

**APLICACIÓN DEL CICLO DE DEMING PARA EL MEJORAMIENTO DEL
PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE CRUDO DE PALMA EN LA PLANTA
BENEFICIO NO. 2 EN LA EMPRESA PALMAS DEL CESAR S.A.**

GIRNEY GIRALDO GUTIÉRREZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2015

**APLICACIÓN DEL CICLO DE DEMING PARA EL MEJORAMIENTO DEL
PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE CRUDO DE PALMA EN LA PLANTA
BENEFICIO NO. 2 EN LA EMPRESA PALMAS DEL CESAR S.A.**

GIRNEY GIRALDO GUTIÉRREZ

**Trabajo de grado modalidad práctica empresarial para optar el título de:
Ingeniera Química**

Director

**LUIS MARIANO IDARRAGA BERNAL
Ingeniero Químico M.Sc.**

Codirector

**CARLOS ALBERTO FERNÁNDEZ BOTIA
Ingeniero Químico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2015

AGRADECIMIENTOS

Al Dios por dame la bendición de terminar uno de mis mejores proyectos.

Al la Universidad Industrial de Santander, por brindarme la oportunidad de formar parte de la comunidad educativa y educarme tanto en mi vida personal como profesional.

Al profesor Luis Mariano Idarraga Bernal director de proyecto por su apoyo incondicional durante el desarrollo de este trabajo.

Al Ingeniero Carlos Alberto Fernández Botia, codirector de proyecto por su colaboración y observaciones apreciadas.

Al la empresa Palmas del Cesar S.A. y todo su equipo de trabajo por permitirme trabajar y darme la oportunidad de empezar mi formación profesional en una de las mejores empresas oleaginosas de Colombia.

Al Ingeniero Jorge Ramón Mantilla Torres y a la Coordinadora Liliana Aréllis Díaz Toledo por sus aportes, confianza, consejos y observaciones que tendré en cuenta en mi vida personal y profesional.

Al Ivette Johanna Angarita Villamizar y Astrid Nayibe Pico Cristancho grandes personas, amigas y compañeras, con las que compartí momentos inolvidables de alegría, esfuerzo, dedicación, tristeza y responsabilidad.

Al todas las personas que me colaboraron de una u otra forma con su ayuda, consejos y enseñanzas para que mi sueño se hiciera realidad.

DEDICATORIA

A Dios por su sabiduría y fortaleza para salir adelante y alcanzar este logro tan importante en mi vida.

*A mis padres: **Marco Aurelio Giraldo Gutiérrez y Rosa Vianey Gutiérrez Ochoa**, quienes con su amor, comprensión y apoyo me guiaron para superar cada obstáculo y terminar esta maravillosa experiencia.*

*A mi abuelita **Celina Ochoa de Gutiérrez (Q.E.P.D.)**, que se convirtió en mi fortaleza y motivación para levantarme cada día, no tuvo tiempo para verme triunfar, pero con su bendición desde el cielo me guía para salir adelante.*

*A los que siempre he considerado mis hermanos, **Merly, Zuly, Slegder, Kislidy, Neffer y Giovanna**, quienes han compartido mis alegrías, mis tristezas y que hoy hacen parte de este triunfo profesional.*

*A **Jorge Humberto Romero Daza** por su paciencia, amor, colaboración y apoyo incondicional.*

Girney Giraldo Gutiérrez

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	20
1.1. LA EMPRESA Y SU ENTORNO.	20
1.1.1. Reseña histórica.....	20
1.1.2. Productos	20
1.1.3. Subproductos	21
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	21
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.	22
1.4. ALCANCE.	23
2. OBJETIVOS	24
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	24
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	24
3. MARCO TEÓRICO	25
3.1. MORFOLOGÍA DE LA PALMA DE ACEITE.....	25
3.2. PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE CRUDO DE PALMA.	26
3.2.1. Recepción	27
3.2.2. Esterilización	27
3.2.3. Desfrutación	27
3.2.4. Digestión y Prensado	27
3.2.5. Clarificación y Secado	28
3.3. CICLO DE DEMING O CÍRCULO PHVA.....	28
3.4. CAPACIDAD PRODUCTIVA.	30

3.4.1. Indicador de la productividad en horas de proceso	30
3.4.2. Indicador de la productividad en horas máquina.....	30
3.4.2. Indicador de Parada	30
4. METODOLOGÍA	31
4.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	31
4.2. DESARROLLO EXPERIMENTAL.	32
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	36
5.1. HISTÓRICOS DE LOS INDICADORES DE PRODUCCIÓN Y DE LA CAPACIDAD PRODUCTIVA DE P.B.2.	36
5.2. IDENTIFICACIÓN DE LAS PARADAS.....	39
5.3. CÁLCULO DEL INDICADOR DE PARADA Y DE LA CAPACIDAD PRODUCTIVA.....	40
6. CONCLUSIONES	44
7. RECOMENDACIONES	45
BIBLIOGRAFÍA	46
ANEXOS.....	49

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Capas del fruto de la palma de aceite.....	25
Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de extracción de aceite crudo de palma en la P.B.2.....	26
Figura 3. Etapas del ciclo de Deming.....	29
Figura 4. Diagrama de la metodología aplicada.....	31
Figura 5. Diagrama causa – efecto de los factores que causan las paradas en el proceso.	33
Figura 6. Antecedentes de los indicadores de las paradas generadas en P.B.2 durante los meses de mayo – julio de 2014.....	37
Figura 7. Históricos de la capacidad productiva de la P.B.2 durante los meses de mayo – julio de 2014.	38
Figura 8. Capacidad productiva en función del TRH y TRH efect.	42
Figura 9. Comportamiento del fruto presupuestado Vs el fruto recibido.	43
Figura 10. Localización de las plantas de beneficio de Palmas del Cesar.....	49
Figura 11. Distribución de las zonas palmeras en Colombia para el año 2013.....	50
Figura 12. Reacción química del triglicérido formando glicerol más ácido graso.....	53
Figura 13. Programa de registro Informe de turno Planta 2.	55

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Parámetros de operación para determinar los indicadores de la capacidad productiva.	34
Tabla 2. Datos mensuales de los factores que afectan la eficiencia durante los meses de agosto – septiembre de 2014.	39
Tabla 3. Datos mensuales que afectan la eficiencia de la P.B.2 durante los meses de enero – febrero de 2015.	40
Tabla 4. Indicadores de paradas durante los meses de estudio.	41
Tabla 5. Composición típica de los ácidos grasos.	51
Tabla 6. Composición típica de glicéridos.	52
Tabla 7. Características fisicoquímicas del CPO.	52
Tabla 8. Identificación de la causa de la parada en el programa informe de turno planta 2.	56
Tabla 9. Cálculo de las horas efectivas de la P.B.2.	56
Tabla 10. Cálculo de los indicadores para el caso de estudio.	58
Tabla 11. Datos de las horas de las paradas y horas efectivas de la P.B.2 correspondiente al mes de agosto.	59
Tabla 12. Datos de las horas de las paradas y horas efectivas de la P.B.2 correspondiente al mes de septiembre.	60
Tabla 13. Datos de las horas de las paradas y horas efectivas de la P.B.2 correspondiente al mes de octubre.	61

Tabla 14. Datos de las horas de las paradas y horas efectivas de la P.B.2 correspondiente al mes de noviembre. 62

Tabla 15. Datos de las horas de las paradas y horas efectivas de la P.B.2 correspondiente al mes de enero..... 62

Tabla 16. Datos de las horas de las paradas y horas efectivas de la P.B.2 correspondiente al mes de febrero. 63

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Localización de Palmas del Cesar S.A.	49
Anexo A-1. Vista superior de la localización de las plantas de beneficio.	49
Anexo A-2. Mapa de distribución de las zonas palmeras en Colombia.	50
Anexo B. Composición del Aceite de Palma	51
Anexo B-1. Composición típica de los ácidos grasos presentes en el CPO.	51
Anexo B-2. Composición típica de glicéridos presentes en el CPO.	52
Anexo B-3. Características fisicoquímicas del CPO.	52
Anexo C. Hidrólisis	53
Anexo D. Cálculo de las Horas de Paradas y Capacidad Productiva	54
Anexo D-1. Cálculo de las horas de paradas.....	54
Anexo D-2. Cálculo del fruto procesado en P.B.2.	57
Anexo D-3. Cálculo de la capacidad productiva.....	58

LISTA DE SÍMBOLOS Y TÉRMINOS

BÁSCULA: Sistema electrónico y mecánico, compuesta de un indicador digital de caja de acero inoxidable utilizada para determinar el peso de los racimos de fruta que llegan a la planta de beneficio.

CALDERA: Máquina industrial diseñada para generar vapor.

CICLO PHVA: Ciclo de Deming que constituye sus cuatro etapas: planear, hacer, verificar y actuar.

CPKO: Aceite crudo de palmiste, por sus siglas en inglés: crude palm kernel oil.

CPO: Aceite crudo de palma, por sus siglas en inglés: crude palm oil.

DAG: Dirección agronómica de la organización PALMAS DEL CESAR S.A., encargada del proceso productivo de RFF de la organización.

ESCLUSA: Equipo con sistema de sello, que sirve para dosificar la alimentación de la fibra hacia la caldera.

ESTERILIZADOR O AUTOCLAVE HORIZONTAL: Equipo cilíndrico fabricado en acero apto para el trabajo a presión, compuesto de dos compuertas con sellos herméticos para evitar la pérdida de vapor dentro del equipo.

FRUTO PROCESADO: Cantidad de racimos de fruta fresca que han sido transformados en productos y subproductos en un determinado tiempo.

HORÓMETRO: Dispositivo que registra el número de horas en que una máquina ha funcionado desde la última vez que ha realizado su trabajo.

MANUAL DE CALIDAD: Documento que especifica el sistema de gestión de calidad de una organización.

MTO: Mantenimiento.

P.B.1: Planta de beneficio No.1 de Palmas del Cesar S.A.

P.B.2: Planta de beneficio No.2 de Palmas del Cesar S.A.

P-15: Prensa de tornillos, compuesta por una canasta perforada de forma cilíndrica doble, similar a un ocho, dentro de la cual, giran dos tornillos helicoidales de fundición de acero.

PARADA LOGÍSTICA: Horas de parada en relación del fruto presupuestado con el fruto que realmente ingresa a la planta.

PLANTA MONOCOTILEDÓNEA: Planta que carece de pelos absorbentes pero la absorción de nutrientes y agua la realiza mediante las raíces terciarias y cuaternarias.

PROG.: Programado.

REDLER: Equipo transportador de materiales sólidos, conformado por un cuerpo metálico fabricado con láminas y perfiles de acero, sobre el cual va montado un canal o pista de transporte.

RFF: Racimos de fruta fresca de palma de aceite, materia prima para el proceso de extracción de aceite crudo de palma.

TAMBOR DE VOLTEO: Equipo diseñado para cargar y descargar las vagonetas que contienen el fruto esterilizado hacia la desgranadora.

TM: Tonelada métrica.

TOLVA: Dispositivo similar a un embudo de gran tamaño destinado al depósito y canalización de los racimos de fruta fresca que ingresan a la planta.

TON/H: Tonelada por hora, es una unidad de medida de masa equivalente a mil kilogramos de fruto procesado por hora.

