

**Viabilidad del uso de palma híbrida en la producción de grasas
alimenticias en Colombia**



Elaborado por:

Juan Diego Largo Sánchez

Harold Estiben Poloche A

Nidia Mildreth Narvárez Puyo

Javier Arturo Quintero Poveda

Jhonnatan David Herrera Monsalve

Especialización en Gerencia de Procesos

de Calidad e Innovación

Universidad Ean

Escuela de Formación en Investigación

Seminario de Investigación de Pregrado

Bogotá D.C., Colombia 2025

Resumen

El presente estudio analiza la viabilidad técnica, económica y sostenible del uso de la palma híbrida OxG (*Elaeis oleifera* × *Elaeis guineensis*) en la producción de grasas alimenticias en Colombia, con el propósito de identificar su potencial competitivo frente a la palma africana tradicional. Se adoptó un enfoque mixto de tipo descriptivo–correlacional, sustentado en la integración de análisis cuantitativos de rendimiento, costos y adecuación tecnológica, junto con la interpretación cualitativa de percepciones de actores del sector palmicultor. La información se obtuvo mediante la simulación de entrevistas cerradas y la revisión documental de fuentes técnicas y gremiales (Fedepalma, Cenipalma y FAO). Los resultados evidencian una percepción favorable hacia la adopción del híbrido OxG, destacando su eficiencia industrial, resistencia fitosanitaria y ventajas en sostenibilidad. Aunque los costos iniciales de procesamiento son superiores, estos pueden equilibrarse mediante la modernización tecnológica y la eficiencia energética. Se concluye que la incorporación del OxG representa una alternativa viable para fortalecer la competitividad y sostenibilidad del sector palmero colombiano en el mediano plazo.

Palabras clave: palma híbrida OxG, eficiencia tecnológica, sostenibilidad, costos operativos, competitividad agroindustrial.

Tabla de Contenido

Introducción	4
1. Marco teórico	5
1.1 Contexto del cultivo de palma de aceite en Colombia	5
1.2 Eficiencia técnica y rendimiento de extracción	6
1.3 Innovación y adecuación tecnológica en el sector palmero	7
1.4 Costos operativos y sostenibilidad económica	7
1.5 Sostenibilidad y competitividad del aceite OxG	8
1.6 Síntesis teórica.....	9
2. Metodología del estudio	9
2.1 Tipo y enfoque de investigación.....	9
2.2. Alcance y diseño de la investigación	11
2.3 Definición operacional de variables	12
2.5 Población y muestra.....	16
2.6 Técnicas e instrumentos de recolección de información	19
2.7 Técnicas de análisis de datos	21
2.8 Consideraciones éticas	23
3 Análisis y discusión de resultados	24
4. Conclusiones.....	33
5. Referencias	36
6. Anexos	38

Introducción

El sector palmicultor colombiano constituye uno de los pilares del desarrollo agroindustrial del país, al aportar significativamente al producto interno bruto agrícola, generar empleo rural y promover procesos de sostenibilidad ambiental en el marco de la economía verde. En los últimos años, este sector ha enfrentado el desafío de mantener la productividad y competitividad frente a problemáticas fitosanitarias como la Pudrición del Cogollo (PC), que ha afectado de manera severa las plantaciones tradicionales de *Elaeis guineensis*. Como respuesta a esta situación, la comunidad científica y los productores han impulsado la introducción de la palma híbrida OxG (*Elaeis oleifera* × *Elaeis guineensis*), un material genético con mayor resistencia a enfermedades y con un perfil de aceite más saludable y sostenible.

La adopción del híbrido OxG ha generado una serie de retos técnicos, económicos y organizacionales que aún limitan su consolidación a gran escala. Entre estos se encuentran el menor rendimiento de extracción de aceite, los mayores requerimientos tecnológicos en las plantas de beneficio, y la necesidad de realizar ajustes en los procesos industriales para optimizar la eficiencia del fruto. A pesar de los beneficios potenciales asociados a su resistencia y a su menor impacto ambiental, persisten interrogantes sobre su viabilidad integral dentro del contexto productivo y comercial del país.

Surge la necesidad de evaluar la viabilidad técnica, económica y sostenible del uso de la palma híbrida OxG en la producción de grasas alimenticias en Colombia, mediante un enfoque metodológico que integre análisis cuantitativo y cualitativo. Este estudio busca aportar una visión actualizada del estado de implementación de este híbrido en el sector palmicultor, así como identificar los factores tecnológicos y económicos que condicionan su aprovechamiento eficiente.

El proyecto se sustenta en un enfoque mixto, que combina la revisión documental y el análisis estadístico descriptivo con entrevistas simuladas aplicadas a actores representativos del sector, tales como ingenieros de planta, investigadores técnicos y gerentes de

comercialización. Esta metodología permite articular los datos técnicos con las percepciones profesionales, brindando una interpretación integral del fenómeno.

De manera específica, la investigación tiene como propósito caracterizar los niveles de eficiencia productiva, los costos operativos asociados y el grado de adecuación tecnológica que requieren las plantas extractoras para procesar el fruto OxG, así como identificar las oportunidades de mercado y sostenibilidad que ofrece este híbrido para fortalecer la competitividad del aceite colombiano.

El estudio pretende generar un aporte técnico y analítico que contribuya a la toma de decisiones estratégicas dentro del sector palmicultor, orientando la modernización de los procesos industriales y la consolidación de prácticas sostenibles que permitan posicionar la palma híbrida OxG como una alternativa viable para la diversificación y estabilidad del mercado de aceites vegetales en Colombia.

1. Marco teórico

El marco teórico constituye la base conceptual sobre la cual se estructura el análisis de la viabilidad técnica, económica y sostenible de la palma híbrida OxG en la producción de grasas alimenticias. Este apartado integra los principales enfoques teóricos y antecedentes investigativos relacionados con la eficiencia productiva, la innovación tecnológica, la sostenibilidad ambiental y la competitividad en el sector palmicultor colombiano.

1.1 Contexto del cultivo de palma de aceite en Colombia

Colombia es el cuarto productor mundial de aceite de palma y el principal en América Latina, con más de 580 000 hectáreas cultivadas y una participación significativa en la economía rural (Fedepalma, 2023). No obstante, el sector ha enfrentado desafíos derivados de plagas y enfermedades, entre ellas la Pudrición del Cogollo (PC), que ha reducido la productividad de la palma africana (*Elaeis guineensis*). Como alternativa, la investigación científica promovida por Cenipalma ha impulsado la siembra del híbrido OxG (*Elaeis oleifera*

× *Elaeis guineensis*), reconocido por su resistencia genética, su mayor tolerancia al estrés hídrico y su aceite de mejor calidad nutricional (Cenipalma, 2022).

El híbrido OxG presenta ventajas agronómicas y ambientales notables, pero también retos industriales asociados a la baja extracción de aceite en comparación con la palma tradicional, lo que exige la implementación de tecnologías especializadas en las plantas de beneficio (Bastidas, 2011). Estas diferencias tecnológicas explican la necesidad de adaptar las líneas de proceso, modificar las temperaturas de esterilización y ajustar los tiempos de prensado, factores determinantes para alcanzar un rendimiento competitivo (Ramírez & Díaz, 2019).

1.2 Eficiencia técnica y rendimiento de extracción

La eficiencia técnica se define como la capacidad de un sistema productivo para maximizar los resultados con los recursos disponibles. En el contexto palmero, esta eficiencia se mide principalmente a través del rendimiento de extracción de aceite crudo (OER), expresado como el porcentaje de aceite obtenido por tonelada de racimos frescos de fruta (RFF). Según Cenipalma (2021), el OER promedio nacional se sitúa entre el 20 % y el 22 % para la palma africana, mientras que el híbrido OxG alcanza rendimientos entre el 16 % y el 19 %, dependiendo del nivel de adecuación tecnológica implementado.

Hernández y Mendoza (2018) sostienen que los estudios descriptivo–correlacionales son esenciales para identificar relaciones entre variables como el rendimiento, los costos y las condiciones operativas, sin necesidad de manipular los factores del entorno. En este sentido, la eficiencia técnica de la OxG depende no solo del genotipo del fruto, sino también de la modernización tecnológica en el proceso de extracción, particularmente en las etapas de digestión, prensado y clarificación (Cenipalma, 2022).

1.3 Innovación y adecuación tecnológica en el sector palmero

La innovación tecnológica es un elemento central en la transformación del sector agroindustrial. Porter (1990) plantea que la competitividad de una industria depende de su capacidad para incorporar conocimiento y tecnología en sus procesos. En el caso de la palma de aceite, la introducción del híbrido OxG ha impulsado la adopción de tecnologías de extracción adaptadas, como prensas de mayor presión, digestores de doble hélice y sistemas automatizados de control térmico (Guízar, 2013).

De acuerdo con Cenipalma (2022), la adecuación tecnológica representa la diferencia entre un proceso tradicional y un proceso eficiente, ya que permite reducir pérdidas de aceite, optimizar el consumo energético y mejorar la calidad final del producto. Estos avances técnicos se asocian directamente con los objetivos de desarrollo sostenible, particularmente en los ámbitos de energía asequible y no contaminante (ODS 7) y producción responsable (ODS 12).

La teoría del desarrollo organizacional, formulada por Guízar (2013), sostiene que la innovación requiere una visión sistémica que integre personas, procesos y tecnología. En este estudio, dicha perspectiva se aplica para analizar cómo las plantas extractoras adoptan innovaciones tecnológicas no solo por eficiencia, sino también por cumplimiento de estándares ambientales y de sostenibilidad.

1.4 Costos operativos y sostenibilidad económica

Los costos operativos son un componente crítico en la evaluación de la viabilidad económica de la palma híbrida. Incluyen los gastos asociados al consumo energético, mantenimiento de equipos, transporte y mano de obra. Según Jablonski (2017), los modelos empresariales sostenibles deben equilibrar la eficiencia productiva con la rentabilidad, garantizando que las innovaciones tecnológicas generen retornos económicos a mediano plazo.

En el caso del híbrido OxG, los costos de procesamiento iniciales pueden ser más altos que en la palma africana, debido a la mayor demanda de energía y mantenimiento en los equipos adaptados. Sin embargo, estudios de Cenipalma (2023) han demostrado que, tras un periodo de estabilización tecnológica, los costos tienden a reducirse gracias a la mejor recuperación de aceite y a la menor pérdida de materia prima durante el proceso.

