo.

5.1.2.4. Establecimiento de capacidad de procesos inicial

Con el objetivo de cuantificar el rendimiento actual de nuestro proceso y comprender cuán cerca del objetivo o meta está actualmente, usamos un análisis de capacidad de procesos con la herramienta Minitab.

Resultados del indicador de fallas/día.

Para el caso de **% Fallas / Día**, lo que evidencia que nuestro proceso está por fuera del límite o estándar establecido de 0.25% (13.6 Fallas/día). El informe de la Figura 8 nos dice que las fallas actualmente están en un 0.40%, es decir 21.7 Fallas / día.

La prueba de hipótesis evalúa si el porcentaje de fallas del proceso es igual o menor que el 0.25%.

Hipótesis:

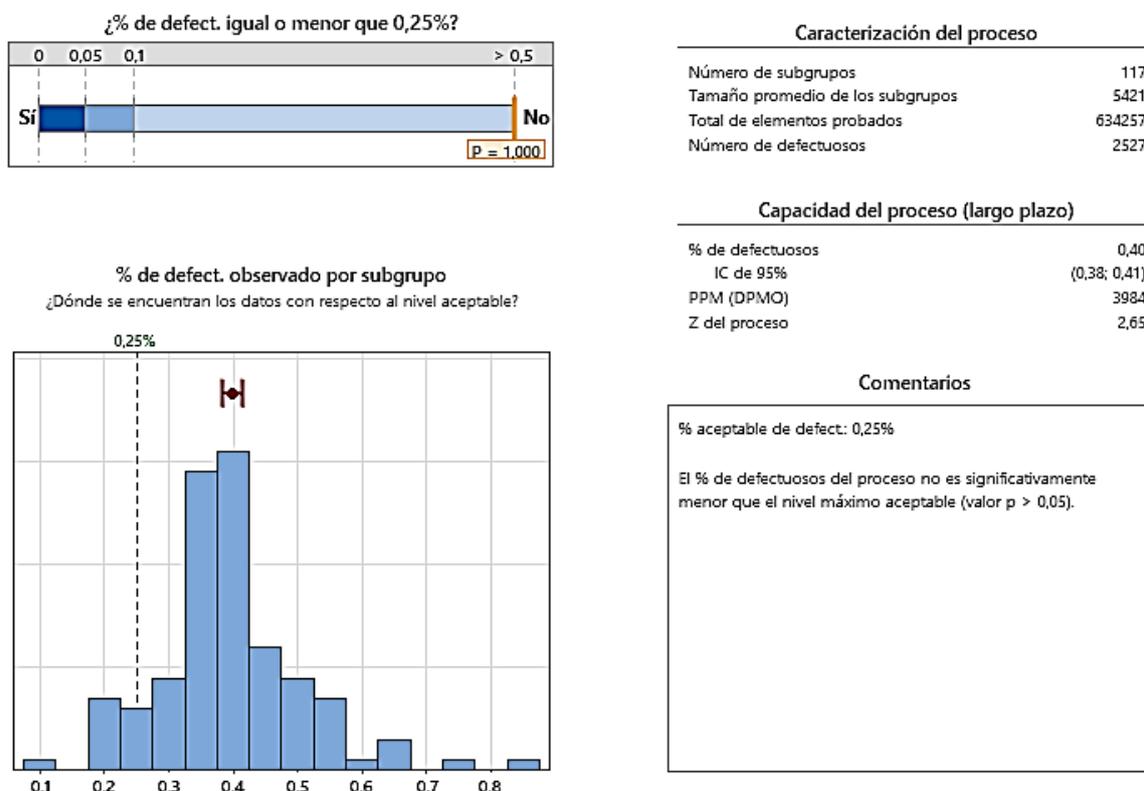
- Hipótesis nula (H_0): El porcentaje de fallas es mayor o igual al 0.25%.
- Hipótesis alternativa (H_1): El porcentaje de fallas es menor al 0.25%.

Resultado:

El valor de $p = 1.0$ indica que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula. Eso quiere decir que, el porcentaje de fallas no es significativamente menor que 0.25%. Como el valor p es muy alto (1.0), implica que los datos observados no responden a la afirmación de que el porcentaje de fallas es menor o igual al 0.25%. Por lo tanto, no se puede concluir que el proceso cumple con el objetivo del ser menor que el 0.25% de Fallas/día (13.6 Fallas/día).

Figura 21

Análisis de capacidad de proceso (Fallas /Día)



Nota: Análisis de capacidad de proceso inicial, nos muestra que el proceso no cumple con el objetivo de 0.25%.

Resultados de indicador de tiempo medio de reparación

Para el caso de MTTR, lo que evidencia nuestro proceso es que está por fuera del límite o estándar establecido de 1 día (24 horas o 1440 min) de tiempo de reparación. El informe de la Figura 22 nos muestra varios resultados, uno de ellos es la capacidad del proceso, Z potencial y Z real con valor negativos (-2.26 y -2.27), lo que indica que el proceso de reparación está muy lejos de cumplir el objetivo establecido. Un proceso con buena capacidad debería tener valores de Z positivos y cercanos a 1.33 o más, lo que no se cumple para nuestro proceso.

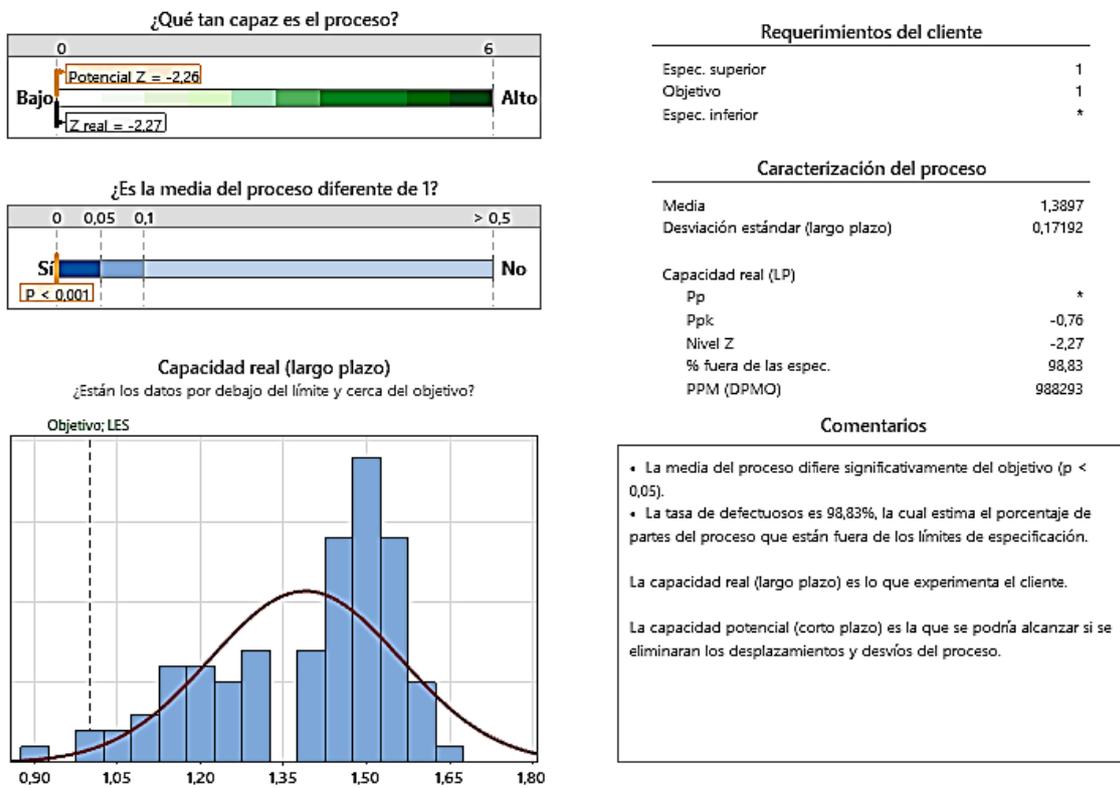
El Ppk es -0.76, lo que indica que el proceso está centrado muy lejos del objetivo y no es capaz de cumplir con el límite establecido de 1 día.

La prueba de hipótesis nos muestra que el valor de $P < 0.001$ lo que indica que la media del proceso es significativamente diferente del objetivo de 1 día. Esto significa que el proceso de reparación de aireadores eléctricos está lejos de cumplir con el tiempo objetivo de máximo 1 día (24 Horas).

En el histograma de la Figura 22, se observa que la mayoría de los tiempos de reparación están muy por encima del objetivo de 1. La curva muestra una distribución concentrada alrededor de 1.3897, esto nos dice que la mayoría de las reparaciones están tardando más del objetivo. El análisis en la sección de caracterización del proceso nos indica que el 98.83% de las reparaciones de aireadores eléctricos están fuera del límite de especificación, lo que es un valor extremadamente alto y sugiere que casi todas las reparaciones exceden el tiempo objetivo. El valor de 988,293 en el DPMO (Defectos por millón de oportunidades), nos confirma que el proceso de reparación está teniendo una alta tasa de incumplimiento en cuanto al tiempo de reparación esperado.

Figura 22

Análisis de capacidad de proceso (Tiempo medio de reparación)



Nota: Análisis de capacidad de proceso inicial, nos muestra que el proceso no cumple con el objetivo de 1.

5.1.2.5. Resumen de resultados de la etapa.

A continuación, en la Tabla 5, se presentan los resultados obtenidos de las mediciones realizadas en esta etapa del análisis. Esta tabla sintetiza las quejas clave, sus características, las necesidades críticas de calidad (CTQ's), los indicadores de medición, los KPI iniciales y los objetivos. Estos valores serán utilizados como línea base para el proceso de mejora, permitiendo establecer comparativas y evaluar la efectividad de las acciones implementadas en etapas posteriores.

Tabla 5

Matriz Resumen - Medir

VOC / Quejas	Característica de Calidad / Problema Clave	CTQ's - Necesidades	Medición /Indicador	KPI (Inicial)	Objetivo	Cumple / No Cumple
Los equipos no encienden en los horarios acordados causando decrementos en los niveles de oxígeno de las piscinas.	Continuos reclamos por aireadores apagados en piscina	Minimizar inconsistencias entre el horario de encendido enviado vs el encendido real de los equipos en las piscinas	# de inconsistencias en encendido/apagado de equipos.	6,7 Eventos / Dia	0 Eventos / Dia	No
Poca información de equipos detenidos en piscinas, no se puede determinar cuántos equipos se apagaron durante el ciclo de producción, ni cuantos fueron reparados	Falta de información, falta de comunicación	Información de equipos averiados en piscinas - para tomar acción ante posibles problemas de oxígeno por equipos averiados	# Registros / Dia.	0% (No posee registros)	100% (Posee registros)	No
No existe el adecuado soporte técnico y acompañamiento durante las actividades de cosecha/ turnos nocturnos.	Falta de soporte técnico	Acompañamiento de personal presencial o vía software para encendido y apagado de equipos	# de inconsistencias en atenciones (llamados no atendidos – Soporte técnico).	5 Eventos / Dia	0 Eventos / Dia	No
Tiempo de respuesta de un técnico en horario nocturno es elevado. (Cuando se reporta un equipo en falla, la resolución del problema demora una gran cantidad de tiempo.)	Alto tiempo de respuesta de atención a fallas	Disminuir los tiempos de atención a fallas / Disminuir los tiempos de reparación	MTTR - Tiempo medio de reparación.	1,5 Dias	< 1 Dia	No
Existe una gran cantidad de aireadores eléctricos averiados en las piscinas durante los ciclos productivos.	Alta tasa de equipos en fallas / día	Minimizar la cantidad de equipos de aireación eléctrica averiados en piscinas	# Fallas / Dia.	0,41% Fallas / Dia	0,25% Fallas / Dia	No

Nota: Resumen que relaciona la VOC con los indicadores y su actual cumplimiento de objetivos.

5.1.3. Analizar

En esta etapa se tiene como objetivo identificar las o la causas raíz de los problemas que afectan el desempeño del proceso. Esta etapa permite descubrir los factores clave que generan ineficiencias, defectos o demoras en el proceso, utilizando datos obtenidos durante la fase de Medir.

5.1.3.1. Matriz causa efecto

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** presenta una matriz causa-efecto resumida que muestra las posibles causas que contribuyen al incumplimiento de los objetivos de nuestros clientes, según lo expresado en la Voz del Cliente (VOC). Estas causas fueron identificadas y analizadas durante la etapa Medir del proyecto. A partir de este análisis, se determinaron las principales variables "x" que impactan negativamente en el desempeño del proceso. Las causas más significativas, con mayor peso e influencia en los resultados, han sido priorizadas y son las que se van a abordar para mejorar el cumplimiento de las expectativas del cliente interno.

- **Estructura organizacional y roles**

La finca carece de roles específicos en el área eléctrica para el soporte y supervisión de los sistemas a distintos horarios. Esto significa que no hay personal dedicado a monitorear y supervisar el software las 24 horas del día.

- **Registros históricos detallados**

La finca no mantiene un registro histórico detallado de los problemas anteriores. Sin esta información, es difícil identificar patrones, tendencias o causas raíz de las fallas. Un registro detallado permitiría un análisis más profundo y una mejor toma de decisiones.

- **Falta de mantenimiento**

La cantidad de personal insuficiente para realizar mantenimientos preventivos y correctivos es un problema crítico. El mantenimiento regular es esencial para prevenir fallas y garantizar el funcionamiento óptimo de los sistemas de aireación.

Sin un mantenimiento adecuado, los componentes pueden desgastarse, acumular suciedad o sufrir daños, lo que aumenta la probabilidad de fallas.