TRH EFECT: Tonelada Racimo Hora efectiva.

TRH: Tonelada Racimo Hora.

USP: Unidad de servicio al proveedor, encargada del asesoramiento técnico agronómico a los proveedores de RFF.

RESUMEN

TITULO: APLICACIÓN DEL CICLO DE DEMING PARA EL MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE CRUDO DE PALMA EN LA PLANTA BENEFICIO NO. 2 EN LA EMPRESA PALMAS DEL CESAR S.A.*

AUTOR: Gimney Giraldo Gutiérrez**

PALABRAS CLAVES: Extracción de aceite crudo de palma, ciclo de Deming, indicadores de capacidad productiva, paradas operacionales.

CONTENIDO:

La industria colombiana de palma de aceite ha venido incrementando su producción en los últimos años, y es por ello, que en las plantas de beneficio buscan metodologías que generen una mayor relación entre los racimos de fruta fresca (RFF) y las horas de producción, con el fin de obtener eficiencia en sus procesos. Con base a lo anterior, el departamento de calidad de la empresa Palmas del Cesar S.A., mostró interés en mejorar las condiciones de procesamiento de la planta de beneficio No.2 (P.B.2), para ello se estableció una metodología mediante la aplicación del ciclo de Deming enfocada al análisis comparativo del proceso de extracción de aceite crudo de palma (CPO) con el propuesto en la bibliografía.

A partir de esta metodología se dio inicio al diseño y elaboración de cada uno de los documentos (procedimientos y registros) necesarios para llevar un control y mejoramiento continuo en cada etapa del proceso. Seguido de una recopilación de información obtenida de soportes, como datos históricos de la capacidad productiva e identificación de los parámetros operacionales que causaban las horas de parada en P.B.2. Durante la conceptualización de este trabajo se proponen estrategias y alternativas que deben ser adoptadas por esta empresa, para el mejoramiento de la eficiencia de la empresa haciéndola más eficiente y competitiva.

* Proyecto de grado.

** Facultad de ingenierías fisicoquímicas. Escuela de ingeniería Química. Director: M.Sc. Luis Mariano Idarraga Bernal. Codirector: Carlos Alberto Fernández Botia.

ABSTRACT

TITLE: APPLICATION OF THE DEMING'S CYCLE FOR THE IMPROVEMENT OF THE PROCESS OF EXTRACTION CRUDE PALM OIL IN THE PLANT BENEFIT N.2 IN THE COMPANY PALMAS DEL CESAR S.A.*

AUTOR: Girney Giraldo Gutiérrez**

KEY WORDS: Extraction of crude palm oil, Deming's cycle, indicators of productive capacity, operational stops.

DESCRIPTION:

The Colombian industry of palm oil has been increasing its production in the last year and it is because of it that the benefit plants look for methodologies that generate a major relation between the clusters of fresh fruit (CFF) and the hours of production, in order to obtain efficiency in this process. Based on the previous, the quality department of the company PALMAS DEL CESAR S.A. showed interest in improving the processing conditions of the benefit plant n.2 (P.B.2). For accomplishing it, a methodology was established by means of the application of the Deming's cycle focused on the comparative analysis of the extraction of crude palm oil process (CPO) by the proposed one in the bibliography.

From this methodology, it was given at the beginning the design and production for each one of the documents (Procedures and records) necessary to have the control and a constant improvement in every stage of the process, followed by a summary of information obtained from supports, as historical information of the productive capacity and identification of the operational parameters that were causing the stop hours in P.B.2. The conceptualization of this work proposes strategies and alternatives that must be adopted in this company for the improvement of the efficiency of the plant, making it more efficient and competitive.

*Work degree.

**Physical-Chemical Engineering Faculty. School of Chemical Engineer. Advisor: M.Sc. Luis Mariano Idarraga Bernal. Codirector: Carlos Alberto Fernández Botia.

INTRODUCCIÓN

El proceso de extracción de aceite crudo de palma (CPO) y aceite crudo de palmiste (CPKO) se realiza comúnmente en plantas de beneficio, con capacidad de procesar el fruto principal de la planta *Elaeis guineensis* comúnmente denominada palma africana o aceitera. A partir del fruto de esta planta, se han implementado metodologías a nivel industrial que generen una relación entre el potencial de aceite contenido para su extracción y la calidad de las características físicas de la materia prima (racimos de fruta fresca obtenidos de la planta). Es de total interés desarrollar estrategias para analizar cada una de las etapas que intervienen en el proceso de extracción y así mejorar la tasa de extracción de aceite y la eficiencia del proceso.

El desarrollo de nuevas tecnologías en las plantas de beneficio ha proporcionado que las empresas palmeras generen mayor desarrollo y eficiencia de los procesos que los sistemas convencionales de producción de aceite. Debido a esto, Palmas del Cesar S.A. ha aumentado su oferta en la producción de aceite crudo de palma con una capacidad diaria de 30 ton/h al comienzo del año 2013 a 45 ton/h para la finalización del mismo año, con la instalación y puesta en marcha de la planta de beneficio No.2 (P.B.2) con una capacidad de producción de 15 ton/h, con características de generación de energía y sistematización.

Para el desarrollo del presente proyecto se realizó un estudio teórico – práctico en el área de producción de la P.B.2, se inició con la revisión técnica de cada una de las etapas que intervienen en el proceso. Seguidamente, con el fin de analizar el comportamiento diario de la producción de aceite crudo de palma, se aplicó el ciclo de Deming o círculo PHVA con el fin de documentar (procedimientos y registros) y modificar el programa de información de turno, en el cual, se consolida la actividad operacional durante la jornada laboral y el cálculo de los indicadores

de productividad en horas de proceso y horas máquina. La documentación se realizó para obtener información y registros de control durante la primera etapa de implementación de la P.B.2 que corresponde al 17% de la capacidad productiva así como para la etapa final, que se espera alcanzar para el año 2030 con 90 ton/h. Finalmente se realizó la evaluación de los indicadores de la capacidad productiva para las fechas en las que se presenta baja producción de racimos de fruta fresca (RFF).

Como consecuencia de este análisis, se busca la opción de maximizar la capacidad productiva durante los meses de alta y baja capacidad de cosecha, aplicando los parámetros de ciclo de Deming como planear, hacer, verificar y actuar, para realizar una mejora continua en los productos y subproductos generados en la planta de beneficio.

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1. LA EMPRESA Y SU ENTORNO.

1.1.1. Reseña histórica:

Palmas del Cesar S.A. es una empresa agroindustrial que se basa en la palma de aceite, creada en 1960 por tres santandereanos⁽¹¹⁾, que vieron en el cultivo y producción de la palma aceitera un futuro significativo en el mercado para la industria del aceite y en especial una fuente de progreso y desarrollo para la región. Ubicada en el corregimiento de Minas del municipio de San Martín, Cesar; constituida hasta el año 2013 por una planta de beneficio (P.B.1) con capacidad de 30 ton/h y una línea de producción de CPO y CPKO, resultado de 55 años de trabajo y esfuerzo para la comunidad cesareense.

Acoplándose a las nuevas exigencias del mundo moderno empresarial, Palmas del Cesar S.A. ha puesto en marcha una nueva planta de beneficio (P.B.2) con capacidad de 15 ton/h a partir del segundo semestre del año 2013 y una tendencia de producción de 90 ton/h para el año 2030, con características de generación de energía y sistematización, la cual es monitoreada mediante un cuarto de control ayudando al proceso de extracción de CPO y de almendra, ésta última transportada hacia la P.B.1 para su debido procesamiento. Las plantas de beneficio se encuentran ubicadas en los lotes 8 y 9 de Hipilandia⁽¹¹⁾ dentro de la plantación (ver Anexo A-1). Los cultivos de palma de aceite se encuentran distribuidos entre los municipios de San Alberto y San Martín, Cesar, municipios localizados en la zona central⁽⁵⁾ palmera del país (ver Anexo A-2).

1.1.2. Productos:

Palmas del Cesar S.A. es una planta extractora que diariamente ofrece al mercado CPO y CPKO como sus productos principales, compuestos de ácidos grasos y

glicerol (ver Anexo B) que se obtienen mediante el proceso de prensado del mesocarpio de la fruta de la palma africana cuyo nombre científico es *Elaeis guineensis*⁽²⁾ y el prensado mecánico de la almendra de la palma respectivamente, utilizados como materia prima por las empresas refinadoras para la producción de aceite de mesa, margarinas y jabones.

1.1.3. Subproductos:

Los subproductos que se generan en Palmas del Cesar S.A. son:

- a) Tusa:** Racimo sin frutos usado como abono orgánico en la plantación.

- b) Fibra y Cascarilla:** Subproductos del proceso de extracción de CPO y Palmistería, empleados como combustible para calderas.

- c) Torta de palmiste y sólido graso:** Subproductos del proceso de extracción del CPKO, usados como suplemento para animales bovinos.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La agroindustria de la palma aceitera es y ha sido objeto de investigación por varios años, debido al aumento en la extracción de CPO y CPKO. La producción mundial de aceite de palma reportada en el año 2014 fue de 59,06 millones de toneladas, en donde, Colombia ocupa el cuarto puesto a nivel mundial con 1.108.000 millones de toneladas métricas de aceite de palma,⁽¹²⁾ sin embargo, según datos suministrados por el SISPA⁽¹⁴⁾ (Sistema de información estadística del sector palmero), en 2014 Colombia extrajo 1.109.586 ton de CPO y 240.990 toneladas de CPKO generando desarrollo, control y eficiencia en las plantas extractoras del país, y a su vez mejorando implícitamente el sector socioeconómico.

La implementación de nuevas tecnologías en el desarrollo del sector palmicultor ha facilitado la optimización de los procesos, aprovechando los residuos y mejorando su disposición en siembras y plantas extractoras preservando así el medio ambiente,⁽³⁾ bajo este objetivo, la empresa Palmas del Cesar, S.A, con la puesta en marcha de una nueva planta de beneficio con características de sistematización y generación de energía, ha venido presentando dificultad a la hora de comparar y analizar las anomalías presentadas durante la jornada laboral debido a que se estaba utilizando la documentación de la P.B.1. Para poder resolver esta necesidad se utilizó el método del ciclo PHVA para documentar y modificar cada uno de los procedimientos de las etapas del proceso, alcanzando la eficiencia basándose en los parámetros del sistema de gestión de calidad implementado en la empresa.

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.

Al desarrollar la firme visión de liderar particularmente el sector palmero, se debe estudiar los parámetros de productividad, que incluye un sistema de control interno de información detallada y precisa en el área de producción permitiendo disminuir las dificultades operacionales, mejorando la productividad y rentabilidad de la empresa. Un sistema de control interno al área de producción de la P.B.2, presenta las características que implica la aplicación del ciclo de Deming mediante las pequeñas auditorías evaluando los requerimientos exigidos por la empresa.

Las características que se deben tener en cuenta a la hora de mejorar la productividad y rentabilidad de la empresa, implica una organización acertada con el departamento agronómico (DAG) de la empresa, para determinar la logística de la fruta presupuestada con la fruta que realmente ingresa a la planta, alcanzando un equilibrio entre las horas programadas de producción con las horas que realmente se procesaron, todo esto con unas condiciones óptimas y apropiadas tanto de los equipos como de las instalaciones de la planta.