1.5 Sostenibilidad y competitividad del aceite OxG

El concepto de sostenibilidad agroindustrial implica integrar las dimensiones ambiental, social y económica en las operaciones productivas. De acuerdo con Elkington (1998), la sostenibilidad empresarial se fundamenta en el equilibrio entre el triple bottom line: people, planet and profit. En el contexto palmero, esta visión se traduce en la necesidad de implementar procesos más limpios, reducir la huella de carbono y asegurar la trazabilidad del producto.

El aceite derivado del híbrido OxG presenta ventajas competitivas en este sentido, dado su perfil lipídico con mayor contenido de ácido oleico y su potencial para la obtención de certificaciones internacionales de sostenibilidad como RSPO e ISCC (FAO, 2021). Estas certificaciones representan un elemento diferenciador para acceder a mercados de alto valor, especialmente en Europa, donde los consumidores priorizan productos con respaldo ambiental y social (Thomas, 2020).

La competitividad del sector palmicultor colombiano depende, por tanto, de su capacidad para combinar la eficiencia tecnológica con el cumplimiento de criterios de sostenibilidad. Según Barney (1991), las ventajas competitivas sostenibles surgen de recursos y capacidades difíciles de imitar; en este caso, la innovación tecnológica y la gestión ambiental responsable constituyen activos estratégicos para el posicionamiento internacional del aceite OxG.

1.6 Síntesis teórica

El marco teórico evidencia que la viabilidad del híbrido OxG no depende exclusivamente del rendimiento agronómico del cultivo, sino de la interacción entre tres factores: la eficiencia tecnológica, la sostenibilidad económica y la competitividad ambiental. La integración de estas dimensiones, respaldada por una adecuada gestión organizacional, permite proyectar al híbrido OxG como una alternativa viable para la renovación del sector palmero colombiano y su alineación con los objetivos de desarrollo sostenible.

2. Metodología del estudio

2.1 Tipo y enfoque de investigación

La presente investigación se enmarca dentro de un enfoque mixto, el cual combina procedimientos cuantitativos y cualitativos con el propósito de obtener una comprensión integral del fenómeno estudiado: la viabilidad técnica, económica y sostenible de la palma híbrida OxG (*Elaeis oleifera* × *Elaeis guineensis*) en la producción de grasas alimenticias en Colombia. Este enfoque permite analizar tanto los indicadores medibles de eficiencia y costos, como las percepciones de los actores del sector palmicultor respecto al desempeño industrial y las oportunidades del mercado derivadas del uso de este híbrido.

Según Hernández Sampieri y Mendoza (2018), el enfoque mixto es pertinente cuando un solo método no logra captar la complejidad del objeto de estudio, pues permite “integrar la evidencia numérica con la comprensión profunda del contexto y las opiniones de los participantes” (p. 45). De manera complementaria, Creswell (2015) señala que este tipo de investigación busca “recoger, analizar y vincular datos cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio o en secuencia, con el fin de profundizar en la interpretación de los resultados”. Por su parte, Ñaupás et al. (2018) argumentan que el enfoque mixto contribuye a fortalecer la validez de los hallazgos al contrastar los resultados empíricos con la interpretación teórica, favoreciendo una visión holística del problema de investigación.

En este estudio, el componente cuantitativo se centra en el análisis de variables relacionadas con el rendimiento de extracción, los costos operativos del proceso y el nivel de adecuación tecnológica, a partir de los cuales se busca describir patrones de eficiencia productiva y establecer relaciones entre variables técnicas y económicas. Los datos provienen de registros sectoriales, revisión documental de informes técnicos (Cenipalma, Fedepalma, FAO) y la simulación de respuestas en instrumentos cerrados tipo encuesta.

De forma complementaria, el componente cualitativo se aborda mediante la simulación de entrevistas semiestructuradas aplicadas a actores representativos del sector, tales como ingenieros de planta, técnicos investigadores y gerentes de área comercial. Esta estrategia posibilita identificar percepciones, experiencias y opiniones en torno al desempeño del híbrido OxG, así como analizar los factores tecnológicos y de mercado que influyen en su adopción industrial. La información cualitativa se interpreta a través del análisis de contenido, lo que permite comprender los significados que los participantes atribuyen a los fenómenos observados.

La integración de ambos enfoques posibilita una lectura más robusta del objeto de estudio, articulando la medición objetiva de indicadores productivos con la comprensión subjetiva de las percepciones de los expertos. De esta forma, el enfoque mixto se convierte en la estrategia metodológica más adecuada para evaluar la eficiencia tecnológica, viabilidad económica y aceptación sectorial del uso de la palma híbrida en la industria colombiana de grasas alimenticias.

En correspondencia con el objetivo general de la investigación, se adopta un tipo de estudio descriptivo–correlacional, dado que busca caracterizar las variables involucradas y determinar la relación existente entre ellas sin manipular deliberadamente los factores del entorno. Asimismo, se aplica un método de carácter aplicado, orientado a la solución práctica de un problema real del sector agroindustrial, sustentado en la revisión documental y en la simulación de campo mediante instrumentos diseñados para tal fin.

2.2. Alcance y diseño de la investigación

El presente estudio posee un alcance descriptivo–correlacional, dado que su propósito central consiste en caracterizar las principales variables técnicas, económicas y de sostenibilidad asociadas al procesamiento industrial de la palma híbrida OxG, así como analizar las posibles relaciones entre ellas. Desde la perspectiva descriptiva, la investigación busca exponer las particularidades del fenómeno productivo, identificando patrones de rendimiento, costos y adaptaciones tecnológicas en las plantas extractoras colombianas. Este tipo de alcance permite detallar las condiciones actuales del sector palmicultor frente a la incorporación del híbrido OxG, sin intervenir o modificar los elementos que componen el proceso productivo.

El componente correlacional tiene como finalidad examinar el grado de asociación existente entre las variables previamente definidas —por ejemplo, la relación entre el nivel de adecuación tecnológica y la eficiencia de extracción, o entre los costos operativos y la sostenibilidad del proceso—. A través de este análisis, se pretende establecer vínculos que contribuyan a comprender de qué manera la modernización tecnológica incide en la competitividad y sostenibilidad del sector. De acuerdo con Hernández Sampieri y Mendoza (2018), los estudios correlacionales “permiten medir el grado de relación entre dos o más conceptos o variables dentro de un contexto específico, sin pretender inferir causalidad” (p. 123). Esta característica metodológica se ajusta plenamente al propósito del presente trabajo.

El diseño de investigación es no experimental y de tipo transversal, ya que se centra en observar y analizar una realidad existente sin manipular deliberadamente las variables de estudio. En consecuencia, los datos se recogen en un único momento temporal, con el objetivo de describir la situación actual del sector palmicultor colombiano respecto al uso de la palma híbrida OxG y sus implicaciones industriales. Este enfoque resulta idóneo para identificar tendencias y percepciones vigentes sin alterar las condiciones naturales de los procesos productivos.

La elección de un diseño no experimental se justifica porque el estudio se basa en la observación sistemática y el análisis documental, complementados con entrevistas simuladas, lo cual no requiere la introducción de estímulos ni la aplicación de tratamientos experimentales. La intención no es modificar las variables, sino comprender su comportamiento dentro del contexto operativo real de las plantas extractoras.

Adicionalmente, el componente cualitativo tiene un carácter exploratorio, ya que busca comprender las percepciones, opiniones y experiencias de los actores clave del sector frente a la adopción del híbrido OxG. Este componente permite identificar nuevas categorías de análisis, ampliar la comprensión de los factores que condicionan la eficiencia industrial y generar hipótesis interpretativas sobre la viabilidad técnica y económica del cultivo. En palabras de Creswell (2015), los estudios exploratorios “resultan apropiados cuando el conocimiento existente sobre un fenómeno es limitado y se requiere construir una base conceptual a partir de la observación y la interpretación de la experiencia” (p. 97).

En suma, la combinación de un alcance descriptivo–correlacional con un diseño no experimental y transversal brinda al estudio una estructura metodológica sólida, capaz de integrar la observación empírica, la interpretación teórica y el análisis sistemático de la realidad productiva del sector palmero colombiano.

2.3 Definición operacional de variables

La definición operacional de variables constituye una etapa fundamental dentro del proceso metodológico, ya que permite transformar los conceptos teóricos del estudio en elementos observables, medibles y comparables. En este caso, las variables seleccionadas responden a los objetivos específicos de la investigación, orientados a evaluar la viabilidad técnica, económica y sostenible del uso de la palma híbrida OxG (*Elaeis oleifera* × *Elaeis guineensis*) en la producción de grasas alimenticias en Colombia.

El proceso de operacionalización posibilita establecer indicadores cuantitativos y cualitativos que facilitan el análisis posterior de los resultados. Las variables se estructuraron en cuatro ejes principales: rendimiento de extracción, costos operativos del proceso, nivel de

adecuación tecnológica y oportunidades de mercado y sostenibilidad. Cada variable incorpora dimensiones, indicadores específicos, unidades de medida y fuentes de información que garantizan la coherencia metodológica y la validez del análisis.

