

Mejoramiento del proceso productivo de Extractora Vizcaya S.A.S aplicando la metodología de Seis Sigma.

Autores

Angie Caterine Acevedo Valdivieso

Leidy Johana Moyano Silva

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Industrial

Director

Frank Nicolás Moreno Delgado

Msc. en sistemas de calidad y productividad

Universidad Industrial de Santander

Faculta de Ingenierías Físico-mecánicas

Escuela de Estudios Industriales y Empresariales

Bucaramanga

2019

Agradecimientos

El presente trabajo lo agradecemos primordialmente a Dios por ser nuestro guía y acompañarnos en el transcurso de nuestras vidas, brindándonos paciencia y sabiduría para culminar con éxito este proyecto.

Agradecemos a cada uno de los docentes de la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales de la Universidad Industrial de Santander que hicieron parte de este proceso de aprendizaje, por transmitir los conocimientos y aportar en nuestro crecimiento como profesional y ético.

De igual forma agradecemos al director de tesis Frank Nicolás Moreno Delgado, por su apoyo incondicional y por haber sido nuestra guía en esta última e importante etapa y a la extractora Vizcaya S.A.S por abrirnos las puertas y permitir desarrollar nuestro proyecto.

Dedicatoria

Esta tesis está dedicada a:

A mis padres Nelson y Gloria quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre. Gracias a mi querido y amado novio Jose Omar, por ser el hombre ideal que me ha apoyado en todos los instantes, sin su inspiración, tenacidad y sobre todo tu inmenso amor, ha sido posible llevar a buen término este nuevo reto, este logro, es tuyo y mío como todo lo que hemos hecho juntos, te amo y te amare siempre, a mis hermanas Mildred y Yurledys por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañaron en todos mis sueños y metas.

Angie Caterine Acevedo Valdivieso

Esta tesis está dedicada a:

A mi padre celestial, quien me ha permitido estudiar la carrera de mis sueños, me ha llenado de sabiduría y entendimiento en todo el proceso, no podría estar más agradecida de la elección que ha hecho para mi vida, a mi abuela Socorro Corzo, quien me motiva a ser mejor persona, porque en su ejemplo fue inspiración para muchos, a mis padres, especialmente a mi mejor amiga María Ninfa Silva, por ser mi motivación y guía, cómplice en mis caminos. A mi ahora esposo, Yesid Sanabria, por ser mi compañero desde el bachiller, a mi familia por creer en mí, a quienes bendicen y oran por mi vida, a mis compañeros de universidad que estimo mucho, y sin duda a la UIS, mi segundo hogar por varios años.

Con cariño.

Leidy Johana Moyano Silva

Tabla de contenido

Introducción	19
Cumplimiento de los Objetivos	20
1. Generalidades del proyecto	22
1.1. Objetivo general	22
1.2. Objetivos específicos	22
1.3. Alcance	22
1.4. Justificación del proyecto	23
2. Generalidades de la empresa	23
2.1. Descripción de la empresa	23
2.2. Reseña histórica	23
2.3. Misión	24
2.4. Visión	24
2.5. Política de calidad	24
2.5.1. Objetivos de la calidad	25
2.5.2. Alcance del sistema de gestión de calidad	25
2.6. Estructura física de la planta extractora	25
3. Generalidades del producto	26
3.1. Productos.....	26
3.1.1. Uso.....	27
3.1.2. Almacenamiento y recomendaciones.....	27
4. Descripción general del proceso	27
4.1. Recepción del fruto	28
4.2. Operación de esterilización	28
4.2.1. Ciclo de esterilización	29
4.3. Operación desfrutación	30
4.3.1. Pérdidas de aceite en la desfrutación.	30
4.4. Operación digestión	31
4.5. Operación prensado.....	32
4.5.1. Pérdidas de aceite en el prensado.....	32
4.6. Operación clarificación	33

4.6.1. Fundamentos de la clarificación	34
4.7. Desfibración	36
4.8. Generación de vapor	36
4.9. Tratamiento de agua	36
4.10. Almacenamiento	37
5. Marco de referencia.....	37
5.1. Marco de antecedentes	37
5.2. Marco Teórico.....	38
5.2.1. Seis Sigma.....	38
5.2.2. (AMEF) Análisis de modo y efecto de fallas.....	44
5.2.3. Gráficas de control	47
5.2.4. Conceptos Estadísticos.....	54
5.2.5. Causas y Variabilidad	57
5.3. Marco legal	59
6. Fase Definir	60
6.1. Definición y enfoque del problema.....	60
6.1.1. Oportunidad de Mejora	61
6.2. Objetivos del Proyecto	65
6.2.1. Definir los métricos y defectos	65
6.2.2. Baseline y entitlement	70
6.2.3. Beneficios y costos económicos	74
6.2.4. Statement of work (SOW).....	75
6.3. Project Charter	77
7. Fase Medir	77
7.1. Validación del sistema de Medición	77
7.1.1. Análisis del sistema de Medición (MSA)	78
7.1.2. Plan de mejoramiento del sistema.....	80
7.2. Cuantificar el desempeño del proceso	81
7.2.1. Pruebas de normalidad	81
7.2.2. Estabilidad del proceso	84
7.2.3. Análisis de la capacidad del proceso.....	91