1.4. ALCANCE.

En el presente trabajo se espera consolidar un programa de información y comunicación del comportamiento en el área de producción de la P.B.2 de Palmas del Cesar S.A. Para el presente estudio, se debe destacar el apoyo del departamento de producción y de mantenimiento de la empresa, generando un aporte en la información de la producción, manejo y operación de quipos.

2. OBJETIVOS

El desarrollo de este trabajo de grado como modalidad de práctica empresarial que se ejecutó en la empresa Palmas del Cesar S.A., se realizó en el período comprendido entre Julio del 2014 – Febrero del 2015, se plantearon los siguientes objetivos:

2.1. OBJETIVO GENERAL.

Analizar el comportamiento del proceso de extracción de aceite crudo de palma durante la baja actividad de cosecha, empleando el ciclo de Deming para mantener la capacidad productiva de la Planta de Beneficio No.2.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

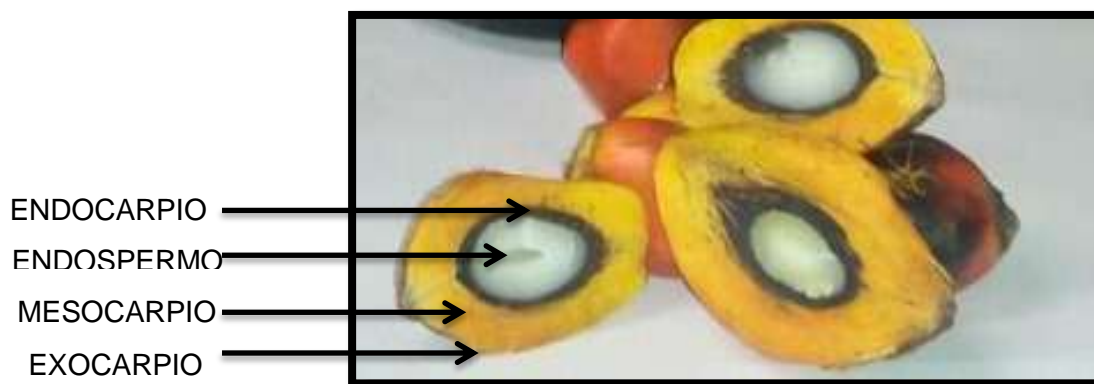
- Estudiar las condiciones operacionales de la Planta de Beneficio No.2 para determinar los factores que afectan la capacidad productiva de la misma.
- Calcular y analizar los indicadores de capacidad de producción de la Planta de Beneficio No.2.
- Disminuir las horas de parada de producción mediante la aplicación del ciclo de Deming al proceso de extracción de aceite crudo de palma en la Planta de Beneficio No.2.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. MORFOLOGÍA DE LA PALMA DE ACEITE.

La planta de la palma de aceite es monocotiledónea de la especie *Eleais guineensis*, cuyo nombre botánico se le atribuye al científico Nicholas Joseph Jacquin quién la descubrió en 1763 con base en unos ejemplares encontrados en la isla de Martinica en las costas de Guinea^(2, 7). Los frutos de la palma de aceite son de forma ovoide, de 3 a 6 cm de largo y con un peso aproximado de 5 a 12 gramos. Conformado por un exocarpio (piel lisa y brillante), mesocarpio (pulpa o tejido fibroso que contiene células con aceite), endocarpio (nuez o semilla compuesta por un cuesco lignificado) y endospermo (almendra aceitosa o palmiste)⁽⁷⁾ como se muestra en la figura 1. Los frutos insertados en las espiguillas que rodean el raquis en forma helicoidal, conforma los racimos de fruta fresca con peso variante entre 5 a 40 kg y de 40 a 60 cm de largo.

Figura 1. Capas del fruto de la palma de aceite.



Una vez los RFF alcanzan su estado óptimo de madurez, se inicia un proceso bioquímico de descomposición del aceite o acidificación, formando ácidos grasos libres y glicerol (glicerina), los racimos una vez han sido cortados de la palma aceleran este proceso bioquímico; así mismo, con el proceso de maduración, los

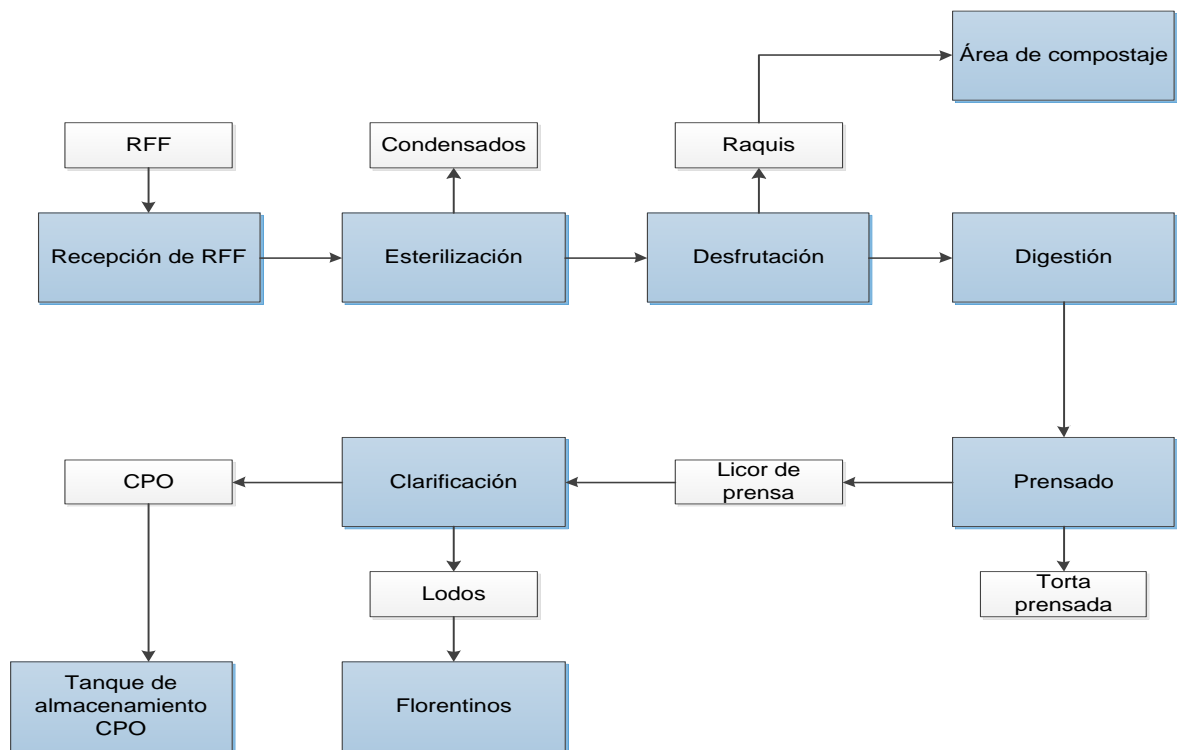
frutos se desprenden de manera natural, proporcionando una contextura al mesocarpio muy fibrosa con un contenido de aceite de alta viscosidad.

La acidificación ocurre debido a una reacción química en donde las moléculas grasas se rompen formando ácidos grasos libres y glicerol (glicerina), por acción de la enzima lipasa, presente en el fruto de la palma de aceite.⁽¹⁶⁾

3.2. PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE CRUDO DE PALMA.

Es el proceso mediante el cual se realiza la extracción del aceite crudo de palma y la obtención de un material sólido conocido como torta prensada, compuesto de fibra, nueces, cascarilla e impurezas. Como se puede apreciar en la figura 2.

Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de extracción de aceite crudo de palma en la P.B.2.



Las etapas del proceso de extracción de aceite crudo de palma son:

3.2.1. Recepción: Los RFF que ingresan al proceso de producción son debidamente pesados en una báscula y los datos obtenidos son almacenados en un Software para llevar el control de la fruta que entran a la planta. Posteriormente, son vaciados en una tolva inclinada que puede contener hasta 900 TM de RFF. La evacuación de los RFF se realiza mediante una compuerta y se depositan en una vagoneta con capacidad de 6,5 Ton.⁽¹¹⁾

3.2.2. Esterilización: Es la primera etapa y seguramente la más importante del proceso de extracción de aceite crudo de palma. Consiste en someter el fruto a la acción del vapor para cumplir los siguientes objetivos:

- a) Inactivar la enzima lipolítica “Lipasa” causante de la acidificación del aceite.
- b) Facilitar el desprendimiento de los frutos del raquis mediante hidrólisis⁽⁴⁾ en el punto de unión de los frutos de la tusa (ver Anexo C).
- c) Ablandar la pulpa de los frutos para facilitar su digestión y prensado.
- d) Calentar y deshidratar parcialmente las almendras contenidas en las nueces para facilitar su posterior recuperación.
- e) Coagular las proteínas para favorecer la dispersión del aceite en el agua (emulsiones).

3.2.3. Desfrutación. Esta operación es necesaria para el desgrane o separación de los frutos del raquis y las espigas, se lleva a cabo en tambores rotatorios.

3.2.4. Digestión y Prensado. Se realiza una digestión para macerar el tejido del mesocarpio y lograr así la ruptura de las células que contienen aceite. La temperatura en el digestor debe ser de 90°C para facilitar la baja viscosidad y la expulsión del aceite. El prensado consiste en extraer el aceite de la pulpa de los frutos en forma eficiente, por medio de grandes prensas de tornillo o hidráulicas

que ejercen presión extrayendo aceite, agua y lodos, llamado licor de prensa; la torta prensada es descargada por el extremo de la prensa y transportada hacia la etapa de desfibración y palmistería, en donde, es separada la fibra y se obtiene la nuez, la cual contiene la almendra, materia prima para la extracción de CPKO.

3.2.5. Clarificación y Secado. Esta operación consiste en purificar o separar el aceite del agua e impurezas obtenido durante el proceso industrial. Para lograrlo, se utiliza un método común basado en la clarificación estática, donde, el proceso incluye el empleo de centrifugas para la purificación final del aceite y para la extracción final del aceite residual presente en los lodos. El aceite clarificado es purificado en las centrifugas disminuyendo el contenido de agua aproximadamente al 0,24% y el contenido de impurezas al 0,006%. El paso final en la recuperación del aceite puro consiste en un secado adicional mediante el cual se obtiene un contenido final de agua alrededor del 0,08%.⁽⁹⁾

3.3. CICLO DE DEMING O CÍRCULO PHVA.

El Ciclo de Deming, o Ciclo PDSA (por sus siglas en inglés), representa un modelo de mejoramiento continuo de la calidad y consiste en una secuencia lógica de cuatro pasos repetitivos como: Plan, Do, Study and Act,⁽¹⁾ cuya traducción al español consiste en Planear, Hacer, Verificar y Actuar (ver figura 3), que aplicado al proceso de extracción de CPO, favorece las etapas del proceso y a la localización de las falencias que surgen durante el transcurso de la jornada laboral, ayudando a solucionar problemas operacionales y de producción.

Figura 3. Etapas del ciclo de Deming.