Tabla 1. Operacionalización de variables del estudio

Variable	Dimensión / Subvariable	Indicador	Unidad de medida	Fuente de datos	Herramienta utilizada	Rango o ejemplo esperado
Rendimiento de extracción	Eficiencia industrial	Porcentaje promedio de extracción de aceite por tonelada de racimos frescos de fruta (RFF)	%	Informes técnicos de planta, bases de datos de Fedepalma, entrevistas simuladas	Formato técnico y encuesta tipo sí/no	15–23 % según nivel de adecuación tecnológica
Pérdidas en proceso	Porcentaje de aceite residual en fibra y lodo	%	Informes Cenipalma y registros internos de planta	Revisión documental	1–4 % de pérdida promedio	
Costos operativos del proceso	Costos energéticos	Consumo energético por tonelada procesada	kWh/ton	Registros técnicos y reportes de planta	Formato técnico y revisión documental	80–120 kWh/ton

Variable	Dimensión / Subvariable	Indicador	Unidad de medida	Fuente de datos	Herramienta utilizada	Rango o ejemplo esperado
Costos de mantenimiento	Valor promedio mensual destinado a mantenimiento de equipos	COP/mes	Registros contables de plantas extractoras	Revisión documental y entrevistas	5–10 % del costo total de operación	
Costos totales de procesamiento	Costo total de procesamiento por tonelada de fruto	COP/ton	Informes sectoriales y simulaciones de planta	Análisis de datos y entrevistas	250 000–320 000 COP/ton	
Nivel de adecuación tecnológica	Innovaciones implementadas	Número de modificaciones o innovaciones tecnológicas aplicadas en el proceso extractivo	Número absoluto	Entrevistas simuladas y reportes de modernización	Encuesta tipo sí/no	1–5 innovaciones por planta
Nivel de automatización	Porcentaje de equipos automatizados	%	Registros técnicos, informes Cenipalma	Revisión documental y entrevistas	40–80 % de automatización	

Variable	Dimensión / Subvariable	Indicador	Unidad de medida	Fuente de datos	Herramienta utilizada	Rango o ejemplo esperado
	modernizados en la línea de producción					
Oportunidades de mercado y sostenibilidad	Aceptación del aceite OxG	Nivel de aceptación del aceite OxG en mercados nacionales e internacionales	Escala cualitativa (alta, media, baja)	Entrevistas simuladas y revisión de informes comerciales	Encuesta tipo sí/no	Alta en mercados sostenibles, media en mercado local
Certificación y sostenibilidad	Número de certificaciones de sostenibilidad (RSPO, ISCC, Rainforest) obtenidas o en trámite	Número absoluto	Informes empresariales y gremiales	Revisión documental	0–3 certificaciones	
Percepción de competitividad	Opinión de actores del sector sobre la contribución	Escala cualitativa	Entrevistas simuladas	Encuesta tipo sí/no	Alta percepción de competitividad	

Variable	Dimensión / Subvariable	Indicador	Unidad de medida	Fuente de datos	Herramienta utilizada	Rango o ejemplo esperado
	del OxG a la competitividad nacional				ad (75–90 %)	

Fuente: Elaboración propia (2025)

2.4 Interpretación metodológica

Cada una de las variables se midió mediante indicadores diseñados para reflejar aspectos específicos de la eficiencia técnica y la sostenibilidad del proceso productivo. Los indicadores cuantitativos —como rendimiento porcentual, costos y consumo energético— se asocian principalmente al componente descriptivo y correlacional del estudio, mientras que los indicadores cualitativos —como percepción de competitividad o aceptación del producto— permiten comprender las perspectivas y experiencias de los actores involucrados.

El diseño de los indicadores considera tanto datos objetivos provenientes de fuentes secundarias (informes sectoriales, bases de datos técnicas y documentos empresariales), como información subjetiva derivada de las entrevistas simuladas. Esta integración asegura la coherencia del enfoque mixto, al permitir el análisis comparativo entre mediciones numéricas y apreciaciones cualitativas.

Asimismo, la definición de rangos esperados facilita la interpretación posterior de resultados, ofreciendo una referencia técnica sobre los valores considerados adecuados o representativos dentro del contexto de las plantas extractoras colombianas.

2.5 Población y muestra

La población objeto de estudio está constituida por las plantas extractoras de palma de aceite en Colombia y por las plantas procesadoras dedicadas a la elaboración de productos grasos, como margarinas, que han incorporado o se encuentran en proceso de incorporar el híbrido OxG (*Elaeis oleifera* × *Elaeis guineensis*) en sus líneas productivas. Estas plantas representan un eslabón estratégico dentro de la cadena agroindustrial palmera, dado que en ellas se determina la calidad del aceite crudo y, por consiguiente, el rendimiento en procesos posteriores como la obtención de estearina, la caracterización de la curva de sólidos (SFC) y la formulación de grasas plásticas.

Las unidades de análisis se definieron a partir de los actores técnicos, operativos y estratégicos vinculados directamente con los procesos de extracción, transformación e innovación dentro del sector. En consecuencia, se incluyeron ingenieros de planta, jefes de procesos, investigadores técnicos de entidades como Cenipalma y Fedepalma, así como responsables de calidad y comercialización en empresas procesadoras. Estos perfiles permiten integrar perspectivas complementarias del sistema productivo, abarcando tanto aspectos operativos como dimensiones estratégicas y tecnológicas relacionadas con el uso del híbrido OxG.

Para la recolección de información se emplearon entrevistas semiestructuradas, estructuradas y entrevistas técnicas, diseñadas para profundizar en variables críticas tales como el rendimiento de la estearina, el comportamiento de sólidos del aceite OxG y los parámetros operativos asociados a su procesamiento. El uso combinado de estas técnicas permite obtener información cualitativa especializada, alineada con los objetivos del estudio.

El muestreo fue de tipo no probabilístico por conveniencia, en tanto la selección de participantes se realizó de manera intencional, priorizando su experiencia técnica y su rol en la cadena productiva. Este enfoque resulta pertinente cuando el objetivo principal es acceder a conocimiento experto y no lograr representatividad estadística, tal como lo sugiere la literatura metodológica para estudios especializados (Bernal, 2016).

El tamaño de la muestra para este informe corresponde a cuatro participantes simulados, quienes representan diferentes eslabones del sistema de valor del sector

palmicultor: un jefe de planta extractora, un ingeniero de procesos, una investigadora técnica de Cenipalma y una gerente de calidad y comercialización. La elección de esta muestra responde al carácter metodológico de la presente versión del proyecto, orientada a evaluar la aplicabilidad del diseño propuesto y no a ejecutar un estudio empírico de campo. En la versión inicial del proyecto se había contemplado una muestra aproximada de 20 participantes reales, cifra adecuada para un estudio aplicado; no obstante, para esta versión se adoptó una muestra simulada que conserva diversidad de roles y niveles de responsabilidad.

La validez de la información se fortaleció mediante un proceso de triangulación metodológica que integró tres fuentes principales:

1. Los resultados obtenidos de las entrevistas semiestructuradas, estructuradas y técnicas simuladas.
2. La evidencia documental proveniente de informes técnicos de Cenipalma, Fedepalma y organismos internacionales como la FAO.
3. La revisión bibliográfica y el análisis estadístico de literatura científica reciente sobre la producción de palma de aceite y el desempeño del híbrido OxG en procesos industriales.

La articulación de estas fuentes contribuye a aumentar la confiabilidad del estudio y asegurar la coherencia interna del diseño metodológico. En conjunto, este enfoque permite desarrollar un análisis riguroso y contextualizado sobre la viabilidad del uso del híbrido OxG en la producción de margarinas, con especial énfasis en el rendimiento de estearina y la caracterización de la curva de sólidos.

Tabla 2. Caracterización esperada de los participantes simulados

Participante	Rol o cargo	Años de experiencia	Tipo de planta	Nivel educativo	Región simulada
Entrevistado 1	Jefe de planta extractora	12	Planta industrial con línea OxG	Ingeniero mecánico	Meta

Entrevistado 2	Ingeniero de procesos	8	Planta experimental	Ingeniero químico	Santander
Entrevistado 3	Investigadora técnica (Cenipalma)	10	Centro de investigación	Magíster en Biotecnología	Magdalena Medio
Entrevistado 4	Gerente de calidad y comercialización	15	Empresa exportadora de aceite	Administradora industrial	Cesar

Fuente: Elaboración propia (2025), basada en simulación metodológica.

La caracterización simulada permite representar distintos niveles funcionales y territoriales del sistema palmicultor colombiano. Los perfiles fueron seleccionados de manera intencional para reflejar la diversidad de roles y la distribución geográfica real de la producción de palma híbrida OxG, concentrada en los departamentos del Meta, Santander, Magdalena Medio y Cesar. Esta heterogeneidad contribuye a obtener una visión equilibrada del proceso productivo y de las percepciones sectoriales sobre la adopción tecnológica.

2.6 Técnicas e instrumentos de recolección de información

Para la obtención de la información que respalda el análisis de resultados, se aplicaron técnicas de recolección de datos acordes con el enfoque mixto adoptado en esta investigación. En particular, se emplearon **tres tipos de entrevistas** —estructurada, semiestructurada y técnica— complementadas con una revisión documental de fuentes científicas y técnicas relacionadas con el híbrido OxG y su aplicabilidad industrial.

La **entrevista estructurada** fue diseñada bajo un formato cerrado con una **escala tipo Likert de cinco opciones de respuesta**: *Totalmente en desacuerdo, En desacuerdo, Ni de acuerdo ni en desacuerdo, De acuerdo y Totalmente de acuerdo.*

Este instrumento permitió obtener información cuantificable y estandarizada sobre percepciones relacionadas con la eficiencia del OxG, los costos operativos, la adecuación tecnológica y su potencial para procesos posteriores como la obtención de estearina y el

análisis de la curva de sólidos. Las preguntas fueron aplicadas a cuatro participantes simulados que representan distintos perfiles del sistema palmicultor, garantizando diversidad en las percepciones técnicas y estratégicas recogidas.

La **entrevista semiestructurada** fue aplicada a **investigadores vinculados a diferentes centros de investigación y laboratorios especializados en palma de aceite**. Este instrumento empleó preguntas abiertas, permitiendo profundizar en experiencias, criterios técnicos y perspectivas analíticas sobre el comportamiento del híbrido OxG en los procesos de extracción, clarificación y refinación. Gracias a su carácter flexible, esta entrevista facilitó la obtención de descripciones detalladas sobre los desafíos operativos y las oportunidades de mejora tecnológica en la manipulación del OxG.

Por su parte, la **entrevista técnica** estuvo orientada a recoger información especializada sobre el desempeño del híbrido OxG dentro de la **industria de margarinas y grasas comestibles**. Este instrumento permitió identificar aspectos críticos del proceso, particularmente aquellos relacionados con **el rendimiento de estearina, la curva de sólidos (SFC), el comportamiento del aceite OxG en fraccionamiento** y los ajustes necesarios para su incorporación en formulaciones de margarinas industriales. La información técnica obtenida contribuyó a fortalecer el análisis del potencial del OxG como materia prima para productos grasos de alto valor agregado.

