



CONFERENCIA **NACIONAL** SOBRE **PALMA DE ACEITE**

Un encuentro para vivir el
conocimiento e impulsar
la agroindustria

Impurezas en los RFF

Efecto en la clarificación, calidad del CPO y efluentes.

Autores:

- **Cenipalma:**

Juliana Zárate, Álvaro Rincón, Diana Chaparro, Néstor Chávez y Jesús García

- **Palmas del Cesar:**

David Tovar y Carlos Fernández

Presenta: David Tovar – Palmas del Cesar SAS



35
AÑOS



Villavicencio, Parque Las Malocas

22 al 24
de septiembre **2026**

CONTENIDO



01

Contexto y problema

Por qué las impurezas afectan el proceso y por qué nos importa

02

Objetivos

Propósito del estudio

03

Diseño experimental y metodología

Metodología y mediciones realizadas

04

Resultados

Resultados de composición, clarificación, calidad del aceite y efluentes

05

Conclusiones

Conclusiones y aplicabilidad para el sector palmero



Trayectoria

Más de 66 años de operaciones en cultivo y extracción de aceite crudo de palma y palmiste.



Ubicación

Plantación localizada en el corregimiento de Minas, municipio de San Martín, sur del departamento del Cesar.



Cultivos

Contamos con 3.500 hectáreas propias y 10.000 hectáreas con terceros.



Capacidad de proceso

Capacidad de procesamiento 75 t RFF/h en 2 líneas de proceso: línea 1 de 30 t/h y línea 2 de 45 t/h.



Producción anual y almacenamiento

Procesamos 270.000 toneladas de fruta al año con un total de 58.000 toneladas de aceite crudo de palma.

Capacidad de almacenamiento 7.500 toneladas de aceite crudo de palma y 300 toneladas de aceite crudo de palmiste.



Aprovechamiento integral

Contamos con planta de biogás y planta de biocompost, y cogeneramos el 70% de la energía eléctrica.



Certificaciones

RSPO, ISCC, APS Colombia, ISO 9001, Cercarbono, Cero Deforestación y Great Place to Work.



¿Por qué importan las impurezas en el fruto?



Impactos a lo largo del proceso

1. **Eficiencia en clarificación:** Más lodos, más pérdidas de aceite y mayor consumo de agua y energía.
2. **Calidad de aceite de palma:** El cloro y el hierro contenidos en impurezas migran al aceite.
3. **Incidencia en efluentes:** Más dispersión DQO, ST, Cloruros y, en consecuencia, mayor control para el cumplimiento normativo del vertimiento

Qué queríamos entender y demostrar

1

Caracterización

Parámetros fisicoquímicos de las impurezas separadas con el sistema.

2

Clarificación

Impacto del sistema en la etapa de clarificación del aceite.

3

Calidad

Influencia en la calidad del aceite crudo de palma terminado.

4

Efluentes

Influencia en las características fisicoquímicas de los efluentes de planta beneficio.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto del sistema de reducción de impurezas de los RFF en la calidad del CPO, clarificación y los efluentes.

Diseño del experimento y rigor metodológico

T1

Sin sistema

Proceso convencional

T2

Con sistema

Reducción de impurezas
activa



>20

Réplicas por cada tratamiento

El número de réplicas por variable se definió mediante estimación de tamaño muestral y potencia estadística, con niveles de confianza del 95 % y potencia mínima del 80 %

PROTOCOLO DE COMPARABILIDAD

· Misma línea de proceso · Mismo período (jul. 2024 – ene. 2025)

Plan de muestreo

1 semana	Estabilización T1
2 semana	Muestreo T1
3 semana	Estabilización T2
4 semana	Muestreo T2

Consideraciones

Las muestras fueron recolectadas en condiciones normales de operación, manteniendo estabilidad de variables.

Análisis estadístico

Prueba t de Student ($p < 0,10$)
Correlación de Pearson
Software: R Studio v4.3.2