Las etapas del ciclo de Deming⁽⁶⁾ para realizar un mejoramiento continuo son:

- a) **Planear:** Realizar el mejoramiento de las operaciones, procesos y acciones con el fin de encontrar las falencias detectadas y determinar las acciones correctivas que solucionen dichos problemas.
- b) **Hacer:** Ejecutar cambios para resolver las falencias detectadas, identificando las causas de los problemas y recopilando los datos apropiados.
- c) **Verificar:** Realizar el seguimiento y la medición de los procesos de los cambios que se están desarrollando.
- d) **Actuar:** Tomar acciones correctivas y preventivas en pro del mejoramiento continuo de la organización.

3.4. CAPACIDAD PRODUCTIVA.

La eficiencia de una planta extractora se determina mediante la capacidad productiva de la misma y equivale a la cantidad de fruto a procesar en un determinado tiempo, se mide mediante los siguientes indicadores:⁽¹³⁾

3.4.1. Indicador de la productividad en horas de proceso: Es la relación cuantitativa entre los frutos procesados y las horas de proceso, en un determinado período de tiempo, se expresa en TRH (Tonelada de racimo por hora).

$$TRH = \frac{\text{Fruto procesado}}{\text{Horas de proceso}} * 100\%$$

3.4.2. Indicador de la productividad en horas máquina: Es la relación cuantitativa entre los frutos procesados y las horas de operación de las máquinas, en un determinado período de tiempo, se expresa en TRH efecto. (Tonelada de racimo por hora efectiva).

$$TRH_{\text{efect.}} = \frac{\text{Fruto procesado}}{\text{Horas de operación máquina}} * 100\%$$

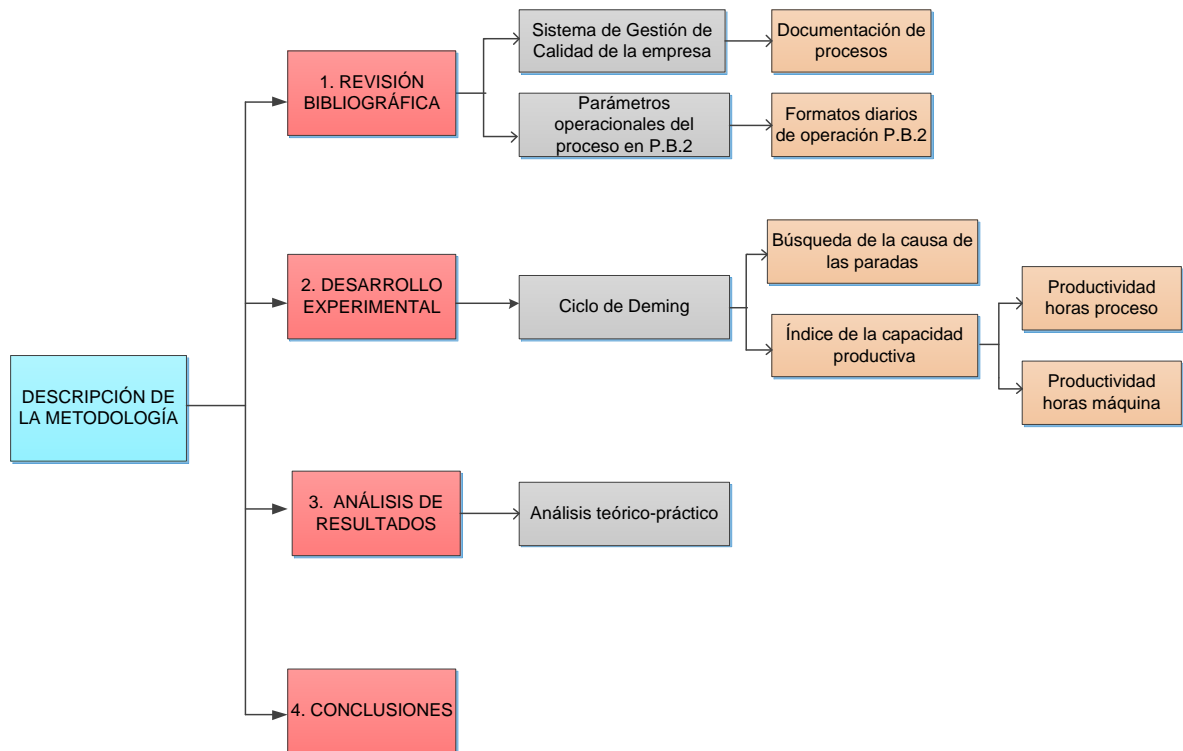
3.4.2. Indicador de Parada: Es la relación entre las horas de paradas en la maquinaria (HP) y las horas efectivas (HE), en un determinado período de tiempo.

$$IP = \frac{HP}{HE} * 100\%$$

4. METODOLOGÍA

En el presente trabajo se realizó un estudio teórico-práctico para la aplicación del ciclo Deming con el fin de disminuir los parámetros que afectan el rendimiento y la capacidad productiva de la empresa durante la baja actividad de cosecha. Para la ejecución de este trabajo se llevó a cabo la siguiente metodología plasmada en la figura 4.

Figura 4. Diagrama de la metodología aplicada.



4.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

En esta etapa del procedimiento se buscó información de los indicadores de capacidad productiva de la empresa Palmas del Cesar S.A tanto para la P.B.1

como para la P.B.2⁽¹⁰⁾. Estudiando los datos históricos de los indicadores de la capacidad productiva de la P.B.1 de la empresa para el año 2013 y el primer semestre del año 2014, así como el comportamiento de la P.B.2 desde el momento de su arranque y puesta en marcha.

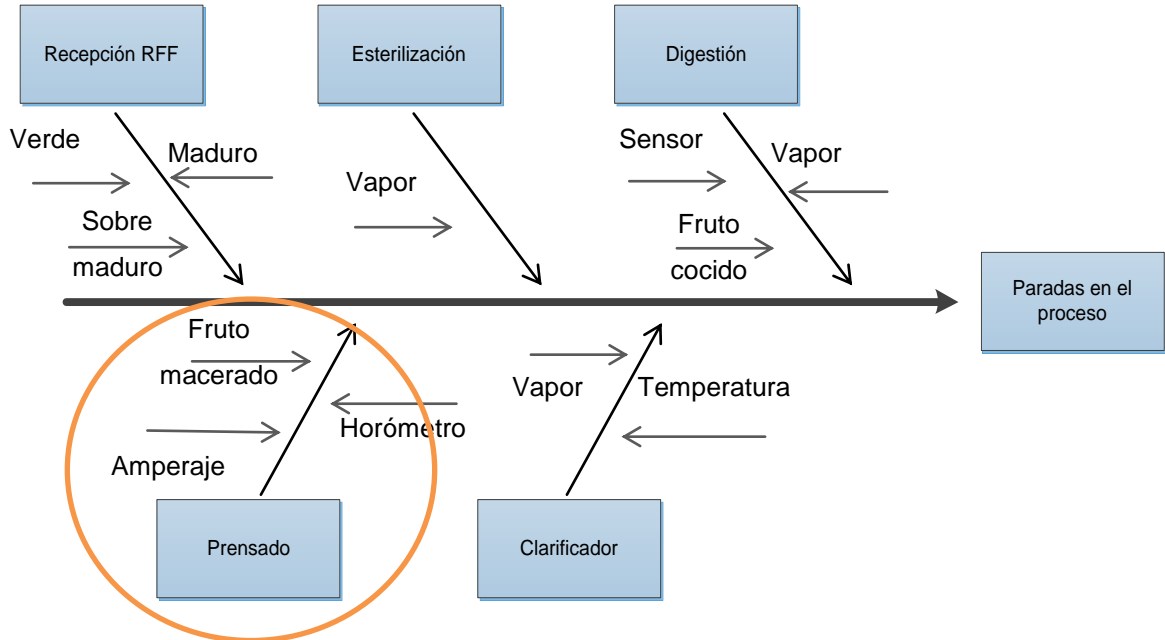
4.2. DESARROLLO EXPERIMENTAL.

El desarrollo experimental de la práctica empresarial se realizó mediante la aplicación de las cuatro etapas del ciclo de Deming al proceso de extracción de la P.B.2 de Palmas del Cesar S.A.

a) Etapa de planear:

En esta etapa el desarrollo se ejecutó en el campo, donde inicialmente se realizó una pequeña auditoria a los operarios con base a los parámetros implementados en la empresa para establecer el modo de operación de los equipos y encontrar las posibles causas de las paradas. Para ello, se elaboró un diagrama de causa - efecto con el fin de conocer los parámetros que afecten el cese de actividades en cada una de las etapas del proceso, como se puede identificar en la figura 5.

Figura 5. Diagrama causa – efecto de los factores que causan las paradas en el proceso.



Como resultado del diagrama de causa – efecto se pudo identificar que las etapas en la cual se puede afectar las horas de producción durante la jornada laboral son: las etapas de recepción y de prensado; la primera obedece a la recepción y el estado de maduración que presentan los RFF, debido a esto se debe aumentar o disminuir el tiempo del ciclo de esterilización, si éste llega verde o sobre maduro respectivamente, afectando las horas de producción y la calidad del aceite; la segunda es la etapa en la cual, se lleva el registro y control de las horas de producción y de las horas de paradas del proceso.

b) Etapa de hacer:

Durante la segunda fase se realizó un análisis detallado de la situación actual de la planta, para documentar, modificar y realizar puntos de control en cada una de

las operaciones del proceso de extracción de CPO y así establecer los parámetros operacionales para determinar los indicadores de capacidad de producción:

Tabla 1. Parámetros de operación para determinar los indicadores de la capacidad productiva.

Parámetro	Medida
Racimos de Fruta Fresca	Tonelada
Tiempo de operación	Hora
Tiempo de operación máquina	Hora

c) Etapa de verificar:

En esta fase se realizó un seguimiento y medición diaria a la planta teniendo en cuenta el apoyo de los departamentos de producción y mantenimiento de la empresa para la ejecución de las actividades.

Para la recopilación de los datos suministrados por el operario en cada una de las operaciones del proceso de extracción se tiene en cuenta el corte para la toma y muestra de cada dato en la empresa que se realiza diariamente a las 06:00 a.m., posteriormente se verifica que los datos coincidan con cada una de las anomalías presentadas durante el día de operación. Seguidamente se procede a registrar los datos en el programa de información de turno de planta 2 con el objetivo de llevar un registro detallado de cada día de producción y calcular los indicadores de efectividad.

d) Etapa de actuar

En la última etapa se enfocó en la revisión y aprobación de cada una de la documentación como los procedimientos, registros e indicadores de la capacidad productiva que se obtuvieron durante el desarrollo de esta práctica. Cabe resaltar que la P.B.2 estuvo sin operación durante los meses de noviembre, diciembre e inicios del mes de enero, debido a un problema en la caldera en donde se partió la línea del sobrecalentador modificando el paso del vapor de la caldera hacia el proceso, durante este tiempo se realizó la documentación y modificación de los puntos de control así mismo como las medidas preventivas para iniciar el arranque de la planta sin ningún contratiempo y obtener la óptima capacidad de producción.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. HISTÓRICOS DE LOS INDICADORES DE PRODUCCIÓN Y DE LA CAPACIDAD PRODUCTIVA DE P.B.2.