8.Fase Analizar.....	97
8.1. Causas de Variación.....	97
8.1.1. Causas potenciales	99
8.1.2. Planeación del DOE	101
8.1.3. Causas importantes enfocadas a la $Y=f(X's)$	105
9. Fase Mejorar.....	112
9.1. Plan de acción	112
9.2. Soluciones potenciales	113
9.3. Plan de implementación	117
10. Fase Controlar	119
10.1. Plan de Control y Monitoreo.....	119
10.2. Plan de Transición.....	119
10.2.1. Niveles de transformación 6σ	120
10.2.2. Etapas de implementación	120
10.3. Diagrama de actividades de Control	121
11. Conclusiones.....	122
12. Recomendaciones	123
Referencias Bibliográficas	123

Tabla de figuras

Figura 1. Ubicación de la planta extractora.	26
Figura 2. Ciclo de esterilización para la extracción de aceite de palma africana.	30
Figura 3. Ley de Arquímedes.....	34
Figura 4. Idea y elementos de una carta de control (Bajo CEP).	48
Figura 5. Guía para la selección de graficas de control.	50
Figura 6. Zonas y límites probabilísticos de una carta de control.	52
Figura 7. Gráfico fuera de control por sobrepasar los límites naturales.	52
Figura 8. Gráfico fuera de control por exceder límites de advertencia.	52
Figura 9.. Gráfico fuera de control por 4 puntos consecutivos por encima de la región ideal.	53
Figura 10. Gráfico fuera de control por sesgo a la derecha, Racha o tendencia	53
Figura 11. Diagrama de Pareto de puntos críticos.	64
Figura 12. Diagrama de flujo de proceso.....	65
Figura 13. Diagrama de Pareto RPN consolidados.....	69
Figura 14. Histograma de fruta calificada.....	72
Figura 15. Ingresos por venta de aceite	75
Figura 16. Gráfico de control ($\bar{X} - R$) de Tiempos de espera.....	85
Figura 17. Gráfico de control ($\bar{X} - R$) de Tiempos de esterilizado	86
Figura 18. Gráfico de control ($\bar{X} - R$) de Temperatura del digestor	87
Figura 19. Gráfico de control ($\bar{X} - R$) de Temperatura del clarificador.....	89
Figura 20. Gráfico de control ($\bar{X} - R$) de Dilución de aceite.	90
Figura 21. Gráfico de control ($\bar{X} - R$) de Dilución de Agua	91
Figura 22. Análisis de capacidad para tiempos de espera.....	92
Figura 23. Análisis de capacidad para tiempos de ciclo de esterilizado	93
Figura 24. Análisis de capacidad para Temperatura del digestor	94
Figura 25. Análisis de capacidad para Temperatura de Clarificado	95
Figura 26. Análisis de capacidad para Dilución de Aceite	96
Figura 27. Análisis de capacidad para Dilución de Aceite	96
Figura 28. Diagrama Causa – efecto /Producción de aceite	98
Figura 29. Grafica normal de efectos estandarizados para Y3.	108

Figura 30. Grafica de efectos principales para Y3.....	109
Figura 31. Gráfica normal de efectos estandarizados para Y5	111
Figura 32. Gráfica de efectos principales para Y5.....	112
Figura 33. Niveles de implementación seis sigmas.	120
Figura 34. Diagrama de actividades de control.	121

Lista de tablas

Tabla 1. Metodología Objetivos/Actividades/cumplimiento	20
Tabla 2. Información general de la empresa.	23
Tabla 3. Perfil de ácidos grasos del producto	26
Tabla 4. Características Fisicoquímicas del producto.....	27
Tabla 5. Otros significados de Seis Sigma.....	41
Tabla 6. Roles en Seis Sigma.....	41
Tabla 7. Etapas, objetivos y herramientas de la metodología Seis Sigma.....	43
Tabla 8. Diseño y proceso del AMEF.....	47
Tabla 9. AMEF de diseño.....	47
Tabla 10. AMEF de proceso	47
Tabla 11. Decretos, resolución y documentos.....	59
Tabla 12. Variables y atributos del producto en cada operación	61
Tabla 13. Características específicas para el comercio internacional	61
Tabla 14. Tabla de percepción del cliente	62
Tabla 15. Ponderación de consolidados.....	63
Tabla 16. Criterios de Severidad.....	65
Tabla 17. Criterios de Ocurrencia.....	67
Tabla 18. Criterios de Detección	67
Tabla 19. RPN consolidados.....	68
Tabla 20. Definición operacional por atributos del estado del fruto.....	70
Tabla 21. Indicadores del proceso (Ideal).....	72
Tabla 22. Indicadores del proceso (Con pérdidas).....	73
Tabla 23. Ingresos por venta de aceite, según el estado de la fruta.....	74
Tabla 24. Declaración del trabajo.....	75
Tabla 25. Y's del proceso críticos.....	76
Tabla 26. Lista de las máquinas y equipos de procesamiento.....	78
Tabla 27. Análisis del sistema de medición por variables.....	78
Tabla 28. Pruebas de normalidad por variables.....	81
Tabla 29. Límites de especificación, Tiempos de espera.....	84
Tabla 30. Límites de especificación, Tiempos de Esterilizado.....	86