Qué medimos para cada objetivo

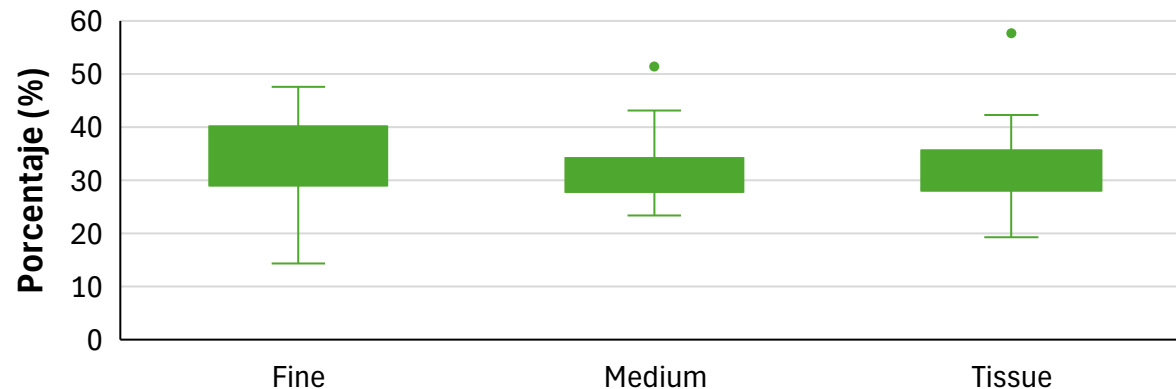
Metodología

Objetivo	Parámetros fisicoquímicos	Laboratorio
OE 1. Caracterización de las Impurezas	Caracterización de las fracciones de las impurezas + Macro y micronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Cl, S, B, Fe, Cu, Mn, Zn)	Lab. Extractora Lab. Cenipalma
OE 2. Etapa de la Clarificación	Eficiencia pre-clarificador (%) + pérdidas en centrífugas (ac/SSNA) + arena retirada (kg/t RFF)	Lab. Extractora
OE 3. Calidad del CPO	Cloro total (ASTM D7359) + hierro total (ICP-MS)	Lab. Acreditado
OE 4. Efluentes de planta.	DQO + sólidos totales + cloruros	Lab. Extractora

OE 1. Realizar una caracterización de propiedades fisicoquímicas de las impurezas separadas en la implementación del sistema de reducción de impurezas de RFF.



Variabilidad de la composición de impurezas

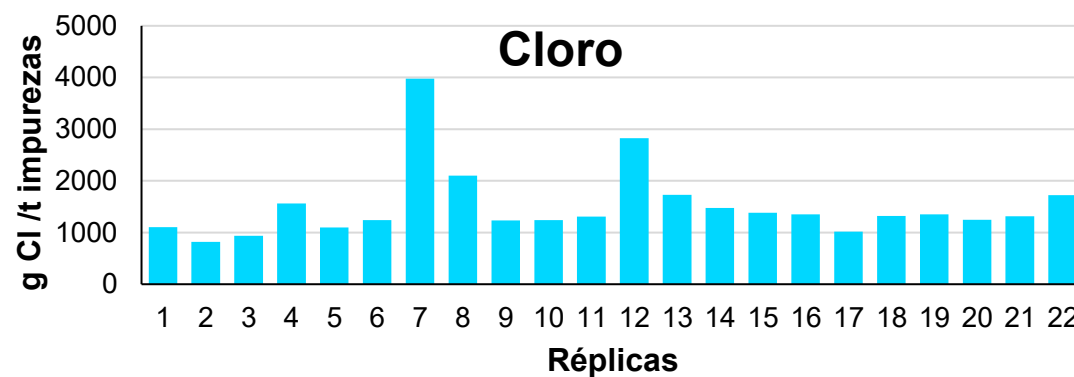
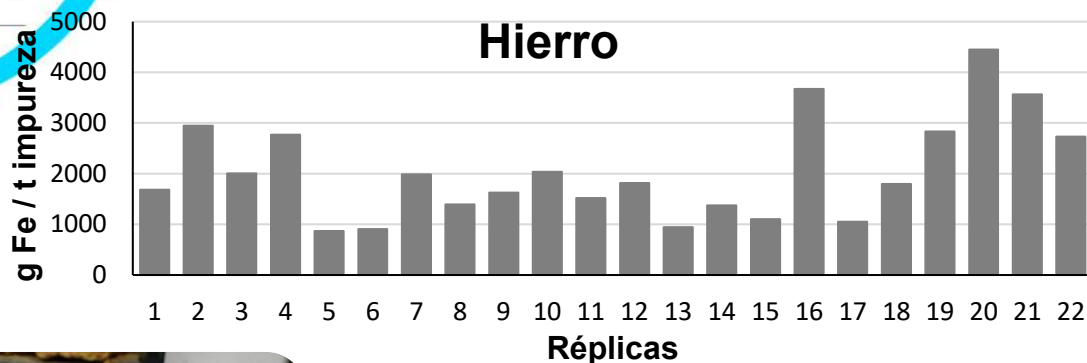