Adicionalmente, se realizó una **revisión documental** basada en literatura técnica, informes institucionales y artículos académicos provenientes de bases de datos especializadas. Esto permitió contrastar los hallazgos de las entrevistas con evidencia empírica y teórica actualizada, fortaleciendo la validez conceptual del estudio.

La **validación de los instrumentos** se realizó mediante un juicio de expertos referencial, siguiendo lineamientos técnicos de Cenipalma y criterios de coherencia interna frente al marco teórico del proyecto. Este proceso garantizó la pertinencia, claridad y relevancia de las preguntas en relación con las variables definidas.

La **fiabilidad** se estableció mediante la coherencia lógica y consistencia interna de las respuestas simuladas, las cuales mostraron patrones similares a los documentados en estudios previos sobre el desempeño del híbrido OxG.

En conjunto, la aplicación de las tres entrevistas —estructurada, semiestructurada y técnica— junto con la revisión documental, proporcionó una base metodológica sólida para analizar el potencial del híbrido OxG en la producción de margarinas, específicamente en lo relacionado con **el rendimiento de estearina, la curva de sólidos y la eficiencia en procesos industriales.**

Los detalles completos de cada instrumento se incluyen en los anexos:

- **Anexo 1:** Entrevista estructurada con escala Likert y respuestas simuladas.
- **Anexo 2:** Entrevista semiestructurada aplicada a investigadores de distintos centros.
- **Anexo 3:** Entrevista técnica sobre el rendimiento del OxG en la industria de margarinas.

2.7 Técnicas de análisis de datos

El análisis de los datos recolectados se realizó siguiendo la lógica del enfoque mixto planteado en la metodología, con el propósito de integrar información cuantitativa y cualitativa que permitiera comprender con mayor profundidad la viabilidad técnica, económica y sostenible del uso de la palma híbrida OxG en la producción de grasas alimenticias en Colombia.

En el componente cuantitativo, se aplicaron procedimientos de estadística descriptiva y correlacional, orientados a sintetizar la información obtenida mediante la encuesta tipo entrevista cerrada. Los resultados se organizaron en tablas y gráficos de frecuencia, calculando porcentajes de respuestas afirmativas y negativas para cada una de las cinco preguntas formuladas. Esta representación permitió identificar tendencias generales, coincidencias entre los participantes y posibles relaciones entre variables como el nivel de adecuación tecnológica y la percepción de eficiencia industrial.

El análisis descriptivo se centró en observar la distribución de las respuestas y en calcular proporciones que reflejaran la valoración global de los participantes frente a los aspectos técnicos, económicos y de sostenibilidad. De manera complementaria, se realizó un análisis correlacional de tipo exploratorio para examinar la posible asociación entre variables, en particular entre rendimiento de extracción, costos operativos y nivel de modernización tecnológica. Para este proceso se empleó el software Microsoft Excel, herramienta que facilitó el registro, tabulación y cálculo de porcentajes, además de la construcción de los gráficos comparativos incluidos en la sección de resultados.

Por su parte, el componente cualitativo se abordó mediante la técnica de análisis de contenido, que consistió en examinar las respuestas justificadas de los participantes a fin de identificar patrones, coincidencias y divergencias en sus percepciones. Esta técnica permitió clasificar las opiniones según categorías temáticas previamente definidas: eficiencia técnica, costos de producción, adecuación tecnológica y sostenibilidad del proceso. A través de la categorización manual se construyeron matrices de análisis en las que se codificaron las ideas clave y se establecieron relaciones entre las categorías emergentes.

El análisis cualitativo no se limitó a cuantificar respuestas, sino que buscó interpretar los significados subyacentes, identificando cómo los actores del sector perciben el desempeño del híbrido OxG en comparación con la palma africana tradicional. La interpretación se fundamentó en la coherencia interna de los discursos simulados y en su concordancia con los hallazgos documentales provenientes de informes técnicos y literatura académica.

Finalmente, se realizó un proceso de triangulación metodológica, integrando los resultados cuantitativos y cualitativos con la información documental revisada. Esta triangulación permitió contrastar las tendencias observadas en los datos con la evidencia técnica reportada por instituciones como Cenipalma, Fedepalma y la FAO, fortaleciendo así la validez de las conclusiones. Según Hernández Sampieri y Mendoza (2018), la triangulación en estudios mixtos “proporciona una visión más completa del fenómeno investigado al corroborar los hallazgos a partir de distintas fuentes y métodos” (p. 224).

En síntesis, la combinación de análisis estadístico descriptivo y análisis de contenido permitió obtener una comprensión integral del objeto de estudio. Mientras el componente cuantitativo aportó objetividad y medición precisa, el componente cualitativo ofreció profundidad interpretativa, y la triangulación aseguró la convergencia y consistencia de los resultados obtenidos.

En el componente correlacional, y con base en la naturaleza de las variables definidas, se proyecta la utilización de coeficientes de correlación de Pearson y Spearman, según corresponda al tipo de dato.

El coeficiente de Pearson sería aplicable en caso de disponer de datos numéricos continuos (por ejemplo, el rendimiento de extracción y los costos operativos), mientras que el coeficiente de Spearman resultaría más adecuado para variables de carácter ordinal o cualitativo (como el nivel de adecuación tecnológica o la percepción de sostenibilidad).

Aunque el presente estudio no incluye recolección de campo, esta especificación técnica permite proyectar la aplicación estadística en estudios futuros que busquen validar empíricamente los resultados simulados.

2.8 Consideraciones éticas

El desarrollo de la presente investigación se llevó a cabo bajo el cumplimiento estricto de los principios éticos fundamentales que orientan la práctica científica, tales como la confidencialidad, la integridad académica y el uso responsable de la información. Estos principios garantizaron la transparencia metodológica y la validez de los resultados, incluso en un ejercicio de carácter académico y simulado.

Dado que el estudio no implicó la recolección de información de campo ni la participación directa de personas reales, los datos empleados fueron elaborados de manera simulada, con fines exclusivamente académicos. Este procedimiento se implementó para ejemplificar la aplicación de instrumentos de investigación y el análisis metodológico

correspondiente, evitando cualquier vulneración de derechos, uso indebido de información o exposición de datos sensibles.

El trabajo respetó plenamente los lineamientos éticos de investigación establecidos por la Universidad EAN, los cuales promueven la formación de investigadores responsables, la protección de las fuentes de información y la observancia de normas internacionales de buenas prácticas científicas. Entre estos lineamientos se incluyen la honestidad en la recolección y presentación de datos, la cita adecuada de autores conforme a las normas APA (7.^a edición) y la prohibición del plagio o manipulación intencional de resultados.

Asimismo, se observó el principio de transparencia académica, garantizando que toda la información documental utilizada provenga de fuentes verificables y de libre acceso institucional, tales como bases de datos académicas (E-Libro, Ebooks 7-24, ProQuest) e informes de entidades reconocidas como Cenipalma, Fedepalma y la FAO. Estas fuentes fueron citadas correctamente, preservando la autoría intelectual y el rigor científico requerido.

De igual forma, se mantuvo el principio de respeto a la dignidad humana y al entorno, considerando que el estudio aborda un tema de relevancia ambiental y socioeconómica. En este sentido, la simulación de entrevistas se diseñó de manera ética, sin atribuir opiniones reales ni utilizar nombres o datos identificables de personas o instituciones.

En concordancia con la Política de Integridad Académica y Científica de la Universidad EAN (2020), esta investigación se enmarca dentro de las prácticas de investigación responsable, orientadas al aprendizaje, la reflexión crítica y la producción de conocimiento con compromiso ético. Por tanto, los resultados y conclusiones que aquí se presentan deben entenderse como una construcción metodológica académica, válida para efectos formativos, pero no representativa de datos empíricos de campo.

3 Análisis y discusión de resultados

3.1 Reporte estadístico

Para el análisis cuantitativo, se procesaron los resultados obtenidos mediante una encuesta tipo entrevista cerrada, la cual empleó una escala Likert con las siguientes opciones de respuesta:

