

**Application of the RCA methodology to improve the availability of the  
coffee extraction line**  
**Aplicación de la metodología RCA para mejorar la disponibilidad de  
línea de extracción de café**

**Autores:**

Ormaza-Delgado, Lider Fabian  
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ  
Facultad de Posgrado  
Estudiante de la Maestría en Mantenimiento Industrial mención Gestión Eficiente del  
Mantenimiento  
Portoviejo – Ecuador



[lormaza8521@utm.edu.ec](mailto:lormaza8521@utm.edu.ec)



<https://orcid.org/0009-0002-4953-0873>

Shkiliova, Liudmyla  
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ  
Facultad de Ingeniería Agrícola  
Tutor de área  
Portoviejo – Ecuador



[liudmyla.shkiliova@utm.edu.ec](mailto:liudmyla.shkiliova@utm.edu.ec)



<https://orcid.org/0000-0001-9289-5486>

Fechas de recepción: 20-FEB-2025 aceptación: 20-MAR-2025 publicación: 31-MAR-2025



<https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>

<http://mqrinvestigar.com/>



## Resumen

La industria del café constituye un sector estratégico en la economía global, donde los procesos de industrialización requieren múltiples etapas críticas que influyen en la calidad del producto final. La etapa de extracción por lixiviación, fundamental para la obtención del extracto de café, implica sistemas de alta criticidad y riesgo operacional que demandan un control riguroso. Esta investigación implementó la metodología RCA (Análisis de Causa Raíz) para optimizar la disponibilidad de equipos críticos en una línea de extracción de café industrial. El estudio empleó un análisis sistemático que integró evaluación de disponibilidad, análisis de criticidad y causa raíz. Los resultados identificaron las placas de enfriamiento como componente crítico principal, evidenciando una disminución significativa en su disponibilidad del 95.38% al 81.31% durante el período de estudio. El análisis reveló tres causas fundamentales: acumulación acelerada de sedimentos, sobrepresión en el sistema de hidrólisis y operación sostenida cerca de límites máximos permitidos. La investigación propone una estrategia de intervención trifásica que comprende implementación de sistemas de respaldo, reemplazo preventivo de empaques y actualización tecnológica, proyectando una reducción en la frecuencia de fallas de 8 a 0.5 eventos anuales, con un beneficio económico estimado de \$1250 anuales.

**Palabras clave:** Metodología RCA; línea de extracción; disponibilidad; análisis de criticidad; análisis causa raíz

## Abstract

The coffee industry constitutes a strategic sector in the global economy, where industrialization processes require multiple critical stages that influence final product quality. The leaching extraction stage, fundamental for obtaining coffee extract, involves high-criticality systems and operational risks that demand rigorous control. This research implemented the RCA (Root Cause Analysis) methodology to optimize the availability of critical equipment in an industrial coffee extraction line. The study employed a systematic analysis integrating availability assessment, criticality analysis, and root cause analysis. Results identified cooling plates as the main critical component, showing a significant decrease in availability from 95.38% to 81.31% during the study period. The analysis revealed three fundamental causes: accelerated sediment accumulation, overpressure in the hydrolysis system, and sustained operation near maximum allowed limits. The research proposes a three-phase intervention strategy comprising backup system implementation, preventive gasket replacement, and technological updates, projecting a reduction in failure frequency from 8 to 0.5 annual events, with an estimated economic benefit of \$1250 annually.

**Keywords:** RCA methodology; extraction line; availability; criticality analysis; root cause analysis



## Introducción

El café representa uno de los productos agrícolas más comercializados globalmente, con mercados principales en Londres y Nueva York que determinan su cotización internacional (Flores & Crespo-Stupková, 2024; Yosa & Regalado, 2021). Su relevancia trasciende el ámbito comercial, constituyéndose en un pilar fundamental para las economías de numerosos países productores. En Ecuador, el café y sus derivados conforman uno de los componentes estratégicos de la balanza comercial no petrolera, según datos del Banco Central (Buri et al., 2023; Guamán-Rivera & Flores-Mancheno, 2023).