Concentración de nutrientes por fracción (mg/kg de MS)

Fracción	Nitrógeno	Fosforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Cloro	Azufre
Tejido	9.492 ± 847	1.274 ± 161	5.778 ± 849	5.224 ± 739	3.052 ± 372	2.197 ± 737	1.234 ± 104
Medio	19.066 ± 6.484	144 ± 75	3.786 ± 640	1.066 ± 247	1.647 ± 271	1.472 ± 1282	126 ± 64
Fino	15.475 ± 3.349	171 ± 71	2.755 ± 630	1.020 ± 311	1.318 ± 345	980 ± 653	131 ± 82

Fracción	Bromo	Hierro	Cobre	Magnesio	Zinc
Tejido	16,4 ± 3,6	5783 ± 2434	21,7 ± 4,9	216 ± 56	68 ± 57
Medio	3,8 ± 1,1	103 ± 47	1,4 ± 0,4	107 ± 12	25 ± 10
Fino	3,4 ± 0,8	162 ± 94	1,6 ± 0,5	107 ± 13	24 ± 11

Resultados del análisis químico



Contenido total de nutrientes en las impurezas (g/t)

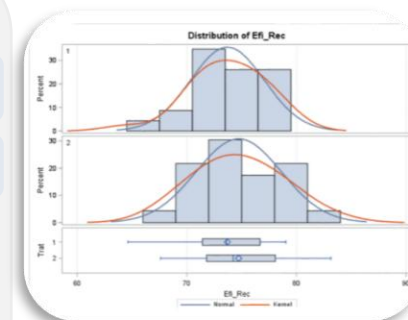
Nitrógeno	Fosforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Cloro
14.486 ± 2793	530 ± 146	4.061 ± 637	2.444 ± 560	2.000 ± 318	1.517 ± 695
Azufre	Bromo	Hierro	Cobre	Manganeso	Zinc
476 ± 85	6 ± 1	1.863 ± 887	8 ± 2	126 ± 18	49 ± 42

OE2. Evaluar el impacto del sistema de reducción de impurezas de RFF en la etapa de clarificación



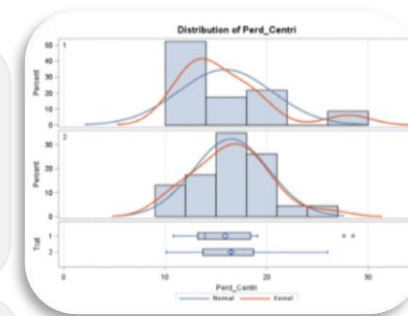
Eficiencia pre-clarificador (%)

T1 (Con Impurezas)	73,69 % ± 3,36	
T2 (Sin Impurezas)	74,72 % ± 3,89 (+1,03 %, p-valor = 0,34)	
T1 (Con Impurezas)	Min. 64,00%	Máx. 79,00%
T2 (Sin Impurezas)	Min. 67,00%	Máx. 84,00%



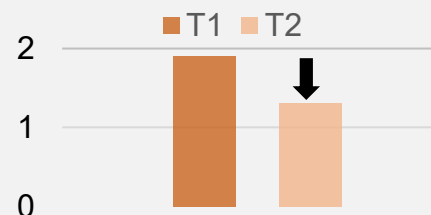
Pérdidas en centrifugas (% ac/SSNA)

T1 (Con Impurezas)	15,89 % ac/SSNA ± 4,61	
T2 (Sin Impurezas)	16,48 % ac/SSNA ± 3,71 (+0,59, p-valor = 0,63)	



Arena retirada (Kg/ton RFF)

-31 % Arena
1,9 → 1,3 kg/ton RFF



Indicadores por tonelada de RFF



Consumo de energía eléctrica para aceite rojo (kW/t RFF) ↓

T1 (Con Impurezas)

20,66 kW/t (Picos de 25,5)

T2 (Sin Impurezas)

20,10 kW/t (-2,7% Reducción)

Consumo de agua de clarificación (m³/t RFF) ↓

T1 (Con Impurezas)

0,539 m³/t (Picos > 1 m3)

T2 (Sin Impurezas)

0,334 m³/t (-38,0% Reducción)

↓ Arena -31 % → ↓ Agua -38 % → ↓ Energía -2,7 %

Tasa de extracción de aceite (% ac/RFF) ↑

T1 (Con Impurezas)

19,50 % aceite/RFF (Caídas al 17%)