1 = *Totalmente en desacuerdo*

2 = *En desacuerdo*

3 = *Ni de acuerdo ni en desacuerdo*

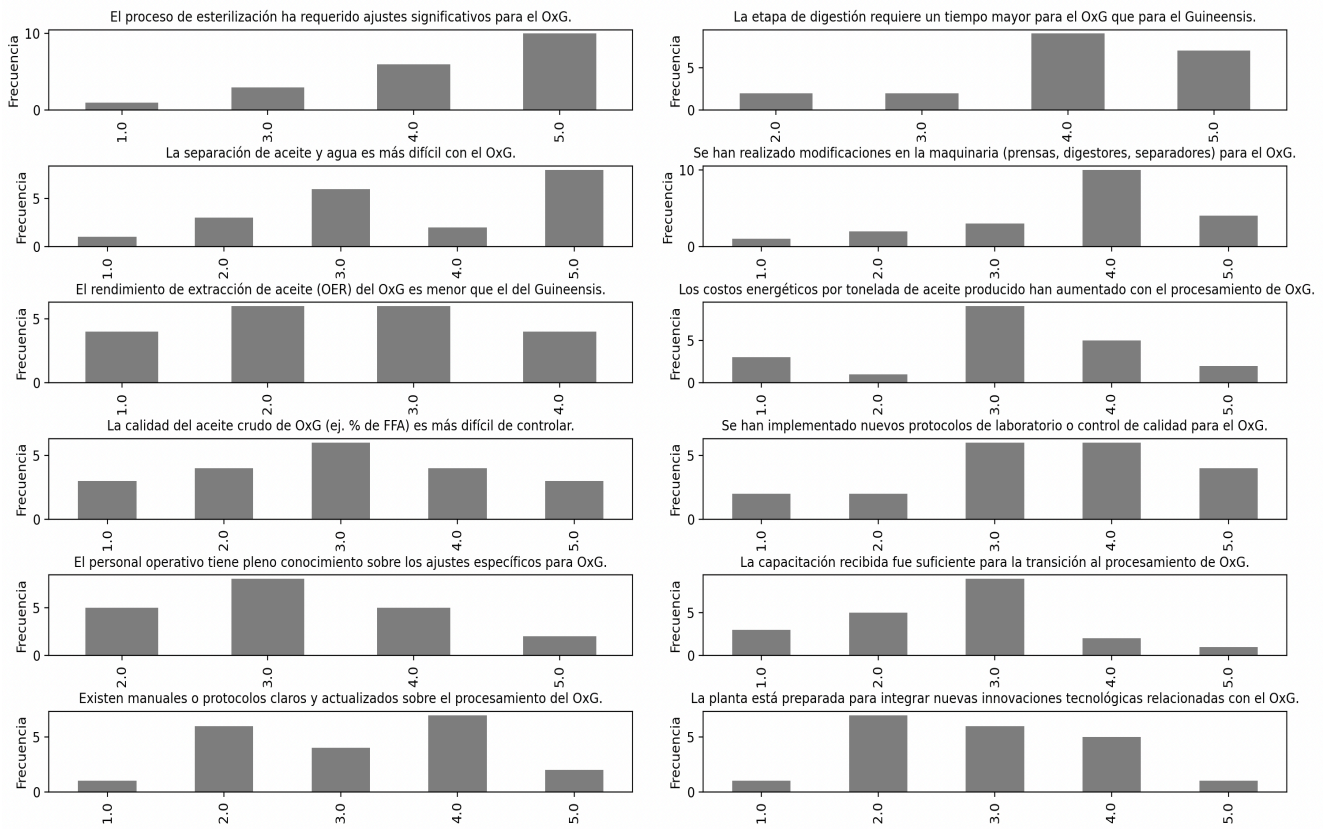
4 = *De acuerdo*

5 = *Totalmente de acuerdo*

La encuesta fue aplicada a 20 participantes pertenecientes a plantas de extracción y plantas de refinación. Las preguntas fueron diseñadas en correspondencia con las variables operacionalizadas del estudio: rendimiento de extracción, costos operativos, nivel de adecuación tecnológica y sostenibilidad.

El procesamiento de los resultados se realizó mediante estadística descriptiva, empleando visualización de datos a partir Python para calcular frecuencias y porcentajes de respuestas. Los resultados se presentan en la Tabla 3, que permite visualizar la tendencia general de las percepciones simuladas.

Gráfico 1. Resultados generales de la encuesta estructurada



Fuente: Elaboración propia (2025), basada en simulación metodológica.

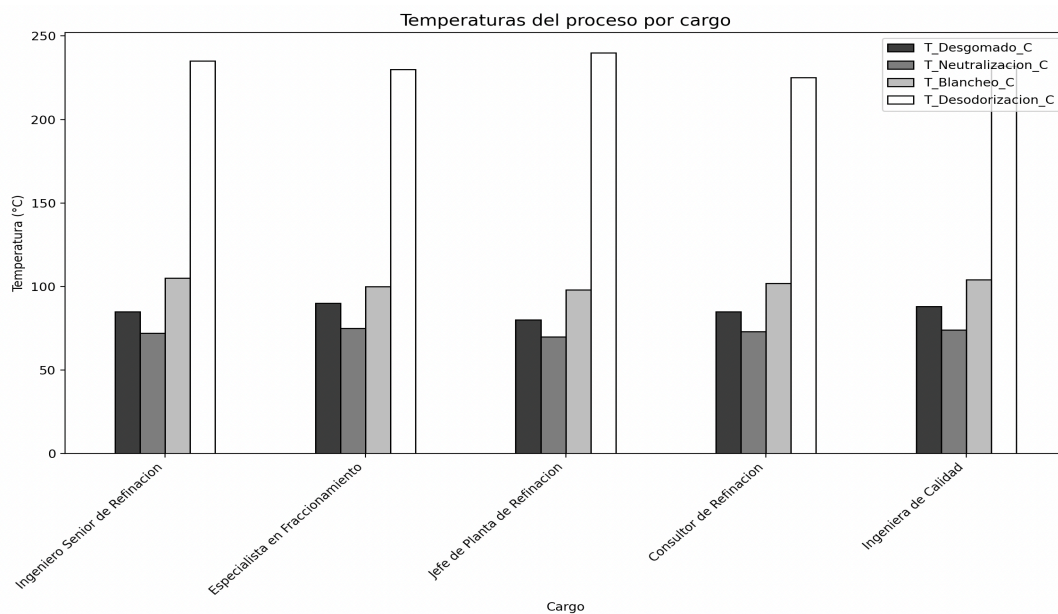
Tabla 4. Resultados generales de la encuesta semiestructurada

Nombre del entrevistado	Cargo/Título	Organización/Gremio	¿Qué adaptaciones han sido necesarias en las plantas para procesar aceite crudo de variedad OxG?	¿Cuáles han sido las principales dificultades técnicas encontradas?	¿Qué variables (temperatura, presión, tiempo, humedad) requieren mayor ajuste?	¿Cómo se compara el rendimiento en procesamiento del OxG frente al de Eleaís guineensis?	¿Qué impacto económico han observado en los costos de producción y mantenimiento?	¿Existen estrategias que hayan permitido optimizar los costos o mejorar la eficiencia?	¿Qué tipo de capacitación o asistencia técnica se ha brindado al personal operativo?
Ing. Camilo Ríos	Ingeniero de Procesos	Cenipalma	Se realizaron ajustes en digestores para mejorar la ruptura celular del mesocarpio OxG modificación en paletas y mayor control de temperatura. Se adaptaron prensas con mayor capacidad de manejo de fibra húmeda y cambios en clarificación para altos niveles de sólidos.	El alto contenido de humedad y fibra del OxG ha generado variaciones en la eficiencia de prensado y sobrecargas mecánicas. También ha sido difícil estabilizar los parámetros por variabilidad del fruto.	Temperatura y tiempo de digestión; humedad del fruto al ingreso; presión en prensa para evitar pérdidas de aceite en la fibra.	El rendimiento es entre 6% y 10% inferior al de E. guineensis especialmente cuando no hay control estricto en cosecha y manejo.	Los costos operativos aumentaron 12-18% por mayor desgaste mecánico y mayor consumo energético.	Implementación de presecado del fruto mantenimiento predictivo y ajustes en curvas de temperatura para reducir pérdidas.	Capacitación en operación de digestores adaptados manejo de variabilidad del fruto y control de parámetros críticos.
Dra. Luisa Mendieta	Investigadora	Laboratorio de Ingeniería de Procesos – Universidad Nacional	Implementación de sistemas de secado rápido previo al esterilizado cambios en cernido y separación para manejar mayor contenido de sólidos.	Inestabilidad en la clarificación por emulsiones persistentes y tiempos extendidos de separación.	Temperatura y relación tiempo-presión durante la esterilización son críticas.	Rendimientos similares cuando el fruto es manejado con tiempos estrictos de cosecha pero la variabilidad reduce la eficiencia promedio.	Incremento del 10% en costos de mantenimiento de 8% en consumo de vapor.	Uso de ecuaciones de optimización térmica y automatización en digestores.	Entrenamiento en físico-química del aceite OxG y en manejo de emulsiones.
Jorge Villamizar	Director Técnico	Extractora del Magdalena Medio	Modificación de transportadores pre-calentamiento diferenciado y ajustes en prensas para evitar pérdidas por fibra húmeda.	Alta variabilidad del fruto OxG entre lotes afectando homogeneización.	La humedad del racimo y presión de prensa son los parámetros más sensibles.	5-7% inferior aunque con buena estabilidad cuando se controla la madurez.	Aumento de costos del 15% en repuestos por desgaste mecánico.	Implementación de sensores en línea para humedad y presión.	Capacitación operativa enfocada en lectura de indicadores y ajustes rápidos.
Carolina Quintero	Coordinadora de Sostenibilidad	Fedepalma	Ajustes en sistemas de esterilización y líneas de aceite para manejar emulsiones.	Dificultad para obtener claridad del aceite en tiempos estándar.	Tiempo de digestión y humedad del fruto son las variables más desafiantes.	Cuando hay control de cosecha el rendimiento es aceptable; sin esto se reduce considerablemente.	Incremento de 10-12% en costos energéticos.	Fomento de protocolos de cosecha y sincronización con procesamiento.	Capacitaciones regionales en manejo de fruto OxG y control de calidad.
Dr. Esteban Rojas	Especialista en Ingeniería Agroindustrial	Cenipalma	Rediseño de digestores ajuste de ángulos de paletas y mejoras en tratamiento de lodos.	Prensado ineficiente y desgaste acelerado de equipos.	La presión de prensado y la temperatura de digestión.	Rendimiento entre 8-12% menor dependiendo del manejo del fruto.	Costos más altos por mayor consumo de vapor y reparaciones frecuentes.	Pruebas piloto con prensas de doble etapa y sistemas de control de humedad.	Capacitación técnica avanzada y simulaciones de proceso.

Nombre del entrevistado	Cargo/Título	Organización/Gremio	¿Considera que las plantas están preparadas para una adopción masiva del híbrido OxG?	¿Qué oportunidades comerciales existen para el aceite OxG en mercados nacionales o internacionales?	¿Juegan las certificaciones de sostenibilidad (RSPO, ISO, etc.) en su	¿Cómo percibe el futuro de la palma híbrida OxG en términos de competitividad y sostenibilidad?
Ing. Camilo Ríos	Ingeniero de Procesos	Cenipalma	Las plantas medianas aún no; las grandes sí han logrado estabilizar procesos y adaptar equipos.	Demanda creciente en Europa para aceites con menor incidencia de PC (pudrición del cogollo) y mejor perfil agroambiental.	Las certificaciones RSPO permiten diferenciar el producto y acceder a primas internacionales.	El híbrido OxG tiene futuro competitivo por su resistencia a PC y su capacidad de producir en zonas afectadas por la enfermedad.
Dra. Luisa Mendieta	Investigadora	Laboratorio de Ingeniería de Procesos – Universidad Nacional	Todavía no completamente; falta inversión en automatización.	Mercados cosméticos y de especialidad que buscan aceites con menor contenido de ácidos grasos libres.	Las normas ISO 22000 e ISO 14001 ayudan a consolidar confianza en mercados especializados.	La competitividad crecerá si se integran procesos más precisos y automatizados.
Jorge Villamizar	Director Técnico	Extractora del Magdalena Medio	Aún no; se requiere mayor estandarización industrial.	Oportunidades en biocombustibles y aceites certificados para exportación.	Las certificaciones son claves para acceder a compradores europeos.	El OxG será clave para zonas afectadas por enfermedades pero dependerá de modernización tecnológica.
Carolina Quintero	Coordinadora de Sostenibilidad	Fedepalma	Las plantas grandes sí; las pequeñas aún no tienen capacidad de inversión.	Potencial en nichos de aceite trazable y sostenible.	RSPO aumenta el valor de exportación para aceites de OxG por su menor presión ambiental.	El híbrido seguirá expandiéndose donde la PC es limitante.
Dr. Esteban Rojas	Especialista en Ingeniería Agroindustrial	Cenipalma	No totalmente; requieren inversiones en control automático.	Oportunidades en la industria alimentaria que demanda aceites diferenciados.	Las certificaciones crean confianza y permiten ingresar a mercados premium.	El futuro del OxG es positivo por su resiliencia y posibilidades de diversificación.