Figura 23

Matriz Causa - Efecto

Escala de valoración recomendada:
 0 - No hay relación
 1 - Relación débil
 4 - Relación moderada
 9 - Relación fuerte

VOC / Quejas	Característica de Calidad / Problema Clave	Id 1	Id 2	ID	Causas	5 M // Afinidad	Y	Minimizar inconsistencias entre el horario de encendido vs el encendido real de los equipos en las piscinas	Información de equipos averiados en piscinas - para tomar acción ante posibles problemas de oxígeno por equipos averiados	Acompañamiento de personal presencial o vía software para encendido y apagado de equipos	Disminuir los tiempos de atención a fallas	Minimizar la cantidad de equipos de aireación eléctrica averiados en piscinas	Disminuir los tiempos de reacción a eventos eléctricos	Score
							Pesos	10	8	7	9	10	8	
							Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6		
La solución de un problema en redes eléctricas suele demorar varias horas. Los problemas no se evidenciada desde el área responsable, lo evidencia el parametrista (principalmente en horario nocturno), poniendo en riesgo el camarón en piscina.	Falta de supervision	6	1	x6-1	Falta de un sistema de monitoreo en tiempo real de las redes eléctricas.	Registros históricos detallados	9	9	9	9	9	9	9	468
La solución de un problema en redes eléctricas suele demorar varias horas. Los problemas no se evidenciada desde el área responsable, lo evidencia el parametrista (principalmente en horario nocturno), poniendo en riesgo el camarón en piscina.	Falta de supervision	6	3	x6-3	Falta de capacitación del personal en la detección y solución de problemas.	Estructura organizacional y roles	9	9	9	9	9	9	9	468
Los equipos no encienden en los horarios acordados causando disminución en los niveles de oxígeno de las piscinas.	Continuos reclamos por aireadores apagados en piscina	1	4	x1-4	Falta de personal dedicado a la supervision y monitoreo del software 24/7	Estructura organizacional y roles	9	9	9	9	4	9	9	418
La solución de un problema en redes eléctricas suele demorar varias horas. Los problemas no se evidenciada desde el área responsable, lo evidencia el parametrista (principalmente en horario nocturno), poniendo en riesgo el camarón en piscina.	Falta de supervision	6	7	x6-7	Falta de un registro histórico detallado de problemas anteriores.	Registros históricos detallados	9	9	4	9	4	9	9	383
Los equipos no encienden en los horarios acordados causando disminución en los niveles de oxígeno de las piscinas.	Continuos reclamos por aireadores apagados en piscina	1	8	x1-8	Fallos en el sistema de alimentación/Aireación eléctrica.	Falta de mantenimiento	9	0	0	9	9	9	9	333

Nota: Resumen de matriz causa efecto priorizada.

5.1.3.2. Identificar Causas Raíz.

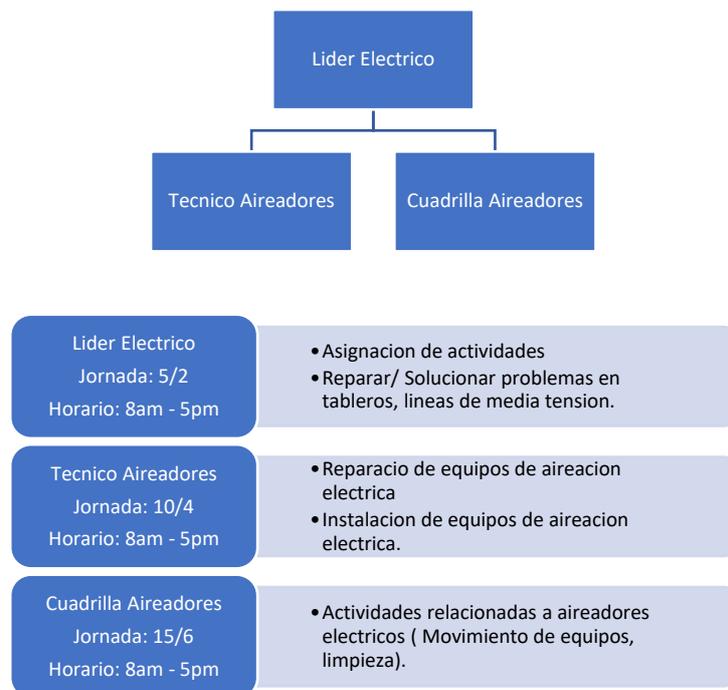
A continuación, realizaremos un análisis más profundo de estas posibles causas, con el objetivo de comprender en mayor detalle los factores que contribuyen al problema (fuentes de la variación). Este enfoque nos permitirá no solo evaluar las causas superficiales, sino también profundizar en ellas para identificar las causas raíz. En esta parte emplearemos herramientas y metodologías como el diagrama de Ishikawa y los "5 Porqués". Nuestro objetivo final es obtener una comprensión clara y precisa del problema, de esta manera será más sencillo proponer soluciones efectivas y sostenibles para que no se repitan en el futuro.

Causa 1: Estructura organizacional y roles

Para analizar esta causa, se tomó información de la estructura organizacional del área eléctrica de finca camaronera y de sus horarios de labores **Figura 24**.

Figura 24

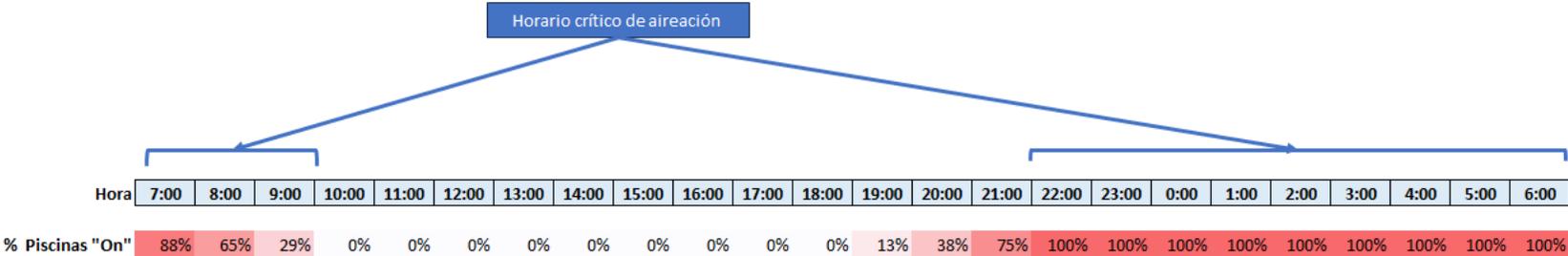
Organigrama, roles y horario del personal del área eléctrica.



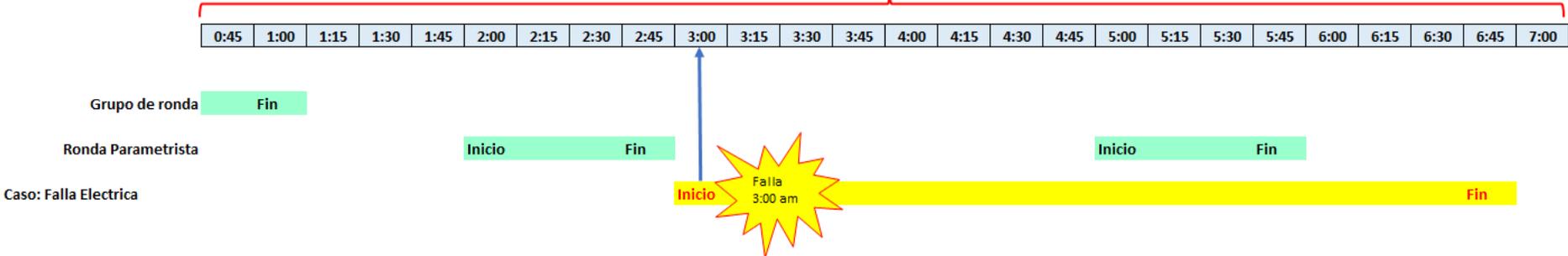
supervisión / reparación nocturna, los equipos evidenciados apagados permanecen en ese estado hasta el día siguiente, esto afecta directamente al tiempo medio de reparación. Como ganancia rápida, para este caso, se implementó un grupo determinado “Grupo Ronda” de 21:00 a 1:00 (Figura 26) y se hicieron simulaciones de fallas en el sector R.

Figura 26

Simulación de problema con grupo de ronda



Linea de tiempo (falla electrica en Sector R - 259 Ha - 309 tableros de control - 2220 equipos de aireacion)



Nota: La figura muestra el horario de aireación en el sector R (degradado rojo), los horarios de grupo de ronda y parametristas (verde) y una falla aleatoria (amarillo).

La falla eléctrica que ocurrió a las 03:00 se evidencia a las 05:00, hora donde inicia la siguiente ronda de parametriza. Durante 2 horas, 259 Ha estuvieron sin aireación eléctrica, a esto se le suma el tiempo de llamado del parametriza al área eléctrica, movilización del técnico al punto de la falla, inspección y validación del problema. Tiempo aproximado 1:45 a 2:00 horas, tiempo total sin aireación eléctrica: 3:45 - 4 horas.

Este tiempo aun no es aceptado por nuestro cliente interno, ya que la perdida productiva debido este evento simulado pudo causar mortalidad en las piscinas de camarón.

Con esta evidencia e información se procedió a utilizar la herramienta de resolución de problemas conocida como “Diagrama de Ishikawa” (Figura 27) y con la ayuda de los “5 porques” debemos poder identificar las causas raíces del problema. Posterior a la realización del diagrama de Ishikawa se realizó una agrupación de las principales hipótesis (Figura 28). Seguido a esto se realizó un análisis de “5 por que” para determinar las causas raíz (Tabla 6).

En la Tabla 7 se muestra el siguiente paso a seguir, que es determinar las posibles soluciones para las causas raíz. Posterior a esto se realizó un análisis de impacto y factibilidad (Tabla 8).

Figura 27

Diagrama de Ishikawa - Causal: Estructura organizacional y roles



Figura 28

Resumen de las principales hipótesis (Causa 1)



Nota: Resumen de las hipótesis de la causa: falta de estructura organizacional y roles.

Tabla 6

“5 porqués” – Causa 1: Estructura organizacional y roles

Hipótesis	1er ¿Por qué?	2do ¿Por qué?	3er ¿Por qué?	4to ¿Por qué?	5to ¿Por qué?
Falta de personal (ausencia de turnos rotativos y dependencias de personal no técnico)	No hay personal técnico nocturno.	Porque no se han implementado turnos rotativos.	Porque la estructura organizacional no contempla la necesidad de cobertura nocturna.	Porque se creía que las inspecciones periódicas de los parametristas eran suficientes.	Porque no se valoró el impacto de fallas críticas durante la noche en la productividad y la mortalidad de camarones.
Deficiencia en los métodos y procesos de monitoreo (no existen procedimientos claros para la supervisión nocturna)	No hay procedimientos claros para la supervisión nocturna.	Porque no se han diseñado protocolos específicos para fallas nocturnas.	Porque se asumía que las fallas nocturnas podían ser atendidas en la mañana.	Porque no hay personal que pueda responder de inmediato a las alertas de fallas nocturnas.	Porque no se ha dado prioridad a la creación de un equipo de respuesta de emergencia nocturna.
Fallas en las máquinas (falta de monitoreo remoto y fallas frecuentes de los equipos)	Los equipos fallan con frecuencia.	Porque no hay un sistema de monitoreo remoto que alerte sobre las fallas en tiempo real.	Porque no se ha implementado un sistema de monitoreo automatizado.	Porque no se ha considerado una inversión en tecnología para la detección temprana de fallas.	Porque no se percibió como necesario debido a la confianza en el sistema de inspecciones manuales.
Materiales no disponibles (repuestos y recursos limitados durante la noche)	No hay repuestos disponibles durante la noche.	Porque no se tiene un inventario de emergencia para el horario nocturno.	Porque no se han evaluado los riesgos de fallas en horarios sin supervisión.	Porque no se ha planificado la disponibilidad de recursos fuera de horas laborales normales.	Porque la organización no consideraba las fallas nocturnas como un riesgo frecuente o crítico.
Mediciones ineficientes (tiempo de detección de fallas prolongado)	El tiempo de detección de fallas es prolongado.	Porque el monitoreo de los equipos es manual y depende de rondas periódicas.	Porque no se ha implementado un sistema de monitoreo en tiempo real.	Porque no se han asignado recursos para tecnologías de monitoreo continuo.	Porque se confiaba en la periodicidad de las rondas manuales, sin considerar la criticidad de las fallas inmediatas.

Tabla 7

Posibles soluciones (Causa 1)

Hipótesis	Causa raíz	Posibles soluciones
Falta de personal (ausencia de turnos rotativos y dependencias de personal no técnico)	La estructura organizacional no contempla la necesidad de cobertura nocturna ni de turnos rotativos para el área eléctrica.	<ul style="list-style-type: none"> - Implementar un sistema de turnos rotativos que incluya personal técnico disponible las 24 horas. - Contratar o reasignar personal técnico específicamente para la supervisión nocturna. - Capacitar al personal parametrista para que puedan atender problemas básicos de fallas eléctricas.
Deficiencia en los métodos y procesos de monitoreo (no existen procedimientos claros para la supervisión nocturna)	No hay procedimientos específicos para monitorear y responder a fallas eléctricas durante el horario nocturno.	<ul style="list-style-type: none"> - Establecer protocolos de respuesta rápida ante fallas eléctricas, incluyendo tiempos de reacción y roles asignados. - Implementar un equipo de soporte de emergencia nocturno, encargado de la supervisión y reparación de fallas fuera de horas laborales estándar. - Crear un procedimiento de comunicación eficiente entre parametristas y el equipo eléctrico.
Fallas en las máquinas (falta de monitoreo remoto y fallas frecuentes de los equipos)	No se ha implementado un sistema de monitoreo remoto que permita detectar las fallas en tiempo real.	<ul style="list-style-type: none"> - Implementar un sistema de monitoreo remoto que alerte automáticamente al equipo técnico en caso de fallas eléctricas. - Invertir en tecnología de sensores y alertas para los equipos de aireación, con monitoreo 24/7. - Realizar mantenimientos preventivos regulares para reducir la frecuencia de las fallas.
Materiales no disponibles (repuestos y recursos limitados durante la noche)	No hay inventario de repuestos disponible para emergencias nocturnas debido a la falta de planificación de recursos.	<ul style="list-style-type: none"> - Crear un inventario de emergencia con los repuestos y herramientas necesarias disponibles durante las 24 horas. - Establecer un proceso de reposición automática de repuestos críticos para evitar la falta de suministros. - Asegurar que los técnicos nocturnos tengan acceso a los recursos y repuestos fuera del horario regular.
Mediciones ineficientes (tiempo de detección de fallas prolongado)	El monitoreo de los equipos depende de inspecciones manuales y periódicas, lo que retrasa la detección de fallas.	<ul style="list-style-type: none"> - Implementar un sistema de monitoreo en tiempo real para equipos críticos, reduciendo el tiempo de detección de fallas. - Incorporar alertas automáticas que notifiquen fallas directamente al equipo técnico. - Establecer indicadores de desempeño (KPIs) para medir la eficiencia en la detección y respuesta a fallas.