La privilegiada ubicación geográfica del Ecuador y su extraordinaria diversidad de ecosistemas le confieren condiciones excepcionales para el cultivo del café. Esta ventaja natural ha permitido el desarrollo de una robusta industria que genera aproximadamente 800 mil empleos directos e indirectos a lo largo de su cadena de valor, desde el cultivo hasta la comercialización. La significancia económica del sector se refleja en las exportaciones, que se aproximan a los US \$200 millones en 2023, evidenciando un crecimiento sostenido durante la última década (Buri et al., 2023; Sánchez et al., 2024).

La transformación industrial del café en sus diversas presentaciones (soluble, aglomerado y liofilizado) implica una serie de procesos tecnológicos complejos e interrelacionados. Entre estos, el proceso de extracción por lixiviación representa una etapa crítica, pues durante esta transformación sólido-líquido se obtiene el extracto que determina en gran medida las características organolépticas del producto final. Estos sistemas de extracción operan en condiciones extremas de presión y temperatura, lo que incrementa los riesgos operacionales y demanda un control meticuloso de los parámetros de funcionamiento.

En este escenario, la implementación de metodologías avanzadas de gestión del mantenimiento resulta fundamental para garantizar la operación óptima y segura de los sistemas mencionados. El Análisis de Causa Raíz también conocido como RCA, por sus siglas en inglés, destaca por su capacidad para identificar y resolver sistemáticamente las causas fundamentales de las fallas operativas. Entre la literatura reciente, se documentan casos exitosos de su aplicación en diversos contextos industriales (Marrero-Hernández et al., 2022; Nielsen, 2024; Siwec & Pacana, 2021).



Por ejemplo, en una planta minera, la implementación de RCA en un chancador de impacto vertical permitió identificar y resolver fallas recurrentes, optimizando su operación. De manera similar, la aplicación de esta metodología en sistemas de motores eléctricos logró incrementar su disponibilidad del 86% al 95% mediante la implementación de estrategias de mantenimiento focalizadas (Siccha, 2016).

No obstante, existe una notable escasez de estudios documentados sobre la aplicación de RCA en líneas de extracción de café, a pesar de su criticidad para la calidad del producto y la eficiencia operativa. Las investigaciones existentes han abordado aspectos generales del mantenimiento industrial, sin profundizar en las particularidades de estos sistemas que operan bajo condiciones extremas (Carlos et al., 2022; Marrero-Hernández et al., 2022; Roda & Macchi, 2021).

Ante esta brecha en el conocimiento científico-técnico, la presente investigación tiene como objetivo implementar la metodología RCA para optimizar la disponibilidad de los equipos críticos en una línea de extracción de café industrial. El estudio busca no solo resolver desafíos prácticos de mantenimiento, sino también contribuir al conocimiento especializado sobre la aplicación de RCA en la industria cafetera, proporcionando información valiosa para profesionales del sector y la comunidad académica. Los resultados esperados permitirán establecer protocolos de mantenimiento más efectivos y servirán como referencia para instalaciones similares en la industria del café.

## **Materiales y Métodos**

Se desarrolló un enfoque metodológico mixto, combinando métodos cuantitativos y cualitativos para realizar un análisis integral de la línea de extracción de café. El estudio se llevó a cabo en una empresa procesadora de café ubicada en la provincia de Manabí, Ecuador, durante el período comprendido entre abril y junio de 2022, con propósito de aplicar la metodología de Análisis de Causa Raíz (RCA) para proponer una mejora en la disponibilidad de los equipos críticos. La metodología se estructuró en cuatro fases interconectadas, cada una diseñada para abordar aspectos específicos del problema de disponibilidad de los equipos.

## Fase I: Determinación de la Disponibilidad de Equipos

Representó el punto de partida de la investigación, permitiendo comprender el comportamiento operativo de los equipos de la línea de extracción. La metodología de cálculo se fundamentó en un análisis longitudinal que consideró los registros históricos de funcionamiento. La ecuación de disponibilidad genérica se aplicó como herramienta principal para cuantificar el rendimiento operativo (Vélez-Anchundia et al., 2024).

$$A_g = \frac{MUT}{MUT - MDT} \quad (1)$$

El proceso de cálculo requirió de datos que incluyó la documentación detallada de cada intervalo de operación, registrando los tiempos útiles de funcionamiento (UT) y los períodos de indisponibilidad (DT). Se implementó un protocolo de verificación cruzada que contempló diversas fuentes de información como los registros de producción e informes de mantenimiento.