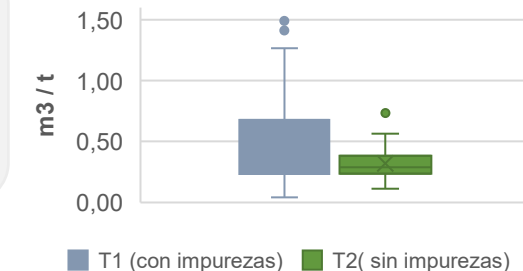
T2 (Sin Impurezas)

20,30 % aceite/RFF (+0,8% Incremento)

Consumo de energía



Consumo de agua



OE3. Evaluar la influencia del sistema de reducción de impurezas de RFF en la calidad del aceite terminado.

Cloro (ppm) ↓

T1 (Con Impurezas)

6,705 mg/kg ± 5,35

T2 (Sin Impurezas)

4,176 mg/kg (-37,7% Reducción, p-valor=0,06)

Hierro (ppm) ↓

T1 (Con Impurezas)

8,697 mg/kg ± 5,12

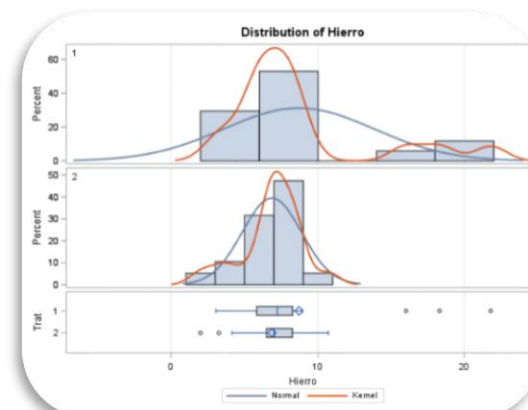
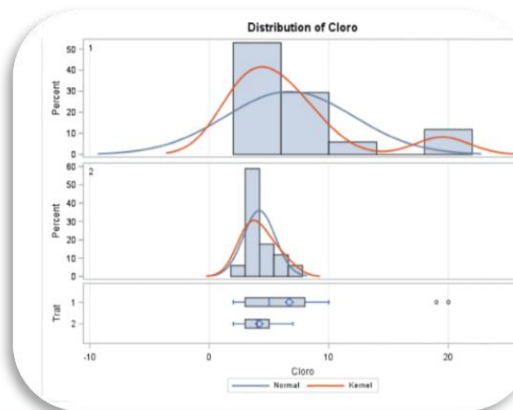
T2 (Sin Impurezas)

6,855 mg/kg (-21,2% Reducción, p-valor=0,15)

$Prob > |r| \text{ under } H_0: \rho=0$

Number of Observations

variable	Cloro	Hierro
Cloro	100.000	0.78894 <.0001
Hierro	0.78894 <.0001	100.000



OE4. Evaluar la influencia del sistema de reducción de impurezas de RFF en las características finales de los efluentes



DQO - Efluente (mg/L)

T1 (con impurezas) 79.356 mg/L

T2 (sin impurezas) 73.352 mg/L (-7,6%, p-valor >0,10)

Sólidos totales - Efluentes (mg/L)