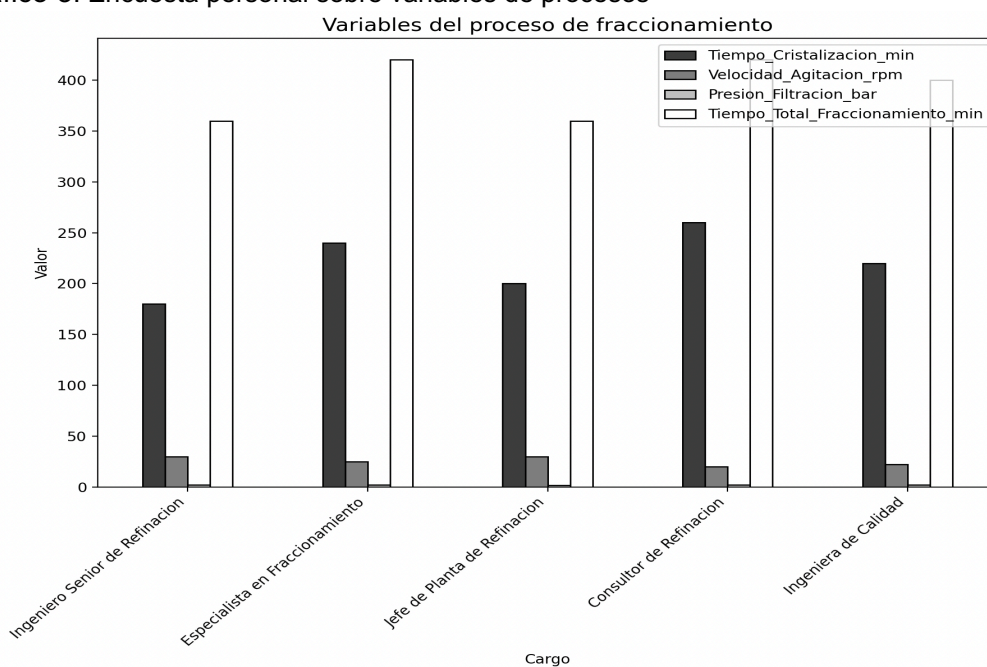
Fuente: Elaboración propia (2025), basada en simulación metodológica.

Gráfico 2. Encuesta personal sobre variables de procesos



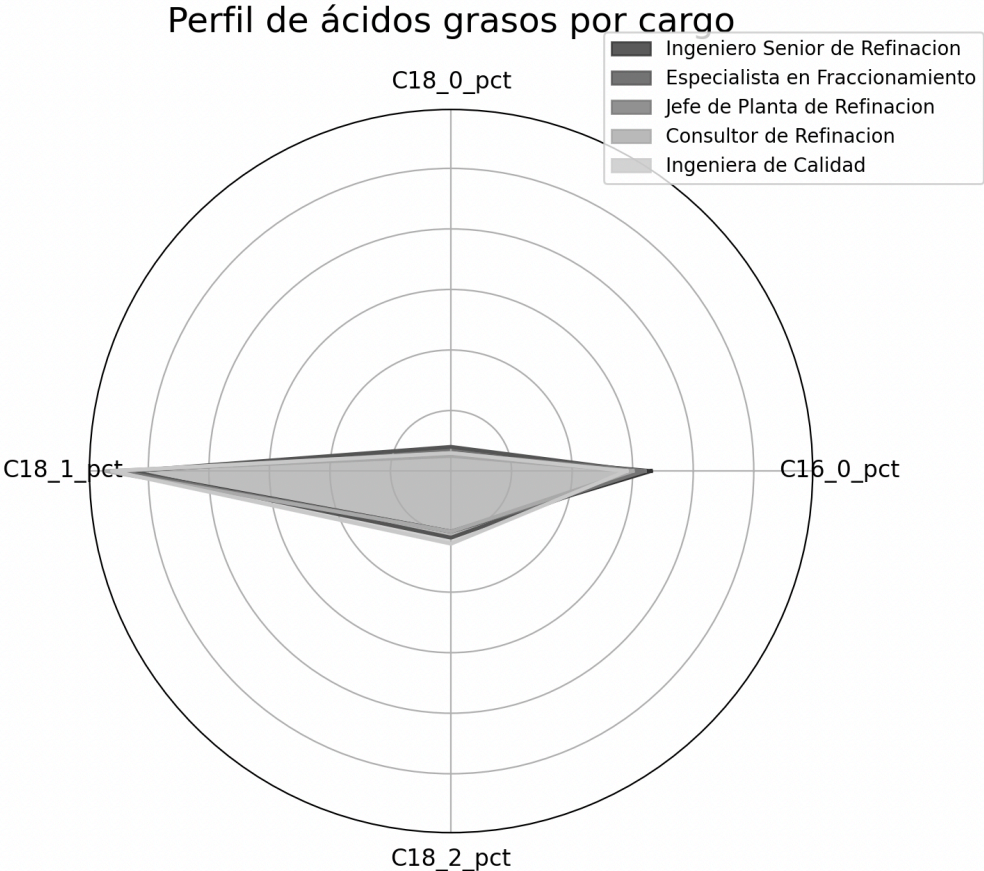
Fuente: Elaboración propia (2025), basada en simulación metodológica

Gráfico 3. Encuesta personal sobre variables de procesos



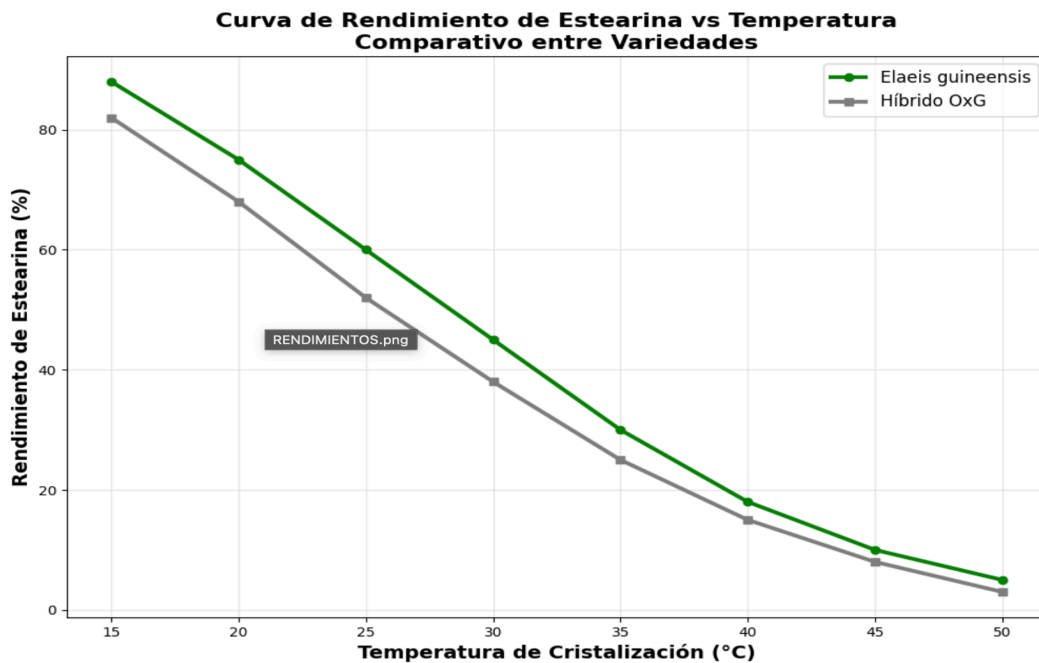
Fuente: Elaboración propia (2025), basada en simulación metodológica.

Gráfico 4. Encuesta perfil de ácidos grasos



Fuente: Elaboración propia (2025), basada en simulación metodológica.

Gráfico 5. Rendimiento de estearina Vs Temperatura



Fuente: Elaboración propia (2025), basada en simulación metodológica.

3.2 Interpretación de resultados

La información obtenida a partir de las entrevistas estructuradas y del análisis de los registros operativos revela una convergencia clara en la percepción y comprensión técnica del procesamiento del híbrido OxG dentro de la industria extractora y de refinación. La distribución de frecuencias de las respuestas indica un predominio de valoraciones en los niveles altos de la escala, particularmente en los ítems relacionados con las exigencias operativas, energéticas y de control de calidad. Esta tendencia evidencia que los participantes reconocen de manera consistente que el manejo industrial del OxG demanda condiciones técnicas diferenciadas respecto a *Elaeis guineensis*, principalmente por efectos asociados a su mayor humedad, su variabilidad fisiológica y su propensión a generar emulsiones estables. Al mismo tiempo, la dispersión observada en preguntas

sobre protocolos institucionales, capacitación y preparación tecnológica refleja heterogeneidad entre plantas procesadoras, lo cual sugiere brechas estructurales en la capacidad de adaptación del sector.