Es importante mencionar que durante el reconocimiento del área de producción y de las causas de las paradas, se encontraron aspectos significativos, que consistían en el manejo que se estaba presentando a la hora de registrar los datos, como:

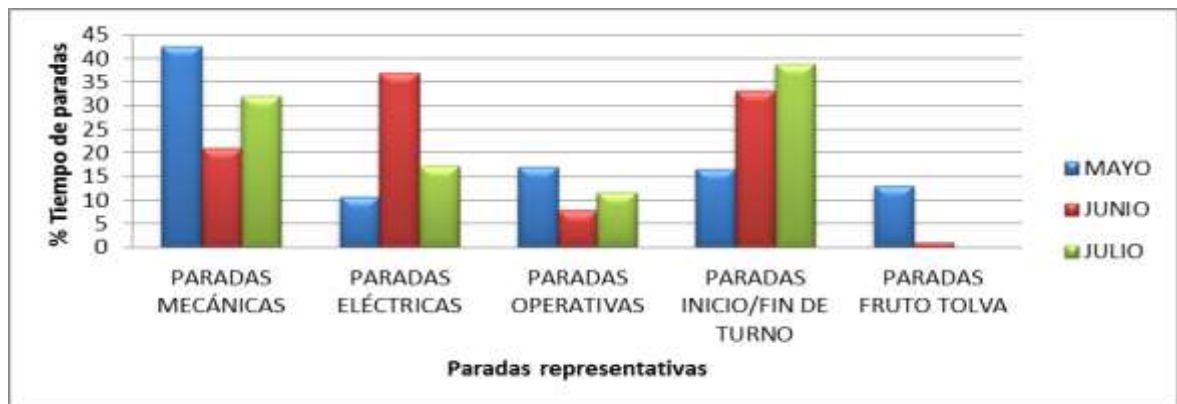
- La Planta de Beneficio No.2 no contaba con la documentación de cada área de producción.
- Los indicadores de capacidad productiva cuantitativos se iniciaron a partir de mayo de 2014, anteriormente a esta fecha solo se llevaba un informe cualitativo de la producción de la planta en el programa de informe de turno de la P.B.1.

Al analizar los datos históricos cuantitativos de la capacidad productiva y de los indicadores de paradas, se observa el control interno que lleva la empresa sobre el comportamiento de la planta, para determinar mejorías a la hora de iniciar el proceso. Cabe resaltar que estos datos históricos se encuentran generados durante los altos picos de cosecha correspondiente al primer semestre del año, por tal motivo, durante este tiempo se refleja un aumento en los RFF.

Los datos históricos corresponden al período comprendido entre los meses de mayo – julio del 2014, como se puede apreciar en la figura 6 y 7, en el cual, se registra el porcentaje del tiempo de paradas y la capacidad productiva respectivamente. En la figura 6, se presenta un acumulado mensual de cada una de las paradas para determinar la frecuencia con que se repite las paradas en

cada mes, teniendo en cuenta las causas que la generan y así realizar un mantenimiento preventivo a la planta con el objetivo de disminuir las paradas generadas.

Figura 6. Antecedentes de los indicadores de las paradas generadas en P.B.2 durante los meses de mayo – julio de 2014.



Fuente: Palmas del Cesar S.A.

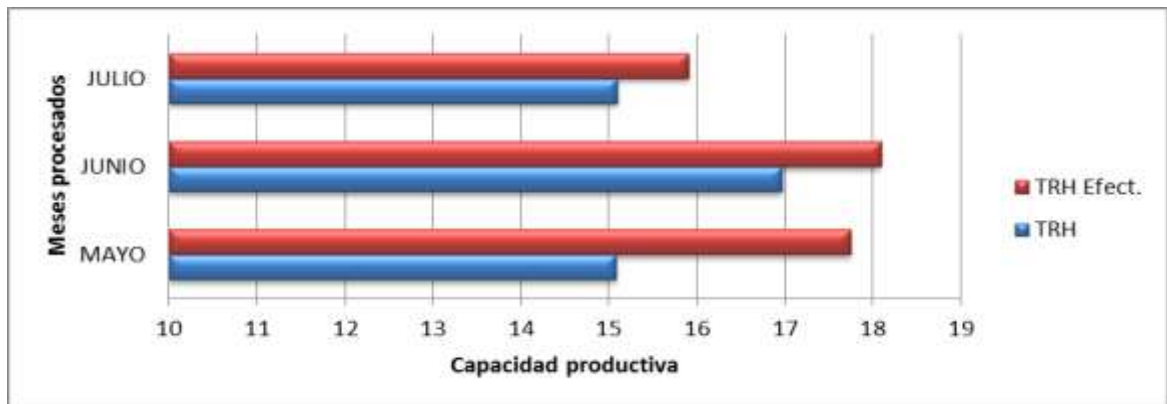
Éstas cinco paradas representativas corresponden a paradas no programadas y se clasifican en: paradas mecánicas, eléctricas, operativas, inicio/fin de turno y fruto de tolva, es decir, son paradas esporádicas que no se encuentran programadas durante el transcurso diario de la operación y no se generan todas al tiempo, son paradas que en algunos días operacionales no se llegan a presentar o se presentan de una a dos paradas representativas. La clasificación de estas paradas representativas obedece a parámetros de la organización.

Al analizar la figura 6, se puede observar como en el mes de mayo aumentaron las paradas mecánicas debido a trabajos realizados en las compuertas del esterilizador y fallas en la esclusa y taponamiento del redler doble, equipos del sistema de transporte de fibra del proceso hacia la caldera, por tal motivo, se percibe una disminución en la capacidad productiva del mes ya que se presentó

un aumento en las horas de parada y una disminución en las horas de producción como se puede contemplar en la figura 7.

Así mismo, para el mes de junio se presenta una disminución de la capacidad productiva en función de las horas programadas, debido al aumento de las paradas eléctricas, generadas por factores externos como los cambios climáticos que afectan las redes que suministran energía a la P.B.2, ocasionando un aumento en las paradas de inicio/fin de turno, de tal forma que se debe arrancar o apagar la planta antes de lo estipulado.

Figura 7. Históricos de la capacidad productiva de la P.B.2 durante los meses de mayo – julio de 2014.



Fuente: Palmas del Cesar S.A.

Las paradas de inicio/fin de turno consistieron en el cese de actividades de la planta para apagar los equipos por aproximadamente una hora antes del fin de las horas de producción programadas, de tal forma, que ya no sería una hora estipulada entre inicio/fin de turno sino que este lapso de tiempo aumentaría a más de una hora teniendo en cuenta el tiempo de inicio del proceso.

Considerando cada una de las horas de paradas que se presentaron durante estos meses, en la figura 7, se puede observar que la capacidad productiva que está en función de las horas máquina no se ve afectada, esto con lleva a realizar

un análisis a la máquina (prensa P-15) y determinar que está en condiciones óptimas de operación, ya que está cumpliendo con los parámetros establecidos de procesar 15 ton/h.

5.2. IDENTIFICACIÓN DE LAS PARADAS.

Una vez que se ha determinado el origen de las paradas se procede a calcular y definir si la causa de la parada es mecánica, eléctrica, operativa o logística, como se puede apreciar en la tabla 2, en el cual, la empresa dispone de unos días para realizar mantenimiento preventivo a las máquinas con el fin de evitar las horas de paradas mecánicas y eléctricas que afectan la operación y la relación que hay de éstas horas en el procesamiento de la fruta.

Tabla 2. Datos mensuales de los factores que afectan la eficiencia durante los meses de agosto – septiembre de 2014.

Mes	Fruto procesado (ton)	Días de proceso	Días Mto	Horas Prog.	Horas Mto Prog.	Horas de proceso
Agosto	5087,38	19	6	446	92	354
Septiembre	4729,36	18	9	438	124	314
Octubre	4275,58	16	11	418	110	308
Noviembre	1387,73	6	3	120	28	92

Fuente: Palmas del Cesar S.A.

En tabla 2, se puede identificar que durante los meses de septiembre y agosto se presentó un aumento en el número de horas de mantenimiento programado (Mto. Prog.), debido a que se incluían las horas de encendido de la caldera, por este

motivo, se modificó el programa en el cual se identificaron las horas de mantenimiento y las horas de encendido de la caldera por separado como se puede ver en la tabla 3.

De esta forma, la empresa puede llevar una estadística mensual de los días de producción, mantenimiento, así como las horas programadas para realizar el calentamiento de la caldera y cumplir con el cronograma de actividades dentro de la organización.

Tabla 3. Datos mensuales que afectan la eficiencia de la P.B.2 durante los meses de enero – febrero de 2015.

Mes	Fruto procesado (ton)	Días de proceso	Días Mto	Horas Prog.	Horas Mto Prog.	Horas de caldera Prog.	Horas de proceso
Enero	3950,45	13	1	294	8	0	286
Febrero	4221,65	13	3	302	36	3	263

Fuente: Palmas del Cesar S.A.

5.3. CÁLCULO DEL INDICADOR DE PARADA Y DE LA CAPACIDAD PRODUCTIVA.

Al calcular los indicadores de paradas se logró identificar el comportamiento operacional de la planta, así mismo, la disminución de la capacidad productiva durante los meses de estudio debido a los bajos picos de cosecha que se presentan en este período del año.

En la tabla 4, se identifica un aumento representativo por encima del 6% durante el mes de noviembre en la parada de inicio/fin de turno, a causa de la falla

generada en la caldera, motivo por el cual, tuvo un cese de actividades durante los meses de noviembre, diciembre y principios de enero.

Tabla 4. Indicadores de paradas durante los meses de estudio.

Mes	% Paradas mecánicas	% Paradas eléctricas	% Paradas operativas	% Paradas inicio/fin de turno	% Paradas fruto tolva
Agosto	0,16	0,60	0,63	2,85	0,00
Septiembre	2,37	2,86	2,37	3,29	5,50
Octubre	0,24	7,20	3,47	2,70	4,98
Noviembre	4,16	0,00	5,08	6,44	2,14
Enero	2,83	1,72	2,24	1,48	0,00
Febrero	0,00	0,88	0,67	1,43	0,00

Fuente: Palmas del Cesar S.A.

Debido a los bajos indicadores de paradas durante el mes de agosto, se puede analizar que no se efectuó el debido aprovechamiento de la capacidad productiva de la empresa, razón por la cual, al finalizar el mes tanto el TRH como el TRH efect., estuvieron por debajo del valor óptimo, alcanzando valores de 14,78 y 14,98 ton/h como se puede ver en la figura 8.

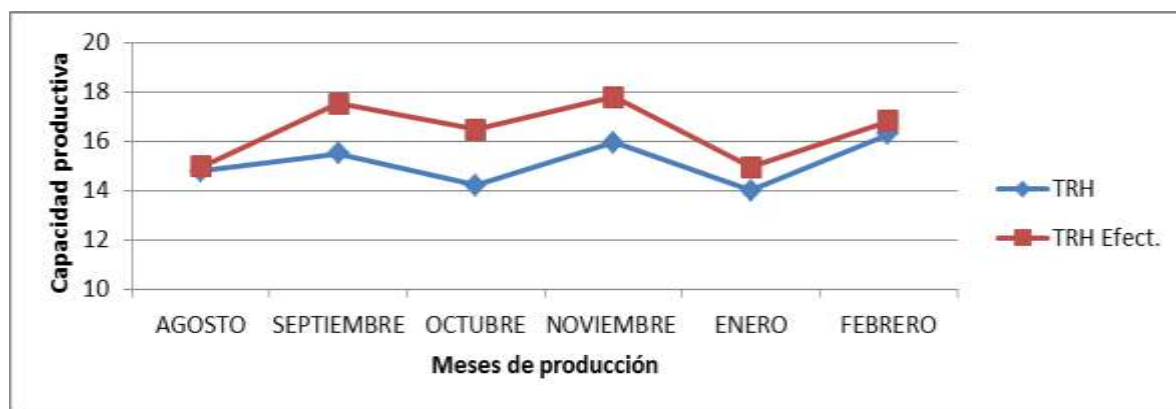
La aplicación de esta metodología al proceso de extracción de CPO en la P.B.2 llevó a la disminución de las horas de paradas como se observa en la tabla 4 donde, el porcentaje de paradas disminuyó en un 2% para los meses en los cuales la planta iniciaba nuevamente su producción.

