

**Sistema de visualización de datos de laboratorio de control del proceso de extracción de
aceite de palma**

Maribel Rocío Romero De La Hoz

Director

Isaac Esteban Camargo Freile

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería - ECBTI

Maestría en Ciencia de Datos y Analítica

2025

Isaac Esteban Camargo Freile

Jurado

Jurado

Dedicatoria

A mis hijos, cuya sonrisa y presencia llenan de propósito cada uno de mis pasos. Ustedes son la razón por la que emprendí este camino y el motor que impulsó cada jornada, incluso en los días más difíciles.

A mi esposo, amor de mi vida, gracias por sostenerme en cada noche de desvelo, por tu paciencia y tu fe inquebrantable en mí.

A mis padres, por su apoyo incondicional, por creer siempre en mis capacidades y por enseñarme que la disciplina y la perseverancia abren caminos que a veces ni imaginamos.

Agradecimientos

A mi director de proyecto, por su orientación constante, su compromiso genuino y su acompañamiento en cada etapa de esta investigación. Su claridad conceptual, rigor académico y disposición para guiarme con paciencia fueron fundamentales para el desarrollo y la calidad final de este trabajo.

A la empresa donde laboro y, en particular, a la planta extractora y al laboratorio, por permitir el desarrollo de este proyecto como un valor agregado dentro de los procesos del área. Agradezco la apertura para aplicar el conocimiento adquirido durante la maestría, así como el acceso a la información necesaria para el análisis.

Y, finalmente, a mi familia, por ser mi sostén incondicional durante todo este proceso. Gracias por su comprensión, por su cariño constante y por su apoyo en cada jornada de estudio. Su fortaleza y amor fueron el impulso que me permitió avanzar y culminar este logro que también les pertenece.

Resumen

La industria del aceite de palma presenta una de las mayores eficiencias productivas a nivel global, y Colombia ocupa el cuarto lugar en producción mundial. En una planta extractora, los datos de laboratorio son esenciales para monitorear pérdidas de aceite y parámetros de calidad que condicionan la estabilidad del proceso. No obstante, la fragmentación de los sistemas de registro y la ausencia de integración en tiempo real generan retrasos operativos y limitan la capacidad de respuesta ante desviaciones. Este proyecto implementa un sistema automatizado de visualización y análisis de datos conectado a una base de datos Oracle mediante procesos ETL estructurados. A través de Power BI, se integran analítica descriptiva e indicadores de capacidad del proceso (C_p y C_{pk}) para fortalecer el control operacional, reducir errores manuales y mejorar la trazabilidad. La solución constituye un avance hacia la adopción de prácticas de Industria 4.0 en el sector palmero, optimizando la toma de decisiones y aumentando la eficiencia del proceso de extracción.

Palabras clave: Optimización de procesos, Análisis de Datos, Aceite de Palma, Industria 4.0, Control de Procesos, Visualización de Datos, IIoT

Abstract

The palm oil industry is among the most productive agricultural sectors worldwide, and Colombia ranks as the fourth-largest global producer. In an oil extraction plant, laboratory data play a critical role in monitoring oil losses and quality parameters that determine process stability. However, fragmented data recording systems and the lack of real-time integration create operational delays and limit the ability to respond promptly to deviations. This project implements an automated data visualization and analysis system connected to an Oracle database through structured ETL processes. Using Power BI, the solution integrates descriptive analytics and process capability indicators (Cp and Cpk) to strengthen operational control, reduce manual recording errors, and improve data traceability. The system represents a significant step toward adopting Industry 4.0 practices within the palm oil sector, enhancing decision-making and increasing the efficiency of the extraction process.

Keywords: Process optimization, Data analysis, Palm oil, Industry 4.0, Process control, Data visualization, IIoT.

Tabla de Contenido

| | |
|---|----|
| Introducción | 14 |
| Descripción del Problema | 16 |
| Justificación | 19 |
| Objetivos..... | 21 |
| Objetivo General..... | 21 |
| Objetivos Específicos..... | 21 |
| Marco de Referencia | 22 |
| Estado del Arte..... | 22 |
| Marco Contextual: | 23 |
| Marco Teórico..... | 23 |
| Industria del aceite de palma y contexto productivo | 23 |
| Procesos de extracción y control de calidad | 24 |
| Análisis Rápidos | 24 |
| Análisis de Pérdidas | 25 |
| Corrientes de Control y Pérdidas Finales..... | 25 |
| Toma de Inventarios y Medición de Temperatura | 26 |
| Indicadores Industriales de Eficiencia de Extracción de Aceite de Palma | 26 |
| Gestión de datos en la industria palmera | 27 |
| Industria 4.0 y transformación digital..... | 27 |
| Ciencia de datos y analítica en control de procesos..... | 28 |
| Marco Conceptual..... | 29 |
| Marco Normativo..... | 30 |

| | |
|--|----|
| Metodología | 31 |
| Método | 31 |
| Tipo de Estudio | 31 |
| Fase 1: Diagnóstico y recolección de datos iniciales..... | 31 |
| Fase 2: Desarrollo e Implementación del Sistema | 32 |
| Fase 3: Evaluación del Impacto y Comparación..... | 32 |
| Relación de Variables | 32 |
| Hipótesis | 32 |
| Población y Muestra | 33 |
| Recolección de Datos..... | 34 |
| Tiempo de recolección de la información..... | 35 |
| Técnicas de Análisis de Datos: | 35 |
| Metodología para recolección y análisis de datos para la integración de la información por Dashboards | 35 |
| Estructuración y Depuración de Datos | 36 |
| Modelado de Datos y Construcción del Dashboard..... | 36 |
| Visualización..... | 37 |
| Resultados | 39 |
| Fase 1: Diagnóstico..... | 39 |
| Instrumento 1: Descarga y recolección de datos históricos de registros operativos: | 39 |
| Instrumento 2: Encuesta a operarios y personal administrativo de la planta..... | 44 |
| Instrumento 3: Entrevistas a expertos | 48 |
| Instrumento 4: Observación directa de procesos operativos..... | 51 |

| | |
|---|----|
| Fase 2: Desarrollo e Implementación del Sistema | 53 |
| Arquitectura del Sistema:..... | 53 |
| Ejecución de procesos de ETL: Extracción, Transformación y Cargue de datos. | 57 |
| Medidas y tablas creadas en DAX:..... | 59 |
| Desarrollo de dashboard centralizado en Power BI, con actualización automática. | 62 |
| Fase 3: Evaluación del Impacto y Comparación..... | 71 |
| Tiempo de registro y gestión manual de información operativa en el laboratorio de planta extractora..... | 71 |
| Conclusiones | 75 |
| Recomendaciones | 77 |
| Referencias Bibliográficas | 78 |
| Apéndices..... | 80 |

Lista de Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Interpretación de las Escalas..... | 46 |
| Tabla 2 Comparación de Percepción entre Grupos Operativos y Administrativos | 46 |
| Tabla 3 ANOVA entre grupos operativos y administrativos..... | 47 |
| Tabla 4 Matriz DOFA del Diagnóstico de Flujo de Información Laboratorio - Planta.... | 51 |
| Tabla 5 Tiempo invertido en el registro y gestión manual de información | 71 |

Lista de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 Flujo Metodológico para la Integración, Procesamiento y Análisis de Datos ... | 37 |
| Figura 2 Reporte de contenido y calidad de CPO y CPKO almacenado en plantas | 40 |
| Figura 3 Captura de Pantalla de Excel de Análisis Rápidos Diarios | 42 |
| Figura 4 Pérdidas finales de CPO, CPKO y almendra por turno | 43 |
| Figura 5 Consolidado de pérdidas mensuales enviados por correo | 44 |
| Figura 6 Caracterización del personal encuestado | 45 |
| Figura 7 Frecuencia con la que enfrentan dificultades para obtener información clave | 45 |
| Figura 8 Expectativa de utilidad del nuevo sistema de análisis de datos..... | 46 |
| Figura 9 Principales dificultades del control de procesos..... | 47 |
| Figura 11 Nube de palabras de entrevista a expertos sobre Indicadores de Eficiencia | 48 |
| Figura 12 Nube de palabras sobre Problemas en la Recolección y Análisis de Datos | 49 |
| Figura 13 Nube de palabras sobre Beneficio Esperados con la Automatización | 49 |
| Figura 14 Participación de registros manuales frente sistematizados..... | 52 |
| Figura 15 Frecuencia de errores recurrentes en los datos recolectados | 52 |
| Figura 16 Vista de Modelo del Informe de Análisis Rápidos..... | 57 |
| Figura 17 Pasos aplicados para el proceso de ETL en la consulta Análisis Rápidos | 58 |
| Figura 18 Tabla para orden de columnas horarias | 60 |
| Figura 19 Medida para calcular el cumplimiento de datos | 61 |
| Figura 20 Menú principal centralizado de informes de Laboratorio Extractora..... | 62 |
| Figura 21 Dashboard de inventario y calidad de CPO y CPKO almacenado..... | 64 |
| Figura 22 Análisis Rápidos en Planta Extractora | 65 |
| Figura 23 Dashboard de cumplimiento diario de análisis rápidos | 66 |

| | |
|---|----|
| Figura 24 Dashboard de Pérdidas Diarias en Planta Extractora | 67 |
| Figura 25 Pérdidas Acumuladas Mensuales de CPO, CPKO y almendra | 68 |
| Figura 26 Dashboard de Tendencia de Pérdidas | 69 |
| Figura 27 Reporte de Calidad de CPO en Proceso | 70 |
| Figura 28 Calidad de CPO Proceso, Compra y entrada a RBD | 71 |

Lista de Apéndices

| | |
|--|----|
| Apéndice A. Instrumentos de Recolección de Datos..... | 80 |
| Apéndice B Instrumentos de Registro Manual Utilizados en Laboratorio | 83 |

Introducción

La industria de extracción de aceite de palma, como sector estratégico agroindustrial colombiano, enfrenta actualmente retos crecientes en materia de eficiencia operativa, sostenibilidad y competitividad internacional (Mendoza-García, Oliveros-Contreras & Guzmán-Duque, 2020). A pesar de los avances en infraestructura productiva, muchas plantas extractoras continúan dependiendo de registros manuales, sistemas de información aislados y reportes que se procesan de forma descentralizada, generando rezagos en la toma de decisiones, errores operativos y desaprovechamiento del potencial informativo de los datos generados en planta. Esta situación se vuelve crítica en contextos donde las condiciones de operación son altamente variables y requieren una supervisión continua para garantizar la calidad del producto y minimizar pérdidas de materia prima.

A nivel internacional, sectores industriales de alto rendimiento han avanzado hacia la digitalización y automatización mediante la adopción de herramientas propias de la Industria 4.0, tales como el Internet Industrial de las Cosas (IIoT), análisis de Big Data, sistemas ciberfísicos y visualización en tiempo real. Estas tecnologías han permitido mejorar la eficiencia, la trazabilidad de procesos y la toma de decisiones informadas (Ghalekhondabi et al., 2020; Wang et al., 2020). En el sector agroindustrial, se ha evidenciado que la integración de sensores, dashboards interactivos y modelos predictivos puede transformar significativamente la gestión operativa (Babu et al., 2020; Hasan et al., 2021), generando impactos positivos en la reducción de errores, optimización de recursos y mejora continua del proceso productivo.

No obstante, en la industria del aceite de palma, tanto en Colombia como en otros países productores, la adopción efectiva de estas tecnologías sigue siendo limitada. Investigaciones recientes señalan que las principales barreras incluyen la falta de integración entre sistemas

operativos, la resistencia al cambio organizacional, y la escasa explotación de herramientas analíticas avanzadas (Parvand & Rasiah, 2022; Pérez-Moron & Cantillo-Orozco, 2022). En este contexto, se evidencia una brecha crítica entre el volumen de datos generados diariamente en las plantas y su capacidad para ser transformados en información útil, oportuna y accionable.

Frente a esta problemática, surge la necesidad de implementar un sistema automatizado de análisis y visualización de datos que permita integrar fuentes dispersas (SCADA, Excel, registros manuales, laboratorio), centralizar la información crítica del proceso y facilitar el análisis estadístico de variables operativas clave. Este proyecto propone el diseño, desarrollo e implementación de una solución tecnológica basada en herramientas como Power BI, flujos ETL y modelos de machine learning, orientada a mejorar el monitoreo de variables, reducir los errores derivados del tratamiento manual de datos y optimizar la toma de decisiones a nivel operativo y gerencial.

A través de una metodología exploratoria y experimental con enfoque cuantitativo, se busca medir el impacto de esta implementación sobre indicadores como tiempos de respuesta, eficiencia en la extracción y reducción de errores. De este modo, el proyecto no solo aporta una solución técnica viable y replicable, sino que también representa un avance hacia la transformación digital del sector, alineado con las tendencias globales en manufactura inteligente, sostenibilidad operativa y analítica avanzada aplicada a entornos industriales.

Descripción del Problema

La industria del aceite de palma constituye uno de los pilares de la agroindustria colombiana, ocupando el cuarto lugar en la producción mundial con más de 1,8 millones de toneladas anuales (Fedepalma, 2023). Sin embargo, a pesar de su relevancia económica y social, el sector enfrenta retos significativos en materia de digitalización e integración de datos para la gestión de procesos. A nivel global, la tendencia hacia la Industria 4.0 ha permitido que los sectores manufactureros y agroindustriales optimicen sus operaciones mediante el uso de analítica avanzada y automatización. Según Lim et al. (2020), las organizaciones que adoptan estrategias de manufactura inteligente logran mejoras sustanciales en eficiencia y calidad, al reducir la dependencia de registros manuales y decisiones reactivas. De igual manera, Hasan (2024) destaca que las industrias que no logran integrar sus datos en tiempo real enfrentan pérdidas económicas derivadas de la falta de trazabilidad y de la limitada capacidad de anticipar fallas operativas.

En este contexto, la planta extractora analizada, la cual se dedica al procesamiento de fruto fresco de palma y su posterior transformación en biodiesel; presenta características representativas del sector: una operación permanente y de gran volumen de procesamiento al ser un commodity agroindustrial, dependencia de datos de laboratorio y variables de control que se registran manualmente en diferentes áreas. A partir de un diagnóstico técnico realizado en campo y mediante la revisión de reportes operativos y entrevistas con el personal supervisor, se identificó que el sistema de recolección y análisis de datos es fragmentado y altamente dependiente de registros manuales, dado que aproximadamente el 75% de los datos operativos se consignan en hojas de Excel o formularios físicos. Esta situación genera demoras recurrentes en

la entrega de información, errores frecuentes en la digitación y una limitada trazabilidad entre las áreas de laboratorio, control de procesos y mantenimiento.

Diversos estudios han señalado que la falta de integración digital en industrias agroindustriales reduce la capacidad de respuesta ante desviaciones y afecta la eficiencia operativa (Wang et al., 2020; Ghalehkhondabi et al., 2020). En línea con estas evidencias, la planta presenta una brecha tecnológica estructural, donde la falta de herramientas para consolidar, analizar y visualizar datos impide la toma de decisiones basada en información confiable.

La falta de acceso a datos en tiempo real, la dificultad para interpretar reportes y la desactualización de la información son las principales limitaciones para el control de procesos, tal como lo han expuesto autores como Pérez-Morón y Cantillo-Orozco (2022), quienes subrayan que la digitalización fragmentada es una de las mayores barreras para la transformación digital en el sector palmero colombiano. Esta situación también replica el patrón identificado por Wang et al. (2020) en industrias con baja automatización, donde el exceso de trabajo administrativo impide el análisis oportuno de los indicadores clave de rendimiento.

El problema se agrava con la introducción de nuevas variedades híbridas de palma, que requieren condiciones de operación diferenciadas y ajustes dinámicos de parámetros para optimizar el rendimiento y la calidad del aceite. Sin herramientas de análisis predictivo ni visualización automatizada, la planta enfrenta una capacidad limitada para anticipar desviaciones, generar alertas tempranas y minimizar pérdidas económicas, lo que repercute directamente en la rentabilidad y sostenibilidad del negocio.

En síntesis, la problemática radica en la ausencia de un sistema integrado y automatizado de visualización y análisis de datos, que permita centralizar la información operativa y de

laboratorio, generar indicadores dinámicos, reducir tiempos de respuesta y respaldar la toma de decisiones en tiempo real. Abordar esta brecha tecnológica no solo mejoraría la eficiencia y competitividad de la planta, sino que también sentaría un precedente para avanzar hacia la adopción plena de la Industria 4.0 en el sector palmero del departamento del Meta y de Colombia en general.

En consecuencia, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo diseñar e implementar un sistema automatizado de visualización y análisis de datos que integre la información de laboratorio en una planta extractora de aceite de palma, con el fin de mejorar la eficiencia del proceso, reducir pérdidas y optimizar la toma de decisiones en tiempo real?

Justificación

En el contexto de una planta extractora de aceite de palma, el laboratorio cumple un papel estratégico como centro de generación de información crítica para el control del proceso. Su responsabilidad no se limita a registrar resultados de calidad y pérdidas, sino que actúa como el sistema sensorial de la operación, midiendo variables clave que determinan la eficiencia, el rendimiento y la calidad del producto final (Hasan et al., 2021; Pérez-Morón Cantillo-Orozco, 2022).

Entre estas variables se incluyen indicadores como las pérdidas de aceite en subproductos o variables de calidad como la acidez y humedad del Aceite Crudo de Palma (CPO), los cuales permiten detectar desviaciones en las condiciones de proceso y ajustar parámetros como temperatura, presión o tiempos de residencia en las distintas etapas de la extracción (Babu et al., 2020; Khan et al., 2024). Sin embargo, este rol solo cumple su objetivo si la información se reporta con rapidez y precisión, ya que cualquier retraso en la retroalimentación compromete la capacidad de reacción operativa y puede aumentar las pérdidas de aceite o impactar la calidad del producto final (Parvand Rasiah, 2022).

En el esquema actual de muchas plantas, los resultados de laboratorio suelen procesarse manualmente o en sistemas desconectados, generando demoras que pueden variar entre minutos y horas, lo que puede significar pérdidas significativas de producto, acumulación de ineficiencias o incumplimiento de especificaciones de calidad (Lim et al., 2020). La falta de análisis automatizado también implica que la información llegue a los tomadores de decisión de forma plana, sin alertas tempranas ni tendencias claras que faciliten la interpretación (Osorio et al., 2022).

La implementación de un sistema de visualización y análisis automatizado de datos de laboratorio transforma este flujo informativo en un proceso continuo, rápido y accionable. Este tipo de solución integra de forma directa las mediciones realizadas en laboratorio con un dashboard centralizado, actualizado a medida que se generan los resultados de laboratorio, que no solo presenta los datos, sino que los analiza para identificar desviaciones, calcular indicadores de eficiencia y pérdidas, y generar alertas para intervención inmediata (Ghalekhondabi et al., 2020; Gutiérrez-Trejo et al., 2024).

Con esta integración, el laboratorio deja de ser un punto aislado de medición para convertirse en un nodo activo dentro de la cadena de control de proceso, capaz de influir de forma directa en las decisiones operativas. Esto implica beneficios como reducción de tiempos de respuesta en la toma de decisiones, disminución de pérdidas de aceite al intervenir desviaciones de forma temprana, estandarización del análisis de datos eliminando subjetividad y errores humanos en la interpretación y mayor trazabilidad y transparencia en los resultados de calidad y eficiencia.

En un mercado global donde la competitividad se define por eficiencia, calidad y capacidad de reacción, disponer de datos oportunos y analizados automáticamente desde el laboratorio deja de ser una opción y se convierte en un requisito estratégico. Este proyecto responde a esa necesidad, alineándose con los principios de la Industria 4.0 y contribuyendo a cerrar la brecha digital en la industria colombiana del aceite de palma, especialmente en el departamento del Meta.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar un sistema automatizado de analítica de datos para el control del proceso de extracción de aceite de palma, orientado a reducir errores operativos acelerando la toma de decisiones.

Objetivos Específicos

Integrar los datos de laboratorio y de proceso en un repositorio operativo con reglas de calidad y trazabilidad.

Desplegar dashboards con indicadores clave y alertas para el monitoreo en tiempo real del desempeño del proceso.