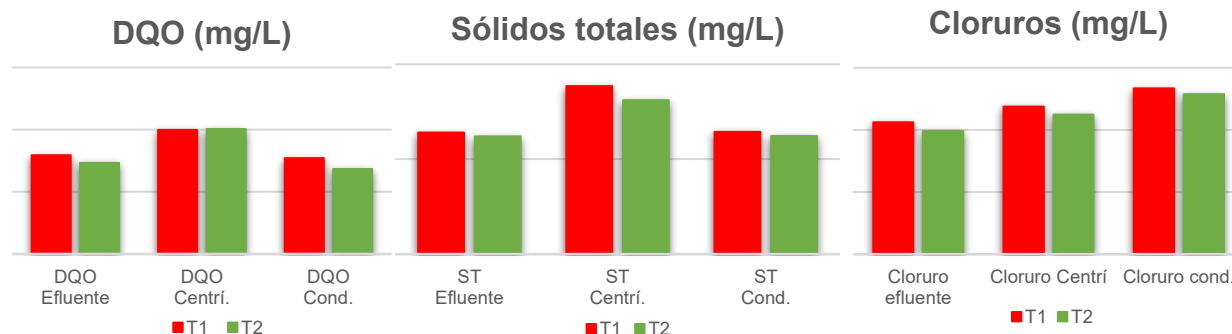
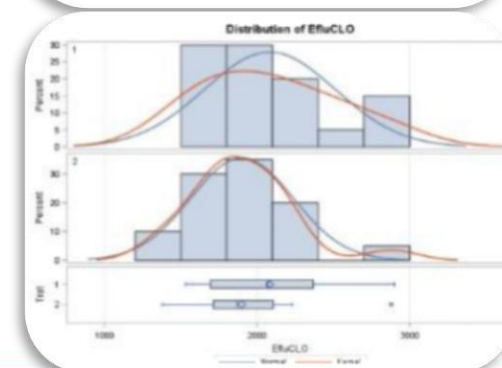
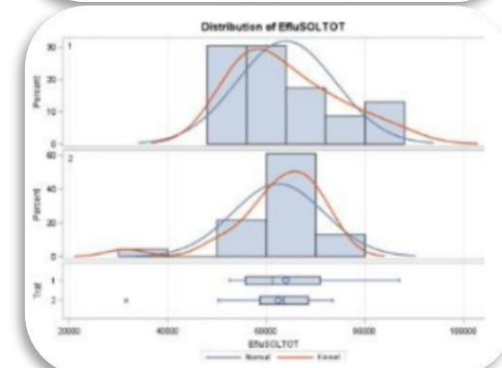
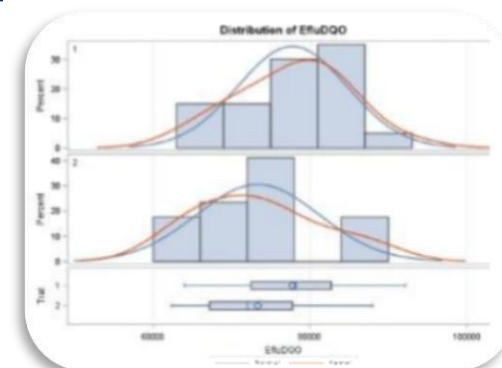
T1 (con impurezas) 63.974 mg/L

T2 (sin impurezas) 62.000 mg/L (-3,1% p-valor >0,10)

Cloruros - Efluente (mg Cl⁻/L)

T1 (con impurezas) 2.124 mg/L

T2 (sin impurezas) 1.985 mg/L (-6,5% p-valor >0,10)



NOTA CLAVE

Los efluentes se mantienen **dentro de los rangos habituales** (sin diferencias significativas, $p > 0,10$), con menor dispersión en T2 — operación más estable.

Conclusiones

Objetivos	Resultados	Impacto
OE 1. Caracterización de las impurezas.	Por cada tonelada de impurezas retirada, se evita el ingreso al proceso de 2 kg de hierro y 1,5 kg de cloro. La asociación entre ambos elementos fue alta ($r = 0,79$; $p\text{-valor} < 0,0001$).	✓ Efecto significativo
OE 2. Etapas de Clarificación.	La remoción de impurezas no modificó la eficiencia del preclarificador (74%) ni las pérdidas de aceite en las centrífugas (16% ac/SSNA). Sin embargo, redujo en 31% la arena retirada en el ciclón desarenador.	— Sin cambios significativo (pero positivo)
OE 3. Calidad del CPO.	La remoción de impurezas redujo los contaminantes del CPO: - Cloro: disminución del 37% ($p\text{-valor} = 0,06$). - Hierro: disminución del 21% ($p\text{-valor} = 0,15$). Ambos contaminantes mostraron una alta correlación ($r = 0,79$), consistente con un origen común.	✓ Cloro: efecto significativo — Hierro: tendencia y relevancia práctica favorable
OE 4. Efluente de planta.	La remoción de impurezas no produjo cambios significativos en la DQO, los sólidos totales ni los cloruros del efluente ($p\text{-valor} > 0,10$). Sin embargo, los resultados fueron más uniformes, lo que indica una operación más estable.	— Sin cambio significativo (Pero positivo)

Limitación: La variabilidad entre réplicas, asociada a la recepción de RFF de **más de 300 proveedores**, redujo la capacidad del análisis para detectar diferencias estadísticamente significativas.

Agradecimientos

A CENIPALMA, a sus directivos y al equipo de trabajo,

nuestro sincero agradecimiento por el valioso apoyo brindado para la realización de este estudio.

Gracias

A stylized sunburst or starburst graphic composed of several elongated, rounded rectangular segments radiating from a central point. The segments are a darker shade of blue than the background, creating a subtle watermark-like effect in the upper right quadrant of the slide.