5.4. ANÁLISIS TEÓRICO – PRÁCTICO.

Mediante la elaboración del programa de informe de turno de planta 2 se pudo observar el comportamiento real de la planta, debido a dificultades presentadas diariamente en la operación (ver Anexo D). En la figura 8, se logra comparar el rendimiento real (TRH efect.) de la operación con el que se esperaría que la planta alcanzara teniendo en cuenta la cantidad de fruto que entra en la planta (TRH).

Para determinar la causa en la cual no se llegó al óptimo aprovechamiento de la planta se realizó un estudio que comprobaba una falla operacional, donde se logró establecer que el tiempo para realizar el giro en el tambor de volteo oscilaba entre 30 min a 1 hora, lo que conlleva a tener un proceso demasiado lento ya que el tiempo determinado de volteo es de 20 a 30 minutos si se opera en modo automático, durante una semana se realizó el seguimiento y se encontró que los operarios estaban operando este equipo en modo manual lo que aumentó la demora y poco aprovechamiento de la capacidad de la planta.

Figura 8. Capacidad productiva en función del TRH y TRH efect.

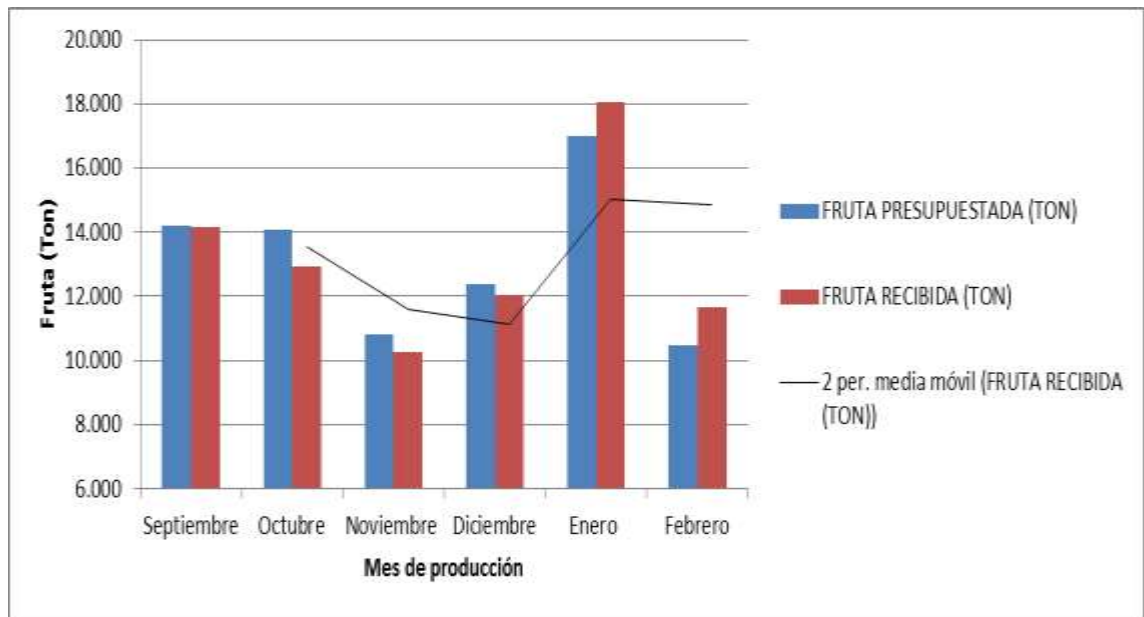


Fuente: Palmas del Cesar S.A.

Así mismo, se ejecutó un estudio detallado tanto a la fruta presupuestada como a la fruta que realmente ingresaba a la planta, allí se pudo observar como los picos de cosecha influyen en la capacidad de procesamiento de una planta de beneficio; en la figura 9, se observa una línea de tendencia, en el cual, tanto la fruta presupuestada como la fruta recibida va disminuyendo entre 10.000 y 12.000 ton durante los meses de noviembre y diciembre, así mismo se ve un aumento significativo del fruto durante el mes de enero debido al comienzo en el aumento de la cosecha.

Los principales factores que afectan el porcentaje de diferencia entre la fruta presupuestada y la fruta recibida dependen del corte y recolección de fruta que se realiza por parte del departamento de dirección agronómica (DAG) y de la unidad de servicio al proveedor de la organización (USP), encargados de suministrar los RFF a la planta de beneficio.

Figura 9. Comportamiento del fruto presupuestado Vs el fruto recibido.



Fuente: Palmas del Cesar S.A.

6. CONCLUSIONES

Con la aplicación del ciclo de Deming al proceso de extracción de CPO en la planta de beneficio No.2 se logró la modificación y documentación de los procedimientos, registros y puntos de control en pro de una mejora continua, tanto, para la implementación de la primera fase de la planta, así como, para la fase final que se espera alcanzar para el año 2030 con una capacidad productiva de 90 ton/h.

Mediante la aplicación de esta metodología se observó una disminución en las horas de paradas ocasionadas por diferentes aspectos durante la jornada operacional, de esta forma, se reduce el porcentaje de error entre las horas de producción programadas y las horas efectivas.

La evaluación y validación de los indicadores de capacidad productiva, generan un aporte al momento de medir la eficiencia de la producción diaria y mensual de la planta de beneficio con el objetivo de determinar la frecuencia con que se repite las paradas, teniendo en cuenta, las causas que la generan y así realizar un mantenimiento preventivo a la planta para disminuir las paradas y los costos operacionales.

Con base al seguimiento realizado a los datos de fruto presupuestado determinados por la USP, se logró identificar que si se realiza un análisis más detallado a los datos de fruto arrojados por los proveedores o por la propia organización se alcanzarán a disminuir el margen de error en relación al fruto presupuestado y a la fruta que ingresa a la planta.

7. RECOMENDACIONES

Realizar un estudio detallado al programa de proyección de fruta presupuestada para lograr un margen mínimo de error en la relación de la fruta presupuestada y la fruta recibida, aumentando las horas efectivas.

Es necesaria la notificación inmediata al departamento de mantenimiento cuando se genere una parada ya sea por una falla eléctrica, mecánica y operativa para evaluar y analizar las posibles causas y efectuar un mantenimiento preventivo.

En cuanto a las instalaciones de operación, se considera la instalación de una planta generadora de energía con el fin de brindar apoyo a la existente, de esta forma se garantizaría el suministro de energía para ambas plantas y disminuiría en mayor proporción el porcentaje en la parada eléctrica.

Antes de proceder a evaluar y validar los indicadores de gestión, se requiere realizar un análisis exhaustivo a cada uno de los procesos de la planta de beneficio No.2 con el fin de identificar el origen de la parada, ya que el origen de la parada puede ser diferente a la parada ocasionada y esto conlleva a una equivocación a la hora de clasificar las paradas.

BIBLIOGRAFÍA

1. BANGUERO, Mónica. Diagnóstico, diseño, documentación, implementación y evaluación de un sistema de gestión de calidad para la empresa Palmeras de Puerto Wilches S.A. bajo los lineamientos de la norma NTC ISO 9001:2008. Trabajo de grado Ingeniera Industrial. Floridablanca: Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería Industrial. Escuela de Ingeniería y Administración. 2010. p 26 -27.
2. BASTIDAS, Silvio, PEÑA, Eduardo y REYES, Rafael. Morfología de la palma de aceite. EN: Preguntas sobre Palma de aceite *Elaeis guineensis* Jacq., palma Nolí *Elaeis oleífera* (Kunth) Cortés y los híbridos interespecíficos Nolí x Palma de aceite (*E. oleífera* x *E. guineensis*). Bogotá D.C. CORPOICA, 2013. p. 23 - 24.
3. CONVENIO INTERINSTITUCIONAL DE COOPERACIÓN UPME-INDUPALMA-CORPODIB. Descripción física, socioeconómica y ambiental de las zonas palmeras colombianas. EN: Programa estratégico para la producción de Biodiesel combustible automotriz a partir de aceites vegetales. Bogotá D.C., 2003. p 133 – 165.
4. COX, Michel y NELSON, David. Lehninger: Principios de Bioquímica. Quinta Edición. Omega, 2006. p.59- 68.
5. FEDEPALMA. Informe de Gestión de FEDEPALMA 2013. EN: FEDEPALMA. Bogotá D.C. Mayo 2014. Sec. 1. p. 37 – 43.

6. GARCÍA, Manuel; Quispe, Carlos y PÁEZ, Luis. Mejora continua de la calidad en los procesos. En: Industrial Data. Agosto, 2003. vol. 6, no. 01, p. 89-94.
7. GONZÁLEZ, Favio. Monocotiledóneas y dicotiledóneas: Un sistema de clasificación que acaba con el siglo. EN: Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. Junio, 1999. vol. XXIII, no. 87, p. 2-5.
8. Google Maps, [en línea]. <https://www.google.es/maps/@7.8867564,-73.4686567,760m/data=!3m1!1e3> [Citado: 23 de marzo de 2015].
9. MINISTERIO DE DESARROLLO AGROPECUARIO Y REFORMA AGRARIA (MINDINRA), Dirección general de técnicas agropecuarias fondo Simón Bolívar, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), “*La Palma Africana*”, Primera Edición. Nicaragua; MIDINRA DGTA, 1983. ISBN 05374-5391. 34 p.
10. PALMAS DEL CESAR S.A. Sistema de Gestión de Calidad. EN: Informe de turno P.B.1. 2013 – 2014.
11. -----Sistema de Gestión Integral. En: Manual de Calidad. 2012.
12. PRODUCCIÓN MUNDIAL DE ACEITE DE PALMA [en línea]. <https://www.produccionmundialaceitedepalma.com/> [Citado: 13 de abril de 2015].
13. SEGUNDO CONGRESO NACIONAL DE PALMA DE ACEITE. (12 y 13, febrero, 2009: Palenque, Chiapas, México). En: Memorias Palmas del Cesar S.A. 3-4 p.

- 14.** SISPA (Sistema de información estadística del sector palmero) [en línea] <http://sispaweb.fedepalma.org/SitePages/Home.aspx> con fecha de corte de 30/03/2015 11:54:18 a.m. [Citado: 01 de abril de 2015].

- 15.** UNIPALMA S.A. [en línea]. <http://www.unipalma.com/productos-y-servicios/aceite-de-palma> [Citado: 8 de abril de 2015].