Evaluar el impacto del sistema mediante un análisis de optimización de tiempos de respuesta y costos asociados.

Marco de Referencia

Estado del Arte

A nivel internacional, la transformación digital de procesos industriales ha sido impulsada por tecnologías emergentes de la Industria 4.0 como el Big Data, el Internet Industrial de las Cosas (IIoT), el machine learning y la visualización interactiva de datos (Ghalehkhondabi et al., 2020; Wang et al., 2020). La industria manufacturera ha logrado reducir errores operativos y mejorar la toma de decisiones mediante la digitalización de procesos, como lo señalan Lim et al. (2020), quienes destacan los beneficios de implementar sistemas de análisis automatizado y dashboards en tiempo real.

En el sector de aceite de palma, países como Malasia e Indonesia han comenzado a adoptar estas tecnologías con resultados positivos en términos de eficiencia operativa y trazabilidad del producto (Parvand & Rasiah, 2022). Sin embargo, aún se presentan retos importantes como la resistencia al cambio y la baja integración de sistemas (Hasan, 2024). A nivel nacional, estudios como el de Bueno (2023) y Pérez-Morón & Cantillo-Orozco (2022) evidencian que en Colombia, a pesar de la disponibilidad de plataformas como Power BI o sistemas SCADA, la industria extractora de aceite de palma continúa operando con esquemas manuales o semi-digitales, lo cual limita su competitividad.

El uso de dashboards automatizados (Osorio et al., 2022), arquitecturas de IIoT (Gutiérrez-Trejo et al., 2024) y modelos predictivos basados en aprendizaje automático (Khan et al., 2024) han demostrado ser eficaces en sectores como el farmacéutico, alimenticio y de manufactura avanzada, lo cual establece una base sólida para su aplicación en el contexto del aceite de palma colombiano.

Marco Contextual:

Este proyecto se desarrolla en una planta extractora de aceite de palma ubicada en el departamento del Meta, Colombia, una región que concentra una proporción significativa de la producción nacional. La planta cuenta con infraestructura digital parcial para los datos de laboratorio, contando con un software para captura de información con capacidad limitada y poco dinámica para generar informes, bases de datos en Excel y licencias de Power BI y Power Apps. No obstante, la integración de datos entre áreas es limitada, y los procesos de análisis son manuales, lentos y propensos a errores. A nivel regional, la presión del mercado internacional y los estándares ambientales y de trazabilidad obligan a modernizar las operaciones, lo cual convierte este proyecto en una oportunidad estratégica para elevar la eficiencia y sostenibilidad del proceso extractivo.

Marco Teórico

Industria del Aceite de Palma y Contexto Productivo

El aceite de palma es actualmente el aceite vegetal más producido a nivel mundial, destacándose por su alto rendimiento y versatilidad en aplicaciones alimentarias, cosméticas, energéticas e industriales. Su productividad por hectárea es entre seis y diez veces superior a la de otras oleaginosas como la soya o el girasol (Fedepalma, 2023). Según datos de Indexmundi (2023), Indonesia, Malasia y Tailandia lideran la producción global, seguidos por Colombia, que aporta alrededor de 1,8 millones de toneladas métricas anuales y cuenta con cultivos en 161 municipios del país. En el caso colombiano, el sector palmero representa un pilar económico y social, especialmente en departamentos como Meta, Santander y Cesar, donde genera empleo rural, desarrollo comunitario y encadenamientos productivos. Sin embargo, enfrenta retos

asociados con la eficiencia en la extracción, la calidad del aceite y la sostenibilidad ambiental (Pérez-Morón Cantillo-Orozco, 2022).

Procesos de Extracción y Control de Calidad

El proceso de extracción de aceite de palma involucra etapas críticas como esterilización, desfrutamiento, digestión, prensado, clarificación y secado. Cada una de ellas influye directamente en el rendimiento y en la calidad final del aceite (Wang et al., 2020). La variabilidad de parámetros operativos (temperatura, presión, tiempo de residencia) puede provocar pérdidas de aceite, aumento de acidez, presencia de humedad e impurezas, afectando tanto la rentabilidad como el cumplimiento de estándares de calidad.

El laboratorio de planta es la unidad responsable de medir indicadores clave como porcentaje de aceite en las diferentes etapas del proceso, pérdidas de aceite en corrientes residuales como fibra, cuesco y lodos, calidad del aceite crudo obtenido (ácidos grasos libres, humedad e impurezas) y además es responsable de la medición diaria de inventarios. Estos datos, cuando se procesan de manera oportuna, permiten realizar ajustes inmediatos en las condiciones de operación y evitar desviaciones significativas en el proceso (Hasan, 2024).

Análisis Rápidos

Los análisis rápidos son procedimientos de control de operación que se realizan con una frecuencia aproximada de cada dos horas en el laboratorio de planta extractora. Su propósito es monitorear con la mayor frecuencia posible las corrientes líquidas y efluentes del proceso de extracción de aceite de palma, con el fin de ajustar parámetros operativos y minimizar pérdidas. Se ejecutan mediante centrifugación de muestras tomadas en puntos clave del proceso, como condensados de esterilización, licor de prensa de raquis, lodos de clarificación y recuperado de centrífugas, permitiendo determinar el contenido de aceite, humedad y acidez en cada corriente.

Estos resultados constituyen la base para la toma de decisiones inmediatas por parte del personal de control técnico y supervisores de producción, quienes utilizan los datos para calibrar la operación y mantener la eficiencia del proceso.

Análisis de Pérdidas

Los análisis de pérdidas tienen como finalidad cuantificar la cantidad de aceite y subproductos valiosos que se pierden a lo largo del proceso industrial, tanto en corrientes intermedias como finales. Estos análisis se agrupan en dos categorías principales: pérdidas de control y pérdidas finales. Las pérdidas de control corresponden a los monitoreos rutinarios que se realizan en puntos intermedios del proceso como fibra prensada, efluentes líquidos o nuez quebrada para detectar desviaciones tempranas. Por su parte, las pérdidas finales representan los resultados consolidados al término del proceso y se calculan a partir del contenido de aceite residual en las corrientes de efluente, fibra, nuez y raquis, permitiendo determinar la eficiencia global de la planta y la tasa de recuperación de Aceite Crudo de Palma (CPO) y Aceite Crudo de palmiste (CPKO).

Corrientes de Control y Pérdidas Finales

Las corrientes de control incluyen los flujos de proceso donde el monitoreo continuo es esencial para el ajuste operativo, tales como el licor de prensa, lodos del clarificador y condensados de esterilización. En contraste, las corrientes de pérdidas finales reflejan la cantidad de aceite que no fue recuperado y que queda atrapado en subproductos sólidos y líquidos: efluente (mezcla acuosa del proceso), fibra prensada (material sólido residual del fruto), nuez (parte interna de la almendra que contiene aceite láurico) y raquis (estructura vegetal central del racimo). La cuantificación de las pérdidas en estas corrientes permite establecer indicadores de

desempeño energético y económico, siendo una de las métricas más relevantes para evaluar la eficiencia del proceso extractivo.

Toma de Inventarios y Medición de Temperatura

La toma de inventarios en la planta extractora se realiza de forma manual mediante el uso de una cinta métrica calibrada y termómetros análogos. El procedimiento consiste en medir la altura del nivel de aceite en cada tanque de almacenamiento, tanto de CPO como de CPKO, con la cinta, para posteriormente calcular el volumen y convertirlo a masa utilizando la densidad del producto, la cual se determina a partir de la temperatura registrada con el termómetro. Estos datos se registran en un formato físico y se transcriben a hojas de cálculo Excel para su consolidación. Aunque el método es tradicional y confiable, resulta susceptible a errores humanos y representa una oportunidad de mejora a través de la automatización de lecturas y digitalización de inventarios, que permitiría disponer de datos en tiempo real y eliminar la duplicidad de registros.

Indicadores Industriales de Eficiencia de Extracción de Aceite de Palma

En la industria de extracción de aceite de palma, los indicadores de eficiencia del proceso constituyen herramientas fundamentales para evaluar el desempeño operacional, optimizar la recuperación de aceite y asegurar la competitividad productiva (Ghalekhondabi et al., 2020). Estos indicadores permiten monitorear de manera sistemática variables críticas asociadas a la transformación del racimo de fruto fresco (RFF) en Aceite Crudo de Palma (CPO), así como controlar las pérdidas en cada etapa del proceso industrial.

Uno de los indicadores más relevantes es la Tasa de Extracción de Aceite (TEA), que refleja la eficiencia global del proceso al relacionar la cantidad de CPO obtenido con la cantidad de RFF procesado. Este indicador es considerado una medida clave de desempeño debido a su

sensibilidad frente a variaciones en materia prima, operación y mantenimiento (Pérez-Morón & Cantillo-Orozco, 2022). Asimismo, la industria evalúa de manera constante los niveles de pérdidas de aceite, tanto internas como finales, que incluyen pérdidas en fibra, nuez, efluentes y subproductos. Un aumento en estas pérdidas suele estar asociado con desviaciones operativas, fallas en equipos o ineficiencias de control en etapas como extracción, clarificación o recuperación.

Gestión de Datos en la Industria Palmera

En gran parte del sector, la captura de información continúa siendo manual, con registros en hojas de cálculo o formularios físicos, lo que genera duplicidad, errores y demoras en la disponibilidad de datos (Bueno, 2023). La integración entre sistemas de supervisión industrial (SCADA), bases de datos de laboratorio y plataformas de análisis aún es limitada, lo que restringe la trazabilidad y la toma de decisiones en tiempo real (Singh et al., 2020).

La transición hacia sistemas integrados de gestión de datos operativos y de calidad es un componente clave de la transformación digital del sector, especialmente para responder a la demanda de eficiencia, trazabilidad y sostenibilidad (Lim et al., 2020).

Industria 4.0 y Transformación Digital

La Industria 4.0 se define como la convergencia de tecnologías digitales, físicas y biológicas que transforman los procesos productivos mediante automatización, interconexión y análisis inteligente de datos (Kagermann et al., 2013). En el contexto de la agroindustria, su aplicación implica el uso de Internet de las Cosas Industrial (IIoT), analítica avanzada, inteligencia artificial, y sistemas ciberfísicos para optimizar la operación (Zhang et al., 2021).

Aunque en países líderes como Malasia e Indonesia ya se han implementado soluciones de monitoreo en tiempo real y control predictivo en plantas extractoras, en Colombia la adopción

es incipiente, limitada por factores de inversión, capacitación y resistencia al cambio (Pérez-Morón Cantillo-Orozco, 2022).

Ciencia de Datos y Analítica en Control de Procesos

La ciencia de datos y la analítica avanzada permiten capturar, procesar y analizar grandes volúmenes de datos para extraer patrones y generar modelos predictivos que anticipen fallas o desviaciones (Ghalekhondabi et al., 2020). En la industria del aceite de palma, estas herramientas pueden aplicarse para predecir variaciones en la tasa de extracción a partir de parámetros de laboratorio y operación, optimizar la combinación de temperatura, presión y tiempo en esterilización y prensado, detectar anomalías en la calidad del aceite antes de que impacten la producción, reducir pérdidas en fibra, cuesco y lodos mediante modelos de correlación y simulación.

Los métodos predictivos constituyen una herramienta esencial de la ciencia de datos, orientada a anticipar el comportamiento futuro de variables a partir del análisis de información histórica. En la industria, permiten transformar datos operativos en conocimiento útil para identificar tendencias, detectar anomalías y respaldar decisiones oportunas.

Estos métodos se basan en modelos estadísticos y algoritmos de aprendizaje automático que buscan establecer relaciones entre variables predictoras y resultados. Entre las técnicas más utilizadas se encuentran la regresión lineal y logística para estimar rendimientos o clasificar condiciones de proceso, Decision Tree y Random Forest para identificar combinaciones de factores que afectan la calidad, los modelos de series de tiempo como ARIMA o LSTM para pronosticar variables dinámicas y las redes neuronales profundas para capturar relaciones no lineales en procesos con alta variabilidad.

En el marco de la Industria 4.0, su aplicación permite pasar de esquemas reactivos a proactivos. En plantas de extracción de aceite de palma, el uso de modelos predictivos facilita anticipar desviaciones en parámetros de laboratorio como acidez, humedad o pérdidas, proyectar el efecto de la materia prima sobre el rendimiento y optimizar las condiciones de operación. Con ello se logra reducir pérdidas, mejorar la eficiencia y fortalecer la competitividad, en línea con las exigencias de sostenibilidad y digitalización del sector.

Marco Conceptual

IIoT (Industrial Internet of Things): El Internet Industrial de las Cosas (IIoT) se refiere a la integración de sensores, dispositivos inteligentes y sistemas conectados dentro de un entorno industrial para capturar, transmitir y analizar datos operativos en tiempo real. Este enfoque permite mejorar la visibilidad del proceso, automatizar tareas y habilitar estrategias avanzadas como mantenimiento predictivo, optimización del rendimiento y reducción de pérdidas (Lee et al., 2015). El IIoT es uno de los pilares de la Industria 4.0, al conectar directamente las variables del proceso con plataformas analíticas.

ETL (Extract, Transform, Load): El proceso ETL (Extract, Transform, Load) comprende tres etapas esenciales en la gestión de datos: la extracción desde diversas fuentes, la transformación para estandarizar, limpiar y enriquecer la información, y el cargue hacia un repositorio o sistema analítico. Este proceso garantiza calidad, consistencia y usabilidad de los datos para análisis posteriores, especialmente en sistemas de inteligencia de negocios y analítica de datos (Kimball & Caserta, 2011). En ambientes industriales, el ETL permite integrar datos de sensores, laboratorios, SCADA y sistemas administrativos en una estructura analítica única.

Dashboard: Un dashboard es una herramienta de visualización diseñada para presentar de manera clara y sintetizada indicadores clave de desempeño (KPIs), tendencias y métricas

operativas relevantes. Su función principal es facilitar el monitoreo, interpretación y análisis de datos en tiempo real para apoyar la toma de decisiones. Los dashboards integran gráficos, tablas dinámicas y reglas de formato visual que permiten identificar patrones, detectar desviaciones y comunicar información compleja de forma intuitiva (Few, 2013). Son fundamentales en entornos industriales donde la oportunidad en la información es crítica para ajustar procesos.

Business Intelligence (BI): Se refiere al conjunto de procesos, herramientas y metodologías que permiten recopilar, integrar, transformar, analizar y visualizar datos provenientes de múltiples fuentes con el fin de convertirlos en información útil para la toma de decisiones. Su propósito es proporcionar una visión clara y estructurada del desempeño organizacional mediante indicadores, reportes dinámicos y dashboards interactivos que facilitan identificar tendencias, patrones y oportunidades de mejora. En contextos industriales, el BI contribuye a optimizar operaciones, mejorar la eficiencia y soportar decisiones estratégicas basadas en evidencia (Sharda et al., 2020; Chen et al., 2012).

Marco Normativo

El proyecto se rige por las normativas internas de la empresa y normativas nacionales.

Código de Ética de la empresa.

ISO 9001:2015: Normas sobre sistemas de gestión de calidad, aplicables a la industria de extracción.

Ley 1581 de 2012: Aplicables en la gestión de datos personales (aplicación de encuestas y entrevistas).

Metodología

Método

El presente trabajo de grado se enmarca en un enfoque de investigación cuantitativo, dado que busca medir el impacto de una intervención tecnológica en variables operativas concretas mediante métricas cuantificables. Se adopta además un enfoque tecnológico aplicado, al implementar una solución informática (dashboard automatizado) en un entorno real de producción. El abordaje metodológico combina fases exploratorias y experimentales.

Tipo de Estudio

La investigación es de tipo tecnológico aplicada, con un diseño exploratorio y experimental. La fase exploratoria permitió diagnosticar el sistema actual de recolección de datos y caracterizar el flujo informativo, mientras que la fase experimental corresponde a la implementación, seguimiento y evaluación del sistema de visualización y análisis de datos.

El diseño de investigación se desarrolló en tres etapas metodológicas principales:

Fase 1: Diagnóstico y recolección de datos iniciales

- Identificación de variables críticas del proceso (presión, temperatura, caudal, pérdidas, entre otras).
- Análisis de registros históricos (Software de captura de información, Excel, Formatos Físicos y sistemas paralelos).
- Observación directa de operaciones, utilizando una lista de chequeo estructurada.
- Aplicación de encuestas estructuradas al personal operativo y administrativo.
- Entrevistas semiestructuradas a expertos en el proceso de extracción.

Estas técnicas fueron diseñadas bajo una metodología basada en la experiencia profesional, combinada con un proceso iterativo de ensayo y error que corresponde a la lógica de

la investigación basada en la práctica (practice-based research). Los instrumentos fueron validados mediante juicio de expertos.

Fase 2: Desarrollo e Implementación del Sistema

- Ejecución de procesos de ETL: Extracción, Transformación y Cargue de datos.
- Desarrollo de dashboard centralizado en Power BI, con actualización automática.
- Desarrollo de métricas clave de control y alertas operativas.
- Validación técnica y funcional en fase piloto.

Fase 3: Evaluación del Impacto y Comparación

- Análisis comparativo de indicadores antes y después de la implementación.
- Aplicación de pruebas de significancia estadística (t-student, ANOVA).
- Encuesta de satisfacción y facilidad de uso a los usuarios finales.

Relación de Variables

Variable independiente: Implementación del sistema de visualización y análisis automatizado, con datos provenientes de la base de datos donde se almacena la información capturada por el software de gestión de información utilizada en laboratorio.

Variabes dependientes:

- Tiempo de respuesta en la toma de decisiones.
- Reducción de errores operativos.
- Eficiencia del proceso (rendimiento del aceite de palma).
- Costos operativos.

Hipótesis

Hipótesis nula (H0): La implementación del sistema de visualización y análisis automatizado no tiene un impacto significativo en la eficiencia operativa de la planta.

Hipótesis alternativa (H1): La implementación del sistema de visualización y análisis automatizado mejora significativamente la eficiencia operativa.

Población y Muestra

Población: Para el diagnóstico la población objetivo estuvo compuesta por los 65 empleados de la planta, de los cuales 50 son operativos y 15 administrativos.

Para la implementación del sistema de visualización y análisis automatizado, se obtuvo información de resultados de laboratorio del último año.

Cálculo del Tamaño de Muestra para Encuestas

Se utilizará la fórmula para poblaciones finitas:

$$n = \frac{NZ^2p(1-p)}{(N-1)e^2 + Z^2p(1-p)}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra

N = Población total (Número total de empleados en la planta)

Z= Valor de C en la distribución normal (95% de confianza: 1,96)

P= Proporción esperada de la característica en estudio (0,5).

e= Margen de error permitido(0,07)

Para el diagnóstico se aplicó un muestreo estratificado proporcional con un margen de error del 7% y un nivel de confianza del 95%, lo que permitió trabajar con una muestra de 49 personas. Se optó por este margen de error para mantener la representatividad estadística y, al mismo tiempo, hacer viable la aplicación de instrumentos considerando la rotación por turnos y la disponibilidad del personal operativo.

Para la implementación del sistema de visualización y análisis automatizado, se obtuvo información de resultados de laboratorio 3 meses después de la implementación.

Recolección de Datos

Para el desarrollo de la fase de diagnóstico se emplearon diferentes técnicas e instrumentos de recolección de información, entre los que se incluyen:

- Encuestas al personal operativo y administrativo, utilizadas para identificar la percepción sobre las dificultades informativas y la utilidad del sistema propuesto.
- Observación directa del proceso, mediante un formulario estructurado que permitió registrar el flujo de datos, herramientas utilizadas y tiempos de respuesta.
- Entrevistas semiestructuradas a expertos en procesos de extracción de aceite, orientadas a identificar indicadores clave, barreras operativas y beneficios esperados de la digitalización.

Los instrumentos empleados (formatos, cuestionarios y guías) se presentan íntegramente en el Anexo 1.

Para la fase de desarrollo e implementación del sistema:

Recolección de registros históricos de producción, calidad y pérdidas, proveniente de:

- Información digitada en software de gestión y captura de la información.
- Documentos de Excel ubicados en servidores.
- Correos Electrónicos
- Registros en formatos físicos.