Tabla 8

Impacto y factibilidad (Causa 1)

Posibles soluciones	Impacto	Factibilidad / Costo	Calificación
- Implementar un sistema de turnos rotativos que incluya personal técnico disponible las 24 horas.	3	3	9
- Establecer protocolos de respuesta rápida ante fallas eléctricas, incluyendo tiempos de reacción y roles asignados.	3	3	9
- Implementar un equipo de soporte de emergencia nocturno, encargado de la supervisión y reparación de fallas fuera de horas laborales estándar.	3	3	9
- Crear un procedimiento de comunicación eficiente entre parametristas y el equipo eléctrico.	3	3	9
- Asegurar que los técnicos nocturnos tengan acceso a los recursos y repuestos fuera del horario regular de 8am a 5pm.	3	3	9
- Contratar o reasignar personal técnico específicamente para la supervisión nocturna .	3	3	9
- Implementar un sistema de monitoreo remoto que alerte automáticamente al equipo técnico en caso de fallas eléctricas.	3	2	6
- Invertir en tecnología de sensores y alertas para los equipos de aireación, con monitoreo 24/7.	3	2	6
- Realizar mantenimientos preventivos regulares para reducir la frecuencia de las fallas.	3	2	6
- Crear un inventario de emergencia con los repuestos y herramientas necesarias disponibles durante las 24 horas.	3	2	6
- Implementar un sistema de monitoreo en tiempo real para equipos críticos, reduciendo el tiempo de detección de fallas.	3	2	6
- Incorporar alertas automáticas que notifiquen fallas directamente al equipo técnico.	3	2	6
- Establecer indicadores de desempeño (KPIs) para medir la eficiencia en la detección y respuesta a fallas.	2	3	6
- Establecer un proceso de reposición automática de repuestos críticos para evitar la falta de suministros.	2	2	4
- Capacitar al personal parametrista para que puedan atender problemas básicos de fallas eléctricas.	3	1	3

Causa 2: Falta de información y registros históricos de fallas detallados.

Durante las etapas de definir y medir se puede evidenciar la falta de registros de fallas de los problemas correspondiente al área eléctrica, la falta de esta información genera incertidumbre al momento de realizar los análisis de causa raíz, no es factible validar tendencias, evidenciar mejoras en los procesos de mantenimiento de sistemas de aireación eléctrica. Se realizó un análisis con la herramienta de “Diagrama de Ishikawa” (Figura 29) con el fin de encontrar la causa raíz al problema de la falta de registros de mantenimiento.

Figura 29

Diagrama de Ishikawa - Causa 2: Falta de información y registros de fallas



Se realizo una agrupación de las principales hipótesis obtenidas en el diagrama de Ishikawa (Figura 34).

Figura 30*Resumen principales hipótesis (Causa 2)*

Se plantearon posibles soluciones para la resolución del problema y se valoró su impacto y factibilidad (Tabla 9).

Tabla 9

Posibles soluciones + Análisis de impacto/Factibilidad (Causa 2)

Hipótesis	Causa Raíz	Posibles Soluciones	Impacto	Factibilidad / Costo	Calificación
La falta de un procedimiento estandarizado para registrar las fallas eléctricas contribuye a la inconsistencia en los datos.	Falta de Procedimientos Estandarizados	Implementar un sistema que permita la recopilación y almacenamiento de datos de fallas, incluyendo un formato estandarizado para registrar la información.	3	3	9
No existe un sistema de gestión de mantenimiento que facilite la recopilación y análisis de datos de fallas.	Limitaciones en Herramientas y Recursos	Desarrollar herramientas adecuadas para facilitar el registro y el análisis de datos.	3	3	9
Los operadores y técnicos no están capacitados en la importancia de registrar las fallas y el mantenimiento, lo que resulta en datos incompletos o inexistentes.	Desconocimiento de la Importancia de la Documentación	Realizar capacitaciones periódicas sobre la importancia de registrar fallas y proporcionar materiales de apoyo sobre el proceso de documentación.	3	3	9
No hay una responsabilidad asignada a un colaborador específico para la recopilación y mantenimiento de los registros eléctricos.	Ausencia de Responsabilidades Definidas	Designar a una persona o equipo responsable de la recopilación, mantenimiento y revisión de registros eléctricos, estableciendo roles claros.	3	3	9
La obsolescencia de equipos de monitoreo limita la capacidad de registrar fallas en tiempo real.	Limitaciones en Herramientas y Recursos	Invertir en equipos de monitoreo modernos que faciliten el registro de fallas en tiempo real.	3	2	6
La cultura organizacional no prioriza la documentación y el análisis de datos, lo que se traduce en la falta de registros.	Falta de Cultura de Documentación	Implementar una cultura organizacional que valore la documentación y el análisis de datos, incentivando la participación de todo el personal.	3	1	3
No se están realizando auditorías periódicas de los registros existentes, lo que lleva a la pérdida de datos relevantes.	Ausencia de Responsabilidades Definidas	Implementar auditorías regulares de los registros y proporcionar retroalimentación sobre la calidad de la documentación.	2	2	4
La falta de métricas definidas para evaluar el rendimiento del sistema eléctrico contribuye a la ausencia de registros históricos.	Falta de Procedimientos Estandarizados	Establecer indicadores clave de rendimiento (KPI) y realizar análisis de tendencias a partir de los datos recopilados para mejorar el mantenimiento.	3	3	9

Nota: Cuadro que relaciona las hipótesis, causa raíz, posibles soluciones, impacto y factibilidad.

Causa 3: Falta de mantenimiento a los equipos de aireación eléctrica

La falta de mantenimiento de los aireadores eléctricos de paletas es lo que causa problemas de bajo oxígeno en las piscinas de camarones.

Figura 31

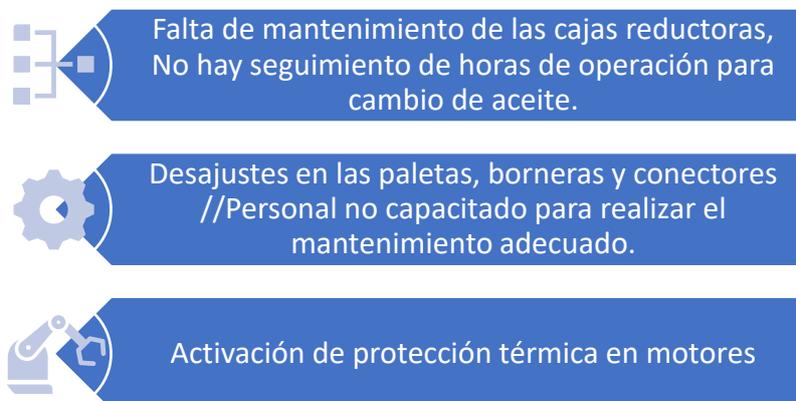
Diagrama de Ishikawa - Causa 3: Falta de mantenimiento en los aireadores eléctricos



Se realizó una agrupación de las principales hipótesis obtenidas en el diagrama de Ishikawa Figura 32.

Figura 32

Resumen de principales hipótesis (Causa 3)



Para profundizar en las causas (determinación de la causa raíz) su utilizo la herramienta de 5 porque (Tabla 10), luego se agrupo las posibles soluciones y se priorizaron en base a su impacto y factibilidad (Tabla 11).

Tabla 10

Análisis de "5 porque" (Causa 3)

Hipótesis	1er ¿Por qué?	2do ¿Por qué?	3er ¿Por qué?	4to ¿Por qué?	5to ¿Por qué?
Falta de mantenimiento de las cajas reductoras	No se realizó el cambio de aceite.	Porque no hay un plan de mantenimiento preventivo que lo contemple.	Porque no se hace seguimiento de horas de operación del equipo.	Porque no se han establecido protocolos de seguimiento basado en la recomendación del fabricante.	Porque no hay un sistema de gestión de mantenimiento adecuado.
Desajustes en las paletas, borneras y conectores	No se ajustan regularmente.	Porque no se hacen inspecciones preventivas.	Porque no hay personal asignado para realizar mantenimientos periódicos.	Porque no hay un equipo especializado en mantenimiento de aireadores eléctricos.	Porque no se ha priorizado la formación de un equipo de mantenimiento específico.
Activación de protección térmica en motores	Los motores se sobrecalientan.	Porque la caja reductora se trava por falta de aceite.	Porque no se realiza el cambio de aceite recomendado por el fabricante.	Porque no hay un registro de las horas de operación.	Porque no se realiza un monitoreo constante de las condiciones del equipo.

Tabla 11

Posibles soluciones + Análisis de impacto/Factibilidad (Causa 3)39

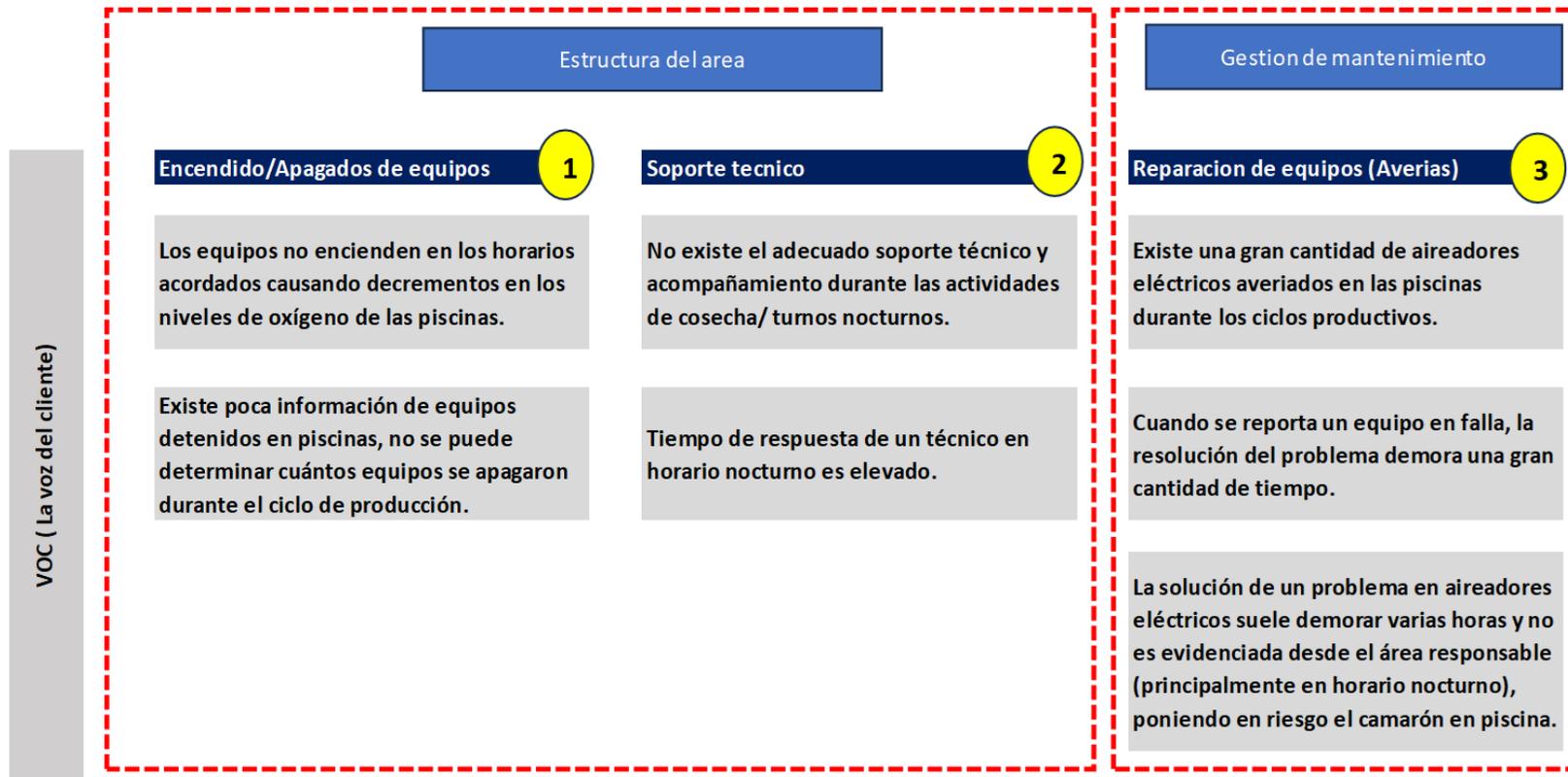
Hipótesis	Causa Raíz	Posibles Soluciones	Impacto	Factibilidad / Costo	Calificación
Falta de mantenimiento de las cajas reductoras	No hay un plan de mantenimiento preventivo para las cajas reductoras y demás componentes.	Implementar un plan de mantenimiento preventivo basado en las horas de operación recomendadas por los fabricantes.	3	3	9
		Establecer un sistema de gestión de mantenimiento que permita el seguimiento de las horas de operación y programar los mantenimientos automáticamente.	3	2	6
	No hay personal capacitado ni equipo especializado en el mantenimiento de aireadores eléctricos.	Crear un equipo de mantenimiento preventivo especializado en aireadores eléctricos, que trabaje con rutinas programadas.	3	3	9
		Capacitar al personal existente en las técnicas de mantenimiento preventivo y correctivo de los componentes críticos de los aireadores.	3	3	9
Desajustes en las paletas, borneras y conectores	No se ajustan regularmente las piezas (paletas, borneras, conectores).	Incluir rondas de inspección y ajuste periódico de las piezas en el plan de mantenimiento preventivo.	3	3	9
		Implementar un protocolo de reajuste de piezas tras cada operación importante o periodo prolongado de uso.	3	3	9
Activación de protección térmica en motores	Falta de cambio de aceite en cajas reductoras	Implementar un cronograma de cambio de aceite según las horas de operación.	3	3	9
		Utilizar un aceite adecuado y de alta calidad , en línea con las recomendaciones del fabricante.	3	3	9

5.1.3.3. Resumen de la etapa – Analizar (Mapa de afinidad).

Desde la Figura 33 , Figura 34, Figura 35, Figura 36 hasta la Figura 37, podemos observar un resumen de las acciones tomadas en las etapas anteriores y que derivan en la priorización de las posibles soluciones para la resolución del problema. Se han agrupado en dos grupos debido a la afinidad del problema, necesidades y de las soluciones.