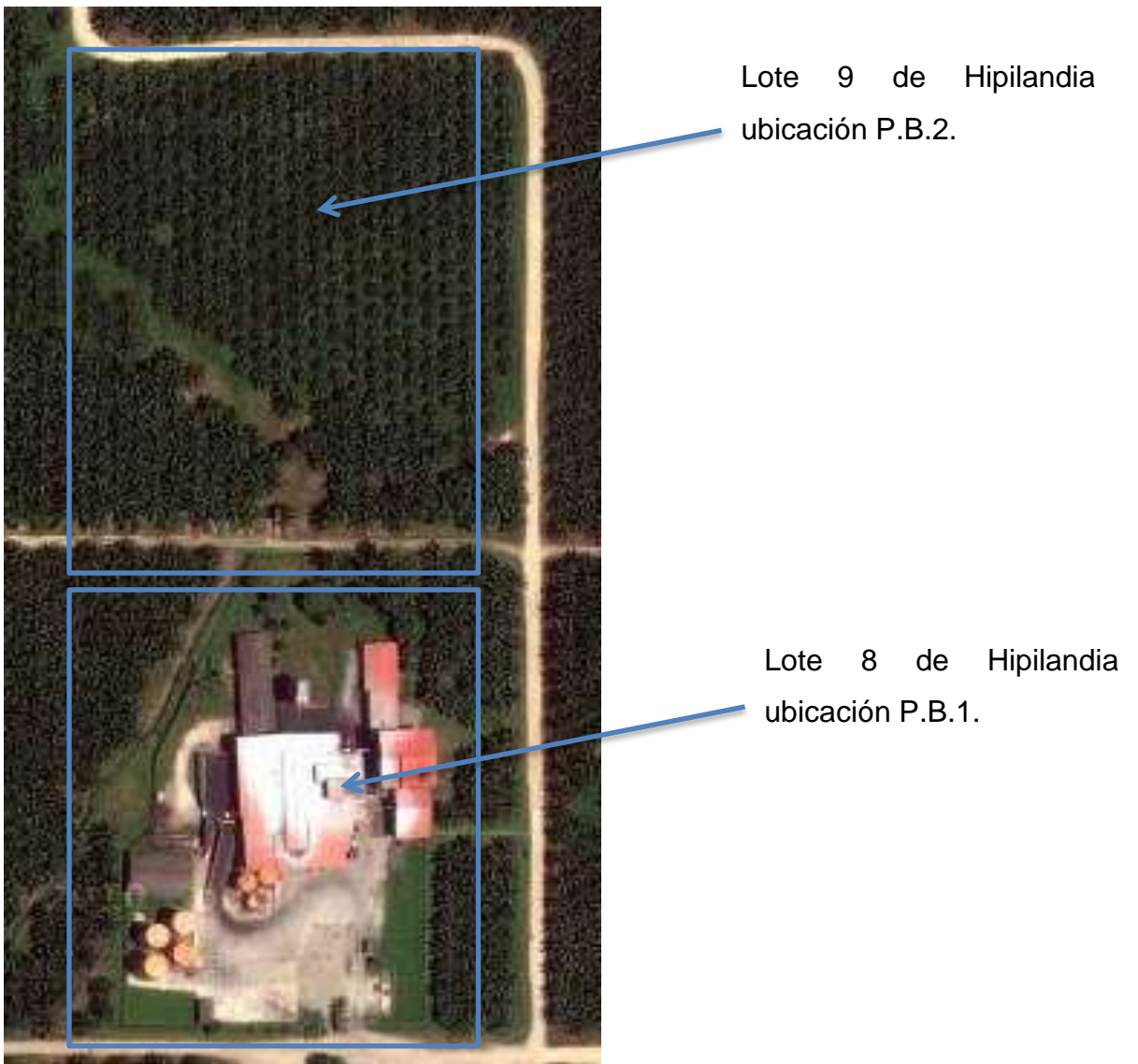
- 16.** WAMBECK, Noel; BERNAL, C. Guillermo y CALA, G. Germán. Sinopsis del proceso de la palma de aceite. Bogotá: FEDEPALMA, 2005. vol.1. cap. 3. p. 6-11.

ANEXOS

Anexo A. Localización de Palmas del Cesar S.A.

Anexo A-1. Vista superior de la localización de las plantas de beneficio.

Figura 10. Localización de las plantas de beneficio de Palmas del Cesar S.A.



Fuente: Google Maps⁽⁸⁾

Anexo A-2. Mapa de distribución de las zonas palmeras en Colombia.

Figura 11. Distribución de las zonas palmeras en Colombia para el año 2013.



Fuente: Fedepalma

Anexo B. Composición del Aceite de Palma

El aceite de palma, obtenido en las dos plantas de beneficio de la empresa Palmas del Cesar S.A., es un aceite de color rojo del proceso de prensado del mesocarpio de la fruta de palma africana cuyo nombre científico es *Elaeis guineensis*, la características del color se debe a su aporte de carotenos que presenta un gran efecto antioxidante. Es una grasa cuya composición general es de 40 – 48% ácidos grasos saturados, principalmente palmítico; 37 – 46% ácidos grasos mono insaturados, principalmente oleico y 10% ácidos grasos poli insaturados. Este producto es utilizado como materia prima por las empresas refinadoras, quienes lo utilizan fundamentalmente en la producción de aceite de mesa y cocina, margarinas, mantecas, jabones y es de igual utilidad en la industria del cuero, del acero y textiles, así como en la producción del biodiesel. Las características principales se pueden apreciar en las tablas 5, 6 y 7.⁽¹⁵⁾

Anexo B-1. Composición típica de los ácidos grasos presentes en el CPO.

Tabla 5. Composición típica de los ácidos grasos.

Nombre	Fórmula molecular	Porcentaje (%)	Punto de Fusión °C
Ácido Mirístico	C13H27COOH	1.2 – 5.9	53.7
Ácido Palmítico	C15H31COOH	31.5 – 43.8	62.6
Ácido Esteárico	C17H35COOH	2.2 – 5.9	69.3
Ácido Oleico	C17H33COOH	34.8 – 49.5	13.5
Ácido Linoléico	C17H31COOH	6.5 – 11.2	-24

Fuente: UNIPALMA

Anexo B-2. Composición típica de glicéridos presentes en el CPO.

Tabla 6. Composición típica de glicéridos.

Nombre	Porcentaje (%)	Punto de Fusión °C
Tripalmitina	2.0 – 5.5	65.0
Dipalmito - Estearina	1.0 – 3.5	63.0
Dipalmito – Oleína	16.5 – 43.0	34.5
Oleo- Palmito-Estearina	11.0 – 15.0	31.0
Palmito-Dioleína	31.0 – 51.0	18
Oleína y linoleína	6.0 – 14.0	15

Fuente: UNIPALMA

Anexo B-3. Características fisicoquímicas del CPO.

Tabla 7. Características fisicoquímicas del CPO.

Características	Medida
Punto de fusión	27 - 45° C
Poder calorífico	8825 calorías
Punto de chispa	280° C
viscosidad absoluta	37,8 cp a 70° C
Índice de refracción	1.4531 a 1.4580
Densidad	0,8981 a 40° C
Coeficiente de dilatación	0,0008
Índice de saponificación	195 a 205
Índice de yodo	44 a 58
Índice de Cetano	35

Fuente: UNIPALMA

Anexo D. Cálculo de las Horas de Paradas y Capacidad Productiva.

Anexo D-1. Cálculo de las horas de paradas.

Una vez se han identificado los factores que afectan la producción, se procede a realizar el cálculo en el programa informe de turno planta 2 (ver Figura 13), en el cual se determinan las horas de paradas que se presentaron en el proceso, que corresponden:

$$\text{Horas de parada total} = (\text{Hora inicial} - \text{Hora final}) * 24$$

Donde, las horas de proceso total se determinan para cada parada que haya ocasionado el cese de las actividades.

- Hora de parada total = Diferencia de las horas inicial y final de cada parada
- Hora Inicial = Hora a la cual inició la parada.
- Hora Final = Hora a la cual arrancó el proceso.

Para obtener una idea del proceso, se tomaron los datos del 02 de septiembre de 2014, en el cual se presentaron 16 horas de producción, y dos paradas representativas.

Como se observa en la tabla 8, la documentación de este programa no es tan compleja, pero se debe prestar atención al momento de registrar las horas de paradas verificando que coincidan con el dato exacto.

Tabla 8. Identificación de la causa de la parada en el programa informe de turno planta 2.

Tipo de Parada	Hora inicio	Hora final	Total parada
Fruto en tolva	06:00	10:00	4,00
Inicio/Fin de turno	21:30	22:00	0,50

Fuente: Palmas del Cesar S.A.

La parada más representativa y que marcó la pauta en la disminución de la capacidad de producción durante la jornada laboral de este día, se debe a la ausencia de fruto, por problemas con la unidad de servicio al proveedor (USP), motivo por el cual, el proceso inició a las 10:00 a.m., disminuyendo de esta forma 4 horas del proceso.

Por tal motivo, las horas de producción no serían de 16 horas como se había programado sino de 11,49 horas efectivas. Cálculo que se determina mediante la sumatoria de las diferencias de las horas registradas en el horómetro durante los dos turnos operativos de la planta. Como se muestra en la tabla 9.

Tabla 9. Cálculo de las horas efectivas de la P.B.2.

Turno	Hora inicial	Hora final	Diferencia
1	4074,37	4078,65	4,27
2	4078,65	4085,86	7,21
Sumatoria			11,49

Fuente: Palmas del Cesar S.A.

Anexo D-2. Cálculo del fruto procesado en P.B.2.

Posteriormente se han calculado los datos de las horas efectivas y las horas de paradas, el departamento de producción proporciona el dato del fruto procesado que consiste en un pequeño balance masa:

$$\textit{Fruto procesado} = \textit{Fruto disponible} - \textit{Saldo final del fruto}$$

Donde, el fruto disponible es el fruto que ingresó a la planta y el saldo final del fruto es el fruto que no se procesó.

De esta forma, para el día 02 de septiembre de 2014:

$$\begin{aligned}\textit{Fruto procesado} &= 323.240 - 130.000 \\ \textit{Fruto procesado} &= 193.240 \textit{ Kg} \approx 193,24 \textit{ Ton}\end{aligned}$$

Como se puede apreciar el cálculo del fruto procesado se realiza en kilogramo (kg) y no en Tonelada (Ton), de tal forma, que antes de empezar a calcular los indicadores de producción se debe realizar la respectiva conversión.

Anexo D-3. Cálculo de la capacidad productiva.

Con base en lo anterior, se procede a calcular de forma automática los indicadores de gestión, que para el caso de estudio corresponden:

Tabla 10. Cálculo de los indicadores para el caso de estudio.

TRH	12,08 Ton/h
TRH efect	16,82 Ton/h
Indicador Fruto tolva	34,81%
Indicador Inicio/Fin de turno	4,35 %
Indicador total de parada	39,16 %

Fuente: Palmas del Cesar S.A.

De lo anterior, se concluye que si no se hubiera presentado la parada por falta de fruta en tolva, el TRH habría estado en el rango de las 16 ton/h aumentando la capacidad de fruto a procesar y disminuyendo el indicador de parada de 39,16% al 4,35% que corresponde a la parada por inicio/fin de turno, parámetros aceptados en la empresa. [15]

A partir de las tablas 11 – 16, se encuentran plasmados cada uno de los datos tomados durante los meses de estudio.