Tiempo de Recolección de la Información

Diagnóstico: La recolección de información del diagnóstico se llevó a cabo durante cuatro semanas entre el 15 de febrero y el 15 de marzo de 2025, abarcando las tres técnicas principales: encuesta, observación y entrevista.

Implementación del sistema: Datos históricos de calidad y eficiencia del 2024 y 2025.

Encuesta de satisfacción después de la implementación: 3 meses después de la implementación del sistema.

Técnicas de Análisis de Datos

Análisis de información cualitativa:

- Nubes de palabras: para categorizar información recurrente.
- Matriz DOFA: para sintetizar hallazgos estratégicos.

Análisis de información cuantitativa:

- Estadística descriptiva: medias, frecuencias, desviaciones.
- ANOVA: para comparar percepciones entre grupos.
- T-test pareado: para evaluar impacto antes/después.

Metodología para Recolección y Análisis de Datos para la Integración de la Información por Dashboards

Los datos históricos fueron recolectados desde el software de adquisición de datos corporativo y complementados con archivos Excel y registros físicos utilizados por el personal operativo.

Luego se procedió a crear variables en el software de adquisición de datos corporativo para las variables digitadas en registros físicos para iniciar su digitalización. Esto incluye no solo

el registro de la variable cruda, sino la creación de variables formuladas para cálculos que actualmente se estaban realizando con apoyo de hojas de Excel.

Estructuración y Depuración de Datos

Una vez obtenida la información, se aplicó un proceso ETL (Extract, Transform, Load) en Power Query, que incluyó:

- Extracción: conexión directa entre Power BI y las vistas VW_SIGIND_VARIABLES y VW_SIGIND_VARIABLES_ACUMULADAS de la base de datos en Oracle que recolecta el software de adquisición de información.
- Transformación: limpieza y estandarización de nombres de columnas, corrección de formatos de hora y número, reemplazo de valores atípicos y conversión de campos de texto a formato numérico. Esto se realiza utilizando Microsoft Query desde PowerBI. Sin embargo, también se identifican los errores más comunes, por ejemplo, para análisis rápidos (centrifugación) de efluentes, normalmente se registraba la letra “T” o “t” para especificar presencia de trazas de aceite en la corriente analizada, cuando era tan pequeña la cantidad que no podía medirse en milímetros de capa en el tubo de ensayo. Para esto se realizaron restricciones desde el software de adquisición de datos, de manera que solo se puedan registrar datos numéricos y no texto.
- Cargue: integración de las tablas centrales con consultas auxiliares (por ejemplo: TAG_AnálisisRápidos, TAG_Pérdidas, TAG_Inventarios), asegurando consistencia en las llaves primarias (VARIA).

Modelado de Datos y Construcción del Dashboard

Con la base depurada, se estructuró un modelo de datos en Power BI bajo un esquema relacional. Se diseñaron tablas auxiliares (como *DimHora* y *OrdenProducto*) que permitieron

sincronizar los reportes con el ciclo operativo real (de 6:00 a.m. a 5:59 a.m.), y se implementaron medidas DAX para el cálculo de indicadores clave:

- %Cumplimiento_AR: proporción de datos dentro de los límites de especificación.
- Cp y Cpk: índices de capacidad y desempeño del proceso.

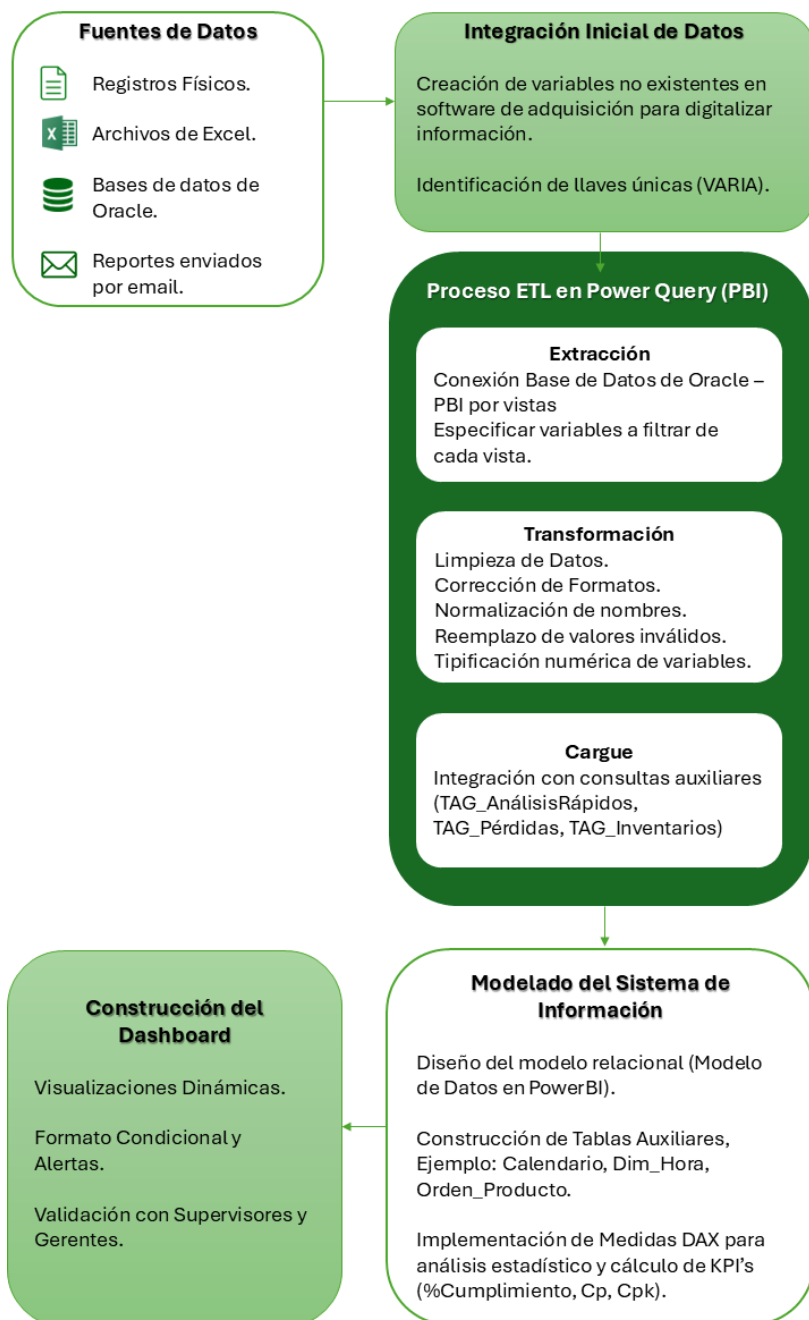
Visualización

Se desarrollaron dashboards interactivos con visualizaciones jerárquicas y alertas visuales basadas en formato condicional. Los reportes fueron validados con supervisores y gerentes de planta, garantizando su alineación con los indicadores de control de calidad y productividad.

El siguiente diagrama resume el flujo metodológico seguido para la obtención, depuración y análisis de los datos utilizados en el proyecto. Se inicia con la captura de información proveniente de registros físicos, archivos Excel, el software corporativo de adquisición de datos y reportes operativos. Esta información se integra y digitaliza para posteriormente someterse a un proceso ETL en Power Query. Una vez depurados, los datos son modelados en Power BI mediante un esquema relacional que incorpora consultas auxiliares y medidas DAX. Finalmente, se construyen dashboards interactivos validados con los usuarios y se aplican técnicas estadísticas y predictivas para evaluar el impacto de la intervención tecnológica.

Figura 1

Flujo Metodológico para la Integración, Procesamiento y Análisis de Datos en PowerBI.



Resultados

Los resultados obtenidos reflejan el avance del proyecto a través de sus fases, desde la caracterización inicial del manejo de datos en la planta que permitió identificar limitaciones en la captura y uso de la información, hasta el desarrollo y la validación del sistema propuesto.

Fase 1 Diagnóstico

Instrumento 1 Descarga y Recolección de Datos Históricos de Registros Operativos

Se identificó que se tienen 3 reportes con la siguiente frecuencia de envío:

Inventarios de Aceite y Calidad. Todos los días a las 6:00 a. m. se miden los inventarios de Aceite Crudo de Palma (CPO) y Aceite Crudo de Palmiste (CPKO) mediante la medición manual de niveles en cada tanque (cinta métrica calibrada) y la lectura de termómetros análogos, cuya medida se utiliza para determinar la densidad y convertir el volumen a kilogramos por tanque. Durante esta medición también se toma una muestra para analizar calidad, de manera que los usuarios principales (planta de biodiésel y área comercial) cuenten oportunamente con la información necesaria para realizar sus labores. La planta de biodiésel requiere estos datos para definir desde qué tanque extraer el aceite y conformar mezclas que cumplan con los requerimientos de acidez, humedad e impurezas; mientras que el área comercial utiliza la información del contenido y calidad del CPKO para programar ventas y, en el caso del CPO, para evaluar la necesidad de realizar compras cuando los inventarios son bajos. Los datos se registran inicialmente en un registro físico (Apéndice B) y posteriormente en el sistema de gestión, que calcula los totales en kg; sin embargo, por las limitaciones de consulta y usabilidad del software, se mantiene en paralelo un archivo de Excel donde se transcriben dichos cálculos. Con esta información se envía un primer correo a supervisores, jefes de planta extractora y biodiésel, área comercial y gerencias, y entre las 8:00 y 9:00 a. m. se remite un segundo correo

complementando los inventarios con los resultados de calidad (AGL, humedad, impurezas, fósforo, DOBI e índice de yodo). En la Figura 2 se observa la estructura de la información enviada actualmente por correo:

Figura 2

Reporte de Contenido y Calidad de CPO y CPKO Almacenado en Plantas

| CONTENIDO Y CALIDAD DE CPO Y CPKO YAGUARITO | | | | | | | | | | |
|---|-----------------------|---------------------------|----------------|------------------|------------------------|------------|----------------|--------------------|-----------------|-------------------------|
| Hora de medición | Tanques | Medida cinta métrica (mm) | Temperatura °C | Cantidad Kg | Medida transmisor (mm) | AGL <5,00% | Humedad <0,50% | Fosforo 20/07/2025 | Dobi 21/07/2025 | ind. de yodo 21/07/2025 |
| 5:29 | 1 | 5706 | 30 | 323.891 | 8.784 | 5,16 | 0,25 | 20,87 | 2,58 | 54,81 |
| 5:33 | 2 | 3243 | 40 | 182.073 | 3.219 | 4,09 | 0,16 | 21,06 | 2,87 | 55,45 |
| 5:36 | 4 | 3994 | 56 | 238.126 | 3.978 | RBD | RBD | RBD | RBD | RBD |
| 5:45 | 5 | 3632 | 40 | 428.147 | 3.620 | 4,01 | 0,48 | 36,56 | 2,43 | 59,17 |
| 5:40 | 6 | 7767 | 40 | 992.889 | 7.759 | 3,92 | 0,22 | 28,25 | 2,66 | 57,56 |
| 5:40 | 7 | 7905 | 50 | 738.307 | 7.930 | 3,88 | 1,23 | 24,04 | 2,05 | 58,90 |
| 5:43 | 903B | 280 | 20 | 64.525 | | Nivel | bajo | | | |
| | H | 2636 | 37 | 43.313 | | 2,67 | 0,11 | | | |
| | 10(CPKO) | 1202 | 36 | 68.155 | | 1,13 | 0,14 | | | |
| | Total. CPO: TK 1 al H | | | 2.773.145 | | | | | | |
| PLANTA MANAVIRE / Medición: 26/05/2025 | | | | | | | | | | |
| | Tanques | Medida (mm) | Temperatura °C | Cantidad, Kg | | AGL <5,00% | Humedad <0,50% | Fosforo 26/05/2025 | Dobi 26/05/2025 | ind. de yodo 26/05/2025 |
| | 1 (Glicerina) | Pendiente | Pendiente | Pendiente | | | | | | |
| | 2 | 8539 | 30 | 557.094 | | 4,51 | 0,24 | 25,70 | 2,58 | 55,79 |
| | 3(Glicerina) | 4015 | 30 | 123.349 | | | | | | |
| | 4 | 11138 | 30 | 738.253 | | 10,18 | 0,45 | 32,98 | 1,45 | 54,11 |
| | 5 | 12529 | 30 | 796.219 | | 4,71 | 0,18 | 24,65 | 2,56 | 56,89 |
| | Total. CPO almacenado | | | 2.091.566 | | | | | | |
| TOTAL, CPO (YAGUARITO) | | | | 4.864.711 | | | | | | |

Adicionalmente, se registra la hora exacta de medición de cada tanque, ya que al tratarse de un procedimiento manual y considerando que tanto la planta extractora como la planta de biodiésel operan de manera continua sin detener su producción, resulta fundamental conocer el intervalo de tiempo entre mediciones. Esta información permite estimar de forma más precisa el consumo aproximado de aceite durante cada periodo, facilitando la planificación operativa.

Análisis Rápidos. Son mediciones de control que se ejecutan cada dos horas en el laboratorio de calidad con el objetivo de ajustar la operación, mitigar pérdidas y asegurar la calidad del producto. La mayoría se realiza mediante centrífuga y abarcan la determinación del contenido de aceite en efluentes líquidos de varios puntos clave del proceso: condensados de

esterilización, licor de prensa de raquis, lodos a la salida de preclarificadores y clarificadores, licor de prensa a la entrada de clarificadores (relación de dilución) y recuperado de centrífugas. Conocer el contenido de aceite, agua y lodo en estas corrientes facilita el control de la operación, ya que ofrece un indicador oportuno de cómo se está operando y corresponde a etapas en las que todavía es posible realizar correcciones para mitigar pérdidas.

Adicionalmente, se mide la humedad y acidez del CPO por línea antes del almacenamiento, la humedad de la almendra previa a prensas de CPKO y la humedad y acidez del CPKO, con el fin de evitar que llegue aceite de mala calidad a los tanques de almacenamiento y, de ser necesario, ejecutar reprocesos en estos puntos. Los resultados se registran inicialmente en formato físico (Apéndice B), luego se transcriben a Excel y al cierre del día, se cargan al software de adquisición de información. Dado que estos datos requieren acción inmediata, cada dos horas se comparte por WhatsApp una fotografía del registro en Excel para facilitar el acceso a los supervisores de proceso, que se encuentran principalmente en campo y al final de la jornada, se envía por correo un consolidado diario a supervisores, jefe de producción de planta extractora y gerente de planta.

Figura 3

Captura de Pantalla de Excel de Análisis Rápidos Diarios

| #¿NOMBRE? | Parámetro | 7:00 | 9:00 | 11:00 | 13:00 | 15:00 | 17:00 | 19:00 | 21:00 | 23:00 | 1:00 | 3:00 | 4/09/2025 |
|--------------------------|----------------------|-----------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-----------|
| ANÁLISIS RÁPIDOS | | | | | | | | | | | | | |
| Condensados | %Aceite | Max. 3% | | T | T | | 0 | 0 | 0 | 0 | | | 0 |
| | %Lodo liviano | | | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | 1 | | | 0 |
| | %Agua | | | 98 | 99 | | 98 | 99 | 98 | 97 | | | 98 |
| | %Lodo pesado | | | 2 | 1 | | 2 | 1 | 2 | 2 | | | 2 |
| Preclarificación Línea 1 | %Aceite | Max. 17% | | | | | 28 | | | | | | 28 |
| | %Lodo liviano | | | | | | 3 | | | | | | 3 |
| | %Agua | | | | | | | | | | | | |
| | %Lodo pesado | | | | | | 20 | | | | | | 20 |
| Preclarificación Línea 2 | %Aceite | Max. 17% | | | | | 18 | | | | | | 18 |
| | %Lodo liviano | | | | | | 3 | | | | | | 3 |
| | %Agua | | | | | | | | | | | | |
| | %Lodo pesado | | | | | | 36 | | | | | | 36 |
| Separador 1 | %Aceite | Max. 15% | | 16 | | | 15 | 14 | 12 | 10 | | | 13 |
| | %Lodo liviano | | | 2 | | | 3 | 3 | 3 | 4 | | | 3 |
| | %Agua | | | | | | | | | | | | |
| | %Lodo pesado | | | 31 | | | 30 | 25 | 32 | 38 | | | 31 |
| Separador 2 | %Aceite | Max. 10% | | | 10 | | 13 | 15 | 10 | 10 | | | 12 |
| | %Lodo liviano | | | | 3 | | 3 | 3 | 3 | 3 | | | 3 |
| | %Agua | | | | | | | | | | | | |
| | %Lodo pesado | | | | 40 | | 26 | 35 | 36 | 41 | | | 36 |
| Recuperado centrífuga 1 | %Aceite | 30%-50% | | | | 34 | 30 | 33 | 34 | | | 33 | |
| Recuperado centrífuga 2 | %Aceite | 30%-50% | | 37 | | 40 | 33 | 36 | 35 | | | 36 | |
| Recuperado centrífuga 3 | %Aceite | 30%-50% | | 31 | | 32 | | 30 | 31 | | | 31 | |
| Recuperado centrífuga 4 | %Aceite | 30%-50% | | 52 | | | | 45 | | | | 49 | |
| Recuperado centrífuga 5 | %Aceite | 30%-50% | | | 46 | | 43 | | | | | 45 | |
| Recuperado centrífuga 6 | %Aceite | 30%-50% | | | | | | | | | | | |
| Recuperado centrífuga 7 | %Aceite | 30%-50% | | | 20 | | 30 | 27 | 30 | 25 | | | 26 |
| Recuperado centrífuga 8 | %Aceite | 30%-50% | | | 42 | | 40 | 45 | 48 | 38 | | | 43 |
| Recuperado centrífuga 9 | %Aceite | 30%-50% | | | | | | | | | | | |
| Recuperado centrífuga 10 | %Aceite | 30%-50% | | | | | | | | | | | |
| Florentinos | %Aceite | Max. 2% Trazas (< 1%) | | T | T | | T | T | T | T | | | |
| Dilución Línea 1 | Relación Aceite/Agua | 1,0 - 1,8 | | 1,95 | | | 0,92 | 0,71 | 1,16 | 2,00 | | | 1,35 |
| | %Aceite | 30% - 38% | | 37 | | | 35 | 30 | 36 | 40 | | | 36 |
| | %Agua | 22% - 30% | | 19 | | | 38 | 42 | 31 | 20 | | | 30 |
| | %Lodo liviano | Max. 4% | | 2 | | | 5 | 3 | 3 | 5 | | | 4 |
| | %Lodo pesado | % | | 42 | | | 22 | 25 | 30 | 35 | | | 31 |
| Dilución Línea 2 | Relación Aceite/Agua | 1,0 - 1,8 | | | 1,00 | | 0,61 | 1,17 | 1,10 | 1,30 | | | 1 |
| | %Aceite | 30% - 38% | | | 34 | | 25 | 35 | 34 | 35 | | | 33 |
| | %Agua | 22% - 30% | | | 34 | | 41 | 30 | 31 | 27 | | | 33 |
| | %Lodo liviano | Max. 4% | | | 2 | | 3 | 5 | 3 | 3 | | | 3 |
| | %Lodo pesado | Max. 36% | | | 30 | | 31 | 30 | 32 | 35 | | | 32 |
| CALIDAD CPO | | | | | | | | | | | | | |
| Acidez CPO | Línea #1 | <5,0% | | 2,41 | | | 2,31 | 2,28 | 2,29 | 2,24 | | | 2,31 |
| | Línea #2 | <5,0% | | | 2,71 | | 2,50 | 2,33 | 2,31 | 2,27 | | | 2,42 |
| Humedad CPO | Línea #1 | <0,2% | | 0,09 | | | 0,14 | 0,12 | 0,20 | 0,18 | | | 0,15 |
| | Línea #2 | <0,2% | | | 0,14 | | 0,29 | 0,18 | 0,12 | 0,14 | | | 0,17 |
| CALIDAD ALMENDRA | | | | | | | | | | | | | |
| Humedad Almendra | Línea #1 | 4,5% - 7,5% | | | | | | | 4,28 | | | | 4,28 |
| | Línea #2 | 4,5% - 7,5% | | | | | 2,46 | | | | | | 2,46 |
| CALIDAD CPKO | | | | | | | | | | | | | |
| Acidez CPKO | | <5,0% | | | | | | | 1,65 | | | | 1,65 |
| Humedad CPKO | | <0,5% | | | | | | | 0,16 | | | | 0,16 |
| LICOR PRENSA RAQUIS | %Aceite | Max. 3% | | 4 | | | 4 | | | | | | 4,00 |
| | %Lodo liviano | | | 2 | | | 3 | | | | | | 2,50 |
| | %Agua | | | | | | | | | | | | |
| | %Lodo pesado | | | 27 | | | 25 | | | | | | 26,00 |

Pérdidas. Corresponden a las mediciones de CPO, CPKO y almendra perdidos en puntos clave del proceso, incluidos los subproductos finales (raquis, fibra, nuez y efluentes). Estas pérdidas se registran inicialmente en formato físico (Apéndice B) y posteriormente se transcriben al software de adquisición de información para el cálculo de indicadores, luego se copian a Excel para su distribución. A partir de esta información se generan dos reportes: (i) Pérdidas totales, que resumen la cantidad de aceite realmente perdida en los subproductos y se envían por WhatsApp a supervisores, jefes de producción y gerencia al cierre de cada turno; y (ii) Pérdidas

por equipo, línea y turno (internas y finales), que se consolidan una vez al día y se remiten por correo institucional alrededor de las 9:00 a. m.