Figura 33

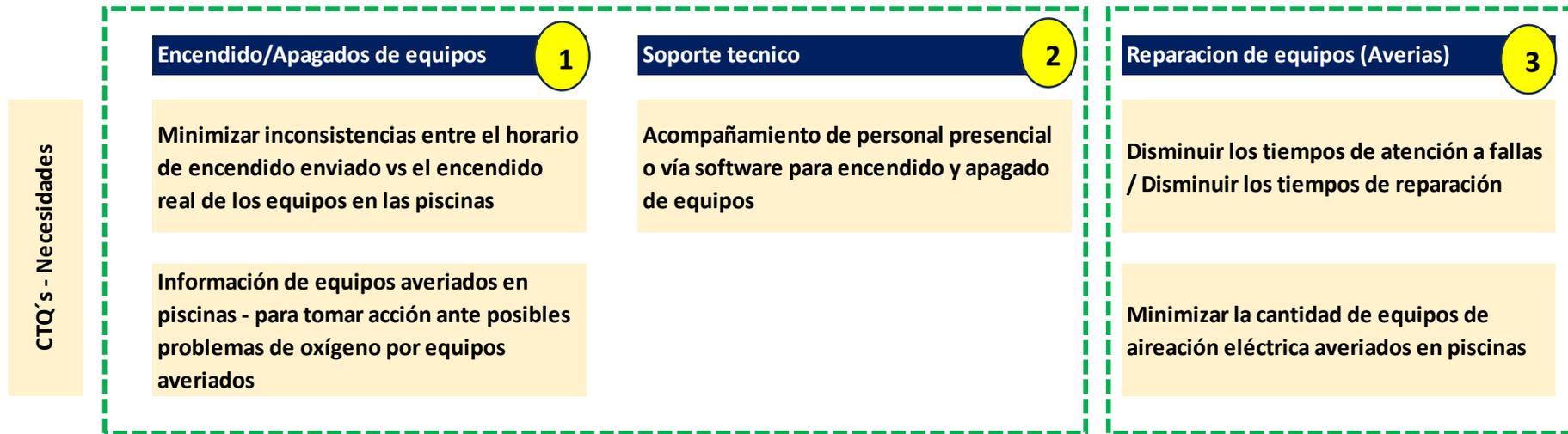
Agrupación de VOC por afinidad - Etapa Analizar



Nota: La imagen nos muestra un resumen agrupado de lo obtenido en la etapa definir, la Voz del Cliente (VOC) en el área de mantenimiento eléctrico de una finca camaronera. Se presentan las principales preocupaciones del cliente en relación con el encendido/apagado de equipos, soporte técnico y reparación de equipos.

Figura 34

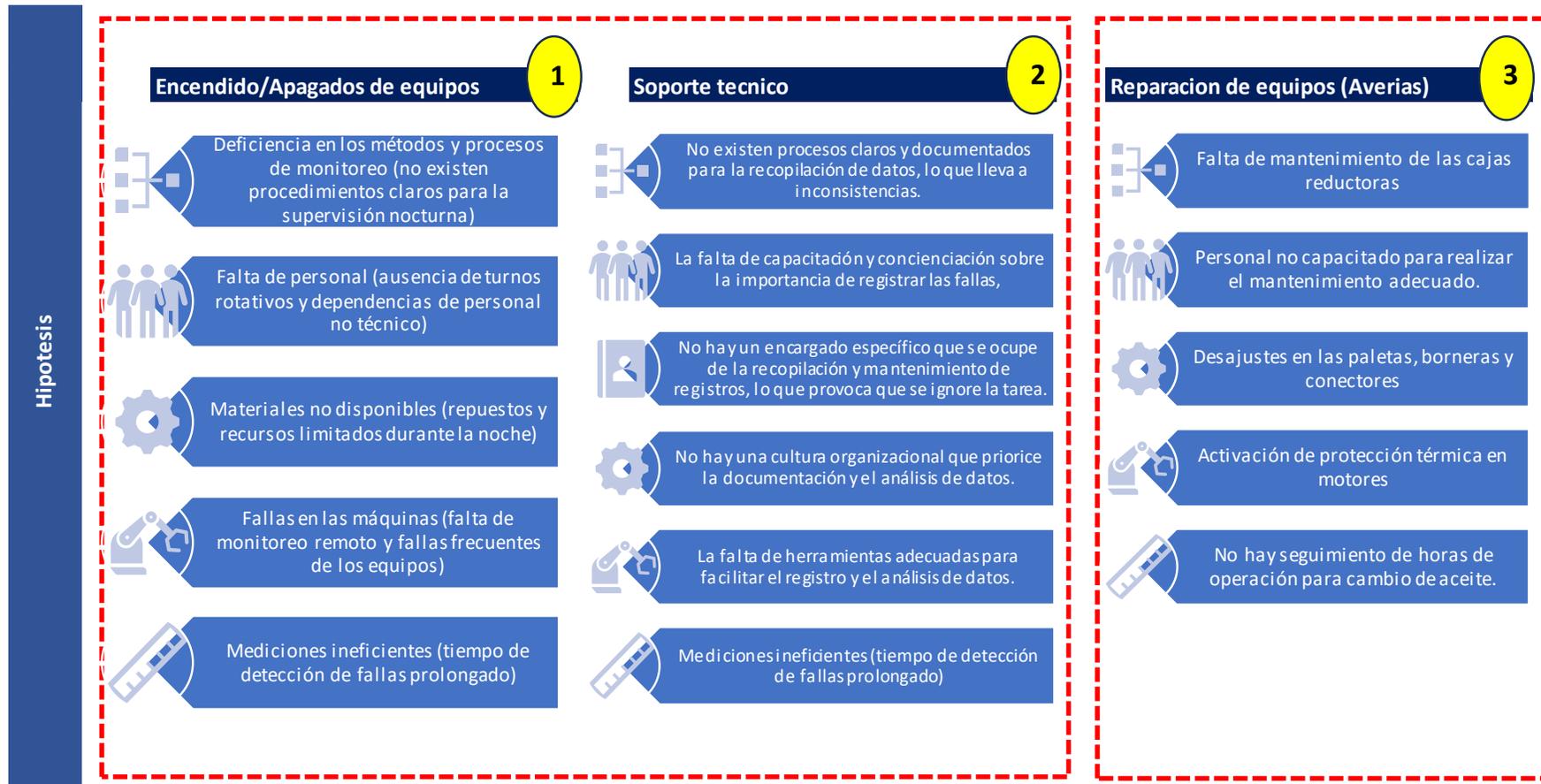
Agrupación de CTQ por afinidad – Etapa Analizar



Nota: Características Críticas de Calidad (CTQ's) y necesidades del cliente en el área de mantenimiento eléctrico de una finca camaronera. Se identifican las necesidades para mejorar la consistencia en el encendido de equipos, proporcionar soporte técnico adecuado y reducir los tiempos de reparación de equipos averiados en las piscinas.

Figura 35

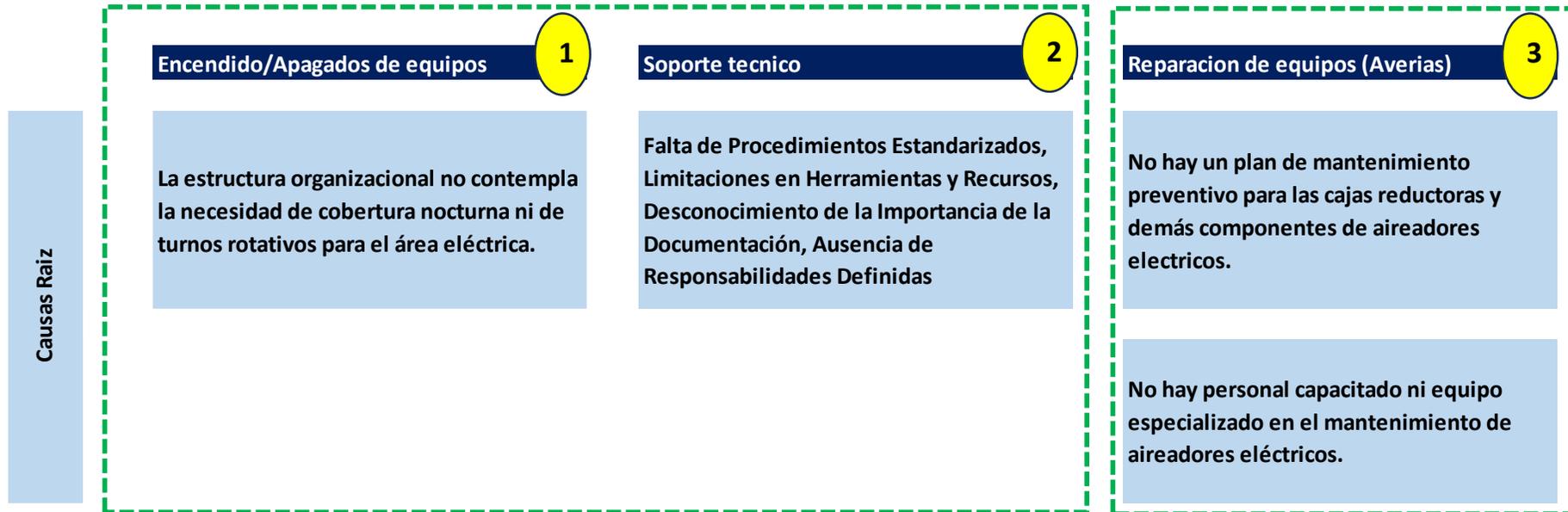
Agrupación de hipótesis por afinidad - Etapa Analizar



Nota: Hipótesis identificadas en el área de mantenimiento eléctrico de una finca camaronera. Se destacan posibles causas de los problemas en el encendido/apagado de equipos, soporte técnico y reparación de equipos averiados, incluyendo deficiencias en procesos de monitoreo, falta de personal capacitado, disponibilidad limitada de recurso humano, y fallas en el mantenimiento de equipos críticos.

Figura 36

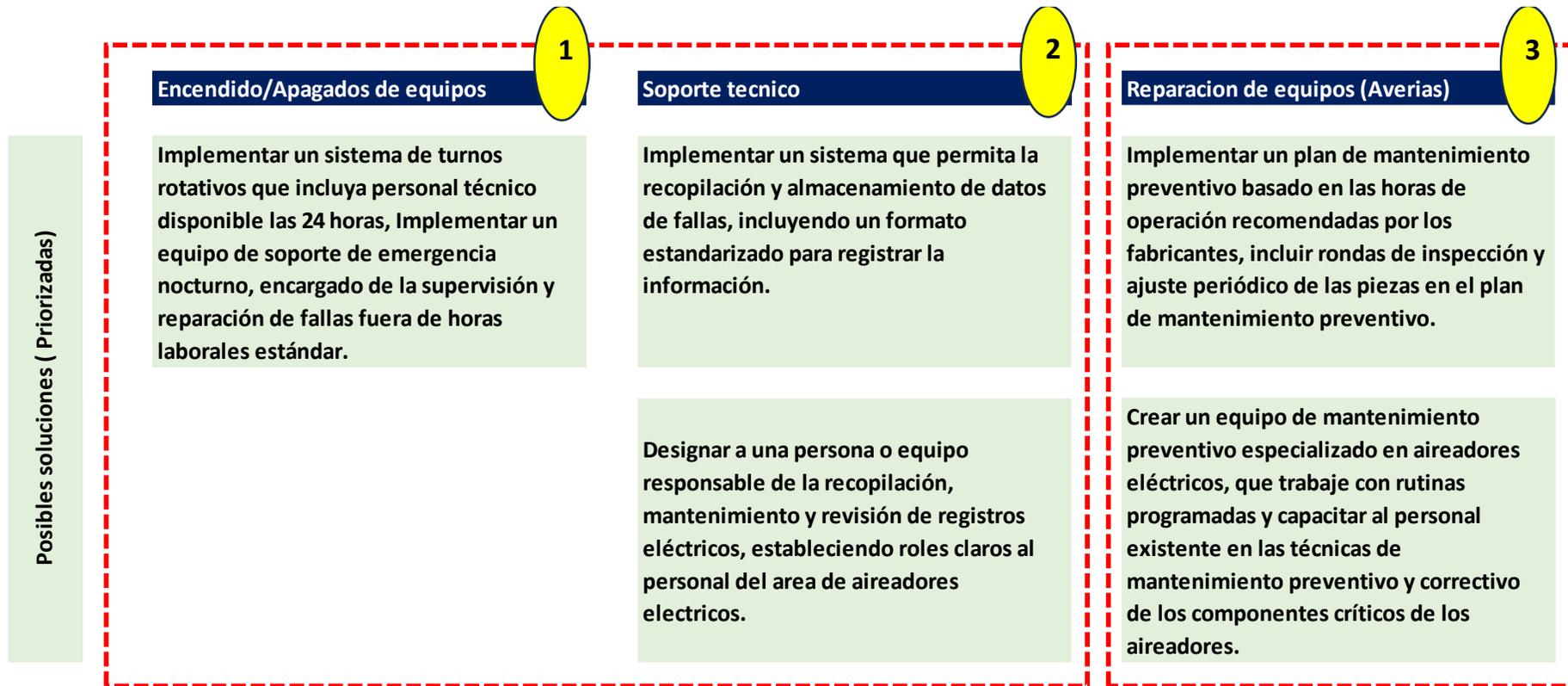
Agrupación de causas raíz por afinidad - Etapa Analizar



Nota: Causas raíz de los problemas en el mantenimiento eléctrico en una finca camaronera. Se identifican deficiencias en la estructura organizacional, falta de procedimientos estandarizados, limitaciones de recursos, y ausencia de personal capacitado y especializado para el mantenimiento de equipos críticos, lo que impacta el encendido/apagado de equipos, el soporte técnico y la reparación de averías.