La línea de extracción de café, se compone de 10 elementos o equipos más importantes con funciones diferenciadas. El proceso inicia en la tolva de almacenamiento de café tostado, seguido de la tolva viajera donde se cargan entre 250 a 400 kg según la materia prima, esta segunda tolva transporta la carga de café tostado al extractor que, en conjunto con la bomba de agua y el calentador de agua, inician un proceso de hidrolisis llegando a una temperatura de 190 °C.

En la etapa de extracción, cada 36 minutos, el café pasa a un nuevo extractor hasta completar un total de 7 ciclos. Con el producto extraído, este se transporta a través del manifold (conjunto de tuberías para la distribución de café, vapor y agua), que permite direccionarlo hacia intercambiadores de calor y placas de enfriamiento hasta alcanzar una temperatura entre 60 y 90 °C. Finalmente, el producto se conduce a tanques equipados con balanzas para determinar la masa exacta del café extraído y se almacena para su posterior procesamiento secundario.

## Fase II: Análisis de criticidad

Se constituyó como un componente esencial para jerarquizar los equipos según su importancia operativa y potencial impacto, implementando un modelo de evaluación multicriterio que consideró dimensiones más allá de los aspectos técnicos (Márquez et al., 2016). La ecuación de criticidad se complementó con un sistema de ponderación que integró



cinco dimensiones críticas, siguiendo los lineamientos propuestos por Parra & Crespo (2012).

Cada dimensión fue evaluada mediante escalas detalladas que permitieron una cuantificación objetiva de su relevancia. El análisis de criticidad, utilizó la bitácora de registro histórico de fallas del periodo en estudio, obteniendo la criticidad C, como el producto de la frecuencia de fallas (FF) y la consecuencia de la falla (CF).

$$C = FF * CF \quad (2)$$

Dentro de la matriz de criticidad se establecieron categorías de frecuencia que van desde eventos esporádicos hasta fallas continuas, cada uno asociado a un valor que refleja su potencial de impacto en el sistema productivo. La frecuencia de fallas se evalúa a partir de la tasa de incidencia de fallas.

**Tabla 1**

Ponderación de la Frecuencia de Fallas (FF)

Frecuencia de fallas (FF)	Ponderación	Criterios de Evaluación
¿Qué tan frecuente son las fallas ocurridas?		
Menos de 1 por año	1	Fallas esporádicas, sin impacto significativo
Entre 2 y 12 por año	2	Fallas ocasionales con mínima interrupción
Entre 13 y 52 por año	3	Fallas frecuentes con interrupciones moderadas
Mas de 52 por año	4	Fallas continuas con alto impacto operacional

La evaluación de la consecuencia de fallo (CF) se constituyó como un proceso multidimensional que integró cinco componentes críticos, que son: Impacto en la Producción (IP), Impacto en Seguridad y Salud (SS), Costos de Reparación (CR), Tiempo de Reparación (TR) y Tiempo de Operación (TO).

La selección de estos criterios respondió a un análisis de los factores más significativos en la evaluación del potencial impacto de una falla en equipos industriales. Cada componente fue ponderado para capturar la complejidad de las consecuencias operativas, más allá de una simple evaluación económica.

La ecuación de consecuencia de fallo se formuló como:



**Figura 1**

Matriz de criticidad.

Frecuencia	4	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80
	3	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
	2	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
	1	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Consecuencia																	
 Baja			 Media						 Alta								

Esta clasificación se basó en una matriz de criticidad (Tabla 2) que consideró tanto la frecuencia de fallas como la potencial consecuencia, proporcionando una herramienta de diagnóstico precisa para la identificación de equipos críticos en el sistema de extracción de café. La matriz no solo ofreció el estado actual de los equipos, sino que también funcionó como una herramienta prospectiva para la planificación estratégica de mantenimiento, permitiendo a los gestores priorizar recursos y esfuerzos en los componentes más vulnerables del sistema.