Este procedimiento se realiza así debido a que, por la naturaleza de los análisis, la preparación de la muestra y la determinación del contenido de aceite requieren tiempo y se cuenta con recursos limitados para realizar las mediciones. Por ello, se da prioridad a las pérdidas totales, ya que representan el valor final que efectivamente se pierde en el proceso y constituyen un insumo clave para el informe de producción. Las pérdidas complementarias permiten profundizar en la causa de dichas pérdidas; por ejemplo, la pérdida en fibras ciclónicas es una pérdida final que cuantifica el aceite que se pierde impregnado en la fibra hacia la caldera, pero antes de unificarse en el ciclón se pueden medir las pérdidas por cada prensa individual. Estas últimas permiten identificar desviaciones operativas o necesidades de mantenimiento para evitar que la pérdida final aumente. En la figura 3 puede evidenciarse el reporte de pérdidas finales.

Figura 4

Pérdidas Finales de CPO, CPKO y Almendra por Turno

| Pérdidas %hh CPO, RMN | | | |
|-----------------------|---------|-----------|---------------|
| Corriente | Turno | Parámetro | Dato Análisis |
| Raquis | Semana | 2,8 | 3,20 |
| Banda de raquis | Turno A | 1,5 | 1,19 |
| | Turno B | 1,5 | 2,45 |
| | Turno C | 1,5 | |
| Raquis | Turno A | 1,5 | |
| | Turno B | 1,5 | |
| | Turno C | 1,5 | |
| Raquis | Turno A | 1,5 | |
| | Turno B | 1,5 | |
| | Turno C | 1,5 | |
| | Turno C | 1,5 | |
| Fibras | Turno A | 4,0 | |
| | Turno B | 4,0 | 4,89 |
| | Turno C | 4,0 | No hubo |
| | Turno C | 4,0 | |
| Fibras | Turno A | 4,0 | |
| | Turno B | 4,0 | 5,66 |
| | Turno C | 4,0 | No hubo |
| | Turno C | 4,0 | |
| Nuez | Semana | 0,40 | 0,58 |
| Efluentes | Turno A | 0,5 | |
| | Turno B | 0,5 | 0,76 |
| | Turno C | 0,5 | 0,79 |

| Pérdidas % Almendra | | | |
|---------------------|---------|-----------|---------------|
| Corriente | Turno | Parámetro | Dato análisis |
| Fibra ciclónica L1 | Turno A | 2,2 | |
| | Turno B | 2,2 | 1,77 |
| | Turno C | 2,2 | NO hubo |
| Fibra ciclónica L2 | Turno A | 2,2 | |
| | Turno B | 2,2 | 2,03 |
| | Turno C | 2,2 | NO hubo |
| Polvos L1 | Turno A | 1,5 | |
| | Turno B | 1,5 | 0,23 |
| | Turno C | 1,5 | 0,16 |
| Polvos L2 | Turno A | 1,5 | |
| | Turno B | 1,5 | 0,10 |
| | Turno C | 1,5 | 0,16 |
| Hidrociclón L1 | Turno A | 2,3 | |
| | Turno B | 2,3 | 1,07 |
| | Turno C | 2,3 | 0,91 |
| Hidrociclón L2 | Turno A | 2,3 | |
| | Turno B | 2,3 | 1,26 |
| | Turno C | 2,3 | 0,85 |

| Datos Trituración y palmistería | | | |
|--|-----|-----|---------|
| Corriente | Min | Max | |
| Contenido de aceite en torta, | 6,0 | 9,0 | 11,26 |
| Humedad de torta de palmiste, | 1,0 | 7,0 | 3,10 |
| Contenido de aceite en torta, Empaque turno 1 | 4,5 | 9,0 | 10,46 |
| Contenido de aceite en torta, Empaque turno 2 | 4,5 | 9,0 | No hubo |
| Contenido de aceite en torta, Promedio empaque | 4,5 | 9,0 | 10,46 |
| Humedad de almendra | 7,0 | | 3,09 |
| Impurezas de almendra, Línea 1 | 0,0 | 7,0 | 7,83 |
| Impurezas de almendra, Línea 2 | 0,0 | 7,0 | 10,92 |
| Impurezas de almendra, promedio día | 0,0 | 7,0 | 9,38 |

Nota. Captura de pantalla enviada por WhatsApp. El reporte se genera por turno de proceso e incluye formatos condicionales para identificar rápidamente valores fuera de parámetro. La información corresponde a un único día de operación.

En la figura 4 se muestra un fragmento del informe consolidado mensual, en el cual cada columna representa la información correspondiente a un día diferente del mes, permitiendo visualizar la evolución de las pérdidas finales a lo largo del periodo analizado.

Figura 5

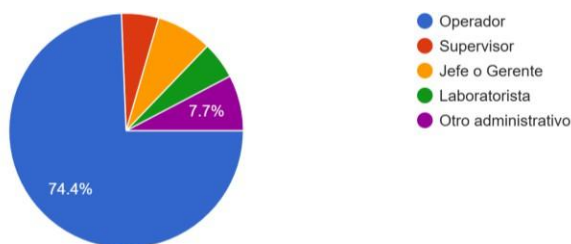
Consolidado de Pérdidas Mensuales Enviados por Correo

| PERDIDAS ACEITE DE PALMA ACUMULADO DÍA | | PARÁMETRO | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|----------|-----------|-------|-------|-------|---|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| RAQUIS | %BH | 2,8 | 4,48 | 3,11 | 3,11 | | 3,11 | 3,11 | 3,11 | 3,11 | 4,68 | 4,68 |
| | %BS | | 10,57 | 7,67 | 7,67 | | 7,67 | 7,67 | 7,67 | 7,67 | 10,26 | 10,26 |
| | %Ac/SSNA | 8,0 | 12,45 | 8,61 | 8,61 | | 8,61 | 8,61 | 8,61 | 8,61 | 12,03 | 12,03 |
| | %SSNA | | 36,00 | 36,18 | 36,18 | | 36,18 | 36,18 | 36,18 | 36,18 | 38,95 | 38,95 |
| | %Humedad | | 57,60 | 59,37 | 59,37 | | 59,37 | 59,37 | 59,37 | 59,37 | 54,36 | 54,36 |
| PRENSA RAQUIS 1 | %BH | 1,5 | 1,48 | 1,58 | 1,49 | | 1,49 | 1,44 | 1,63 | 1,34 | 1,53 | 1,44 |
| | %BS | | 2,52 | 2,56 | 2,37 | | 2,45 | 2,31 | 2,68 | 2,16 | 2,46 | 2,29 |
| | %Ac/SSNA | 3,0 | 2,59 | 2,63 | 2,43 | | 2,52 | 2,3636 | 2,76 | 2,21 | 2,52 | 2,35 |
| | %SSNA | | 57,41 | 59,92 | 61,27 | | 59,27 | 60,70 | 59,25 | 60,83 | 60,79 | 61,07 |
| | %Humedad | | 41,10 | 38,50 | 37,25 | | 39,24 | 37,86 | 39,12 | 37,83 | 37,68 | 37,49 |
| PRENSA RAQUIS 2 | %BH | 1,5 | | | | | | | | | | |
| | %BS | | | | | | | | | | | |
| | %Ac/SSNA | 3,0 | | | | | | | | | | |
| | %SSNA | | | | | | | | | | | |
| | %Humedad | | | | | | | | | | | |
| PRENSA RAQUIS 3 | %BH | 1,5 | | | | | | | | | | |
| | %BS | | | | | | | | | | | |
| | %Ac/SSNA | 3,0 | | | | | | | | | | |
| | %SSNA | | | | | | | | | | | |
| | %Humedad | | | | | | | | | | | |
| PRENSA 1 | %BH | 3,5 | | 4,35 | 4,77 | | 4,15 | | 5,13 | 4,48 | 5,96 | 4,67 |
| | %BS | | | 6,65 | 6,78 | | 6,33 | | 7,69 | 6,89 | 9,11 | 7,44 |
| | %Ac/SSNA | 7,0 | | 7,13 | 7,27 | | 6,76 | | 8,34 | 7,40 | 10,03 | 8,06 |
| | %SSNA | | | 61,03 | 65,65 | | 61,39 | | 61,68 | 60,62 | 59,37 | 58,58 |
| | %Humedad | | | | | | | | | | | |
| PRENSA 2 | %BH | 3,5 | 4,30 | 4,50 | | | | | 4,88 | 4,82 | 5,29 | 4,84 |
| | %BS | | 6,79 | 6,57 | | | | | 7,22 | 7,13 | 8,20 | 7,30 |
| | %Ac/SSNA | 7,0 | 7,28 | 7,03 | | | | | 7,78 | 7,68 | 8,94 | 7,87 |
| | %SSNA | | 59,02 | 64,06 | | | | | 62,74 | 62,78 | 59,39 | 61,47 |
| | %Humedad | | | | | | | | | | | |

Nota: El reporte expresa las pérdidas de CPO en distintas bases de cálculo: %BH (Base Húmeda), porcentaje de aceite respecto a la muestra tal como se recibe; %BS (Base Seca), porcentaje de aceite en una base libre de agua; y %Ac/SSNA, porcentaje de aceite respecto al Sólido Seco No Aceitoso, es decir, la fracción sólida exenta de agua y aceite.

Instrumento 2: Encuesta a operarios y personal administrativo de la planta.

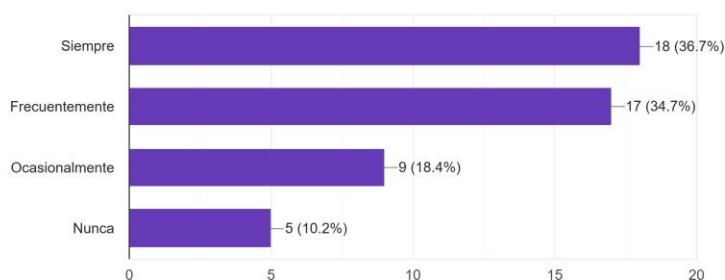
En cuanto a la caracterización del personal encuestado el 79,5% fue personal operativo, distribuido entre operarios de planta (74,4%) y laboratoristas (5,1%). El restante fue personal administrativo, distribuido entre 5,1% de supervisores, 7,7% Jefes o Gerentes y 7,7% otro administrativo, que pueden ser Ingenieros de otras áreas que requieren como insumo información generada por planta extractora y laboratorios.

Figura 6*Caracterización del Personal Encuestado*

Se evaluaron dos variables críticas: Frecuencia con la que enfrentan dificultades para obtener información clave sobre el proceso y Percepción sobre si el nuevo sistema facilitará la toma de decisiones

Figura 7*Frecuencia con la que Enfrentan Dificultad para Obtener Información Clave sobre el Proceso*

¿Con qué frecuencia enfrenta dificultades para obtener información clave sobre el proceso?
49 respuestas



El 71,4% del personal tiene frecuentemente dificultades para obtener información clave sobre el proceso, mientras que solo el 10,2% manifiesta nunca haber tenido esta dificultad.

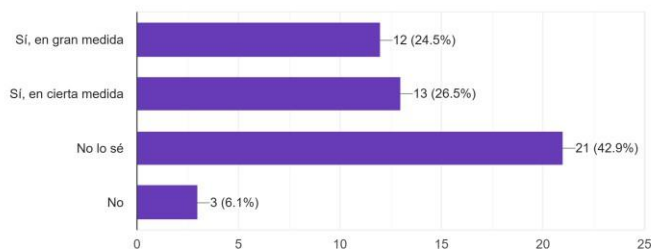
La mayor parte de los encuestados (42,9%) no conoce si el nuevo sistema de análisis de datos a implementar facilitará la toma de decisiones en la planta. Es interesante el resultado porque muestra desinformación sobre el nuevo sistema, probablemente a nivel operativo, ya que constituye la mayor parte de la muestra. También hay un pequeño porcentaje que considera que no servirá, lo cual puede deberse a que anteriormente ya se ha intentado implementar algunos

sistemas de análisis de datos que finalmente no han aportado a la mejora en toma de decisiones, creando incredulidad en los usuarios.

Figura 8

Expectativa de Utilidad del Nuevo Sistema de Análisis de Datos

¿Considera que el nuevo sistema de análisis de datos facilitará la toma de decisiones en la planta?
49 respuestas



Para realizar la comparación de percepción entre grupos, se evaluaron las variables “Dificultad para obtener información” y “Facilita la toma de decisiones” mediante una escala tipo Likert de cinco puntos, donde cada valor numérico representa un nivel de frecuencia o grado de acuerdo percibido por los encuestados:

Tabla 1

Interpretación de las Escalas

| Valor | Categoría | Interpretación general |
|-------|-----------------------------------|--|
| 1 | Nunca/No | No ocurre o no se presenta |
| 2 | Ocasionalmente | Se presenta en forma esporádica |
| 3 | Frecuente/ Sí, en cierta medida | Se presenta de manera gradual o parcial |
| 4 | Muy Frecuente/ Sí, en gran medida | Ocurre con alta frecuencia o con gran influencia |
| 5 | Siempre/ Totalmente de acuerdo | Es una situación constante o completamente aplicable |

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Supervisores y administrativos tienen una percepción mucho más crítica respecto a la disponibilidad de información (media de 3.8), indicando que casi siempre enfrentan dificultades. Al mismo tiempo, este grupo tiene una visión más optimista sobre el nuevo sistema, confiando en que sí mejorará la toma de decisiones (media de 3.6).

Tabla 2*Comparación entre Grupos Operativos y Administrativos*

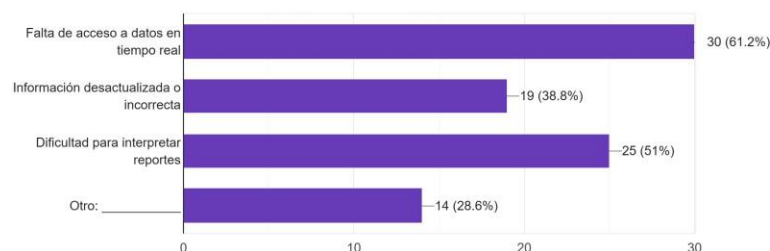
| Grupo | Dificultad para obtener información (media) | Facilita la toma de decisiones (media) |
|------------------------------|---|--|
| Operarios/Laboratoristas | 2.77 (entre "Ocasionalmente" y "Frecuente") | 2.46 (entre "No lo sé" y "Sí, en cierta medida") |
| Supervisores/Administrativos | 3.80 (cercano a "Siempre") | 3.60 (entre "Sí, en cierta medida" y "Sí, en gran medida") |

Por último, se mapean las principales dificultades del control de procesos:

Figura 9*Principales Dificultades del Control de Procesos*

¿Cuáles son las principales dificultades que enfrenta en el control de procesos? (marque todas las que correspondan)

49 respuestas



Esto muestra que la principal razón es la falta de acceso a datos en tiempo real, seguido por la dificultad para interpretar reportes y por último información desactualizada o incorrecta. Por tanto, esto muestra que el enfoque del aplicativo para agilizar la comunicación de resultados es correcto, pero se debe considerar que el reporte debe ser sencillo de interpretar y muy práctico y resumido. Se realiza un análisis ANOVA entre los grupos:

Tabla 3*ANOVA entre Grupos Operativos y Administrativos*

| Variable Evaluada | Valor-p ANOVA | Interpretación |
|--|---------------|---|
| Dificultad para obtener información | 0.002 | Diferencias significativas entre los grupos |
| Percepción de utilidad del nuevo sistema | 0.0002 | Diferencias altamente significativas entre los grupos |

Ambos valores-p están muy por debajo de 0.05, lo que confirma que las diferencias en la percepción entre operarios y administrativos son reales y significativas, y no producto del azar.

Instrumento 3 Entrevistas a expertos

Se entrevistaron 3 expertos en procesos de extracción de aceite de palma: Jefe de planta extractora (15 años de experiencia), Gerente de Plantas (24 años de experiencia) y Especialista en Control Técnico de Fábrica (10 años de experiencia). Se registraron las respuestas en un formulario, permitiendo realizar análisis. A continuación, se presenta un gráfico de nube de palabras para cada pregunta:

Indicadores de Eficiencia. Se preguntó a los expertos encuestados sobre los principales Indicadores de Eficiencia, con el fin de identificar qué métricas son las más utilizadas en el sector de la palma para medir qué tan eficiente se está llevando a cabo el proceso, evidenciando un consenso entre ellos.

Figura 10

Nube de Palabras de Entrevista a Expertos sobre Indicadores de Eficiencia



En cuanto a indicadores de Eficiencia del Proceso, se resaltan métricas como Tasa de extracción, pérdidas de aceite, OEEE, eficiencia y disponibilidad.

Problemas en la Recolección y Análisis de Datos y Beneficios Esperados. Con el

fin de confirmar la pertinencia de la información encontrada durante el diagnóstico, se preguntó sobre los principales problemas en la recolección y análisis de datos y cuál es la expectativa con la implementación de la solución propuesta.

Figura 11

Nube de Palabras sobre Problemas en la Recolección y Análisis de Datos



Para problemas en la Recolección y Análisis de Datos, se identifican la recolección manual, reporte tardío, reprocesos, carga administrativa y supervisores.

Figura 12

Nube de Palabras de Entrevista a Expertos sobre Beneficios Esperados con la Automatización



Y, en cuanto a los beneficios esperados, enfatizan en optimización, toma de decisiones, herramientas digitales, supervisores en piso y reducción de tiempo en oficina.

Para complementar el diagnóstico y sacar el máximo provecho a las entrevistas a expertos, en la Tabla 4 se muestra un análisis DOFA donde se evidencia que la planta extractora

de aceite de palma cuenta con un conocimiento sólido sobre los principales indicadores de eficiencia, incluyendo la tasa de extracción de aceite, las pérdidas en el proceso y la disponibilidad de equipos. Además, el personal supervisor posee experiencia operativa y tiene claridad sobre la importancia del control de procesos. Sin embargo, se identificaron debilidades significativas en la recolección y análisis de datos, ya que la información aún se maneja manualmente y los sistemas SCADA solo pueden ser visualizados desde un punto fijo, lo que limita la toma de decisiones en tiempo real. También se observó una sobrecarga administrativa en los supervisores, quienes deben dedicar gran parte de su tiempo a la elaboración de informes y gráficos en lugar de enfocarse en la optimización del proceso. Estas deficiencias representan una oportunidad para la automatización y digitalización de los sistemas, aprovechando tecnologías disponibles como Power BI y SCADA, lo que permitiría optimizar los procesos y mejorar la toma de decisiones estratégicas. Sin embargo, la implementación de estas mejoras podría enfrentar resistencia al cambio por parte del personal y limitaciones presupuestarias que dificulten la escalabilidad del proyecto. Para mitigar estos riesgos, se recomienda un plan de adopción progresivo que incluya capacitación del equipo, integración de sistemas y una estrategia de monitoreo continuo para garantizar la efectividad de la solución propuesta.