Figura 37

Agrupación de posibles soluciones por afinidad - Etapa Analizar.



Nota: Soluciones priorizadas para mejorar el mantenimiento eléctrico en una finca camaronera. Las propuestas incluyen la implementación de turnos rotativos para asegurar disponibilidad de personal técnico las 24 horas, sistemas para la recopilación y almacenamiento de datos de fallas, planes de mantenimiento preventivo basados en recomendaciones de los fabricantes y la creación de un equipo especializado en el mantenimiento de aireadores eléctricos.

5.1.4. Mejorar

En la fase Mejorar se tiene como objetivo implementar soluciones efectivas que aborden la causa raíz del problema identificado en la etapa de Analizar. En esta etapa, se desarrollan y prueban propuestas de mejora que optimicen el rendimiento del proceso, reduciendo la variabilidad de las fallas y disminuyendo los tiempos de reparación.

5.1.4.1. Plan de acción de para mejoras

En esta sección estableceremos el plan de acción a ser implementado para luego de implementación hacer una medición de las variables nuevamente y evidenciar la mejora (Tabla 12).

Tabla 12

Plan de acción - Etapa Mejorar

Causa	Acción	Responsable	Plazo	Recursos Necesarios	Indicador de Éxito
1. Estructura organizacional y roles (Falta de supervisión nocturna / soporte técnico)	Creación del rol de "Monitorista" para asegurar supervisión 24/7 del encendido de aireadores.	Gerente de RRHH, Gerente Eléctrico	1 mes	Presupuesto para nuevo rol	Rol implementado y supervisión continua de aireadores
	Establecer horarios rotativos 24/7 para atención en finca.	Gerente de Operaciones	1 mes	Horarios de turnos aprobados	Cobertura 24/7 garantizada
	Capacitar al personal en uso de software para monitoreo.	Líder de Tecnología	2 semanas	Manuales, equipo de capacitación	100% del personal capacitado y usando el software
	Dotar de PC, monitor, radio y celular al monitorista.	Gerente de IT	3 semanas	Equipo informático y telecomunicaciones	Equipos entregados y operativos

	Asignar roles y responsabilidades del monitorista, incluyendo actualización de registros de fallas.	Gerente de RRHH, Gerente Eléctrico	1 mes	Descripción de roles y responsabilidades	Tareas asignadas y actualizaciones regulares de la base de datos
	Crear el cargo de "técnicos eléctricos" con roles para soporte del monitorista.	Gerente de RRHH, Gerente Eléctrico	2 meses	Presupuesto y reestructuración de roles	Técnicos eléctricos asignados
	Ajustar horarios del personal técnico para soporte al monitorista en pesca, siembra, y encendido de aireadores.	Gerente de Operaciones	1 mes	Aprobación de horarios	Menores tiempos de respuesta en soporte técnico
2. Información y registros históricos	Implementar un sistema para recopilación y almacenamiento de datos de fallas.	Gerente de IT	2 meses	Software de gestión de datos	Sistema implementado y operando
(Registros y datos deficientes)	Desarrollar herramientas para facilitar el registro y análisis de datos.	Líder de IT	1 mes	Desarrollo o compra de herramientas	Herramientas en uso
	Realizar capacitaciones periódicas sobre la importancia del registro de fallas.	Gerente de RRHH	Continuo	Recursos de formación, tiempo de capacitación	Mejor calidad en los registros
	Designar responsables de la recopilación y revisión de registros eléctricos.	Gerente Eléctrico, Supervisores	1 mes	Revisión de roles	Asignación formal y seguimiento de datos
	Invertir en equipos de monitoreo modernos para facilitar el	Gerente de IT, Compras	3 meses	Presupuesto para equipos de monitoreo	Disminución de fallos no detectados

	registro en tiempo real.				
	Implementar una cultura de documentación y análisis de datos incentivando la participación del personal.	Gerente de RRHH, Gerente Eléctrico	Continuo	Incentivos y políticas de cumplimiento	Mayor participación y registros completos
	Implementar auditorías regulares de registros y dar retroalimentación.	Gerente Eléctrico, Supervisores	Cada 3 meses	Auditorías programadas	Mejoras en la precisión de la documentación
	Establecer KPI y análisis de tendencias con los datos recopilados.	Gerente de Operaciones	1 mes	Sistemas de análisis de datos	KPI establecidos y análisis continuo
3. Falta de mantenimiento en aireadores	Implementar un plan de mantenimiento preventivo según las horas de operación recomendadas.	Gerente de Mantenimiento	1 mes	Software de gestión de mantenimiento, horarios establecidos	Mantenimientos preventivos en ciclo
(Gestión de mantenimiento / Reparación de equipos)	Establecer un sistema de gestión de mantenimiento para programar tareas automáticamente.	Líder de IT	2 meses	Software de gestión	Sistema funcionando
	Crear un equipo especializado en mantenimiento preventivo de aireadores.	Gerente de Mantenimiento	2 meses	Personal adicional y presupuesto	Equipo formado y operando
	Capacitar al personal en técnicas de mantenimiento preventivo y correctivo.	Gerente de RRHH, Gerente de Mantenimiento	1 mes	Recursos de capacitación	100% del personal capacitado

Incluir rondas de inspección periódica en el plan de mantenimiento preventivo.	Gerente de Mantenimiento	2 semanas	Manual de procedimientos	Inspecciones regulares realizadas
Implementar un cronograma de cambio de aceite en las cajas reductoras.	Gerente de Mantenimiento	2 semanas	Aceites recomendados, cronograma	Cambio de aceite según cronograma
Utilizar aceite de alta calidad bajo las recomendaciones del fabricante.	Gerente de Compras, Gerente de Mantenimiento	Continuo	Aceite recomendado	Reducción en fallos por mal lubricado

5.1.4.2. Implementación de mejoras.

5.1.4.2.1. Mejora 1: Estructura organizacional mejorada.

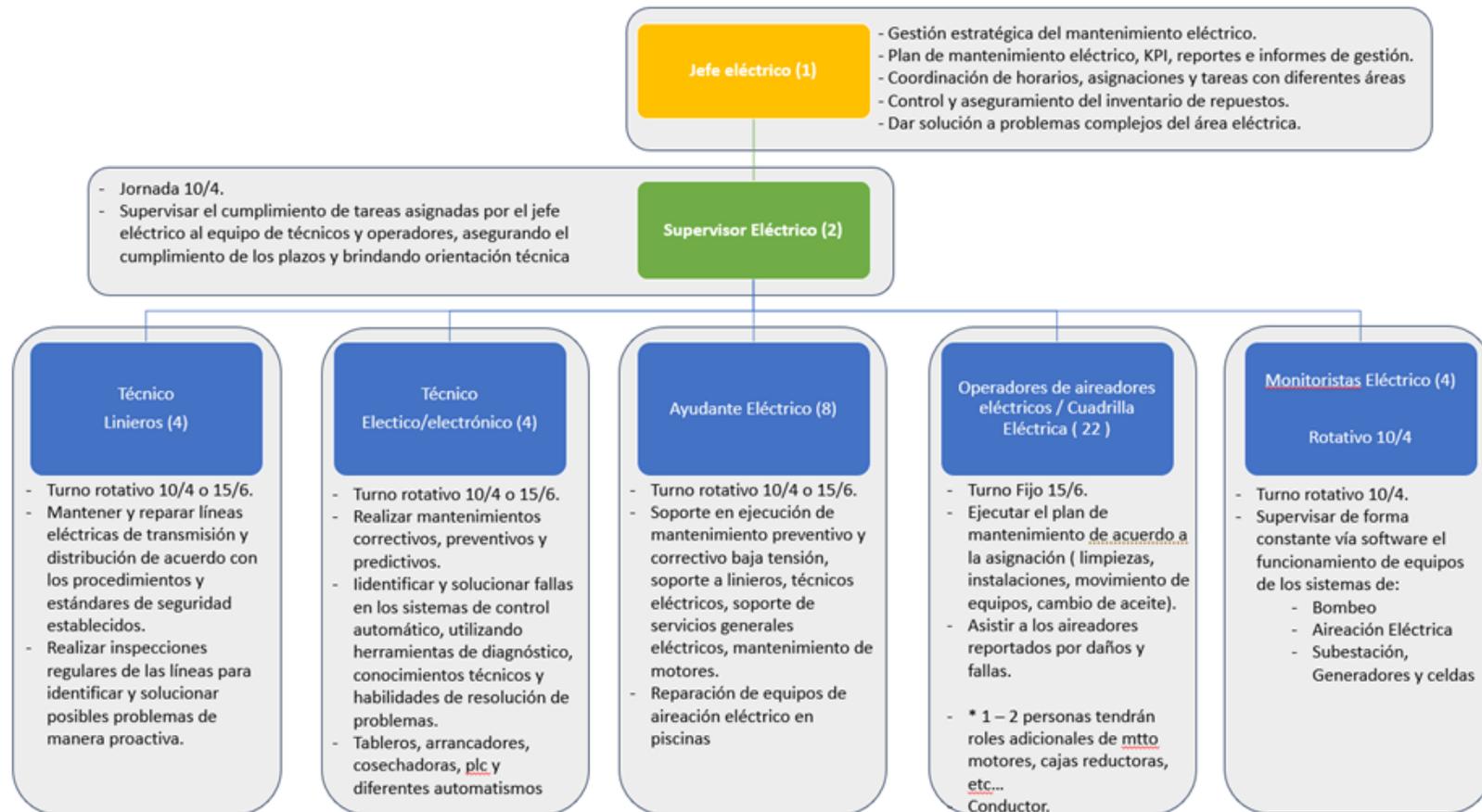
La organización adecuada de los recursos humanos es esencial para el éxito de cualquier área técnica, especialmente en el sector eléctrico de una finca camaronera, donde la eficiencia y la capacidad de respuesta ante fallas críticas son vitales. El organigrama actual muestra una estructura reorganizada del área eléctrica, diseñada para optimizar la asignación de tareas y responsabilidades, mejorar la supervisión, y asegurar la calidad y continuidad del servicio.

En el nuevo modelo organizacional de la Figura 38, se destacan tres niveles jerárquicos: Jefe Eléctrico, Supervisor Eléctrico y los diferentes roles operativos, como Técnicos Linieros, Técnicos Eléctricos/Electrónicos, Ayudantes Eléctricos, Operadores de Aireadores y Cuadrilla Eléctrica, y Monitoristas Eléctricos. Cada nivel y rol tiene responsabilidades claramente definidas para maximizar el enfoque y especialización en tareas específicas. Por ejemplo, el Jefe Eléctrico se encarga de la gestión estratégica y el control de inventarios, mientras que el Supervisor Eléctrico coordina y supervisa las actividades diarias del equipo técnico, garantizando el cumplimiento de plazos y la calidad del trabajo. Los roles operativos están estructurados de manera que cada técnico y operador tiene funciones específicas. Los Técnicos Linieros y Técnicos Eléctricos/Electrónicos se enfocan en el mantenimiento de líneas de transmisión y en la solución de fallas en sistemas de control automático, respectivamente. Los Ayudantes Eléctricos y la Cuadrilla Eléctrica se encargan del mantenimiento preventivo y correctivo en los equipos de aireación, mientras que los Monitoristas supervisan de forma constante el estado de los sistemas eléctricos mediante software especializado.

Esta estructura organizacional mejorada permite una mayor especialización y eficiencia en el manejo de los equipos eléctricos de la finca.

Figura 38

Organigrama futuro



Nota: La figura muestra el nuevo organigrama creado, se crean nuevos cargos como Supervisor Electrico, Ayudante Electrico, Técnico Electrico, Técnico Linero.

5.1.4.2.2. Mejora 2: Roles, responsabilidades y recursos de los cargos del área eléctrica.

En esta sección desde la Tabla 13 a la Tabla 18, se presenta la segunda mejora propuesta: la definición clara de los roles, responsabilidades y recursos de los cargos del área eléctrica. Establecer perfiles de cargos bien delineados es fundamental para evitar ineficiencias operativas y mejorar la ejecución de tareas críticas. Al asignar de manera precisa las funciones y recursos necesarios para cada rol, se busca potenciar las competencias del personal y asegurar el cumplimiento de los objetivos del área.