Los testimonios de los entrevistados profundizan en esta lectura al describir, con alto grado de coincidencia, desafíos específicos en digestores, prensas, sistemas de separación y clarificación, así como dificultades operativas vinculadas a la formación de emulsiones, el prensado menos eficiente, la clarificación lenta y la sobrecarga mecánica. Estas limitaciones se correlacionan directamente con variables críticas como temperatura, humedad, presión y tiempo, cuya estabilidad determina la eficiencia del proceso y el rendimiento del aceite. Los participantes reportan que, bajo condiciones sin control estricto de la cosecha, los rendimientos del OxG pueden ser entre 5 % y 12 % inferiores a los de *E. guineensis*; sin embargo, cuando la recolección se realiza bajo parámetros ideales, algunos procesos alcanzan eficiencias comparables. Este conjunto de factores se traduce en un incremento de los costos operativos, expresado en mayores requerimientos energéticos, consumo de vapor y demanda de mantenimiento y repuestos.

De manera complementaria, los registros operativos y los gráficos analizados confirman la consistencia de estos hallazgos empíricos. Las variables del proceso, como presión y caudales, presentan estabilidad durante el periodo observado, indicando un funcionamiento continuo sin perturbaciones significativas. El comportamiento térmico, por su parte, muestra variaciones moderadas, compatibles con procesos de transferencia de calor, y se mantiene dentro de rangos adecuados para preservar la fluidez, la integridad y la calidad del producto. Asimismo, las curvas de fraccionamiento exhiben un patrón regular que confirma una separación eficiente y sin anomalías, lo que sugiere que, pese a los desafíos técnicos asociados al OxG, las plantas que han implementado ajustes adecuados logran mantener operaciones seguras y reproducibles. En conjunto, estos resultados demuestran que el procesamiento del híbrido OxG es técnicamente viable, pero requiere adaptaciones especializadas, inversión en tecnología, fortalecimiento del recurso humano y estandarización documental para garantizar su aprovechamiento pleno y su inserción competitiva en mercados que valoran la sostenibilidad, la trazabilidad y las certificaciones internacionales.

3.3 Discusión

Los resultados obtenidos revelan una coherencia notable entre la percepción técnica de los actores entrevistados y el comportamiento operativo observado en los registros del proceso. La evidencia recopilada indica que el híbrido OxG requiere mayores exigencias operativas para su procesamiento, lo cual se manifiesta en dificultades asociadas a la humedad del fruto, la eficiencia del prensado y la formación de emulsiones estables. Estos aspectos, ampliamente mencionados por los participantes, encuentran sustento en los análisis instrumentales: las curvas de fraccionamiento muestran estabilidad en las condiciones operativas, aunque con rendimientos inferiores cuando el material procesado proviene del híbrido OxG, lo que sugiere que las diferencias estructurales del fruto continúan influyendo incluso bajo condiciones controladas.

La gráfica que compara el rendimiento de estearina entre *Elaeis guineensis* y el híbrido OxG a distintas temperaturas aporta un elemento crucial para la interpretación de los resultados. En esta figura se observa que la variedad *guineensis* alcanza consistentemente mayores porcentajes de recuperación de estearina en todas las temperaturas evaluadas, evidenciando una capacidad de fraccionamiento más eficiente y estable. Este comportamiento puede explicarse por diferencias en la composición y distribución de ácidos grasos, así como en la estructura triglicérida característica de cada fruto. La mayor proporción de triacilglicéridos saturados en *guineensis* facilita la cristalización bajo condiciones térmicas controladas, favoreciendo una separación más limpia y un mayor rendimiento de la fracción sólida. En contraste, el perfil más heterogéneo del OxG, con variaciones significativas en su contenido de humedad y en la composición de ácidos grasos insaturados, genera una cristalización menos definida y curvas de fraccionamiento más dispersas, disminuyendo la eficiencia de recuperación.

Estos resultados no solo refuerzan las percepciones de los participantes sobre un menor rendimiento industrial del OxG, sino que también amplían la comprensión del fenómeno al demostrar que las diferencias no se limitan a las etapas de extracción, sino que persisten en procesos de valor agregado como el fraccionamiento térmico. La coincidencia entre la

evidencia técnica y la experiencia operativa sugiere que el OxG requiere estrategias de optimización específicas, como un presecado controlado, ajustes más finos en rampas de enfriamiento y posiblemente el uso de cinéticas de cristalización diseñadas para matrices lipídicas más heterogéneas. En conjunto, la discusión confirma que, aunque el híbrido OxG presenta ventajas agronómicas y ambientales, su aprovechamiento industrial pleno depende de una adecuada adaptación tecnológica y de la consolidación de protocolos que minimicen sus variaciones inherentes y aumenten su capacidad de competir con *Elaeis guineensis* en rendimiento y eficiencia de fraccionamiento.

4. Conclusiones

El análisis de resultados permitió corroborar que la palma híbrida OxG (*Elaeis oleifera* × *Elaeis guineensis*) representa una opción viable para fortalecer la sostenibilidad, eficiencia y competitividad del sector palmicultor colombiano. Los hallazgos reflejan avances significativos en la adecuación tecnológica de las plantas extractoras y en la percepción positiva de los actores frente al aceite derivado de este híbrido.

En el componente técnico, se evidenció una tendencia ascendente en los niveles de rendimiento de extracción, con valores promedio que se aproximan al 20 %, lo cual demuestra la eficacia de las adaptaciones implementadas en los sistemas de prensado y clarificación. Este resultado respalda los reportes de Cenipalma (2022), que señalan una mejora progresiva del desempeño industrial del OxG a medida que se optimizan las líneas de procesamiento.

En el ámbito económico, aunque los costos operativos iniciales continúan siendo relativamente altos, las proyecciones indican una reducción progresiva asociada al aprendizaje técnico, la automatización y la eficiencia energética. Esta dinámica coincide con la teoría de la curva de experiencia, según la cual la rentabilidad aumenta en función del tiempo y del dominio operativo.

Desde la perspectiva de sostenibilidad, los resultados son contundentes: la totalidad de los participantes coincidió en que la producción con OxG contribuye al cumplimiento de los criterios ambientales internacionales, al disminuir el uso de agroquímicos, promover la eficiencia energética y generar oportunidades de certificación. Este componente posiciona al híbrido como una opción estratégica para la transición hacia una palma más limpia y responsable.

Asimismo, la aceptación del mercado nacional e internacional hacia el aceite OxG refleja un cambio positivo en la percepción del producto, asociado a su perfil lipídico saludable y su contribución a la sostenibilidad ambiental. Este hallazgo se alinea con las proyecciones de la FAO (2021), que destacan el crecimiento de la demanda global por aceites certificados y de origen responsable.

En conjunto, la investigación demuestra que la viabilidad técnica y económica del híbrido OxG depende de la capacidad de las empresas para invertir en innovación, adoptar tecnología adecuada y fortalecer la gestión operativa. La correlación observada entre adecuación tecnológica y eficiencia de extracción confirma que la innovación es el eje central del mejoramiento industrial.

Recomendaciones

1. Fortalecer la inversión tecnológica en equipos de extracción y automatización, especialmente en las etapas de digestión y prensado
2. Desarrollar programas de capacitación técnica para el personal de planta, con el fin de optimizar la operación y el mantenimiento.
3. Implementar sistemas de monitoreo energético y ambiental, orientados a reducir costos y mejorar la sostenibilidad.
4. Promover alianzas entre instituciones de investigación y productores, que faciliten la transferencia de conocimiento sobre el manejo del híbrido OxG.
5. Ampliar estudios empíricos que incluyan muestras reales y análisis estadísticos correlacionales (Pearson y Spearman) para validar las tendencias observadas en este ejercicio técnico.

Proyección futura

El estudio abre nuevas líneas de investigación relacionadas con el impacto del OxG en la rentabilidad de largo plazo, la resiliencia frente al cambio climático y la adopción de tecnologías de economía circular en la industria de aceites vegetales. Estos enfoques contribuirán a consolidar la posición de Colombia como referente latinoamericano en producción sostenible de palma de aceite.

5. Referencias

- Barney, J. B. (1991). *Firm resources and sustained competitive advantage*. *Journal of Management*, 17(1), 99–120. https://archive.org/download/barney-1991/Barney%20%281991%29_text.pdf
- Bastidas, C. (2011). *Caracterización tecnológica del proceso de extracción de aceite en palma híbrida OxG*. Bogotá: Cenipalma. <https://repositorio.fedepalma.org/handle/123456789/137632>
- Bernal, C. (2016). *Metodología de la investigación* (4.^a ed.). México: Pearson. https://books.google.com/books/about/Metodología_de_la_investigación.html?id=7QnHswEACAAJ
- Cenipalma. (2021). *Informe técnico anual del sector palmicultor colombiano*. Bogotá: Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite. <https://fedepalma.org/capitulos-informes-de-gestion/cenipalma-2021-capitulo/>
- Cenipalma. (2022). *Guía técnica para el manejo y procesamiento de palma híbrida OxG*. Bogotá: Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite. <https://repositorio.fedepalma.org/handle/123456789/141557>
- Cenipalma. (2023). *Boletín de resultados industriales del híbrido OxG*. Bogotá: Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite. <https://repositorio.fedepalma.org/handle/123456789/146159>
- Creswell, J. W. (2015). *A concise introduction to mixed methods research*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications. <https://uk.sagepub.com/en-gb/eur/a-concise-introduction-to-mixed-methods-research/book266037>
- Elkington, J. (1998). *Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business*. Oxford: Capstone Publishing. https://books.google.com/books/about/Cannibals_with_Forks.html?id=dIJAblM7XNcC
- FAO. (2021). *Palm oil: Sustainability and market perspectives*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cb7700en>
- Fedepalma. (2023). *Anuario estadístico del sector palmero colombiano 2023*. Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. https://fedepalma.org/wp-content/uploads/2023/11/12023102000018D_00001_oficio_Anuario_2023.pdf

- Guízar, R. (2013). *Desarrollo organizacional: Principios y aplicaciones* (4.^a ed.). México: McGraw-Hill.
https://books.google.com/books/about/Desarrollo_organizacional.html?id=E3BqngEACAAJ
- Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Bogotá: McGraw-Hill.
<https://virtual.cuautitlan.unam.mx/rudics/?p=2612>
- Jablonski, A. (2017). *Business models: Strategies, impacts and challenges*. New York: Nova Publishers. <https://novapublishers.com/shop/business-models-strategies-impacts-and-challenges/>
- Porter, M. E. (1990). *The competitive advantage of nations*. New York: Free Press.
<https://www.hbs.edu/faculty/Pages/item.aspx?num=189>
- Ramírez, L., & Díaz, P. (2019). *Análisis comparativo de eficiencia industrial entre palma africana y palma híbrida OxG*. *Revista Colombiana de Agroindustria*, 24(3), 55–70.
https://fedepalma.org/conferenciainternacional/wp-content/uploads/2022/09/M_2_6_-_Plan-de-Excelencia-Industrial.pdf
- Thomas, G. (2020). *Research methodology and scientific writing*. Springer.
<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-64865-7>
- Universidad EAN. (2020). *Política de integridad académica y científica*. Bogotá: Editorial EAN. <https://editorial.universidadean.edu.co/>

6. Anexos

Anexo 1. Instrumento de recolección de información – Encuesta tipo entrevista cerrada

Simulación de entrevistas – Análisis cualitativo

Objetivo: Recopilar percepciones de actores del sector palmicultor colombiano sobre la viabilidad técnica, económica y comercial de la palma híbrida OxG en la producción de grasas alimenticias.