Tabla 4*Matriz DOFA del Diagnóstico de Flujo de Información*

| FORTALEZAS (Internas) | OPORTUNIDADES (Externas) |
|--|---|
| Conocimiento claro de indicadores clave del proceso (TEA, OEEE, pérdidas). | Tendencias globales hacia la transformación digital y la automatización industrial. |
| Supervisores con experiencia operativa y conciencia de sus responsabilidades. | Tecnología disponible (Power BI, SCADA, sistemas en la nube). |
| Capacidad de identificar fallas y puntos críticos en los procesos. | Posibilidad de optimizar procesos, reducir desperdicios y aumentar competitividad. |
| Reconocimiento del impacto de las pérdidas y de la disponibilidad de equipos. | Mejora en la toma de decisiones estratégicas mediante el análisis de datos. |
| Interés del equipo en liberar tiempo operativo para tareas de análisis y control. | Posibilidad de escalar el modelo a otras áreas o plantas del grupo industrial. |
| DEBILIDADES (Internas) | AMENAZAS (Externas) |
| Recolección de datos manual y descentralizada (SCADA solo visible en un punto físico). | Possible resistencia al cambio por parte del personal. |
| Demora en la entrega de datos del laboratorio. | Interrupciones operativas por implementación de nuevos sistemas. |
| Falta de integración entre sistemas de operación, calidad y gestión. | Limitaciones presupuestarias para escalar soluciones tecnológicas a toda la planta. |
| Supervisores sobrecargados con tareas administrativas y generación de informes. | Brechas de capacitación digital en algunos perfiles clave. |
| Dependencia del análisis visual/manual para tomar decisiones críticas. | |

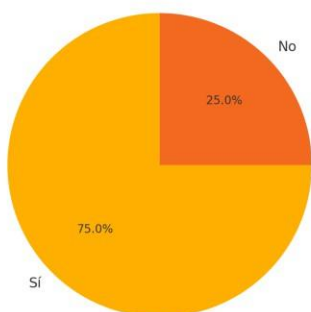
Instrumento 4: Observación directa de procesos operativos.

Se realizó observación de los diferentes procesos operativos, y se registró en un formulario de Google (Apéndice A). A continuación, se muestran los resultados más relevantes del proceso diagnóstico:

Figura 13

Participación de Registros Manuales Frente a Sistematizados

¿Se registran los datos de manera manual?

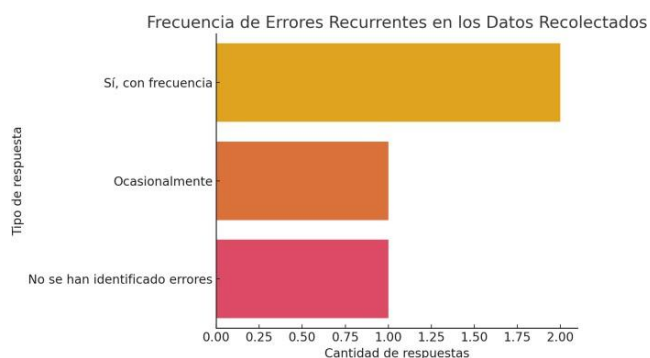


En cuando a la forma de registrar resultados, el gráfico de torta muestra que el 75% de los encuestados aún realiza la recolección de datos de manera manual, lo cual evidencia una fuerte dependencia de sistemas no automatizados. Esto representa un factor crítico que limita la eficiencia operativa, incrementa el riesgo de errores y dificulta el análisis en tiempo real.

Es interesante también, que la mayoría de los encuestados reportan errores recurrentes en los datos recolectados, siendo el 50% quienes indican que ocurren "con frecuencia", y otro 25% los detecta "ocasionalmente". Esto confirma la necesidad urgente de mejorar la calidad del registro de datos a través de herramientas automatizadas e integradas.

Figura 14

Frecuencia de Errores Recurrentes en los Datos Recolectados



El análisis evidencia que todos los encuestados afirman experimentar demoras en la toma de decisiones debido a información desactualizada, y el 100% califican esta situación como ocurrencia frecuente. Este hallazgo refuerza la urgencia de implementar sistemas de visualización de datos en tiempo real, que reduzcan la latencia informativa y mejoren la eficiencia operativa.

Fase 2 Desarrollo e Implementación del Sistema

Arquitectura del Sistema

Se estableció la conexión de Power BI (PBI) con la base de datos Oracle, en la cual se almacena la información digitada en el Software de Adquisición de Datos de la compañía. Esta conexión constituye el eje central de la arquitectura, ya que permite acceder directamente a los registros históricos y actuales del proceso, garantizando integridad y trazabilidad en el flujo de información. Dentro de esta base de datos se identificaron dos vistas de interés para el desarrollo del sistema:

- **VW_SIGIND_VARIABLES:** Corresponde a una vista que contiene todas las variables registradas de forma horaria en el sistema. Incluye datos primarios del proceso, como por ejemplo el contenido de humedad del aceite registrado a las 2:00 p.m. Este conjunto de variables es fundamental para el análisis de comportamiento en tiempo real y la identificación de tendencias operativas.
- **VW_SIGIND_VARIABLES_ACUMULADAS:** Agrupa variables calculadas a nivel diario o derivadas de operaciones matemáticas realizadas en el software de adquisición. Un ejemplo de este tipo de variables es la pérdida de aceite en fibras ciclónicas por tonelada de racimos de fruto fresco procesados, obtenida mediante

promedio ponderado del contenido de aceite en fibras teniendo en cuenta el fruto procesado en cada línea:

$$\frac{\%CPO \text{ fibras}}{RFF} = \frac{\text{Perdida fibra ciclónica L1} * RFF \text{ procesado L1}}{RFF \text{ procesado total}} + \frac{\text{Perdida fibra ciclónica L2} * RFF \text{ procesado L2}}{RFF \text{ procesado total}}$$

Para los informes de Análisis Rápidos e Inventarios, las variables se registran de forma horaria, ya que representan una “fotografía” de un momento específico del proceso. Esta información es fundamental para la toma de decisiones inmediatas de control, o en el caso de los inventarios, para establecer cortes precisos que permitan medir la producción en un instante determinado. Por otro lado, en el informe de Pérdidas, las variables digitadas corresponden a valores diarios acumulados, pues reflejan la “historia” de lo ocurrido durante toda la jornada. Estos datos muestran la cantidad total de aceite perdido en el proceso y cumplen un rol más cercano a un análisis retrospectivo, al permitir identificar patrones de ineficiencia y orientar decisiones enfocadas en la mejora continua a partir de lo que ya sucedió.

La identificación única de cada variable está dada por el campo VARIA, el cual constituye la llave primaria que permite establecer relaciones entre las consultas y garantizar la consistencia en la integración de datos. Esta llave se convierte en el punto de enlace principal dentro del modelo de datos en Power BI, facilitando la creación de relaciones entre tablas y habilitando la construcción de dashboards con indicadores dinámicos y comparables.

Las vistas VW_SIGIND_VARIABLES y VW_SIGIND_VARIABLES_ACUMULADAS contienen información diversa (laboratorio, producción, calidad, mantenimiento, entre otras). Sin embargo, por políticas de la compañía no es posible generar vistas personalizadas en la base de datos para cada usuario. Por ello, cada

usuario debe realizar sus propios filtros a partir de las vistas globales, definiendo las variables de interés según sus necesidades.

Creación de consultas con llaves VARIA: Para filtrar únicamente la información necesaria, se utilizó la herramienta “Especificar datos” en Power Query. Allí se construyeron consultas con el listado de las llaves VARIA correspondientes a cada informe, asignando un nombre personalizado que facilitara la identificación de la variable y su contexto (tipo de producto o corriente, tipo de análisis (calidad, pérdidas, inventarios) y en algunos casos el punto de muestreo).

Estas consultas se denominaron TAG y funcionaron como catálogos de referencia:

- TAG_AnálisisRápidos.
- TAG_Pérdidas.
- TAG_Inventarios.

Relación de datos mediante inner-join: Cada consulta TAG se vinculó con la tabla base (VW_SIGIND_VARIABLES o VW_SIGIND_VARIABLES_ACUMULADAS) y se creó una nueva consulta a través de un inner join en Query, utilizando VARIA como clave primaria. De esta forma se logró filtrar el universo de datos y obtener únicamente la información requerida para los reportes. El resultado fue la construcción de una tabla central para cada informe, que concentra las variables críticas y constituye el núcleo del modelo de análisis en Power BI.

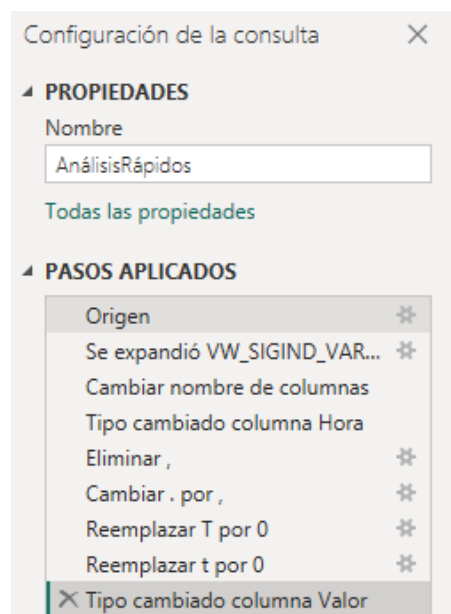
Consultas auxiliares para visualización: Además de la tabla central, se generaron consultas auxiliares que fortalecen la visualización y el análisis. Por ejemplo, para el dashboard de Análisis Rápidos se crearon las siguientes consultas auxiliares:

- **Parámetros_AnálisisRápidos:** Parámetros máximos y mínimos de cada variable, utilizados para la verificación de cumplimiento y la aplicación de formatos condicionales. Llave: VARIA.
- **OrdenProducto:** Orden de visualización de productos, lo que permite comparar de manera organizada las distintas corrientes del proceso, agrupando primeros los de CPO, seguidos de Almendra, CPKO y Torta de Palmiste. Llave: Producto.
- **OrdenAnálisis:** Orden de visualización de los análisis, que garantiza una disposición coherente en los dashboards según el flujo del proceso, por ejemplo, primero los análisis correspondientes a la esterilización, seguidos de desfrutamiento, prensado, etc. Llave: Nombre de la variable.
- **DimHora:** Esta tabla permite organizar la presentación de las columnas de reporte de los análisis rápidos, ajustando la información al ciclo operativo real de la planta. A diferencia del calendario convencional que inicia y termina a la medianoche, en la operación extractora el día de proceso comienza a las 6:00 a.m. y finaliza a las 5:59 a.m. del día siguiente, en concordancia con la estructura de los turnos de trabajo. De esta manera, DimHora asegura que los reportes reflejen de forma coherente la lógica operativa del proceso, evitando desajustes en la interpretación de la información. Llave: HoraKey.

Este esquema, el cual se ilustra en la figura 5, permite que la información proveniente de diferentes vistas de la base de datos sea depurada, organizada y enriquecida dentro de Power BI, transformando un conjunto de datos masivo y general en un modelo específico, escalable y listo para análisis visual.

Figura 16

Pasos aplicados para el proceso de ETL en la consulta AnálisisRápidos



Nota: La captura muestra las transformaciones realizadas en Power Query para depurar, estandarizar y preparar los datos de laboratorio y operación, garantizando su calidad y disponibilidad para análisis numéricos posteriores.

Las principales etapas del proceso fueron las siguientes:

Expansión de la Tabla Base. Se incorporaron los campos de Fecha, Planta, Hora, Valor, Descripción, Año, Mes y Día, garantizando la disponibilidad de atributos temporales y contextuales para los análisis posteriores.

Normalización de Nombres de Columnas. se tradujeron al español los encabezados originalmente definidos en otro idioma, con el fin de mejorar la comprensión, facilitar el uso por parte de los usuarios y asegurar consistencia terminológica en los reportes.

Corrección de Formatos de Datos. Se ajustó el tipo de dato de la columna Hora, que inicialmente se encontraba como texto, convirtiéndola a un formato horario válido.

Depuración de Separadores Numéricos. Se eliminaron los caracteres “,” empleados como separadores de miles y se sustituyeron los puntos “.” por comas “,” como separadores decimales, atendiendo a la convención numérica utilizada en la planta.

Tratamiento de Valores Atípicos de Entrada. Se reemplazaron los registros con las letras “T” y “t”, utilizadas por los operarios para indicar *trazas* o cantidades mínimas de producto, asignándoles un valor numérico de 0 con el fin de uniformar la base de datos y evitar inconsistencias en los cálculos.

Conversión de Tipos de Datos. La columna Valor, que originalmente estaba en formato texto, fue transformada a formato numérico para permitir la aplicación de operaciones estadísticas y analíticas posteriores.

En conjunto, este flujo ETL permitió adecuar y estandarizar la información proveniente de múltiples fuentes, asegurando su calidad, coherencia y pertinencia para el desarrollo de análisis avanzados, particularmente sobre la variable Valor, que constituye el insumo principal para el cálculo de indicadores de proceso, pérdidas e inventarios.

Medidas y Tablas Creadas en DAX:

Con el fin de facilitar la visualización de variables en Dashboard, se utilizaron algunas medidas y tablas auxiliares creadas con DAX:

Tabla Para Visualización 6:00am a 5:59am. Para alinear los análisis rápidos con el ciclo operativo real (de 6:00 a. m. a 5:59 a. m. del día siguiente), se construyó la tabla calculada DimHora. Esta tabla permite ordenar, etiquetar y vincular los datos por hora de forma coherente con los turnos, como se observa en la figura 17:

Figura 17

Tabla para Orden de Columnas Horarias

```

1 DimHora =
2 VAR Base =
3     GENERATESERIES ( 0, 23, 1 )  -- 0 a 23 horas
4 RETURN
5 ADDCOLUMNS (
6     Base,
7     "MinDesdeMedianoche", [Value] * 60,
8     "Orden", MOD ( [Value] * 60 - 420 + 1440, 1440 ),  -- día arranca a las 7:00 (420 min)
9     "Hora", TIME ( [Value], 0, 0 ),
10    "HoraKey", [Value] * 60,
11    "HoraEtiqueta",
12        VAR hh = [Value]
13        VAR ampm = IF ( hh >= 12, "p. m.", "a. m." )
14        VAR h12 = SWITCH ( TRUE(), hh = 0, 12, hh > 12, hh - 12, hh )
15        RETURN FORMAT ( h12, "0" ) & ":00 " & ampm
16 )
17

```

De acuerdo con esta figura, se tienen las siguientes columnas:

MinDesdeMedianoche = [Value] * 60: convierte la hora a minutos desde medianoche.

Útil para llaves y ordenamientos numéricos estables.

Orden = MOD([Value] * 60 – 420 + 1440, 1440): crea un índice de ordenamiento rotado para que el día empiece a las 6:00 a. m. y termine a las 5:59 a. m. (ver Nota de ajuste abajo). Este campo es el que permite que los ejes y segmentadores respeten el calendario operativo.

Hora = TIME([Value],0,0): devuelve la hora en tipo time (soporta medidas temporales, formatos y cálculos con DAX).

HoraKey = [Value] * 60: clave numérica simple (minutos) que facilita relaciones y búsquedas.

HoraEtiqueta: construye una etiqueta legible en formato 12 horas (“6:00 a. m.”, “2:00 p. m.”, etc.) pensada para ejes y segmentadores.

Medida para Cumplimiento de Especificaciones. La medida %Cumplimiento_AR calcula el porcentaje de datos que cumplen con los límites de especificación (mínimos y máximos) definidos para cada variable de análisis rápido.

Se construye a partir de la relación entre el número de datos que están dentro de límites de especificación (Cumplimiento_datos) y el número total de datos evaluados (Cantidad_Datos). De esta manera, el indicador expresa el grado de conformidad del proceso respecto a los parámetros de calidad establecidos, permitiendo identificar desviaciones y priorizar acciones correctivas en tiempo real.

Cumplimiento_datos. asigna un valor de 1 si la observación se encuentra dentro de los límites y 0 en caso contrario.

Figura 18

Medida para Calcular el Cumplimiento de Datos a partir del Parámetro Máximo

```
1 Cumplimiento_datos = IF(ISBLANK('AnálisisRápidos'[Valor]),0,IF(ISBLANK('AnálisisRápidos'[Parámetro_mínimo]),IF(ISBLANK('AnálisisRápidos'[Parámetro_Máximo]),0,IF('AnálisisRápidos'[Valor] <='AnálisisRápidos'[Parámetro_Máximo],1,0)),IF(ISBLANK('AnálisisRápidos'[Parámetro_Máximo]),IF('AnálisisRápidos'[Valor]>='AnálisisRápidos'[Parámetro_mínimo],1,0),IF(AND('AnálisisRápidos'[Valor] <='AnálisisRápidos'[Parámetro_Máximo], 'AnálisisRápidos'[Valor]>='AnálisisRápidos'[Parámetro_mínimo]),1,0))))
```

Esta medida aplica una validación secuencial:

1. Si el valor está vacío (*blank*), se asume incumplimiento (0).
2. Si solo existe un límite (mínimo o máximo), se verifica respecto a este.
3. Si existen ambos límites, se evalúa que el dato se encuentre dentro del intervalo definido.

Este enfoque asegura una clasificación binaria clara de cada observación, independientemente de la disponibilidad de parámetros, y evita sesgos en el cálculo del cumplimiento total.

Medida para Indicadores de Capacidad del Proceso (Cp y Cpk). Además del cumplimiento, se calcularon métricas clásicas de capacidad del proceso, ampliamente utilizadas en control estadístico de calidad:

Cp (Índice de capacidad del proceso). Mide la dispersión de los datos en relación con el rango de especificaciones. Se calcula como:

$$Cp = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

donde *USL* y *LSL* son los límites superior e inferior de especificación, y σ es la desviación estándar de los datos. Un valor alto de *Cp* indica que la variabilidad del proceso es pequeña respecto al rango permitido.

Cpk (Índice de desempeño del proceso). Considera, además de la variabilidad, el centrado del proceso respecto a los límites. Se obtiene como el máximo entre *Cpi* (proximidad al límite inferior) y *Cpkk* (proximidad al límite superior). Un *Cpk* bajo indica que, aunque la variabilidad sea reducida, el proceso está desalineado con las especificaciones.

Estos indicadores complementan el % de cumplimiento, ya que no solo informan cuántos datos cumplen, sino también qué tan capaz y estable es el proceso para mantenerse dentro de los límites de forma consistente.

Desarrollo de Dashboard Centralizado en Power BI, con Actualización Automática.

Para integrar la información procesada y facilitar su análisis en tiempo real, se desarrolló un dashboard centralizado en Microsoft Power BI, con capacidad de actualización automática. Este entorno visual consolida los diferentes reportes generados por el laboratorio de extractora y permite un seguimiento operativo más ágil y eficiente.