Tabla 13

Roles y responsabilidades Monitorista.

Posición	Funciones	Equipos
Monitorista	Supervisar de forma constante el funcionamiento del sistema de control y adquisición de datos.	- Laptop (1)
	Mantener actualizadas las bases de datos, reportes y registros del área.	- Monitor (3)
Rotación: 10/4 Rotativo	Mantener la funcionalidad de los equipos y elementos del sistema de monitoreo de aireación y red eléctrica.	- Radio grupal (1)
	Atender eventualidades de forma emergente, comunicar las fallas y resolverlas de forma inmediata.	- Celular grupal (1)
	Solucionar problemas a través de la coordinación con el personal eléctrico.	
	Configurar el sistema de acuerdo a los horarios establecidos por personal de producción.	
	Corroborar la correcta configuración de horarios y estados de piscinas de forma constante.	
	Cumplir reglamento de seguridad.	
	Realizar cualquier otra actividad relacionada con sus funciones, solicitada por su jefe inmediato.	

Nota: Descripción del rol de Monitorista en el área de mantenimiento eléctrico de una finca camaronera. Se detallan las funciones y equipos necesarios para el monitoreo constante del sistema de control y adquisición de datos, incluyendo la supervisión de la red eléctrica y el sistema de aireación, la atención a emergencias y la coordinación con el personal eléctrico.

Tabla 14

Roles y responsabilidades Técnico Liniero

Posición	Funciones	Equipos
Técnico - Liniero Rotación: 10/4 Rotativo	Instalar, mantener y reparar líneas eléctricas de transmisión y distribución de acuerdo con los procedimientos y estándares de seguridad.	Escalera, pértiga, cinturón de seguridad y arnés.
	Realizar inspecciones regulares de las líneas para identificar y solucionar posibles problemas de manera proactiva.	Herramientas de mano: destornilladores, alicates, llaves, pinzas.
	Montar y desmontar estructuras de soporte, postes para la instalación y mantenimiento de cables y equipos.	Herramientas de mano: cuchillos y cortadores de cables, alicates pelacables, herramientas de sujeción.
	Trabajar en alturas utilizando equipos de protección personal y siguiendo las normas de seguridad correspondientes.	Probador de voltaje, medidores y herramientas de pruebas.
	Realizar mediciones y pruebas para garantizar la calidad y el correcto funcionamiento de los sistemas eléctricos.	Movilización compartida (moto).
	Colaborar con el equipo en la planificación y ejecución de proyectos de construcción y expansión de líneas eléctricas.	EPP: Botas + Encauchado por lluvia + casco + guantes clase 2, gafas, protector facial.
	Responder de manera eficiente a las interrupciones del suministro eléctrico, investigar y solucionar averías en el menor tiempo posible.	
	Mantener registros precisos de las actividades realizadas, incluyendo informes de inspección, mantenimiento y reparación.	

Nota: Descripción del rol de Técnico - Liniero en el área de mantenimiento eléctrico de una finca camaronera. La tabla define las funciones asignadas y los equipos necesarios para la rotación 10/4, enfocados en la operación y mantenimiento de líneas eléctricas y equipos de soporte en el sistema de aireación y distribución eléctrica.

Tabla 15

Roles y responsabilidades técnico eléctrico 48

Posición	Funciones	Equipos
Técnico - Eléctrico Rotación 10/4 Rotativo	Mantener la disponibilidad y confiabilidad de equipos eléctricos.	Juego de herramientas dieléctricas.
	Realizar revisiones periódicas a los generadores, estaciones de bombeo y tableros eléctricos de la finca.	Megger (1).
	Ejecutar el plan de mantenimiento de acuerdo a la asignación.	Pinza amperimétrica (1).
	Asistir a los aireadores reportados por daños y fallas.	Movilización compartida (moto).
	Identificar y atender emergencias en las fallas de media tensión y baja tensión.	EPP: Botas + Encauchado por lluvia + casco + guantes clase 00.
	Brindar apoyo en las emergencias relacionadas al puesto, cuando sea requerido.	
	Cumplir y promover las normas de higiene y seguridad.	
Cualquier otra actividad relacionada con sus funciones, solicitada por su jefe inmediato.		

Nota: Descripción del rol de Técnico - Eléctrico en el área de mantenimiento eléctrico de una finca camaronera. Se especifican las funciones orientadas a mantener la disponibilidad y confiabilidad de los equipos eléctricos, incluyendo revisiones periódicas, asistencia a aireadores averiados, y atención a emergencias en fallas de media y baja tensión. También se listan los equipos y herramientas necesarios para el cumplimiento de sus responsabilidades en un esquema de rotación 10/4.

Tabla 16

Roles y responsabilidades Ayudantes y Operadores

Posición	Funciones	Equipos
Ayudante eléctrico Rotación 10/4 Rotativo	Mantener la disponibilidad y confiabilidad de equipos eléctricos.	Juego de herramientas dieléctricas.
	Realizar revisiones periódicas a los generadores, estaciones de bombeo y tableros eléctricos de la finca.	Megger (1).
	Ejecutar el plan de mantenimiento de acuerdo a la asignación.	Pinza amperimétrica (1).
	Asistir a los aireadores reportados por daños y fallas.	Movilización compartida (moto).
	Identificar y atender emergencias en las fallas de media tensión y baja tensión.	EPP: Botas + Encauchado por lluvia + casco + guantes clase 00.
	Brindar apoyo en las emergencias relacionadas al puesto, cuando sea requerido.	
	Realizar rondas y revisiones. Cualquier otra actividad relacionada con sus funciones, solicitada por su jefe inmediato.	
Posición	Funciones	Equipos
Operador de aireadores eléctrico Rotación: 15/6 Rotativo	Mantener la disponibilidad y confiabilidad de equipos eléctricos.	Equipos de limpieza, espátulas, cepillos, juego de herramientas básicas (destornillador, juego de llaves, etc.).
	Ejecutar el plan de mantenimiento de acuerdo a la asignación (limpiezas, instalaciones, movimientos, etc.).	EPP: Botas + Encauchado por lluvia + chaleco + guantes.
	Asistir a los aireadores reportados por daños y fallas.	
	Brindar apoyo en las emergencias relacionadas al puesto, cuando sea requerido.	
	Realizar rondas y revisiones.	
	Cualquier otra actividad relacionada con sus funciones, solicitada por su jefe inmediato.	

Nota: Descripción de los roles de Ayudante Eléctrico y Operador de Aireadores Eléctrico en el área de mantenimiento eléctrico de una finca camaronera. Se detallan las funciones de cada posición, orientadas a mantener la disponibilidad y confiabilidad de los equipos eléctricos, realizar mantenimiento preventivo y atender emergencias. También se especifican los equipos y herramientas necesarios para el cumplimiento de sus responsabilidades en sus respectivas rotaciones (10/4 y 15/6).

Tabla 17

Roles y responsabilidades Supervisor

Posición	Funciones	Equipos
Supervisor eléctrico Rotación: 10/4 - Jornada día	Supervisar el cumplimiento de tareas asignadas por el jefe eléctrico al equipo de técnicos y operadores, asegurando el cumplimiento de los plazos y brindando orientación técnica.	Laptop compartida (1).
	Supervisar la instalación, puesta en marcha, mantenimiento y reparación de sistemas eléctricos de potencia, incluyendo tableros de control y motores eléctricos.	Radio (1).
	Asegurar que los trabajos se realicen de acuerdo con las normas y regulaciones técnicas, de seguridad y calidad aplicables.	Celular (1).
	Realizar inspecciones y auditorías periódicas para garantizar el cumplimiento de los estándares de calidad, procedimientos y seguridad en los trabajos eléctricos.	Movilización (moto) (1).
	Brindar asesoramiento técnico y resolver problemas relacionados con tableros de control, motores eléctricos y sistemas de control de potencia.	EPP: Botas + Encauchado por lluvia + casco + guantes clase 00.
	Promover una cultura de seguridad y cumplimiento de los procedimientos de trabajo seguro en el equipo.	

Nota: Descripción del rol de Supervisor Eléctrico en el área de mantenimiento eléctrico de una finca camaronera. Se detallan las funciones relacionadas con la supervisión de tareas asignadas, supervisión de instalaciones y mantenimiento de sistemas eléctricos de potencia, aseguramiento del cumplimiento de normas y estándares de seguridad, y promoción de una cultura de trabajo seguro. Además, se especifican los equipos necesarios para la rotación 10/4 en jornada diurna.

Tabla 18

Roles y Responsabilidades Líder

Posición	Funciones	Equipos
Líder eléctrico	Diseñar el plan de mantenimiento anual, dar seguimiento y asegurar su ejecución en tiempo y forma.	Laptop (1).
Rotación	Supervisar el cumplimiento de asignaciones en conjunto con el personal de supervisores eléctricos, asegurando el cumplimiento de los plazos, brindando orientación técnica e implementado mejoras al proceso.	Radio (1).
	Supervisar la instalación, puesta en marcha, mantenimiento y reparación de sistemas eléctricos de potencia, incluyendo tableros de control y motores eléctricos.	Celular (1).
5/2 - Jornada día	Control de inventario de repuestos y solicitudes de pedido.	Movilización (1).
	Control de asignaciones al personal, horas extras, horarios.	EPP: Botas + Encauchado por lluvia + casco + guantes clase 00.
	Control del gasto de mantenimiento eléctrico.	
	Asegurar que los trabajos se realicen de acuerdo con las normas y regulaciones técnicas, de seguridad y calidad aplicables.	
	Colaborar con el equipo de ingeniería en la planificación y diseño de proyectos eléctricos, asegurando la viabilidad técnica y el cumplimiento de los requisitos del cliente.	
	Realizar inspecciones y auditorías periódicas para garantizar el cumplimiento de los estándares de calidad, procedimientos y seguridad en los trabajos eléctricos.	
	Brindar asesoramiento técnico y resolver problemas complejos relacionados con tableros de control, motores eléctricos y sistemas de control de potencia.	
	Mantener un registro preciso de los trabajos realizados, los recursos utilizados y los informes de inspección.	
	Promover una cultura de seguridad y cumplimiento de los procedimientos de trabajo seguro en el equipo.	

Nota: Descripción del rol de Líder Eléctrico en el área de mantenimiento eléctrico de una finca camaronera. Se especifican responsabilidades clave, como el diseño y seguimiento del plan de mantenimiento anual, supervisión del personal, control de inventario y gasto de mantenimiento, cumplimiento de normas de seguridad, colaboración en proyectos eléctricos, y promoción de una cultura de trabajo seguro. Además, se detallan los equipos necesarios para la rotación 5/2 en jornada diurna.

5.1.4.2.3. Mejora 3: Definición de cantidad de recursos para el mantenimiento preventivo (Tareas, horarios y cantidad de personal)

Los aireadores de paletas requieren mantenimiento periódico para alargar su vida útil y garantizar una óptima producción de camarón.

Si bien el equipo está conformado por diversas piezas y partes que podemos ver en la

Figura 39, las cuales podemos trabajar con una estrategia de mantenimiento basada en la condición, existen otras piezas que deben ser cambiadas en base a las horas de operación conforme a las recomendaciones de los fabricantes.

Figura 39

Aireador eléctrico 3hp - 8 paletas (partes e inspecciones necesarias)



Nota: La imagen muestra a un aireador eléctrico de 8 paletas usado en los procesos de aireación de piscinas de camarón, así como sus partes principales y sus rutinas básicas para el mantenimiento.

El mantenimiento preventivo de estos equipos estará enfocado en:

- Cambio de aceite (1000 a 1500 horas de operación – recomendación del fabricante).
- Ajuste integral de pernos de sujeción (paletas, boyas, caja, motor, acoples y chumaceras).
- Inspección general de condiciones subestándar (fugas de aceite, daño estructural, etc...)
- Limpieza en general (boyas con conchillas y suciedad variada)
- Ajuste de borneras del motor y reajuste del conector.

En la Figura 40 se muestra el cálculo realizado para conocer la cantidad de personal necesario para cubrir el mantenimiento de 3345 aireadores eléctricos de paletas que tiene como ruta crítica el cambio de aceite y los reajustes de los componentes, dado que el promedio de horas de trabajo de los aireadores en finca camaronera es de 12 horas al día y que su frecuencia de mantenimiento debe ser entre 1000 y 1500 horas de operación, los cálculos nos dan una periodicidad de 4 meses. Para cumplir este requerimiento de mantenimiento y dado que la tarea debe realizarse entre dos personas, debemos tener trabajando 6 personas por día, cada día por 4 meses. Esto al plasmarlo en la jornada laboral (15 días trabajando + 6 descanso) nos da como resultado la necesidad de tener 9 personas enfocadas en el mantenimiento preventivo de los equipos, esto lo podemos ver en la Figura 41.