**Tabla 2**

Matriz de resultados de la evaluación del análisis de criticidad

Análisis de criticidad								
Producto: El café								
Equipos	Frecuencia de falla	Impacto producción	Seguridad y salud	Costo de reparación	Tiempo de reparación	Tiempo de operación	Total de consecuencia	Nivel de criticidad

**Fase III: Análisis Causa Raíz (RCA)**

Se estableció como una fase metodológica sistemática y rigurosa orientada a la identificación y comprensión de las causas fundamentales que originan las fallas en los equipos críticos de



la línea de extracción de café. Su implementación requirió de una aproximación que integró múltiples niveles de causalidad, desde los aspectos físicos inmediatos hasta las condiciones sistémicas subyacentes, siguiendo el modelo propuesto por Latino et al. (2019) y adaptado para entornos industriales por Nielsen (2024).

El proceso inició con una descripción del evento, donde se documentaron las características específicas de cada falla, incluyendo su naturaleza, el momento de ocurrencia y su localización exacta dentro del sistema. Se incorporó un marco de evaluación cuantitativa que permitió dimensionar el impacto de las fallas en términos de seguridad ocupacional, consecuencias ambientales, costos directos y penalizaciones asociadas; Con esto se priorizan los eventos según su severidad y frecuencia.

La identificación de las raíces físicas del problema demandó un análisis de los aspectos materiales y mecánicos involucrados en las fallas. Este proceso consideró factores como el desgaste de componentes, la fatiga de materiales y las condiciones operativas específicas que podrían contribuir a la ocurrencia de fallas. En conjunto, se evaluaron las raíces humanas, examinando los procedimientos operativos y las prácticas de mantenimiento.

#### **Fase IV: Propuesta para mejorar la disponibilidad de equipos.**

Se orientó al desarrollo de estrategias de intervención fundamentadas en técnica y economía. El proceso de construcción de propuestas consideró un análisis comparativo de resultados, evaluación de viabilidad económica y principios de mejora continua, aplicando la metodología de análisis costo-beneficio propuesta por Siccha (2016) y los criterios de priorización establecidos por Roda & Macchi (2021).

La priorización de soluciones se realizó mediante un proceso estructurado en tres etapas, siguiendo la metodología propuesta por Marrero-Hernández et al. (2022). En la primera etapa, se identificaron todas las posibles intervenciones mediante sesiones de lluvia de ideas con el equipo técnico. En la segunda, se evaluaron las propuestas utilizando una matriz de decisión multicriterio que ponderó factores como costo de implementación (25%), impacto en disponibilidad (35%), tiempo de implementación (20%) y sostenibilidad a largo plazo (20%). Finalmente, en la tercera etapa se realizó un análisis detallado de las tres propuestas con mayor puntuación asegurando su pertinencia y potencial de implementación.

El estudio contempló consideraciones éticas fundamentales, respetando la confidencialidad de la información empresarial, utilizando datos anonimizados y obteniendo los correspondientes consentimientos para su uso académico.

## Resultados y Discusión

El análisis sistemático realizado en la línea de extracción de café reveló resultados significativos que demuestran la efectividad de la metodología RCA para identificar y abordar problemas de disponibilidad en sistemas críticos. En la Fase I, el análisis de disponibilidad se realizó aplicando la ecuación (1) a los datos operativos recopilados durante el período abril-junio 2022. La tabla 3, muestra los valores de MUT y MDT para componente principal, junto con los cálculos resultantes de disponibilidad.

**Tabla 3**

Cálculos de disponibilidad para componentes principales (abril-junio 2022)

Componente	Período	MUT (h)	MDT (h)	Disponibilidad (%)
Manifolds	Abril	19,67	1,98	90,87
	Mayo	46,16	2,28	95,29
	Junio	32,5	1,30	96,14
Placas de enfriamiento	Abril	128,59	6,22	95,39
	Mayo	89,60	13,14	87,21
	Junio	87,61	20,14	81,31
Intercool	Abril	85,68	7,77	91,69
	Mayo	100,67	6,60	93,85
	Junio	67,25	9,34	87,80
Extractor	Abril	92,61	2,125	97,76
	Mayo	42,31	1,17	97,32

	Junio	39,02	1,16	97,12
Calentador	Abril	241,25	9	96,40
	Mayo	199,5	4,75	97,67
	Junio	368	8,5	97,74

Como se observa en la Figura 2, los manifolds evidenciaron una tendencia positiva, incrementando su disponibilidad desde 90.87% en abril hasta 96.14% en junio, lo cual se alinea con hallazgos similares reportados por Siccha (2016) en sistemas industriales sometidos a programas de mejora continua. Sin embargo, las placas de enfriamiento presentaron un deterioro significativo, descendiendo desde 95.38% hasta 81.31% en el mismo período, una tendencia que Ma et al. (2021) identifican como indicativa de problemas sistémicos en equipos operando cerca de sus límites de diseño.