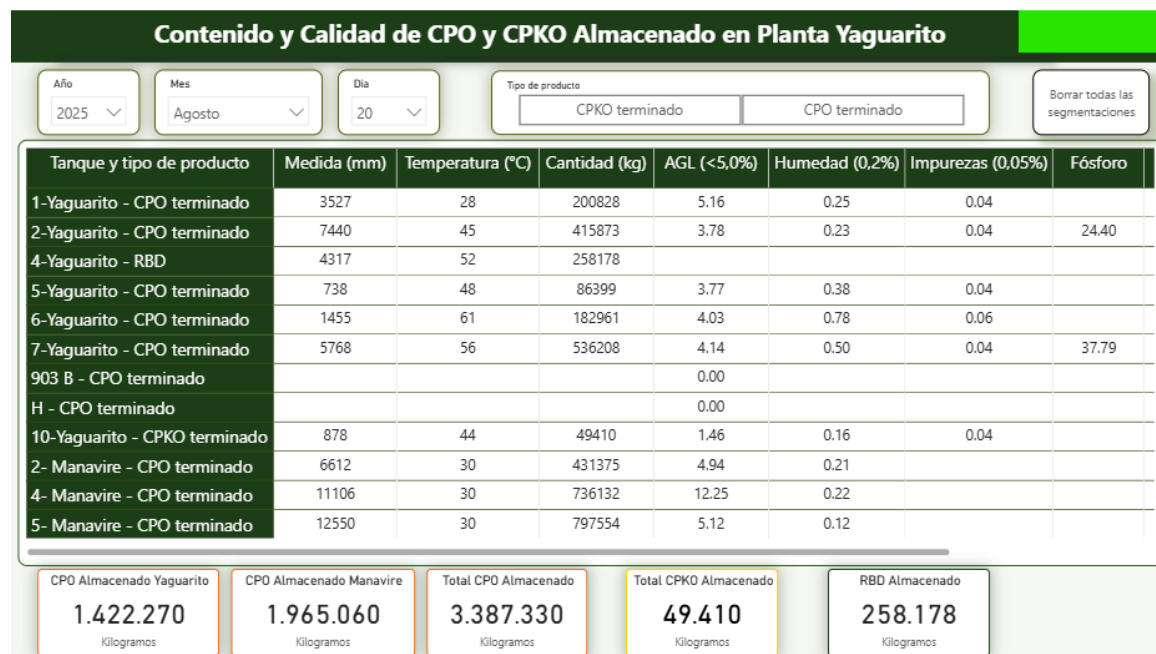
Figura 19

Menú Principal Centralizado de Informes de Laboratorio Extractora



La URL de este reporte fue enviada a todos los usuarios por correo electrónico y además se ubicó en un Equipo de Microsoft Teams. Este reporte cuenta con hipervínculos que dirigen al usuario hacia el reporte de su interés.

Reporte de Contenido y Calidad de CPO y CPKO almacenado plantas. Este dashboard permite visualizar el contenido y la calidad del CPO y CPKO almacenado en los tanques de la planta extractora, integrando variables como nivel medido, temperatura, cantidad en kilogramos y resultados de calidad (AGL, humedad, impurezas y fósforo). Además, muestra los totales almacenados por planta y por tipo de producto, brindando una consulta inmediata y organizada de la información de inventarios y sus parámetros asociados.

Figura 20*Dashboard de Inventario y Calidad de CPO y CPKO Almacenado*

Este dashboard tiene permisos de visualización para los usuarios de la planta extractora, planta biodiesel y el área comercial, lo que ha facilitado la entrega oportuna de información. También cuenta con actualizaciones automáticas a las 6:30am y a las 9:30am de la mañana, por lo que ya no es necesario enviar esos dos correos electrónicos.

Análisis Rápidos. El dashboard de análisis rápidos organiza de manera centralizada las mediciones realizadas cada dos horas en los distintos puntos de muestreo del proceso extractivo, permitiendo visualizar contenido de aceite, diluciones, humedad y acidez por producto y variable. Su estructura tabular, acompañada de segmentadores por fecha, producto, punto de muestreo y nombre de la variable, facilita la navegación y consulta detallada de la información siguiendo el ciclo operativo real de la planta. Esta organización permite revisar el comportamiento horario de cada corriente crítica, manteniendo la coherencia con la forma en que se toman y utilizan los datos en campo.

Figura 21

Análisis Rápidos en Planta Extractora

| ANÁLISIS RÁPIDOS PLANTA EXTRACTORA | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|------------------------------------|-------|------------|-------------------|-----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|---------------------------------|------|
| Año | Mes | Día | Producto | Punto de muestreo | Nombre de la variable | | | | | | Borrar todas las segmentaciones | |
| 2025 | Agosto | 30 | Todas | Todas | Todas | | | | | | | |
| Producto | Nombre de la variable | PMáx. | 9:00 a. m. | 11:00 a. m. | 2:00 p. m. | 3:00 p. m. | 5:00 p. m. | 6:00 p. m. | 7:00 p. m. | 1:00 a. m. | 3:00 a. m. | Tot |
| CPO | %Aceite Condensados | 3,0 | | 0,00 | | 0,00 | | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,0 |
| | %Aceite Preclarificación L1 | 17,0 | | 20,00 | | 26,00 | | | | | | 23,0 |
| | %Aceite Preclarificación L2 | 17,0 | | | | 19,00 | | | | 28,00 | | 23,0 |
| | %Aceite Separador 1 | 10,0 | | 16,00 | | 11,00 | | | 9,00 | | 15,00 | 12,0 |
| | %Aceite Separador 2 | 10,0 | | | | 9,00 | | | 12,00 | 12,00 | 12,00 | 11,0 |
| | %Aceite fase aceitosa Centrifuga 1 | 50,0 | | 28,00 | | | | | | | | 35,0 |
| | %Aceite fase aceitosa Centrifuga 2 | 50,0 | | 30,00 | | 21,00 | | | 23,00 | | | 24,0 |
| | %Aceite fase aceitosa Centrifuga 3 | 50,0 | | | | | | | 27,00 | | | 27,0 |
| | %Aceite fase aceitosa Centrifuga 4 | 50,0 | | 45,00 | | 31,00 | | | 43,00 | | 55,00 | 43,0 |
| | %Aceite fase aceitosa Centrifuga 7 | 50,0 | | | | 18,00 | | | 28,00 | 25,00 | 25,00 | 24,0 |
| | %Aceite fase aceitosa Centrifuga 8 | 50,0 | | | | 45,00 | | | | 45,00 | 45,00 | 45,0 |
| | %Aceite Florentinos | 2,0 | | 0,00 | | 0,00 | | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,0 |
| | Dilución línea 1 | 38,0 | | 1,52 | | 0,62 | | | 0,68 | | 1,00 | 0,0 |
| | %Aceite Dilución línea 1 | | | 38,00 | | 26,00 | | | 26,00 | | 30,00 | 30,0 |
| | %H2O Dilución línea 1 | | | 25,00 | | 42,00 | | | 38,00 | | 30,00 | 33,0 |
| | Dilución línea 2 | 38,0 | | | | 0,56 | | | 0,94 | 0,75 | 0,82 | 0,0 |
| | %Aceite Dilución línea 2 | | | | | 25,00 | | | 32,00 | 30,00 | 28,00 | 28,0 |

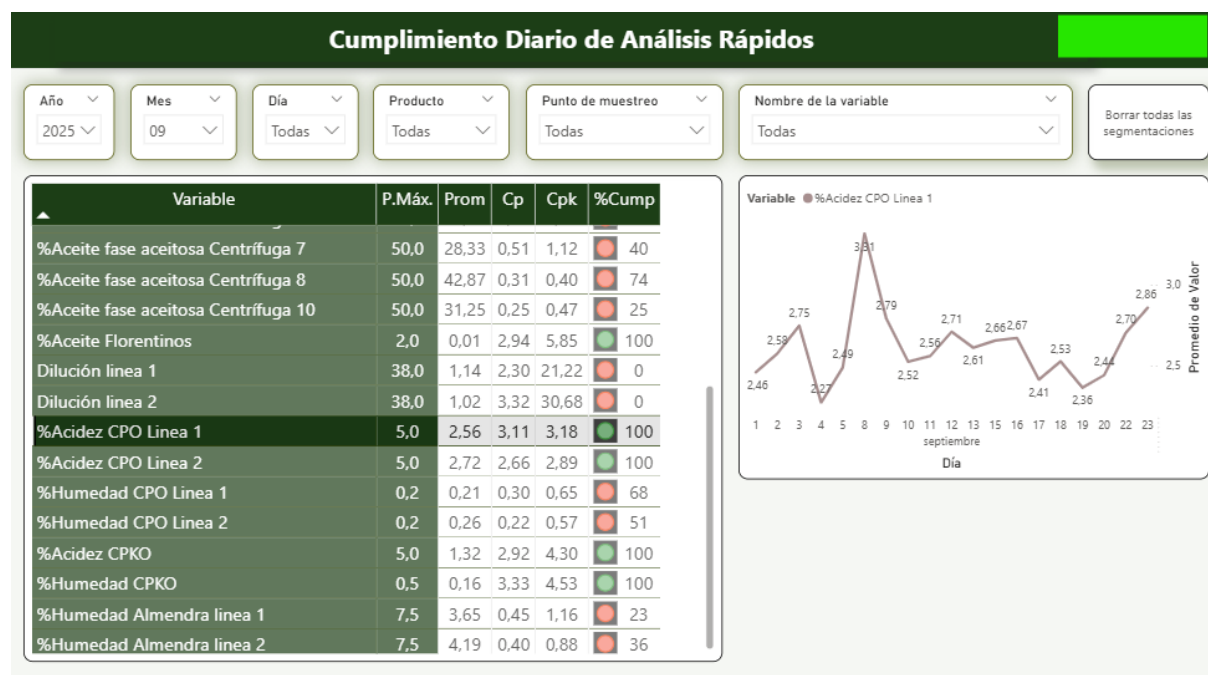
Este dashboard elimina la necesidad de registros manuales y envíos por WhatsApp, liberando tiempo en laboratorio. Las actualizaciones automáticas mejoran la disponibilidad de datos y agilizan la toma de decisiones operativas, ya que los supervisores pueden identificar rápidamente valores atípicos o tendencias que requieran ajustes en la operación. De esta manera, la herramienta se convierte en un soporte clave para el control técnico y la gestión continua de la eficiencia del proceso.

Como valor agregado, se desarrolló un dashboard que permite realizar el seguimiento del cumplimiento de los parámetros máximos establecidos para cada análisis rápido dentro de un periodo seleccionado (día, mes o año). La visualización incluye indicadores de Cp y Cpk, que permiten evaluar la capacidad del proceso para mantenerse dentro de los límites de especificación, y un gráfico de tendencia que muestra el comportamiento histórico de la variable

seleccionada. Esta estructura facilita identificar desviaciones, patrones y comportamientos inusuales en las corrientes críticas del proceso.

Figura 22

Dashboard de Cumplimiento Diario de Análisis Rápidos



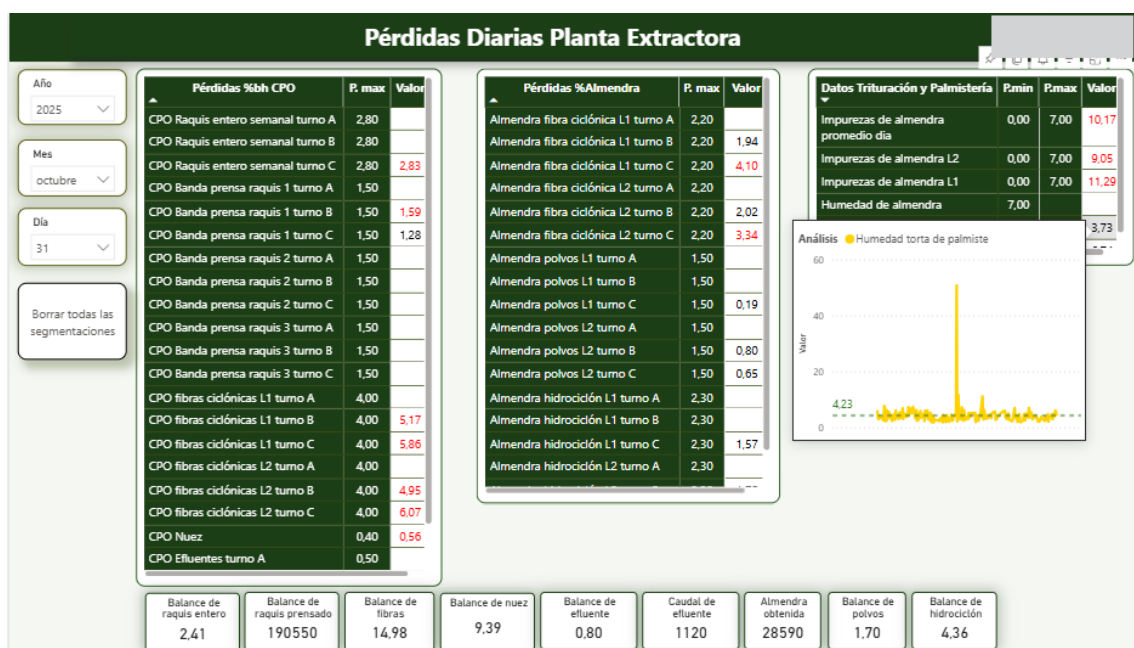
En conjunto, las medidas integradas permiten que el dashboard brinde una visión completa del desempeño del proceso, mientras el %Cumplimiento_AR refleja cuántos datos cumplen con los parámetros establecidos, los índices Cp y Cpk permiten evaluar la variabilidad y el centrado del proceso a mediano plazo. De esta manera, se combinan enfoques de control por atributos (cumple/no cumple) y por variables (capacidad y estabilidad), fortaleciendo la toma de decisiones y alineando el sistema con prácticas avanzadas de gestión de calidad propias de la Industria 4.0.

Reporte de Pérdidas. Para facilitar el análisis operativo y la identificación temprana de desviaciones, se desarrollaron dos dashboards complementarios orientados al seguimiento de las pérdidas de CPO, CPKO y almendra en las distintas corrientes del proceso extractivo.

El primero corresponde al dashboard de Pérdidas Diarias, el cual se observa en la Figura 24, donde se presenta la información del día seleccionado y utiliza formato condicional para resaltar los valores que se encuentran por fuera de los parámetros establecidos, lo que permite a los supervisores identificar rápidamente los puntos críticos del proceso. Además, se incorporaron tooltips avanzados que despliegan automáticamente la tendencia del último año y el promedio anual de la variable seleccionada, lo que permite realizar comparaciones inmediatas sin saturar la vista principal del tablero y sin perder contexto histórico.

Figura 23

Dashboard de Pérdidas Diarias en Planta Extractora



El segundo dashboard corresponde al reporte mensual de pérdidas, estructurado como una matriz que consolida el desempeño del mes por equipo y tipo de análisis (%BH, %BS y %Ac/SSNA). Esta matriz permite seleccionar las variables específicas que el usuario desea comparar entre equipos, líneas o puntos de muestreo.

Para profundizar en el análisis, se dispone del botón “Ver Tendencia”, que redirige a un tercer tablero especializado donde se visualiza la evolución histórica de cada pérdida, permitiendo analizar patrones, variabilidad, comportamiento entre líneas y evolución de las desviaciones a lo largo del tiempo.

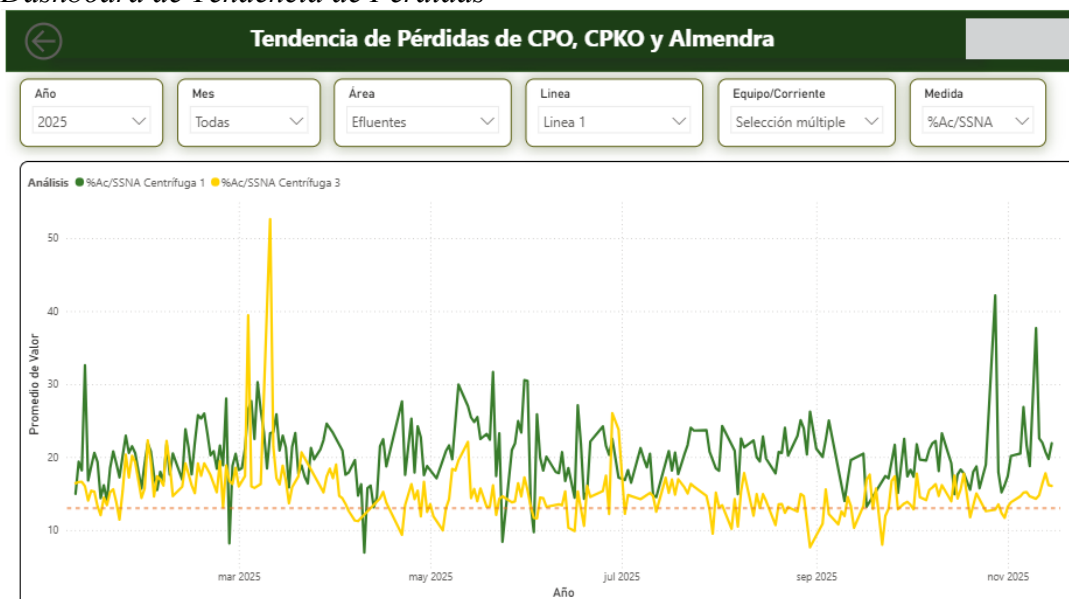
Figura 24

Pérdidas Acumuladas Mensuales de CPO, CPKO y almendra

| Pérdidas de CPO, CPKO y almendra por día | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------------|---------|------|-----------------|------|----------|------|---------------|------|----------------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|----|--|--|--|
| Año | | Mes | | Tipo de pérdida | | Análisis | | Ver tendencia | | Borrar filtros | | | | | | | | | | | | | | |
| 2025 | | octubre | | Todas | | Todas | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Equipo/Corriente | Análisis | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | | | |
| [-] Prensas de raquis | [-] %bh Prensas de raquis | 1,5 | 1,7 | 1,1 | 1,5 | 1,6 | 1,4 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,4 | 2,1 | 1,2 | 1,6 | 1,6 | | 1 | 1,7 | 1,8 | | | | |
| [-] Condensados | [-] %Ac/SSNA Condensados | 8 | 18,7 | 20,5 | 6 | 3,2 | 21,8 | 19,8 | 24,7 | 49,4 | 21,8 | 17,4 | 12,3 | 19 | 15,9 | 25,2 | | 87,2 | 40 | 26,2 | | | | |
| | [-] %bh Condensados | 0,3 | 0,8 | 0,9 | 0,2 | 0,1 | 0,9 | 0,7 | 1 | 1,8 | 0,9 | 0,7 | 0,5 | 0,7 | 0,5 | 0,8 | | 2,2 | 1,4 | 1,1 | | | | |
| [-] Raquis | [-] %Ac/SSNA Raquis | 10,1 | 10,2 | 10,2 | 10,2 | 10,2 | 10,2 | 10,3 | 10,3 | 10,3 | 9,2 | 9,2 | 9,2 | 9,2 | 6,7 | 6,7 | | 6,7 | 6,7 | 6,7 | | | | |
| | [-] %bh Raquis | 3,6 | 3,6 | 3,6 | 3,6 | 3,6 | 3,6 | 3,9 | 3,9 | 3,9 | 3,8 | 3,8 | 3,8 | 3,8 | 2,3 | 2,3 | | 2,3 | 2,3 | 2,3 | | | | |
| [-] Prensa 1 de fruto | [-] %Ac/SSNA Prensa 1 de fruto | 7,1 | 8,1 | 8,7 | 10,1 | 7,2 | 8,3 | 12,8 | | 7,8 | 6,6 | | | 9,6 | 7,9 | | | | 11,9 | | | | | |
| | [-] %bh Prensa 1 de fruto | 4,5 | 4,8 | 4,8 | 5,4 | 4 | 4,4 | 6,8 | | 4,3 | 4,3 | | | 5,2 | 4,4 | | | | 6,7 | | | | | |
| [-] Prensa 2 de fruto | [-] %Ac/SSNA Prensa 2 de fruto | 9,6 | | | | | | 9 | 7,7 | | 10,2 | | 10,7 | | 10,1 | 8 | | 8,1 | 9,3 | 8,5 | | | | |
| | [-] %bh Prensa 2 de fruto | 5 | | | | | | 4,9 | 4,3 | | 5,3 | | 5,4 | | 5,2 | 4,7 | | 4,6 | 5,4 | 4,8 | | | | |
| [-] Prensa 3 de fruto | [-] %Ac/SSNA Prensa 3 de fruto | 6,9 | 7,7 | 8,4 | 7,8 | 7,6 | 9,6 | 7,6 | 9,1 | 8,5 | 7,9 | 13 | 8,2 | 14,8 | 8,4 | | | 8,8 | 9,1 | 10,1 | | | | |
| | [-] %bh Prensa 3 de fruto | 4,4 | 4,5 | 4,6 | 4,5 | 4,4 | 5,2 | 4,6 | 5,1 | 5 | 4,5 | 6,2 | 4,7 | 5,1 | 4,9 | | | 5,1 | 5,2 | 5,6 | | | | |
| [-] Prensa 4 de fruto | [-] %Ac/SSNA Prensa 4 de fruto | 8,9 | 8 | 8,3 | 8 | | | 7,5 | 7,2 | 7,4 | | 8,4 | | | | 7,5 | | 8,4 | 7,6 | 8,7 | | | | |
| | [-] %bh Prensa 4 de fruto | 4,8 | 4,7 | 4,7 | 4,6 | | | 4,5 | 4,2 | 4,3 | | 4,9 | | | | 4,2 | | 4,8 | 4,4 | 4,7 | | | | |
| [-] Prensa 5 de fruto | [-] %Ac/SSNA Prensa 5 de fruto | | | | | | | | | | | 7,9 | 7,8 | 7,8 | 6,8 | 7,4 | 7,9 | 9,3 | 8,7 | 8,4 | | | | |
| | [-] %bh Prensa 5 de fruto | | | | | | | | | | | 4,4 | 4,6 | 4,5 | 4,1 | 4,4 | 4,8 | 5,2 | 4,7 | 4,8 | | | | |
| [-] Prensa 6 de fruto | [-] %Ac/SSNA Prensa 6 de fruto | 7,4 | 9,3 | 8 | 9,1 | 7,5 | 9,8 | 8,9 | 7,6 | 9 | 8,5 | 8,6 | 9,1 | 31,5 | | 10,2 | | 10 | | 9,4 | 1 | | | |
| | [-] %bh Prensa 6 de fruto | 4,7 | 5,1 | 4,5 | 5 | 3,9 | 5,3 | 4,8 | 4,7 | 4,9 | 4,9 | 4,8 | 5,2 | 5,2 | | 5,7 | | 5,2 | | 5,4 | | | | |

Esta vista incluye filtros por área, línea, equipo o tipo de pérdida, lo que la convierte en una herramienta robusta para el diagnóstico técnico y la priorización de acciones de mejora.