Figura 40

Calculo de personas para tareas de mantenimiento preventivo

Análisis de tiempo disponible para ejecutar el mantenimiento

Actividades / Tareas	Tiempo	
1 Traslado (Taller electrico - Piscina asignada)	15	min
2 Mantenimiento	180	min
3 Traslado (Piscina asignada - Comedor)	15	min
4 Almuerzo	60	min
5 Traslado (Comedor - Piscina asignada)	15	min
6 Mantenimiento	180	min
7 Traslado (Piscina asignada - Taller eléctrico)	15	min
Tiempo disponible efectivo para mtto	420	min
	7	Horas

Frecuencia de mantenimiento de aireador eléctrico de paletas

Frecuencia de mantenimiento (Cambio de aceite)	1500	Horas
	4,2	Meses

Tasa de mantenimiento por grupo de trabajo (Aireadores / día)

Tiempo disponible efectivo / tiempo de intervencion de m	12	Equipos / día
----------------------------------------------------------	----	---------------

Calculo de personal necesario en base a análisis de tiempos y frecuencia de mtto

Cantidad de personal necesario por dia	Grupo	Tiempo en completar el mtto (meses)	Cumplimiento del intervalo de mantenimiento
Grupo de trabajo(2 personas) x dia	1	9,3	No cumple
Grupo de trabajo(4 personas) x dia	2	4,6	No cumple
Grupo de trabajo(6 personas) x dia	3	3,1	Cumple
Grupo de trabajo(8 personas) x dia	4	2,3	Cumple
Grupo de trabajo(10 personas) x dia	5	1,9	Cumple
Grupo de trabajo(12 personas) x dia	6	1,5	Cumple

Actividades de mantenimiento de aireador eléctrico de paletas

Actividades / Tareas (1 grupo de trabajo)	Tiempo	
1 Navegar en bote hasta el aireador	2	min
2 Quitar componentes para insertar sonda de succion	1	min
3 Succión de aceite con bomba manual	15	min
4 Colocacion de aceite nuevo y cerrar tapon	2	min
5 Ajuste de borneras del motor	2	min
6 Ajuste de pernos en general	5	min
7 Ajuste del conector	3	min
8 Limpiar de boyas, ajuste de lanza, verificación de cabos	5	min
Suma de tiempos de la actividad	35	min

Cambio de aceite



Ajustes



Limpieza



Identificación final



Nota: Análisis de tiempo disponible y frecuencia de mantenimiento de aireadores eléctricos de paletas. La imagen muestra el tiempo efectivo, las actividades, frecuencia de cambio de aceite, tasa de mantenimiento por grupo de trabajo, y el cálculo de personal necesario. Se incluyen imágenes ilustrativas de actividades clave como cambio de aceite, ajustes, limpieza.

Figura 41

Calculo de cantidad de personas por día según horario laboral

Horario

	Horario	Dom							Dom							Dom							Dom											
		Lun.	Mar.	Mié.	Jue.	Vie.	Sáb.	Lun.	Mar.	Mié.	Jue.	Vie.	Sáb.	Lun.	Mar.	Mié.	Jue.	Vie.	Sáb.	Lun.														
Persona 1	A	TE	T1	L	L	L	L	L	L	TE	T1																							
Persona 2	A	TE	T1	L	L	L	L	L	L	TE	T1																							
Persona 3	A	TE	T1	L	L	L	L	L	L	TE	T1																							
	A																																	
Persona 4	B	T1	L	L	L	L	L	L	L	TE	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	L	L	L	L	L	L	TE										
Persona 5	B	T1	L	L	L	L	L	L	L	TE	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	L	L	L	L	L	L	TE										
Persona 6	B	T1	L	L	L	L	L	L	L	TE	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	L	L	L	L	L	L	TE										
	B																																	
Persona 7	C	T1	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	TE	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1								
Persona 8	C	T1	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	TE	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1								
Persona 9	C	T1	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	TE	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1								

TE Entrada
T1 7am - 4pm

Herramientas	Actual	Necesidad
Bombas de aceite manual	2	1
Kit de herramientas basicas	2	1
Kit de herramientas artesanales	2	1
Bote	3	0

- Otras necesidades**
- Mantener stock mensual de aceite para caja reductora
- Otros mantenimientos asignados al mismo personal**
- Limpieza de vegetación y limpieza externa en tableros
 - Limpieza de vegetación en sensores
 - Limpieza en piscinas secas (limpieza de tubos)

Nota: Figura usada para determinar la cantidad de personas necesarias en una jornada laboral 15 -6.

5.1.4.2.4. Mejora 4: Formatos de registros y pantallas de visualización

Para abordar la falta de registros históricos de fallas, identificada durante la etapa de *Medir*, se propuso implementar un sistema de recopilación y almacenamiento de datos. Hasta ese punto, la finca camaronera no había considerado necesaria la creación de registros históricos, lo que limitaba la capacidad de análisis y mejora continua. Como parte de la solución, se desarrollaron herramientas que facilitan tanto el registro como el análisis de datos de fallas.

Se seleccionaron Excel y Power BI para este propósito. Excel se utiliza como base de datos para almacenar los registros de manera estructurada y accesible, mientras que Power BI (Figura 42) permite la visualización interactiva de los datos, facilitando el monitoreo de indicadores clave. Estos softwares representaron una solución viable y rápida de implementar, con la ventaja adicional de su facilidad de uso y la mínima complejidad en su implementación, lo cual permitió obtener resultados en el corto plazo sin requerir infraestructura adicional.

Figura 42

KPI, Sistema de visualización y análisis de datos en Power BI



Nota: Dashboard de fallas en aireadores eléctricos en la herramienta powerbi. El tablero muestra el total de eventos, el promedio de fallas diarias y el porcentaje de fallas en aireación. Incluye gráficos de eventos por sector, las cinco partes más afectadas, eventos mensuales y el recuento por sector, año, mes y parte específica. Este análisis visual permite identificar las áreas y componentes con mayor incidencia de fallas, facilitando la toma de decisiones para el mantenimiento preventivo y correctivo.

5.1.5. Controlar

En la etapa de Controlar se establecen mecanismos para asegurar la sostenibilidad de las mejoras implementadas en el proceso de mantenimiento de los equipos en la “Finca camaronera”. Esta etapa tiene como objetivo evitar que el proceso regrese a su estado anterior y asegurar que el beneficio alcanzado sea sostenido. Para ello, se implementan políticas de control, sistemas de monitoreo de indicadores clave (como MTTR y tasa de fallas/día)

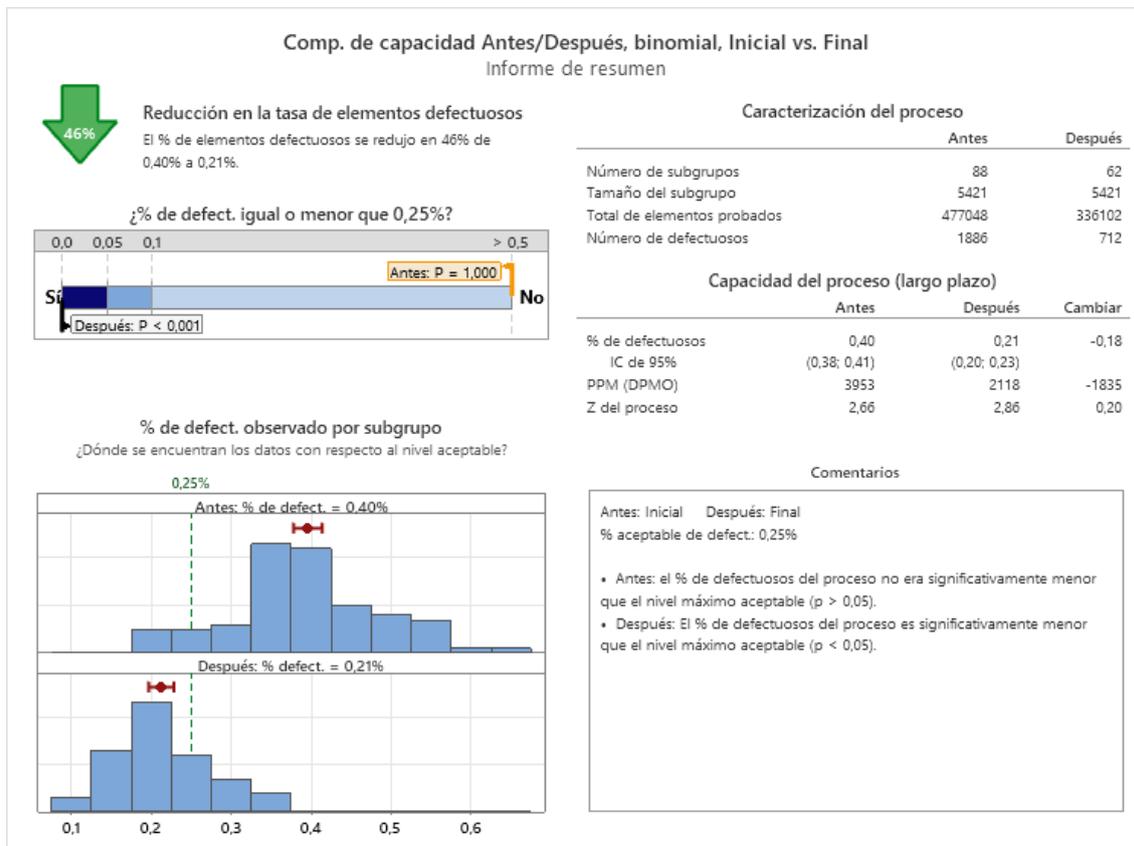
5.1.5.1. Determinar nuevas capacidades de proceso.

Capacidad de proceso de fallas en equipos de aireación eléctrico. (Fallas/Día).

Con el objetivo de evidenciar los resultados de las acciones implementadas en la etapa mejorar, se realizó un nuevo análisis de capacidad para la variable fallas/día, por medio de la herramienta del asistente de minitab, pudimos comparar en antes y después del proceso, los resultados de la Figura 43 nos muestran una reducción del 46%, es decir que pasamos de un estado inicial de tener 0.4% de fallas/ día a tener 0.2% de fallas/día. Este análisis muestra que las mejoras implementadas fueron efectivas en reducir la tasa de fallas en equipos de aireación eléctrica. Aunque la capacidad del proceso ha mejorado, aún hay margen para seguir mejorando el Z del proceso y reducir el DPMO, con el objetivo de acercarse a un desempeño aún más robusto y estable.

Figura 43

Análisis de capacidad inicial vs final - Fallas/día



Nota: La figura nos muestra una reducción de 46% vs el proceso inicial, cumplimiento del objetivo planteado y disminución de los DPMO. Figura creada con la herramienta de minitab para comprobación de la mejora del proceso.

Capacidad de proceso de tiempo medio de reparación. (MTTR).

Para el caso del tiempo medio de reparación también se evidencia una mejora en el proceso, en la Figura 44 vemos que se logró una reducción del 100% en el porcentaje fuera de especificación, pasando de 98.83% a 0.00%. Esto nos dice que, después de la mejora, los resultados están dentro del límite de especificación de 1 día, lo cual es un logro considerable adicional la desviación estándar del proceso disminuyó significativamente ($p < 0.001$), lo cual indica que el proceso se ha vuelto más estable.

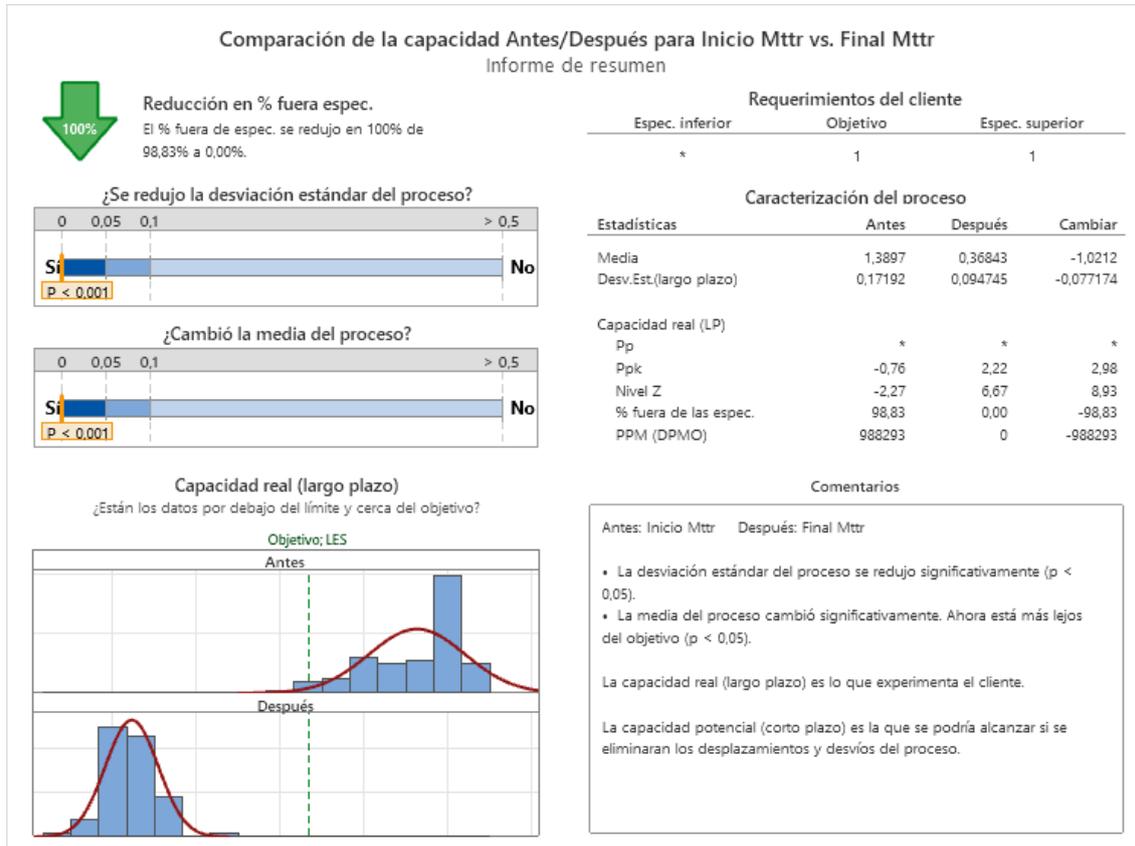
La desviación estándar pasó de 0.17 antes de la mejora a 0.09 después de la mejora, mostrando una reducción en la variabilidad. La media del proceso también cambió, acercándose al objetivo especificado de 1.