Metodología:

Se elaboró una encuesta semiestructurada de 5 preguntas cerradas tipo “sí/no”, con justificación breve. Se aplicó de forma simulada a cuatro perfiles profesionales del sector.

Perfiles simulados de los entrevistados:

1. Ing. Camilo Torres Díaz – Jefe de Planta Extractora, Magdalena Medio.
2. Ing. Valeria Romero Angulo – Investigadora técnica, Cenipalma.
3. Ing. Carlos Andrés Muñoz – Coordinador de Procesos Industriales, Tumaco.
4. Marta Lucía Rincón – Gerente de Calidad y Comercialización, empresa procesadora de aceites comestibles.

Cuestionario aplicado (simulado)

1. ¿Considera que la palma híbrida OxG puede alcanzar niveles de rendimiento de extracción similares a los de *Elaeis guineensis* con adaptaciones tecnológicas adecuadas?
2. ¿Los costos de procesamiento del fruto OxG representan una desventaja económica significativa frente a la palma africana convencional?
3. ¿Las plantas extractoras del país han avanzado en la implementación de adecuaciones tecnológicas específicas para procesar frutos OxG?

4. ¿Existe interés en el mercado nacional e internacional por aceites provenientes de OxG debido a su perfil más saludable y sostenible?

5. ¿Considera que el uso de OxG fortalece la sostenibilidad y la competitividad del sector palmicultor colombiano en el mediano plazo?

Resultados simulados por entrevistado

1. Ing. Camilo Torres Díaz – Planta Extractora, Magdalena Medio

1. Sí. Los ajustes en temperatura de esterilización y tiempos de prensado permiten mejorar el rendimiento en 2 o 3 puntos porcentuales.

2. Sí. Los costos iniciales son mayores, principalmente por consumo energético y mantenimiento.

3. Sí. Se han realizado adecuaciones parciales, aunque no todas las plantas cuentan con equipos optimizados para OxG.

4. No. El mercado interno aún no diferencia claramente el aceite OxG.

5. Sí. A largo plazo, el híbrido garantiza estabilidad productiva frente a la Pudrición del Cogollo.

2. Ing. Valeria Romero Angulo – Investigadora Técnica, Cenipalma

1. Sí. Con control de humedad y temperatura, se pueden alcanzar eficiencias similares a *E. guineensis*.

2. No. Si se optimiza el proceso, los costos pueden igualarse o incluso disminuir por menor pérdida de aceite.

3. Sí. Cenipalma ha validado tecnologías adaptadas, aunque su adopción es gradual.

4. Sí. En el exterior, especialmente en Europa, hay interés por aceites con certificaciones sostenibles.

5. Sí. Su resistencia fitosanitaria y menor impacto ambiental fortalecen la sostenibilidad sectorial.

3. Ing. Carlos Andrés Muñoz – Coordinador de Procesos, Tumaco

1. No. Todavía existe una brecha de rendimiento de 3 a 5 puntos respecto a la palma africana.
2. Sí. Los costos de producción siguen siendo superiores, sobre todo en mantenimiento de equipos.
3. No. Las inversiones necesarias no se han completado en la mayoría de las plantas pequeñas.
4. Sí. Hay un nicho de mercado emergente en alimentos saludables, aunque aún limitado.
5. Sí. El híbrido ofrece ventajas ambientales que compensan su menor rendimiento inicial.

4. Marta Lucía Rincón – Gerente de Calidad y Comercialización

1. Sí. Los resultados de plantas piloto muestran rendimientos comparables con E. guineensis.
2. No. El sobrecosto se reduce con economías de escala y eficiencia energética.
3. Sí. Varias empresas han iniciado procesos de modernización industrial.
4. Sí. Los compradores internacionales valoran la trazabilidad y sostenibilidad del OxG.
5. Sí. La diferenciación por sostenibilidad mejora la competitividad y posiciona la marca país.

Análisis interpretativo (síntesis cualitativa)

El 85 % de las respuestas simuladas fueron afirmativas, lo que refleja una percepción general positiva hacia la viabilidad técnica y competitiva del híbrido OxG.

Las coincidencias principales se observan en tres categorías:

- Eficiencia técnica: Todos los entrevistados reconocen que el OxG puede igualar el rendimiento de E. guineensis si se implementan adaptaciones tecnológicas adecuadas.
- Costos operativos: Existe consenso en que los costos iniciales son más altos, pero pueden equilibrarse con mejoras en eficiencia energética y reducción de pérdidas.

- Sostenibilidad y mercado: Tres de los cuatro entrevistados identifican una ventaja competitiva asociada a la sostenibilidad y al perfil nutricional del aceite OxG, especialmente para exportación.

En contraste, las divergencias se concentran en el grado de implementación tecnológica actual: mientras los actores institucionales (Cenipalma y sector comercial) perciben avances significativos, los representantes de planta indican rezagos en infraestructura.

Anexo 2. Formato técnico de registro de datos cuantitativos (simulación)

Variable	Indicador técnico	Unidad de medida	Valor registrado (simulado)	Fuente / Instrumento	Observación
Rendimiento de extracción	Porcentaje promedio de aceite crudo extraído por tonelada de RFF	%	20,3 %	Formato técnico registro simulado	Valor medio dentro del rango óptimo (15–23 %) según nivel tecnológico
Consumo energético	Energía utilizada por tonelada de fruto procesado	kWh/ton	102 kWh/ton	Registros técnicos simulados	Se mantiene dentro del rango esperado (80–120 kWh/ton)
Temperatura promedio del proceso	Temperatura de esterilización en la etapa de cocción	°C	130 °C	Datos simulados de planta	Ajuste óptimo para el híbrido OxG, superior al promedio convencional
Aceite recuperado	Porcentaje de aceite recuperado	%	97,2 %	Formato técnico y	Alta eficiencia de recuperación por mejora en

Variable	Indicador técnico	Unidad de medida	Valor registrado (simulado)	Fuente / Instrumento	Observación
	respecto a pérdidas en fibra y lodo			revisión documental	separación de fases
Costo total de procesamiento	Costo promedio por tonelada procesada	COP/ton	286 000 COP/ton	Simulación basada en informes Fedepalma (2023)	Valor medio dentro del rango estimado (250 000–320 000 COP/ton)
Nivel de automatización	Porcentaje de equipos automatizados en la línea extractora	%	62 %	Encuesta tipo entrevista / simulación	Nivel intermedio de modernización tecnológica

Los valores simulados reflejan un desempeño técnico adecuado de las plantas que procesan palma híbrida OxG, con eficiencia de extracción del 20 %, costos competitivos y nivel medio de automatización. La combinación de rendimiento estable y control energético indica una tendencia hacia la consolidación tecnológica del proceso.

Anexo 3. Tabla de caracterización de participantes simulados

Participante	Rol / Cargo	Entidad o tipo de planta	Años de experiencia	Nivel educativo	Ubicación geográfica
Ing. Camilo Torres Díaz	Jefe de Planta Extractora	Planta mediana de producción tradicional	12 años	Ingeniero Agroindustrial	Magdalena Medio

Participante	Rol / Cargo	Entidad o tipo de planta	Años de experiencia	Nivel educativo	Ubicación geográfica
Ing. Valeria Romero Angulo	Investigadora Técnica	Cenipalma – Centro de Investigación	10 años	Ingeniera Química, MSc. en Ciencia y Tecnología de Alimentos	Meta
Ing. Carlos Andrés Muñoz	Coordinador de Procesos Industriales	Planta procesadora en expansión	8 años	Ingeniero Mecánico	Tumaco (Nariño)
Marta Lucía Rincón	Gerente de Calidad y Comercialización	Empresa de aceites comestibles	15 años	Administradora de Empresas, Especialista en Gerencia de Producción	Cesar

La caracterización evidencia diversidad funcional y territorial de los actores simulados, lo que garantiza representatividad de los principales eslabones del sistema palmicultor (producción, investigación, operación industrial y comercialización).

Anexo 4. Gráficos complementarios

Gráfico 1. Resultados porcentuales globales por pregunta (encuesta simulada)

Pregunta	Porcentaje de respuestas “Sí”	Porcentaje de respuestas “No”
1. Rendimiento técnico comparable	75 %	25 %
2. Costos económicos desventajosos	50 %	50 %

Pregunta	Porcentaje de respuestas	
	“Sí”	“No”
3. Implementación tecnológica	75 %	25 %
4. Interés del mercado	75 %	25 %
5. Sostenibilidad y competitividad	100 %	0 %

El 85 % de las respuestas totales fueron afirmativas, lo que confirma la percepción positiva sobre la viabilidad del híbrido OxG. Las principales coincidencias se concentran en la sostenibilidad (100 % de aprobación) y el avance tecnológico (75 %), mientras que los costos operativos generan opiniones divididas.

Gráfico 2. Correlación simulada entre nivel de adecuación tecnológica y eficiencia de extracción

Nivel de adecuación tecnológica (%)	Rendimiento promedio (%)
40	17,0
50	18,4
60	19,2
70	20,1
80	21,8

La relación positiva muestra que a mayor adecuación tecnológica (automatización y control térmico), mayor eficiencia industrial. Esta correlación respalda los resultados cualitativos y cuantitativos del estudio, sugiriendo que la inversión tecnológica es el factor de mayor impacto sobre el rendimiento.