Figura 25
Dashboard de Tendencia de Pérdidas



En conjunto, estos tableros integran análisis puntual, comparativo y temporal en un ecosistema visual coherente, ofreciendo a los usuarios una herramienta de seguimiento integral que reemplaza procesos manuales, disminuye errores, mejora la capacidad de reacción y fortalece el control operativo y la toma de decisiones. Además, su diseño modular permite que los usuarios naveguen sin complejidad desde la pérdida del día hacia su comportamiento histórico, capturando tanto la magnitud del problema como su tendencia.

Reporte de Calidad de CPO. Como valor agregado del proyecto, se identificó la necesidad de disponer de un informe específico para el seguimiento de la calidad del Aceite Crudo de Palma (CPO), enfocado en las tres variables con mayor relevancia e impacto en el proceso: acidez, humedad e impurezas. Estas variables presentan la mayor dispersión y son determinantes tanto para el control operativo como para las decisiones comerciales y de refinación.

Con base en esta necesidad, se desarrollaron dos dashboards complementarios. El primero consolida la calidad del CPO en proceso por línea, permitiendo visualizar el

comportamiento de cada corriente antes de su envío a los tanques de almacenamiento. Esta vista integra el promedio aritmético mensual, el porcentaje de cumplimiento frente a los parámetros establecidos y un semáforo visual que facilita identificar rápidamente el desempeño de cada variable. De este modo, el dashboard ofrece una lectura inmediata del comportamiento histórico y del nivel de conformidad del proceso, permitiendo detectar desviaciones y priorizar acciones correctivas de manera oportuna.

Figura 26

Reporte de Calidad de CPO en Proceso

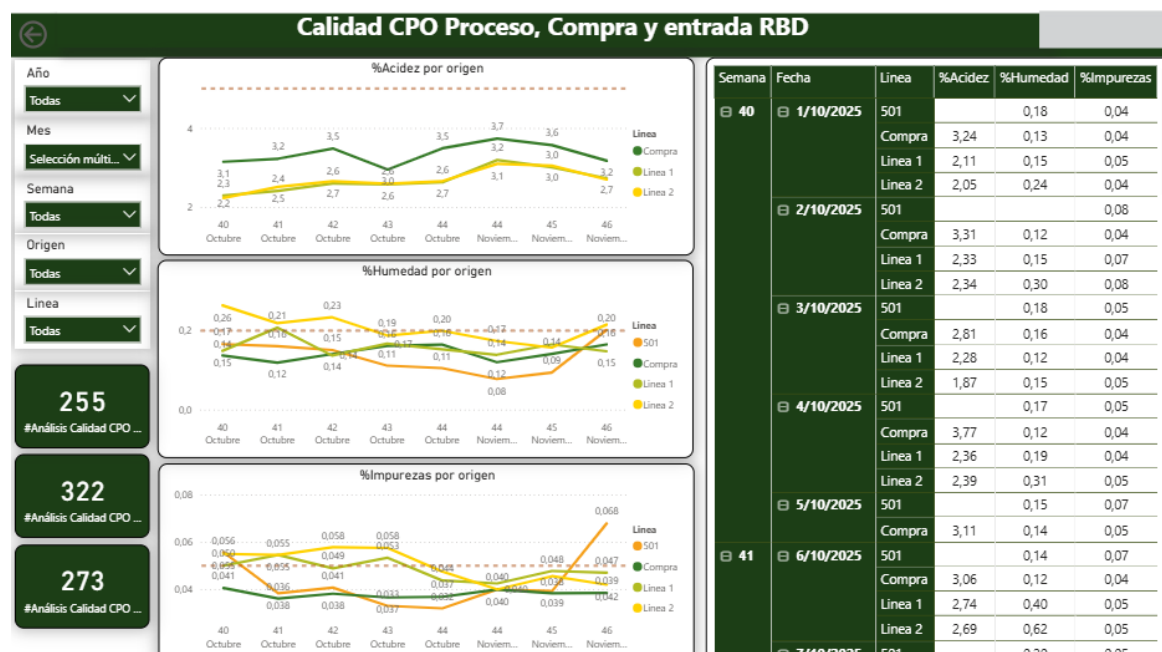


El segundo dashboard integra la calidad del CPO producido por la planta extractora, el CPO adquirido externamente y la mezcla final que ingresa a los tanques de almacenamiento. Esta estructura permite comparar de forma directa la calidad por origen, identificar desviaciones entre líneas y lotes externos, y evaluar cómo estas diferencias influyen en los parámetros finales del producto almacenado.

La visualización principal presenta las tendencias semanales de acidez, humedad e impurezas para cada origen, mientras que una tabla complementaria permite realizar seguimiento diario, facilitando un análisis más detallado cuando se requieren verificaciones específicas o trazabilidad operativa.

Figura 27

Calidad de CPO Proceso, Compra y entrada a RBD



Fase 3: Evaluación del Impacto y Comparación

Como parte de la evaluación del impacto, se realizó un análisis comparativo entre el sistema tradicional de gestión de datos y el sistema automatizado de visualización implementado en Power BI.

Tiempo de Registro y Gestión Manual de Información Operativa en el Laboratorio de Planta Extractora

El indicador principal considerado fue el tiempo requerido para registrar, consolidar y comunicar los resultados operativos del laboratorio y del proceso de extracción, expresado en

minutos. Los datos presentados en la Tabla 5 muestran que la gestión manual de información demanda un tiempo acumulado superior a 489 minutos diarios (8,15 horas), distribuidos entre actividades como registro físico, digitación en Excel, envíos por WhatsApp y cargue al software SIGIND. Este tiempo equivale a una jornada laboral completa dedicada exclusivamente al procesamiento administrativo de datos, en lugar de actividades de control directo del proceso.

Tabla 5

Tiempo Invertido en el Registro y Gestión Manual de Información Operativa en Planta

Extractora

| Informes | Inventarios | Análisis Rápidos | Pérdidas diarias | Pérdidas Acumuladas |
|---|--------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Registro físico | 10 | 165 | - | 40 |
| Registro en Excel | 10 | 55 | 8 | 50 |
| Envío whatsapp | | 22 | 4 | - |
| Registro en Sigind | 10 | 55 | - | 50 |
| Redacción y envío correo | 5 | - | - | 5 |
| TOTAL | 35 | 297 | 12 | 145 |
| Repeticiones al día | 1 | 11 | 2 | 1 |
| Tiempo liberado por día por las automatizaciones | 15 | 77 | 12 | 55 |

Nota: Los valores corresponden al tiempo promedio (en minutos) invertido por el personal en actividades manuales de registro, digitación y comunicación de información operativa antes de la automatización del sistema. El tiempo liberado por día refleja la reducción estimada tras implementar el sistema integrado Power BI–Oracle, considerando únicamente las actividades críticas que fueron automatizadas. Un guion (–) indica que la actividad no aplica para ese tipo de informe.

Los resultados muestran que la actividad más demandante en tiempo corresponde a los Análisis Rápidos, con un total de 297 minutos diarios (aproximadamente 5 horas) dedicados a registros físicos, digitación en Excel, envíos por WhatsApp y cargue en el sistema SIGIND. Esto se debe principalmente a que es el informe con más repeticiones diarias (11 veces al día), evidenciando la alta carga administrativa del personal de laboratorio y la dependencia de canales informales de comunicación para la toma de decisiones en planta.

En segundo lugar, los informes de Pérdidas Acumuladas consumen 145 minutos diarios, debido al doble registro en Excel y SIGIND, así como a la complementación manual con variables no integradas (nuez rota, torta en tolva, impurezas de almendra). Este procedimiento genera redundancia de trabajo y riesgo de inconsistencias entre reportes.

Por su parte, los informes de Inventarios y Pérdidas Diarias requieren 35 y 12 minutos respectivamente, siendo los de menor carga operativa, aunque también se identifican tareas duplicadas, como el diligenciamiento paralelo en Excel y el sistema oficial.

Tras la automatización del flujo de información mediante la integración Power BI–Oracle, se estima una reducción total de 159 minutos diarios, equivalente aproximadamente al 32,5 % del tiempo originalmente invertido en las actividades más críticas del flujo informativo. Esta liberación de tiempo permite que el personal operativo y de laboratorio reasigne esfuerzos hacia tareas de supervisión, análisis y ajuste operacional, mejorando la capacidad de respuesta ante desviaciones del proceso.

Adicionalmente, se identificó una disminución considerable en la duplicidad de registros y una reducción del riesgo de inconsistencias entre reportes, debido a la centralización de los datos y la eliminación del registro paralelo en formato físico, Excel y sistema SIGIND. Esto

contribuye a mejorar la trazabilidad de la información y a garantizar la confiabilidad de los datos utilizados en la toma de decisiones.

Conclusiones

La implementación del sistema automatizado de analítica de datos cumplió plenamente el objetivo general del proyecto, al demostrar que es posible integrar, procesar y visualizar información crítica del proceso de extracción de aceite de palma en una plataforma centralizada y confiable. La unificación de datos de laboratorio, producción y calidad resolvió la fragmentación informativa identificada en el diagnóstico inicial, fortaleciendo la trazabilidad y permitiendo un acceso oportuno a información relevante para la operación.

En relación con el primer objetivo específico, la creación de un repositorio operativo integrado permitió migrar gran parte de los registros manuales hacia un sistema estructurado conectado directamente a la base de datos Oracle. Este avance redujo la dependencia de formatos físicos y archivos paralelos en Excel, minimizando errores de digitación y mejorando la consistencia del flujo de datos. Uno de los hallazgos más relevantes es que, al inicio del proyecto, cerca del 75% de los datos se registraban manualmente; con la solución implementada, esta proporción se redujo de manera significativa.

Respecto al segundo objetivo específico, los dashboards desarrollados en Power BI facilitaron el monitoreo en tiempo real mediante la incorporación de indicadores operativos y estadísticos como Cp, Cpk y el indicador de cumplimiento frente a los límites establecidos para cada variable. Estas herramientas brindaron una visión integral del comportamiento del proceso, permitiendo identificar desviaciones con mayor rapidez y aportar elementos objetivos para la toma de decisiones operativas. El enfoque visual y analítico utilizado demostró que la ciencia de datos puede transformar procesos industriales tradicionales en sistemas inteligentes de control.

Finalmente, en cumplimiento del tercer objetivo específico, la evaluación del impacto evidenció mejoras sustanciales en los tiempos de respuesta y una reducción significativa de la

carga administrativa en el personal supervisor. La automatización de reportes, el acceso inmediato a tendencias históricas y la reducción de reprocesos contribuyeron a disminuir tiempos asociados a digitación, transcripción y consolidación de información. Asimismo, el sistema fortaleció la comunicación entre áreas operativas, de laboratorio y gerenciales, alineándose con los principios de la Industria 4.0 y promoviendo una cultura organizacional basada en el uso estratégico de datos. Este proyecto confirma la viabilidad de aplicar analítica avanzada en el sector palmero colombiano y establece un referente para su potencial adopción en otras plantas extractoras del país.

Recomendaciones

Se recomienda avanzar en la automatización completa de la captura de los resultados de análisis de laboratorio, integrando directamente al software de adquisición de información los datos generados por balanzas, equipos con tecnología RMN y NIR, entre otros instrumentos. Esta conexión en tiempo real permitirá eliminar los errores asociados a la digitación manual y disponer de información oportuna para la toma de decisiones operativas. Asimismo, la incorporación progresiva de sensores, sistemas SCADA y plataformas de adquisición en línea contribuirá a mejorar la precisión, trazabilidad y frecuencia de actualización de los datos en toda la planta.

Asimismo, es recomendable implementar un programa de capacitación continua para el personal operativo, de laboratorio y supervisores, orientado al uso adecuado de Power BI, SQL y los principios básicos de analítica de datos. Esto fortalecerá la adopción de la herramienta y facilitará la transición hacia una cultura organizacional basada en evidencia y análisis.

Se sugiere también establecer un plan de mantenimiento y actualización del modelo de datos y arquitectura Power BI–Oracle, que incluya la revisión periódica de llaves VARIA, validación de parámetros máximos y mínimos, y auditorías de calidad de datos. Este seguimiento garantizará la sostenibilidad del sistema y evitará inconsistencias a medida que aumente el volumen de información.

Finalmente, se recomienda escalar el sistema a otras áreas de la operación, como biodiésel, refinación y mantenimiento, aprovechando la modularidad del modelo desarrollado. Además, la incorporación futura de modelos predictivos, como detección de anomalías o estimación de pérdidas, permitirá anticipar desviaciones y optimizar aún más el desempeño del proceso en línea con los principios de la Industria 4.0.

Referencias Bibliográficas

- Babu, N., Kumar, S., & Raj, P. (2020). *Arquitectura para adquisición de datos en industria de bebidas y alimentos usando tecnología IIoT, e implementación de capa de visualización y analítica de datos*. *Revista de Ingeniería Industrial*, 12(3), 55–68.
- Fedepalma. (2023). *Informe anual de producción de palma de aceite en Colombia 2023*. Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. <https://www.fedepalma.org>
- Few, S. (2013). *Information Dashboard Design: Displaying Data for At-a-Glance Monitoring* (2nd ed.). Analytics Press.
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0*. National Academy of Science and Engineering (acatech).
- Kimball, R., & Caserta, J. (2011). *The Data Warehouse ETL Toolkit: Practical Techniques for Extracting, Cleaning, Conforming, and Delivering Data*. Wiley.
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H.-G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, 6(4), 239–242. <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H.-A. (2015). A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>
- Ghalekhondabi, I., Ahmadi, H. B., & Szmelter-Jarosz, A. (2020). *Digitalization and smart operations in the palm oil industry: Barriers and pathways*. *Journal of Cleaner Production*, 270, 122379. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122379>
- Hasan, M. (2024). *Digital integration in agro-industrial production systems: Lessons from Southeast Asia*. *International Journal of Smart Manufacturing Systems*, 18(1), 44–58.

Lim, C., Jin, X., & Kim, S. (2020). *A data-driven scheduling approach to smart manufacturing*. *Computers & Industrial Engineering*, 139, 106–111.

<https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106111>

Mendoza-García, M., Oliveros-Contreras, D., & Guzmán-Duque, A. P. (2020). La eficiencia de las empresas del sector palmicultor en Colombia. *Revista Escuela de Administración de Negocios*, (88), 33-48. <https://doi.org/10.21158/01208160.n88.2020.2695>

Pérez-Morón, C., & Cantillo-Orozco, N. (2022). *La digitalización fragmentada como barrera para la transformación industrial del sector palmero colombiano*. *Revista Colombiana de Ingeniería y Tecnología*, 8(2), 45–59.

Shmueli, G., & Koppius, O. (2011). Predictive analytics in information systems research. *MIS Quarterly*, 35(3), 553–572.

Wang, G., Gunasekaran, A., Ngai, E. W. T., & Papadopoulos, T. (2020). *Big data in operations and supply chain management: A systematic literature review and future research agenda*. *International Journal of Production Economics*, 211, 92–110.

<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.02.019>

Apéndices

Apéndice A

Encuesta al Personal Operativo y Administrativo

Instrumento digital utilizado para evaluar dificultades en el acceso a la información y la percepción sobre el sistema propuesto.

Enlace al formulario: <https://forms.gle/W8EjZtxUEWdXYHbG7>

Apéndice B*Formulario de Observación Directa del Proceso*

Formato empleado para registrar manualmente el flujo de datos operativos, sistemas utilizados y tiempos de emisión de reportes.

Enlace al formulario: <https://forms.gle/nX6KGLyTTVFToiTW8>

Apéndice C

Entrevistas a Expertos del Proceso de Extracción de Aceite

Guía aplicada a jefes de planta, gerencia y especialistas para identificar indicadores clave, brechas en el uso de información y oportunidades de mejora.