La media inicial era 1.3897 y, tras la mejora, se redujo a 0.36843, lo cual está ahora alineado con el objetivo. El Z del proceso pasó de -2.27 a 6.67, un incremento importante que indica una gran reducción en los defectos y que el proceso ahora cumple completamente con los límites de especificación.

El histograma muestra que, antes de la mejora, los datos estaban mayormente fuera del límite de especificación de 1, después de la mejora, los datos se encuentran dentro del límite, mostrando una reducción en la variabilidad y una alineación próxima al objetivo.

Figura 44

Análisis de capacidad Inicial vs final - MTTR



Nota: La grafica muestra una mejora significativa en el proceso, 100% de reducción y cumplimiento de los objetivos. Figura creada con la herramienta de minitab para comprobación de la mejora del proceso.

5.1.5.2. Políticas de seguimiento para las mejoras implementadas.

Tabla 19

Plan de control

Paso del Proceso	Métrica (X o Y)	Unidad de Medida	Objetivo	Quién Registra	Frecuencia y Lugar de Registro	Tipo de Gráfico	Reacción A (Acción Correctiva)	Quién Reacciona	Qué Se Hará (Acción Preventiva)
Mantenimiento de Aireadores	Tasa de Fallas/Día	Fallas por día	Obj = 13,6 (0,25%)	Monitorista	Diario, en Sistema de Registro de Fincas	Grafica de Barars, Línea de tendencia	Revisar equipo y sustituir piezas dañadas	Técnico asignado	Implementar inspección semanal
Mantenimiento de Aireadores	MTTR (Mean Time to Repair)	Día	Obj = 1	Monitorista	Diario, en Sistema de Registro de Fincas	Grafica de Barars, Línea de tendencia	Realizar reparación urgente y analizar causas	Jefe de Mantenimiento	Realizar mantenimiento preventivo trimestral
Mantenimiento de Aireadores	Frecuencia de Mantenimiento de Aceite	Cada 4 meses	Obj = 100%	Monitorista	En registros de mantenimiento de equipos	Gráfico de barras	Cambiar aceite y verificar reducción de fallas	Técnico asignado	Establecer un calendario de cambio de aceite
Monitoreo de Oxígeno en Piscinas	Nivel de Oxígeno	mg/L	> 4 mg/L	Parametrista	Diario, en sistema de monitoreo	Línea de tendencia	Ajustar aireadores y verificar estado	Supervisor de Piscinas	Automatizar el monitoreo de oxígeno

Nota: Plan de control para el mantenimiento de aireadores y monitoreo en una finca camaronera. El plan define métricas clave como tasa de fallas por día, MTTR, frecuencia de cambio de aceite, y nivel de oxígeno en piscinas. Incluye objetivos, frecuencia y lugar de registro, tipo de gráfico, acciones correctivas y preventivas, y los responsables de cada reacción. Este plan busca garantizar el cumplimiento de los estándares de operación y mejorar la eficiencia en la respuesta a fallas y el mantenimiento de los equipos críticos.

CONCLUSIONES

Al finalizar cada etapa de la metodología, se pueden extraer las siguientes conclusiones a partir de los resultados obtenidos:

La metodología DMAIC de Lean Six Sigma demostró ser eficaz en la disminución de fallas en el sistema de aireación de la finca camaronera. Este logro se atribuye principalmente a la identificación de las causas raíz y a la implementación de soluciones enfocadas en los factores que más afectaban el proceso. Los resultados mostraron una reducción significativa en las fallas diarias y una mayor estabilidad en el sistema, evidenciando el valor de Lean Six Sigma para el sector acuícola.

Las mejoras implementadas en el proceso generaron resultados positivos y evidentes. La tasa de fallas diarias se redujo en un 46%, pasando de un promedio de 21.4 fallas diarias (0.40% de fallas/día) a 11.4 fallas diarias (0.21% de fallas/día), lo que refleja un avance importante en la calidad y confiabilidad del sistema.

El tiempo promedio de reparación (MTTR) experimentó una disminución considerable, de un promedio inicial de 1.39 días a 0.37 días tras las mejoras, destacando la relevancia de los procesos de mejora continua para aumentar la disponibilidad de los equipos y minimizar los tiempos de inactividad en la producción.

El uso de herramientas como Excel y Power BI facilitó la recolección y visualización de datos, permitiendo un monitoreo más detallado de indicadores como las fallas diarias y los tiempos de reparación. Esto resalta el papel de la digitalización de registros de mantenimiento en la mejora de la eficacia en la toma de decisiones operativas.

RECOMENDACIONES

Se sugiere migrar el sistema de registro de fallas a un software de gestión de mantenimiento computarizado (CMMS), que permita la recopilación y análisis de datos en tiempo real. Esta actualización mejorará la precisión en los registros y facilitará la detección temprana de patrones de fallas, optimizando así las estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo.

Es fundamental implementar programas de capacitación continua para el personal de mantenimiento sobre el uso de herramientas de monitoreo y la interpretación de indicadores de desempeño. Esto contribuirá a fortalecer una cultura de mejora continua y permitirá que el equipo se mantenga actualizado en las mejores prácticas del sector.

Llevar a cabo análisis regulares de la capacidad del proceso, incluyendo la tasa de fallas diarias y el tiempo promedio de reparación, permitirá evaluar la sostenibilidad de las mejoras y detectar nuevas oportunidades de optimización.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Agila, E. R. (2021). Ecosistemas de producción camaroneros: Estudios y proyecciones para la gestión de costos. . *INNOVA Research Journal*, 4-7.
- AquaHoy. (2022). *VENTURI TIENE MENOR COSTO QUE OTROS SISTEMAS DE AIREACIÓN*. Obtenido de <https://aquahoy.com/venturi-menor-costo-otros-sistemas-de-aireacion/>
- Becerra, M. A. (2022). Influencia de las metodologías Lean Six Sigma: Una revisión sistemática actualizada. *RIDING*, 7-7.
- Blanco, R. R. (2021). Influencia del ángulo y perímetro de impacto de las aspas en un aireador de eje horizontal sobre la transferencia de oxígeno disuelto. . *Tecnología y ciencias del agua*, 350-376.
- Bonte, M. W. (2020). Fuentes de oxígeno disuelto en pozos de monitoreo y de bombeo. . *Hydrogeology Journal*, 55-66.
- Boyd, E. &. (2021). Aerator energy use in shrimp farming and means for improvement. *Journal of the World Aquaculture Society*, 6-29.
- Campanaro, S. R. (2021). Intermittent aeration of landfill simulation bioreactors: Effects on emissions and microbial community. . *Waste Management*, 146-156.
- Carrillo, S. P. (2021). Reducción de ruido industrial en un proceso productivo metalmeccánico: Aplicación de la metodología DMAIC de Lean Seis Sigma. . *Entre Ciencia e Ingeniería.*, 41-48.
- CNA. (13 de Marzo de 2024). *Cámara Nacional de Acuicultura*. Obtenido de <https://www.cna-ecuador.com/estadisticas/>
- Coutinho, W. &. (2022). Towards a novel architectural design for iot-based smart marine aquaculture. *IEEE Internet of Things Magazine*, 174-179.
- Cruz, A., & Meza, L. (2019). *Caracterización de los factores de producción y productividad del sector camaronero en Ecuador* .
- Durocher, D. F. (2019). Predictive versus preventive maintenance. . *IEEE Industry Applications Magazine*, 12-21.
- Ecuador Verifica. (2022). Ecuador es el primer productor de camarón a escala mundial. págs. <https://ecuadorverifica.org/2022/02/16/ecuador-es-el-primer-productor-de-camaron-a-escala-mundial/>.
- El Telégrafo. (2018). Proyecto de electrificación aumentará producción de camarón en el 30%. . págs. <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/1/proyecto-electrificacion-produccion-camaron>.
- Fauzi, A. H. (2021). Performance and Energy Consumption of Paddle Wheel Aerator Driven by Brushless DC Motor and AC Motor: A Preliminary Study. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* , 110-118.
- Felizzola, H. (2019). Lean Six Sigma en pequeñas y medianas empresas: un enfoque metodológico. *Ingeniare*. . *Revista chilena de ingeniería*, 263-277.
- Fundamedios. (2022). *Ecuador es el primer productor de camarón a escala mundial - Ecuador Verifica*. . Obtenido de <https://ecuadorverifica.org/2022/02/16/ecuador-es-el-primer-productor-de-camaron-a-escala-mundial/>
- Godina, R., Silva, B., & Espadinha-Cruz, P. (2021). A DMAIC integrated fuzzy FMEA model: a case study in the Automotive Industry. . *Applied sciences*, 11(8), 3726.
- Hammer, H. (2020). Recirculating aquaculture systems (RAS) for zebrafish culture In *The Zebrafish in Biomedical Research* . *Academic Press.*, 337-356.

- Huatangari, Q. P. (2020). Empleo del Modelo Streeter-Phelps para estimar el oxígeno disuelto del Río Utcubamba. *Ecuadorian Science Journal*, 12-16.
- Irawan, R. M. (2023). Number of holes and blades to control the performance of aquaculture aerator. *Aquaculture and Fisheries*, 672-680.
- Ivailova, I. S.-P. (2020). Evaluación del coeficiente de transferencia de oxígeno en procesos de fangos activados para optimizar la aireación. *Ingeniería del agua*, 183-202.
- Lantaca, J. (2023). Sewage Treatment Facility Maintenance: A Risk-based Approach for High-rise Residential Property. In *E3S Web of Conferences* (pág. 03002). Quezon.: EDP Sciences.
- López, J. (2020). Aplicación de un sistema de aireación en la laguna de Bojorquez, Cancun, Mexico. . *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 28-33.
- Magallón, A. B. (2021). Influencia de la columna de agua y eficiencia energética de dos tipos de generadores de microburbujas en un cultivo intensivo de camarón. . *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales.*, 79-87.
- Márquez, F. J. (2024). Análisis de Eficiencia Energética en una Granja de Producción Acuícola: Energy Efficiency Analysis of an Aquaculture Production Farm. . *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 417-433.
- Mishuk, H. J. (2022). Assessment of treatment efficiency by non-energy consuming aeration system for faecal sludge management in an emergency human settlement in Bangladesh. . *Groundwater for Sustainable Development*, 43-47.
- Montalvo, A. A. (2019). Mantenimiento centrado en confiabilidad en motocompresores. . *Revista Ambiental agua, aire y suelo*, 6-10.
- Obregón, D. (2019). Limnología aplicada a la acuicultura. . *Revista Electrónica de Veterinaria*, 1-24.
- Parrado, A. (2019). Tarjeta de adquisición de datos de bajo costo multiplataforma orientada a la enseñanza de los sistemas de control en tiempo real. . *Revista Educación en Ingeniería*, 137-145.
- Pérez, R. T. (2021). Lean Six Sigma e Industria 4.0, una revisión desde la administración de operaciones para la mejora continua de las organizaciones. . *Revista Científica Multidisciplinaria*, 151-168.
- Pesantez, P. R. (2021). Integración de Sistemas Solares Fotovoltaicos en el Sector Camaronero Intensivo y Extensivo del Ecuador: Caso de Estudio en la Provincia de El Oro. . *Revista politécnica*, 7-16.
- Piñeros, J. G. (2020). Aireación en la tecnología Biofloc (BTF): principios básicos, aplicaciones y perspectivas. . *Revista Politécnica*, 29-40.
- Pirarucú Acuicultura. (2017). *AIREADOR DE MODELO DE BOMBA VERTICAL MEJORA LA PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO DE TILAPIA EN SISTEMA BIOFLOC*. Obtenido de https://www.acuicultura.co/publicaciones/detalle/aireador_de_modelo_de_bomba_vertical_mejora_la_productividad_del_cultivo_de_tilapia_en_sistema_biofloc
- Pontes, A. G. (2019). Diseño y aplicación educativa de un programa de simulación para el aprendizaje de técnicas experimentales con sistemas de adquisición de datos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 251-267.
- Ramesh, P. J. (2023). Optimizing aeration efficiency and forecasting dissolved oxygen in brackish water aquaculture: Insights from paddle wheel aerator. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 105-115.

- Romero, J. (2021). Lagunas aireadas. *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería*, 22-33.
- Roy, J. M. (2021). Diversified aeration facilities for effective aquaculture systems—a comprehensive review. . *Aquaculture International*, 1181-1217.
- Sacristán, F. (2019). Elaboración y optimización de un plan de mantenimiento preventivo. . *Técnica Industrial*, 30-41.
- Salazar, I. C. (2022). Metodología 5S: Una Revisión Bibliográfica y Futuras Líneas de Investigación. . *Qantu Yachay*, 41-62.
- Sarma, P. S. (2019). A real-time data acquisition system for monitoring sensor data. *Int. J. Comput. Sci. Eng.*, 539-542.
- Sembiring, Z. (2020). Stuxnet Threat Analysis in SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) and PLC (Programmable Logic Controller) Systems. *ournal of Computer Science, Information Technology and Telecommunication Engineering*, 96-103.
- Tanveer, M. R. (2019). Surface aeration systems for application in aquaculture: A review. . *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 342-347.
- Tecnoacua. (2023). *Catalogo de productos* . Obtenido de <https://www.tecnoacua.com.ec/>
- Tsurumi Pump España. (2022). *Aire-O2® | Serie II | Aspirador Aireador*. Obtenido de <https://hydreutes.es/D/product/aire-o2-r-serie-ii-aspirador-aireador/>
- Valencia, J. (2019). Análisis de la eficiencia de aireación en aireadores comerciales. . *Revista de Investigaciones Agroempresariales*, 108-118.
- Vera, Z. C. (2024). Plan de mejora del cultivo de larvas de camarón en la empresa MARYLARVAS. . *Revista Social Fronteriza*, 162-167.