Tabla 11. Datos de las horas de las paradas y horas efectivas de la P.B.2 correspondiente al mes de agosto.

ago-14	HORAS PROG.	HORAS MTO PROG.	HORAS DE PROCESO	FRUTO PROCESADO (TON)	PARADAS MECÁNICAS	PARADAS ELÉCTRICAS	PARADAS OPERATIVAS	INICIO/FIN TURNO	PARADAS FRUTO TOLVA	TOTAL PARADAS	HORAS EFECT.
1	16	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	24	0	24	363,95	0	0	0	0,72	0	0,72	23,28
5	16	0	16	232,16	0	0	0	0,43	0	0,43	15,57
6	16	0	16	287,62	0	0	0	0,08	0	0,08	15,92
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	24	0	24	360,31	0	0	0	0	0	0	24
9	18	0	18	273,83	0	0	0	0,1	0	0,1	17,9
11	16	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	24	0	24	337,07	0,2	0,08	0	0	0	0,28	23,72
13	16	0	16	213,21	0	0	0	0,52	0	0,52	15,48
14	18	0	18	218,94	0,33	0	0	0,58	0	0,92	17,08
15	24	0	24	325,32	0	0	0	0,55	0	0,55	23,45
16	12	0	12	141,06	0	0	0,65	0,17	0	0,82	11,18
18	16	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	16	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	20	0	20	238,52	0	0	0	0,57	0	0,57	19,44
21	18	0	18	204,84	0	1,47	0	0,5	0	1,97	16,03
22	20	0	20	239,98	0	0,48	0,43	1,05	0	1,97	18,03
23	18	0	18	213,48	0	0	0	0,8	0	0,8	17,2
25	16	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	16	0	16	168,03	0	0	0	0,75	0	0,75	15,25
27	16	0	16	283,9	0	0	0	1,03	0	1,03	14,97
28	20	0	20	369,78	0	0	1,05	0,17	0	1,22	18,78
29	18	0	18	305,46	0	0	0	0,92	0	0,92	17,08
30	16	0	16	309,92	0	0	0	0,75	0	0,75	15,25
Sumatoria	446	92	354	5087,38	0,53	2,03	2,13	9,68	0	14,38	339,61

Fuente: Palmas del Cesar S.A.

Tabla 12. Datos de las horas de las paradas y horas efectivas de la P.B.2 correspondiente al mes de septiembre.

sep-14	HORAS PROG.	HORAS MTO PROG.	HORAS DE PROCESO	FRUTO PROCESADO (TON)	PARADAS MECÁNICAS	PARADAS ELÉCTRICAS	PARADAS OPERATIVAS	INICIO/FIN TURNO	PARADAS FRUTO TOLVA	TOTAL PARADAS	HORAS EFECT.
1	16	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	16	0	16	193,24	0	0	0	0,5	4	4,5	11,49
3	16	0	16	235,36	0	0	0	0,92	1,8	2,72	13,29
4	16	2	14	204,56	0	0	0	0,58	0,98	1,57	12,44
5	18	2	16	274,37	0	0	0	0,25	0	0,25	15,75
6	18	2	16	294,37	0	0	0	0,17	0	0,17	15,83
8	24	18	6	0	0	0	2,23	0,33	0	2,57	3,43
9	24	0	24	440,23	0	0	0	0	0	0	24
10	18	0	18	272,8	0	0	0	0,2	2,5	2,7	15,3
11	16	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	16	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	12	0	12	111,83	5,22	0	0	1,48	0	6,7	5,3
15	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	24	0	24	374,21	0	0	0,92	0	0,5	1,42	22,58
17	24	12	12	178,47	0	0,13	1,5	0,75	1,25	3,63	8,36
18	20	0	20	204,86	0	7,58	0	0,5	0	8,08	11,92
19	16	0	16	294,01	0	0	0	0,33	0,77	1,1	14,9
20	18	0	18	255,57	0	0	1,73	0,33	0	2,07	15,94
22	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	28	0	28	490,58	0	0	0	0,17	0	0,17	27,84
25	20	0	20	316,5	0,67	0	0	1,03	0	1,7	18,3
26	18	0	18	266,47	0,52	0	0	0,9	2,43	3,85	14,15
27	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	20	0	20	322,62	0	0	0	0,43	0,62	1,05	18,95
Sumatoria	438	124	314	4730,05	6,4	7,72	6,38	8,88	14,85	44,23	269,76

Fuente: Palmas del Cesar S.A.

Tabla 13. Datos de las horas de las paradas y horas efectivas de la P.B.2 correspondiente al mes de octubre.

oct-14	HORAS PROG.	HORAS MTO PROG.	HORAS DE PROCESO	FRUTO PROCESADO (TON)	PARADAS MECÁNICAS	PARADAS ELÉCTRICAS	PARADAS OPERATIVAS	INICIO/FIN TURNO	PARADAS FRUTO TOLVA	TOTAL PARADAS	HORAS EFECT.
1	16	0	16	112,55	0	0	0	0	9,1	9,1	6,9
2	16	0	16	259,04	0	0	0	2,13	0	2,13	13,87
3	16	8	8	125,64	0,17	0	0	0	0	0,17	7,83
4	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	20	0	20	176,74	0	8,23	0	0,5	0	8,73	11,27
8	16	0	16	196,12	0	0	2,75	0,28	0	3,03	12,97
9	20	0	20	330,14	0	0	0	0,63	0	0,63	19,36
10	20	0	20	331,57	0	0	0	0,53	0	0,53	19,47
11	16	0	16	272,28	0	0	0	1,97	0	1,97	14,03
14	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	24	0	24	276,21	0,45	6,15	0	0	0	6,6	17,4
16	24	0	24	356,37	0	1,95	0	0	0	1,95	22,05
17	24	0	24	366,91	0	1,5	0	0	0	1,5	22,5
18	16	0	16	221,28	0	0	0	0	3,83	3,83	12,17
20	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	16	8	8	0	0	0	0	0	0	0	4,34
22	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	24	0	24	451,53	0	0,62	0,45	0	0	1,07	22,93
24	16	0	16	261,38	0	0	0	0,3	0	0,3	15,7
25	16	0	16	265,01	0	0	0	0,67	0	0,67	15,33
27	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	16	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	16	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	24	0	24	272,81	0	0,25	2,15	0	0	2,4	21,6
31	16	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sumatoria	418	110	308	4275,58	0,62	18,7	5,35	7,02	12,93	44,62	259,72

Fuente: Palmas del Cesar S.A.

Tabla 14. Datos de las horas de las paradas y horas efectivas de la P.B.2 correspondiente al mes de noviembre.

nov-14	HORAS PROG.	HORAS MTO PROG.	HORAS DE PROCESO	FRUTO PROCESADO (TON)	PARADAS MECÁNICAS	PARADAS ELÉCTRICAS	PARADAS OPERATIVAS	INICIO/FIN TURNO	PARADAS FRUTO TOLVA	TOTAL PARADAS	HORAS EFECT.
1	12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	12	0	12	128,66	0	0	1,67	1,1	0	2,77	9,23
7	8	0	8	100,97	0	0	0	0,1	0	0,1	7,9
8	12	0	12	91,27	0	0	0	0,33	1,66	1,99	10,01
10	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	16	0	16	251,2	1,23	0	1,64	1	0	3,87	12,13
12	20	0	20	365,25	0,85	0	0,67	0,72	0	2,23	17,76
13	16	8	8	156,85	0	0	0	0,68	0	0,68	7,32
14	16	0	16	293,53	1,17	0	0	1,1	0	2,27	13,73
Sumatoria	120	28	92	1387,73	3,25	0	3,97	5,03	1,66	13,92	78,08

Fuente: Palmas del Cesar S.A.

Tabla 15. Datos de las horas de las paradas y horas efectivas de la P.B.2 correspondiente al mes de enero.

ene-15	HORAS PROG.	HORAS MTO PROG.	HORAS CALDERA	HORAS DE PROCESO	FRUTO PROCESADO (TON)	PARADA MECÁNICA	PARADA ELÉCTRICA	PARADA OPERATIVA	INICIO/FIN DE TURNO	PARADA FRUTO TOLVA	TOTAL PARADA	HORAS EFECT.
16	48	0	0	48	473,57	6,82	0	0	0	0	6,82	41,18
17	18	0	0	18	238,42	0,5	0	0	0,5	0	1	17
19	24	0	0	24	284,86	0	2,8	0	0,5	0	3,3	20,7
20	24	0	0	24	346,21	0	0	0	0	0	0	24
21	24	0	0	24	360,17	0	0,42	0,5	0	0	0,92	23,09
22	16	0	0	16	250,65	0	0	0	0,17	0	0,17	15,83
23	24	0	0	24	389,59	0	0	0,11	0,42	0	0,53	23,47
24	18	0	0	18	272,81	0	0	0	0,42	0	0,42	17,58
26	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	22	0	0	22	328,2	0	0	1,77	0	0	1,77	20,23
28	20	0	0	20	268,63	0,17	0,55	2,05	0,47	0	3,23	16,77
29	20	0	0	20	323,15	0	0	0	0,7	0	0,7	19,3
30	16	0	0	16	245,05	0	0,38	0	0,75	0	1,13	14,87
31	12	0	0	12	169,14	0	1,5	0,4	0	0	1,9	10,1
Sumatoria	294	8	0	286	3950,45	7,48	5,65	4,83	3,92	0	21,88	264,12

Fuente: Palmas del Cesar S.A.

Tabla 16. Datos de las horas de las paradas y horas efectivas de la P.B.2 correspondiente al mes de febrero.

feb-15	HORAS PROG.	HORAS MTO PROG.	HORAS CALDERA	HORAS DE PROCESO	FRUTO PROCESADO (TON)	PARADA MECÁNICA	PARADA ELÉCTRICA	PARADAS OPERATIVA	INICIO/FIN TURNO	PARADAS FRUTO TOLVA	TOTAL PARADAS	HORAS EFECT.
2	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	20	0	0	20	283,74	0	0,24	0	0,7	0	0,94	19,06
4	20	0	0	20	312,27	0	0,47	0,58	0,17	0	1,22	18,78
5	18	0	0	18	277,31	0	0	0	0,9	0	0,9	17,1
6	18	0	0	18	268,85	0	1,28	0	0,83	0	2,12	15,88
7	16	0	0	16	267,04	0	0	0	0,67	0	0,67	15,33
9	16	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	24	0	0	24	401,23	0	0	0	0	0	0	24
11	24	0	0	24	408,34	0	0,22	0	0	0	0,22	23,79
13	48	12	3	33	539,29	0	0	0	0	0	0	32,16
14	18	0	0	18	298,31	0	0	0	0,33	0	0,33	17,67
16	24	0	0	24	390,32	0	0	0	0	0	0	24
17	24	0	0	24	426,75	0	0	1,08	0	0	1,08	22,92
18	24	0	0	24	348,2	0	0,78	0	0	0	0,78	20,38
19	24	0	0	24	252,02	0	0	0	0	0	0	15,04
Sumatoria	326	36	3	287	4473,67	0	2,99	1,67	3,6	0	8,26	266,12

Fuente: Palmas del Cesar S.A.