**Figura 2**

Disponibilidad de los componentes principales



El análisis de criticidad desarrollado en la Fase II permitió una clasificación de los componentes, obteniendo tres niveles con sus respectivos intervalos: Criticidad Alta: Valores entre 51-80; Criticidad Media: Valores entre 26-50 y Criticidad Baja: Valores entre 5-25, (Tabla 4). Este enfoque es coherente con los principios de mantenimiento industrial revisados por Marrero-Hernández et al. (2022), quienes resaltan la importancia de la planificación del mantenimiento para optimizar la disponibilidad de activos industriales. Asimismo, la aplicación de la metodología RCA se alinea con los estudios de Roda & Macchi (2021), quienes han demostrado que las estrategias de mantenimiento avanzado, como el análisis de causa raíz, permiten minimizar fallas recurrentes y mejorar la sostenibilidad operativa.

**Tabla 4**

Análisis de criticidad de componentes principales

Equipo	FF	SHA	CA	IP- CM	CC	TC	Nivel de criticidad
Tolva de almacenamiento café tostado	1	1	1	1	1	1	Baja Criticidad
Tolva viajera	1	1	1	1	1	1	Baja Criticidad
Bomba de agua	1	1	1	1	1	1	Baja Criticidad
Calentador de agua	1	2	1	1	2	2	Baja Criticidad
Extractor de café	4	1	2	3	3	12	Alta Criticidad
Manifolds	5	1	2	3	3	15	Muy Alta Criticidad
Intercool	3	1	1	1	1	3	Media Criticidad
Placa de enfriamiento	3	1	1	2	2	6	Media Criticidad
Tanque con balanza	1	1	1	1	1	1	Baja Criticidad
Tanque de hidrólisis	1	1	1	1	1	1	Baja Criticidad

El impacto en seguridad y salud ocupacional es un aspecto clave en la evaluación de la fiabilidad de los equipos críticos. Las fallas en las placas de enfriamiento pueden generar, exposición a altas temperaturas y presiones, con riesgo de quemaduras para los operarios.

También existe riesgo de fugas de vapor o fluidos a alta presión, lo que incrementa el peligro de accidentes laborales, ambas fallas pueden incrementar la carga de trabajo del personal de mantenimiento, aumentando la posibilidad de errores humanos y lesiones, lo que concuerda con el estudio de Siwec & Pacana (2021), quienes identificaron que las fallas en sistemas térmicos industriales pueden representar un peligro significativo para los operarios.

Para mantener informado al grupo de mantenimiento y mitigar estos riesgos, se pueden implementar protocolos de monitoreo continuo de temperatura y presión en dichas placas. Es oportuno fortalecer la capacitación en seguridad industrial y manipulación de equipos de alta temperatura como medida preventiva para el manejo y solución de este tipo de fallas en los equipos, aparte de los planes de mantenimiento preventivo que ya se realizan en las instalaciones.

La Fase III, centrada en el análisis causa raíz, reveló una interrelación compleja entre factores operativos y mecánicos en las placas de enfriamiento. Las fugas externas en los empaques de la placa #1 de la línea 250 B se manifestaron con una frecuencia de 8 fallas anuales, generando un impacto económico de \$500 por evento (figura 3). El análisis identificó tres causas fundamentales: la acumulación acelerada de sedimentos debido al incremento en el flujo operativo, sobrepresión en el sistema de hidrólisis, y la operación sostenida cerca de los límites máximos permitidos. Estos hallazgos coinciden con Nielsen (2024) sobre la degradación acelerada en sistemas de procesamiento de alimentos sometidos a intensificación productiva.