Enlace al formulario: <https://forms.gle/CTWsJtjqj2NEuAZX6>

Apéndice D

Instrumentos de Registro Manual Utilizados en Laboratorio

Se relacionan fotografías de los formatos físicos empleados por el laboratorio para registrar resultados de análisis. Se incluyen como evidencia del método de captura manual previo a la digitalización del sistema.

| FECHA | | HORARIO | | LABORATORIO | | NIVEL | | PALMA MÁX. 0,00% PALMISTE MÁX. 0,00% | | | | CONSERVACIONES | | |
|-----------------------|---------------------|----------------------|------------------|-------------------------|--------------------|-----------------|----------------------------|--|----------|-----------|----------|----------------|----------|----------------|
| TANQUE ALMACENAMIENTO | NIVEL DE LA MUESTRA | INGRESO A LA MUESTRA | PESO MUESTRA (g) | VOLUMEN DE LA SODA (ml) | PESO IMPUREZAS (g) | PESO ORIBOL (g) | PESO CIBICL. IMPUREZAS (g) | % ACIDEZ | PROMEDIO | % HUMEDAD | PROMEDIO | % IMPUREZAS | PROMEDIO | CONSERVACIONES |
| TANQUE N° 1 | SUPERFICIE | | 5.215 | 8.44 | 20.316 | 22.918 | 22.928 | 4.74 | | | | | | 005 |
| | FONDO | | | | | | | | | | | | | |
| | HUMEDAD | | | 10.00 | | | | | | 0.44 | | | | |
| TANQUE N° 2 | SUPERFICIE | | 5.620 | 6.80 | 20.260 | 23.036 | 23.082 | 3.70 | | | | | | 003 |
| | FONDO | | | | | | | | | | | | | |
| | HUMEDAD | | | 10.208 | | | | | | 0.79 | | | | |
| TANQUE N° 4 | SUPERFICIE | | | | | | | | | | | | | |
| | FONDO | | | RBD | | | | | | | | | | |
| | HUMEDAD | | | | | | | | | | | | | |
| TANQUE N° 5 | SUPERFICIE | | | | 20.053 | 22.918 | 22.928 | | | | | | | |
| | FONDO | | 5.165 | 6.02 | | | | 2.90 | | | | | | 0.05 |
| | HUMEDAD | | | 10.293 | | | | | | 0.79 | | | | |
| TANQUE N° 6 | SUPERFICIE | | | | 20.078 | 23.075 | 23.082 | | | | | | | |
| | FONDO | | 5.702 | 6.16 | | | | 3.09 | | | | | | 0.04 |
| | HUMEDAD | | | 10.209 | | | | | | 0.17 | | | | |
| TANQUE N° 7 | SUPERFICIE | | | | 20.190 | 23.645 | 23.653 | | | | | | | |
| | FONDO | | 5.350 | 5.22 | | | | 2.50 | | | | | | 0.04 |
| | HUMEDAD | | | 10.241 | | | | | | 0.75 | | | | |
| TANQUE HORIZONTAL | HUMEDAD | | | | | | | | | | | | | |
| TANQUE N° 10 | | | 6.302 | 4.70 | 20.182 | 28.946 | 28.954 | 7.49 | | | | | | |
| | HUMEDAD | | | 10.093 | | | | | | 0.79 | | | | 0.04 |

MÉTODOS 1. Acidez-NTC-210 2. Humedad-Infrarrojo 3. Impurezas-Cenpalma

OBSERVACIONES

REVISADO

Nota. Formato físico de Inventarios de CPO y CPKO en tanques de almacenamiento. Foto tomada del laboratorio.

| | | |
|--|--------------------------|---|
| LABORATORIO EXTRACTORA | | Código: FR-PS-LE-0007 |
| | | Versión: 005 |
| Manuelita [Redacted] CALIDAD DE PRODUCTO TERMINADO LANTA EXTRACTORA DE YAGUARITO [Redacted] de 4 | | |
| Op. 1er Turno: <u>FE</u> | Op. 2do Turno: <u>DS</u> | Op. 3er Turno: _____ Año: <u>25</u> Mes: <u>10</u> Día: <u>23</u> |

| LÍNEA DE EXTRACCIÓN DE ALMENDRA No 1 | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|------------------|---------|---------|---------|------------|
| HUMEDAD DE LA ALMENDRA EN PROCESO MENOR A 7,50 % | | | | | | | | IMPUREZAS < 7,0% | | | | |
| 08:00:00 a.m. | 09:00:00 a.m. | 12:00:00 a.m. | 15:00:00 p.m. | 18:00:00 p.m. | 21:00:00 p.m. | 24:00:00 p.m. | 3:00:00 a.m. | PROMEDIO DIA | TURNO 1 | TURNO 2 | TURNO 3 | ACIDEZ DIA |
| / | / | / | 2,79 | | | | | | | | | |

| LÍNEA DE EXTRACCIÓN DE ALMENDRA No 2 | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|------------------|---------|---------|---------|------------|
| HUMEDAD DE LA ALMENDRA EN PROCESO MENOR A 7,50 % | | | | | | | | IMPUREZAS < 7,0% | | | | |
| 08:00:00 a.m. | 09:00:00 a.m. | 12:00:00 a.m. | 15:00:00 p.m. | 18:00:00 p.m. | 21:00:00 p.m. | 24:00:00 p.m. | 3:00:00 a.m. | PROMEDIO DIA | TURNO 1 | TURNO 2 | TURNO 3 | ACIDEZ DIA |
| / | 3.26 | 2.50 | | | | | | | | | | |

| | | |
|-------------------|------|--|
| HUMEDAD ALMENDRA | 2.16 | |
| IMPUREZA ALMENDRA | 2.28 | |
| AGL CPKO | | |
| HUMEDAD CPKO | | |

| | |
|------------------|--|
| ACIDEZ PROMEDIO | |
| ACIDEZ FINAL | |
| HUMEDAD PROMEDIO | |
| IMPUREZAS | |

| ACEITE DE PALMA EN PROCESO | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|--|
| | 7:00 | 9:00 | 11:00 | 13:00 | 15:00 | 17:00 | 19:00 | 21:00 | 23:00 | 1:00 | 3:00 | 5:00 | |
| ACIDEZ < 5.0 % L1 | 2.16 | 2.27 | 2.75 | 3.00 | 2.94 | | | | | | | | |
| ACIDEZ < 5.0 % L2 | 2.28 | 2.43 | 2.49 | 2.89 | 2.78 | | | | | | | | |
| HUMEDAD < 0.50% L1 | 0.06 | 0.12 | 0.19 | 0.14 | 0.17 | | | | | | | | |
| HUMEDAD < 0.50% L2 | 0.25 | 0.22 | 0.13 | 0.15 | 0.14 | | | | | | | | |
| IMPUREZA < 0.50% L1 | | | | | | | | | | | | | |
| IMPUREZA < 0.50% L2 | | | | | | | | | | | | | |
| TANQUE | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | | | | | | | | |

| ACIDEZ PALMISTE | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|--|
| | 7:00 | 9:00 | 11:00 | 13:00 | 15:00 | 17:00 | 19:00 | 21:00 | 23:00 | 1:00 | 3:00 | 5:00 | |
| ACIDEZ < 5.0 % | | 0.55 | 1.47 | | 1.40 | | | | | | | | |
| HUMEDAD < 0.50% | | 0.20 | 0.27 | | 0.23 | | | | | | | | |
| IMPUREZA < 0.50% | | | | | | | | | | | | | |
| TANQUE 10 | 10 | 10 | 10 | | 10 | | | | | | | | |

| | |
|----------------|--------|
| OBSERVACIONES: | REVISO |
| | |
| | |
| | |

Nota. Formato físico de calidad de producto en proceso. Foto tomada del laboratorio.

| Muestra | REGISTRO PÉRDIDAS POR RMN | | | | | | | Página 1 de 2 | |
|----------------------------|---------------------------|-------------|-----------------------------|------------------|------------|-----------------|-------------------|---------------|--|
| | Cápsula (g) | Muestra (g) | Cápsula+MS(g) | Muestra seca (g) | Aceite (g) | Análisis seco % | Análisis húmedo % | Nuez rota % | |
| Espigas de raquis | | | | | | | | | |
| Prensa raquis 1-T1 | 86.678 | 10.099 | 92.660 | 5.982 | 0.20 | 3.84 | 1.98 | | |
| Prensa raquis 1-T2 | | | | | | | | | |
| Prensa raquis 2-T1 | | | | | | | | | |
| Prensa raquis 2-T2 | | | | | | | | | |
| Prensa raquis 3-T1 | | | | | | | | | |
| Prensa raquis 3-T2 | | | | | | | | | |
| Fibras ciclónicas L1-T1 | 84.950 | 10.793 | 91.751 | 6.807 | 0.63 | 9.26 | 6.18 | | |
| Fibras ciclónicas L1-T2 | | | | | | | | | |
| Fibras ciclónicas L2-T1 | 77.689 | 10.486 | 84.794 | 7.705 | 0.59 | 8.30 | 5.63 | | |
| Fibras ciclónicas L2-T2 | | | | | | | | | |
| Nueces | | | | | | | | | |
| Prensa 1 - T1 | / | / | | | | | | | |
| Prensa 1 - T2 | | | | | | | | | |
| Prensa 2 - T1 | 67.410 | 10.324 | 73.812 | 6.402 | 0.56 | 8.75 | 5.42 | | |
| Prensa 2 - T2 | | | | | | | | | |
| Prensa 3 - T1 | 85.985 | 10.037 | 92.337 | 6.352 | 0.63 | 9.92 | 6.28 | | |
| Prensa 3 - T2 | | | | | | | | | |
| Prensa 4 - T1 | 71.985 | 10.245 | 78.569 72.337 | 6.584 | 0.51 | 7.75 | 4.98 | | |
| Prensa 4 - T2 | | | | | | | | | |
| Prensa 5 - T1 | 76.674 | 10.016 | 83.171 | 6.557 | 0.52 | 7.93 | 5.19 | | |
| Prensa 5 - T2 | | | | | | | | | |
| Prensa 6 - T1 | 83.348 | 10.365 | 89.774 | 6.426 | 0.61 | 9.49 | 5.74 | | |
| Prensa 6 - T2 | | | | | | | | | |
| Prensa 7 - T1 | | | | | | | | | |
| Prensa 7 - T2 | | | | | | | | | |
| Centrífuga 1 | | | | | | | | | |
| Centrífuga 2 | | | | | | | | | |
| Centrífuga 3 | | | | | | | | | |
| Centrífuga 4 | | | | | | | | | |
| Centrífuga 5 | | | | | | | | | |
| Centrífuga 6 | | | | | | | | | |
| Centrífuga 7 | | | | | | | | | |
| Centrífuga 8 | | | | | | | | | |
| Centrífuga 9 | | | | | | | | | |
| Centrífuga 10 | | | | | | | | | |
| Efluentes T1 | | | | | | | | | |
| Efluentes T2 | | | | | | | | | |
| Condensados esterilización | | | | | | | | | |

Nota. Formato físico de Registro de Pérdidas (3 páginas). Foto tomada del laboratorio.

Op. 1ar Turno: **7:00** Op. 2do Turno: Op. 3er Turno: **25 Nov 06 Dia 19**

| CENTRIFUGA 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|--------------|-------|------|------|-------------|-------|------|------|----|--------------|-------|------|------|-------------|-------|------|------|----|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T1 | FASE ACETOSA | | | | FASE LODOSA | | | | T2 | FASE ACETOSA | | | | FASE LODOSA | | | | T3 | | | | | | | | | |
| | % Ac | % H2O | % LL | % LP | % Ac | % H2O | % LL | % LP | | % Ac | % H2O | % LL | % LP | % Ac | % H2O | % LL | % LP | | | | | | | | | | |
| 45:50 | - | - | - | - | T | - | - | - | - | 45:50 | - | - | - | T | - | - | - | - | 45:50 | - | - | - | T | - | - | - | - |
| 7:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 15:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | 23:00 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 8:00 | 36 | - | - | - | - | - | - | - | - | 17:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | 1:00 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 11:00 | 48 | 3 | 24 | - | - | - | - | - | - | 19:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | 3:00 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 13:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 21:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | 5:00 | - | - | - | - | - | - | - | - |

| CENTRIFUGA 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|--------------|-------|------|------|-------------|-------|------|------|----|--------------|-------|------|------|-------------|-------|------|------|----|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T1 | FASE ACETOSA | | | | FASE LODOSA | | | | T2 | FASE ACETOSA | | | | FASE LODOSA | | | | T3 | | | | | | | | | |
| | % Ac | % H2O | % LL | % LP | % Ac | % H2O | % LL | % LP | | % Ac | % H2O | % LL | % LP | % Ac | % H2O | % LL | % LP | | | | | | | | | | |
| 45:50 | - | - | - | - | T | - | - | - | - | 45:50 | - | - | - | T | - | - | - | - | 45:50 | - | - | - | T | - | - | - | - |
| 7:00 | 30 | - | - | - | - | - | - | - | - | 15:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | 23:00 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 8:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 17:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | 1:00 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 11:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 19:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | 3:00 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 13:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 21:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | 5:00 | - | - | - | - | - | - | - | - |

| CENTRIFUGA 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|--------------|-------|------|------|-------------|-------|------|------|----|--------------|-------|------|------|-------------|-------|------|------|----|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T1 | FASE ACETOSA | | | | FASE LODOSA | | | | T2 | FASE ACETOSA | | | | FASE LODOSA | | | | T3 | | | | | | | | | |
| | % Ac | % H2O | % LL | % LP | % Ac | % H2O | % LL | % LP | | % Ac | % H2O | % LL | % LP | % Ac | % H2O | % LL | % LP | | | | | | | | | | |
| 45:50 | - | - | - | - | T | - | - | - | - | 45:50 | - | - | - | T | - | - | - | - | 45:50 | - | - | - | T | - | - | - | - |
| 7:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 15:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | 23:00 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 8:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 17:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | 1:00 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 11:00 | 37 | 4 | 20 | - | - | - | - | - | - | 19:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | 3:00 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 13:00 | 47 | 3 | 20 | - | - | - | - | - | - | 21:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | 5:00 | - | - | - | - | - | - | - | - |

| CENTRIFUGA 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|--------------|-------|------|------|-------------|-------|------|------|----|--------------|-------|------|------|-------------|-------|------|------|----|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T1 | FASE ACETOSA | | | | FASE LODOSA | | | | T2 | FASE ACETOSA | | | | FASE LODOSA | | | | T3 | | | | | | | | | |
| | % Ac | % H2O | % LL | % LP | % Ac | % H2O | % LL | % LP | | % Ac | % H2O | % LL | % LP | % Ac | % H2O | % LL | % LP | | | | | | | | | | |
| 45:50 | - | - | - | - | T | - | - | - | - | 45:50 | - | - | - | T | - | - | - | - | 45:50 | - | - | - | T | - | - | - | - |
| 7:00 | 37 | 6 | 78 | - | - | - | - | - | - | 15:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | 23:00 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 8:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 17:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | 1:00 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 11:00 | 45 | 3 | 15 | - | - | - | - | - | - | 19:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | 3:00 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 13:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 21:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | 5:00 | - | - | - | - | - | - | - | - |

| CENTRIFUGA 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|--------------|-------|------|------|-------------|-------|------|------|----|--------------|-------|------|------|-------------|-------|------|------|----|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T1 | FASE ACETOSA | | | | FASE LODOSA | | | | T2 | FASE ACETOSA | | | | FASE LODOSA | | | | T3 | | | | | | | | | |
| | % Ac | % H2O | % LL | % LP | % Ac | % H2O | % LL | % LP | | % Ac | % H2O | % LL | % LP | % Ac | % H2O | % LL | % LP | | | | | | | | | | |
| 45:50 | - | - | - | - | T | - | - | - | - | 45:50 | - | - | - | T | - | - | - | - | 45:50 | - | - | - | T | - | - | - | - |
| 7:00 | 50 | 7 | 20 | - | - | - | - | - | - | 15:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | 23:00 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 8:00 | 55 | 4 | 15 | - | - | - | - | - | - | 17:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | 1:00 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 11:00 | 70 | 3 | 4 | - | - | - | - | - | - | 19:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | 3:00 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 13:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 21:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | 5:00 | - | - | - | - | - | - | - | - |

| CENTRIFUGA 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|--------------|-------|------|------|-------------|-------|------|------|----|--------------|-------|------|------|-------------|-------|------|------|----|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T1 | FASE ACETOSA | | | | FASE LODOSA | | | | T2 | FASE ACETOSA | | | | FASE LODOSA | | | | T3 | | | | | | | | | |
| | % Ac | % H2O | % LL | % LP | % Ac | % H2O | % LL | % LP | | % Ac | % H2O | % LL | % LP | % Ac | % H2O | % LL | % LP | | | | | | | | | | |
| 45:50 | - | - | - | - | T | - | - | - | - | 45:50 | - | - | - | T | - | - | - | - | 45:50 | - | - | - | T | - | - | - | - |
| 7:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 15:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | 23:00 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 8:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 17:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | 1:00 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 11:00 | 46 | 4 | 20 | - | - | - | - | - | - | 19:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | 3:00 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 13:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 21:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | 5:00 | - | - | - | - | - | - | - | - |

| CENTRIFUGA 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|--------------|-------|------|------|-------------|-------|------|------|----|--------------|-------|------|------|-------------|-------|------|------|----|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T1 | FASE ACETOSA | | | | FASE LODOSA | | | | T2 | FASE ACETOSA | | | | FASE LODOSA | | | | T3 | | | | | | | | | |
| | % Ac | % H2O | % LL | % LP | % Ac | % H2O | % LL | % LP | | % Ac | % H2O | % LL | % LP | % Ac | % H2O | % LL | % LP | | | | | | | | | | |
| 45:50 | - | - | - | - | T | - | - | - | - | 45:50 | - | - | - | T | - | - | - | - | 45:50 | - | - | - | T | - | - | - | - |
| 7:00 | 20 | 2 | 35 | - | - | - | - | - | - | 15:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | 23:00 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 8:00 | 20 | 1 | 30 | - | - | - | - | - | - | 17:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | 1:00 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 11:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 19:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | 3:00 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 13:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 21:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | 5:00 | - | - | - | - | - | - | - | - |

| CENTRIFUGA 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|--------------|-------|------|------|-------------|-------|------|------|----|--------------|-------|------|------|-------------|-------|------|------|----|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T1 | FASE ACETOSA | | | | FASE LODOSA | | | | T2 | FASE ACETOSA | | | | FASE LODOSA | | | | T3 | | | | | | | | | |
| | % Ac | % H2O | % LL | % LP | % Ac | % H2O | % LL | % LP | | % Ac | % H2O | % LL | % LP | % Ac | % H2O | % LL | % LP | | | | | | | | | | |
| 45:50 | - | - | - | - | T | - | - | - | - | 45:50 | - | - | - | T | - | - | - | - | 45:50 | - | - | - | T | - | - | - | - |
| 7:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 15:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | 23:00 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 8:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 17:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | 1:00 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 11:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 19:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | 3:00 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 13:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 21:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | 5:00 | - | - | - | - | - | - | - | - |

Nota. Registro Físico de Análisis Rápidos. Foto tomada del laboratorio.

| LABORATORIO EXTRACTORA | | | | | | | | | | | | | | Código: FR-PS-LE-0009 | | | | | |
|---|------------|-------|----------|---------|----------------------------|------------------|-------------------------|-----------------|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------------------|-----------|----------------|-------------|-------------------------|--------------|
| REGISTRO ACEITE DE PALMA COMPRADO POR PLANTA EXTRACTORA | | | | | | | | | | | | | | Versión: 002 | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | Página: 1 de 1 | | | | | |
| FECHA | PLACA | HOJA | PRODUCTO | REMIÓN | PROVEEDOR | PESO MUESTRA (g) | VOLUMEN DE LA SODA (ml) | PESO CRISOL (g) | PESO CRISOL + IMPUREZAS (g) | % ACEDEZ | | % HUMEDAD | | % IMPUREZAS | | INDICE DE YODO | # PROVEEDOR | OPERARIO DE LABORATORIO | |
| | | | | | | | | | | PROVEEDOR | RESULTADO | PROVEEDOR | RESULTADO | PROVEEDOR | RESULTADO | | | | |
| 2025 10-24 | SPO 373 | 08:35 | CPO | 23978 | Alfonito | 5.295 | 5.49 | . | . | 2.79 | 2.65 | . | . | . | . | . | . | 3509031510 | H-R |
| | | | | | | 10.405 | . | . | . | . | . | 0.11 | 0.16 | . | . | . | . | | 62.92 |
| 2025 10-24 | SPO 373 | 20:50 | CPO | 601616M | Robinson Castilla | 5.051 | 5.06 | . | . | 2.39 | 2.56 | . | . | . | . | . | . | 3509031510 | D.S |
| | | | | | | 10.822 | . | . | . | . | . | 0.24 | 0.16 | . | . | . | . | | 54.44 |
| 2025 10-25 | STQ 662 | 20:50 | CPO | 149660 | EXT. SAN SEBASTI ANO | 5.716 | 7.76 | . | . | 3.72 | 3.98 | . | . | . | . | . | . | 3485034850 | D.S |
| | | | | | | 10.079 | . | . | . | . | . | 0.29 | 0.22 | . | . | . | . | | 51.96 |
| 2025 10-25 | SMP 326 | 20:50 | CPO | 14655 | EXT. SAN SEBASTI ANO | 5.080 | 7.89 | . | . | 3.54 | 3.98 | . | . | . | . | . | . | 3377033770 | D.S |
| | | | | | | 10.128 | . | . | . | . | . | 0.29 | 0.39 | . | . | . | . | | 52.06 |
| 2025 10-25 | SOM 007 | 08:50 | CPO | 8738 | SAYUCA | 5.461 | 6.21 | . | . | 2.62 | 2.91 | . | . | . | . | . | . | 3395033950 | SILIN SAP |
| | | | | | | 10.201 | . | . | . | . | . | 0.12 | 0.09 | . | . | . | . | | 52.29 |
| 2025 10-25 | XVA 937 | 09:50 | CPO | 8350 | SAYUCA | 5.263 | 6.04 | . | . | 2.73 | 2.94 | . | . | . | . | . | . | 3318033180 | SILIN SAP |
| | | | | | | 10.226 | . | . | . | . | . | 0.30 | 0.10 | . | . | . | . | | 52.23 |
| 2025 10-25 | SUN 101 | 09:50 | CPO | 144661 | EXT. SAN SEBASTI ANO | 5.328 | 8.01 | . | . | 3.69 | 3.85 | . | . | . | . | . | . | 3925039250 | |
| | | | | | | 10.402 | . | . | . | . | . | 0.27 | 0.25 | . | . | . | . | | 49.72 |
| | | | | | | 20311 | | 23644 | 23.654 | | | | | | | | | | |

REVISADO:

NOTA: Vehículo CNV 101 primer @Malises Humedad A/TG 2.54%, 17.992%, Imp 0.05

Nota. Registro Físico de Aceite de Palma Comprado por Planta Extractora. Foto tomada del laboratorio.