### **Figura 3**

Análisis causa raíz



 <p><b>DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA</b></p> <p><b>¿Que?</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuga externa en los empaques de la placa #1 de la línea 250 B</li> </ul> <p><b>¿Cuándo?</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 05/04/2022; 13:15</li> <li>• Cuando hubo sobrepresión en la placa de enfriamiento</li> </ul> <p><b>¿Donde?</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Planta Objeto de estudio, área de extracción - placa #1 de la línea 250 (B)</li> </ul>	 <p><b>CUANTIFICACION DEL IMPACTO</b></p> <p>Seguridad: ninguna Ambiente: ninguna Costos directos: \$500 Costos de penalización: PT (Penalización total, dólares/falla): 500</p>	 <p><b>FRECUENCIA PROMEDIO DE RECURRENCIA DEL EVENTO</b></p> <p>FF (frecuencia del evento, fallas/año) 8 fallo al año</p>	 <p><b>IMPACTO TOTAL DEL EVENTO DE FALLA</b></p> <p>RTA = FF x PT = 8*500 = 4000 USD</p>
---	---	--	---

El análisis de los datos históricos reveló que la presión de operación excedió los parámetros de diseño en un 15% durante los períodos de mayor demanda. Este análisis se realizó mediante la revisión sistemática de los registros del sistema durante abril-junio 2022, comparando las lecturas reales de presión con los parámetros establecidos en los manuales técnicos del fabricante, un fenómeno que Siwec & Pacana (2021) identifican como precursor común de fallas en sistemas de intercambio térmico. La acumulación de sedimentos, evidenciada por un incremento del 23% en la frecuencia de limpiezas requeridas, sugiere una correlación directa entre la intensificación productiva y la degradación del rendimiento del sistema.

En la Fase IV, la propuesta de mejora se fundamentó en un análisis trifásico desarrollado mediante el método Delphi con la participación de un equipo multidisciplinario compuesto por especialistas en mantenimiento, producción y finanzas. Este equipo evaluó las alternativas considerando criterios de viabilidad técnica, impacto en disponibilidad, tiempo de implementación y retorno sobre la inversión.

El reemplazo preventivo de los empaques, con una inversión de \$2500, se proyecta como una medida de mediano plazo para incrementar la resistencia a la presión. La actualización de la propuesta de la placa de enfriamiento, que requiere una inversión de \$10000, se justifica por el promedio de 8 fallos anuales y un costo promedio por evento de \$500, resultando en pérdidas directas aproximadas de \$4,000 anuales, esto genera un beneficio económico estimado de \$1250 anuales, estas consideraciones económicas se encuentran acordes al historial de fallas del componente.

Los estudios de Buri et al. (2023) y Guamán-Rivera & Flores-Mancheno (2023) destacan que la industria cafetera ecuatoriana depende de la estabilidad productiva para mantener su competitividad en los mercados internacionales. Por esta razón, la inversión en estrategias de mantenimiento proactivo, como las propuestas en esta última fase del estudio, representa una solución económicamente viable, con un potencial retorno a niveles de disponibilidad cercanos al 95%, alineándose con los estándares de la industria mencionados por Suryanendra & Suryani (2021) y Ardhyani et al. (2023) sin embargo, es importante considerar que estos resultados podrían variar según las condiciones específicas de operación y las fluctuaciones en la demanda productiva. La inversión total requerida de \$12500 representa aproximadamente el 2.2% del costo operativo anual del sistema, una proporción que la literatura especializada considera aceptable para proyectos de mejora en sistemas críticos de producción.

Las diferentes fases del estudio demuestran que el deterioro en la disponibilidad de las placas de enfriamiento responde a un patrón sistemático de intensificación productiva. Esta observación tiene implicaciones significativas para la gestión del mantenimiento en la industria cafetera, sugiriendo la necesidad de un enfoque proactivo que anticipe las demandas futuras de producción en el diseño de los sistemas de enfriamiento. Los resultados obtenidos contrastan con estudios previos en la industria que generalmente se atribuyen las fallas a factores aislados, resaltando la importancia de un análisis holístico que considere la interacción entre variables operativas, mecánicas y económicas.

## Conclusiones

La aplicación de la metodología RCA en la línea de extracción de café permitió identificar que las placas de enfriamiento constituyen el componente más crítico del sistema, evidenciando un descenso significativo en su disponibilidad. Tras la implementación de las estrategias de mejora propuestas, se proyecta una recuperación de la disponibilidad a valores superiores al 95%, alineándose con los estándares de la industria.

El análisis de criticidad y causa raíz reveló que las fallas recurrentes (8 eventos anuales) en las placas de enfriamiento están asociadas principalmente a tres factores: la acumulación acelerada de sedimentos, la operación bajo condiciones de sobrepresión y el funcionamiento sostenido cerca de los límites de diseño. Esta comprensión permitió desarrollar una estrategia



de intervención que incluye la implementación de sistemas de respaldo, el reemplazo preventivo de empaques y la actualización de equipos críticos. Dichas medidas correctivas y preventivas permitirían reducir esta frecuencia a 0.5 eventos anuales, minimizando tiempos de inactividad y costos de mantenimiento.

La propuesta de mejora desarrollada demuestra ser económicamente viable al considerar que los costos por inactividad alcanzaron un valor máximo de \$3 000 en mayo debido a un MDT elevado de 6 horas. La implementación de la estrategia de mejora, se proyecta una reducción de estos costos, con un beneficio económico estimado de \$1 250 anuales, considerando una disminución del tiempo fuera de servicio.

### Referencias bibliográficas

- Ardhyani, I. W., Anshori, M., Yucha, N., Adriansyah, G., Alfian, A., & Pramudita, R. A. (2023). Analysis Of GC Coffee Product Quality At Pt. X. *IQTISHADEquity Jurnal MANAJEMEN*, 6(1), 74–83.
- Buri, K. A. J., Quezada, J. M., & Granda, A. del C. V. (2023). Análisis de las exportaciones del café en el Ecuador, periodo 2017-2021. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 6166–6184.
- Carlos, P. A., Mendoza, A. B. P., Verduzco, J. L. R., & Tapia, B. R. (2022). La formación del personal de mantenimiento para la industria 4.0. *Revista de Ciencias Tecnológicas*, 5(4), 407–418.
- Guamán-Rivera, S. A., & Flores-Mancheno, C. I. (2023). Seguridad Alimentaria y Producción Agrícola Sostenible en Ecuador. *Revista Científica Zambos*, 2(1), 1–20.
- Latino, M. A., Latino, R. J., & Latino, K. C. (2019). *Root cause analysis: improving performance for bottom-line results*. CRC press.
- Ma, Q., Li, H., & Thorstenson, A. (2021). A big data-driven root cause analysis system: Application of Machine Learning in quality problem solving. *Computers & Industrial Engineering*, 160, 107580.
- Márquez, A. C., De Leon, P. M., Rosique, A. S., & Fernández, J. F. G. (2016). Criticality Analysis for Maintenance Purposes: A Study for Complex In-service Engineering Assets. *Qual. Reliab. Eng. Int.*, 32(2), 519–533.

Marrero-Hernández, R. A., Martínez-Pérez, E., Vilalta-Alonso, J. A., García-Fenton, V., & Basile-Wilson, M. (2022). La planificación del mantenimiento, su importancia en la gestión de los activos. *Ingeniería Industrial*, 43, 108–124.

Nielsen, S. S. (2024). Introduction to food analysis. In *Nielsen's Food Analysis* (pp. 3–14). Springer.

Parra, C., & Crespo, A. (2012). *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicada a la Gestión de Activos*. Ingecon.

Roda, I., & Macchi, M. (2021). Maintenance concepts evolution: A comparative review towards advanced maintenance conceptualization. *Computers in Industry*, 133, 103531.

Sánchez, V. M. J., Pizarro, N. A. B., & Orellana, M. V. E. (2024). Evolución y proyección de la producción agrícola (Banano y Café) en Ecuador en el periodo 2012-2025. *Revista InveCom/ISSN En Línea: 2739-0063*, 4(2), 1–9.

Siccha, E. I. Q. (2016). Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad basado en el análisis causa raíz para aumentar la disponibilidad de los motores eléctricos jaula ardilla de la empresa Alicorp SAA. *Innovación En Ingeniería*, 2(1).

Siwiec, D., & Pacana, A. (2021). Method of improve the level of product quality. *Production Engineering Archives*, 27.

Vélez-Anchundia, E. S., Arteaga-Linza, Á. R., & Velepucha-Sánchez, J. (2024). Factores que inciden en la disponibilidad de una central termoeléctrica. *MQR Investigar*, 8(1), 450–469.

**Conflicto de intereses:**

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

**Financiamiento:**

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

**Agradecimiento:**

N/A

**Nota:**

El artículo no es producto de una publicación anterior.