Tabla 31. Límites de especificación, Temperatura del Digestor.....	87
Tabla 32. Límites de especificación, Temperatura de clarificado.....	88
Tabla 33. Límites de especificación, Dilución de aceite.....	89
Tabla 34. Límites de especificación, Dilución de Agua.....	90
Tabla 35. Interpretación del índice de capacidad del proceso.....	91
Tabla 36. Tabla de 6M's para diagrama causa – efecto	97
Tabla 37. Planeación de Variables.....	98
Tabla 38. Prueba de las X's Vitales.....	99
Tabla 39. Tabla de relación, métricos Y, con X's Vitales.....	101
Tabla 40. Planeación del DOE.....	102
Tabla 41. Resumen del diseño para Y3.....	106
Tabla 42. Análisis de Varianza Y3.....	106
Tabla 43. Resumen del modelo Y3.....	107
Tabla 44. Coeficientes codificados Y3.....	107
Tabla 45. Configuración para Y3.....	108
Tabla 46. Predicción para Y3.....	108
Tabla 47. Resumen del diseño para Y5.....	109
Tabla 48. Análisis de Varianza Y5.....	109
Tabla 49. Resumen del modelo Y5.....	110
Tabla 50. Coeficientes codificados Y5.	110
Tabla 51. Configuración para Y5.....	111
Tabla 52. Predicción para Y5.....	111
Tabla 53. Propuestas de soluciones potenciales.....	113
Tabla 54. Plan de implementación de mejoras.....	117
Tabla 55. Etapas para la transición Seis Sigma.....	121

Tabla de Apéndices

Apéndice A. Hoja de vida del tutor	
Apéndice B. Certificado de asistencia a sustentaciones	
Apéndice C. Formato de matrícula	
Apéndice D. Carta de la empresa	
Apéndice E. Certificado del ARL	
Apéndice F. Estado de resultados e informe de costos 2015 a 2017 Vizcaya S.A.S	
Apéndice G. Autorización para el tratamiento de datos personales	
Apéndice H. Lista de chequeo producto final (aceite crudo).	60, 122
Apéndice I. Encuesta #1.	61
Apéndice J. Encuesta #2.	61
Apéndice K. Matriz de ponderación.	62
Apéndice L. Tabla de bonificación 2018.	60, 62, 90
Apéndice M. AMEF del proceso.	67,120
Apéndice N. Project Charter.	75
Apéndice O. SWIPE- MSA	79
Apéndice P. Datos Y's del estudio	79,82
Apéndice Q. Datos de X's del estudio	96,98
Apéndice R. Prueba de significancia X's Vitales.	98, 99, 116
Apéndice S. Plan de control de calidad.	117,118
Apéndice T. Formato de acta de comité de control de calidad.	117,118
Apéndice U. AMEF del proceso (Vacío).	122
Apéndice V. Datos de Caldera.	78, 82, 96, 98, 116
Apéndice W. Datos de Prensado.	78, 82, 96, 98, 116
Apéndice X. Datos de Clarificado.	78, 82, 96, 98, 116
Apéndice Y. Datos de tiempo de Espera.	78, 82, 96, 98, 116
Apéndice Z. Datos de Esterilizado.	78, 82, 96, 98, 116

(Ver apéndices adjuntos en el CD y pueden visualizarlos en la Base de Datos de la

Biblioteca UIS)

Glosario

AGL: Ácidos grasos libres.

AMEF: Análisis del modo y efecto de fallas.

ANOVA: Análisis de Varianzas.

CEP: Control estadístico de procesos.

DMAIC: Siglas de Define, Measure, Analyze, Improve, y Control.

DOE: Diseño de experimentos.

ExG: Elaeis Guineensis

GE: General Electric.

H: Humedad.

I: Impurezas.

LCS: Límite de control superior.

LCI: Límite de control inferior.

LCP: Licor crudo de palma

LIE: Límite inferior de especificación.

LP: Licor de prensas.

LSE: Límite superior de especificación.

MSA: Análisis del sistema de medición.

NPR/RPN: Número prioritario de riesgo.

OxG: Híbrido de palma Elaeis Oleifera.

PEPS: Primeros en entrar, primeros en salir.

P15: Digestor de la prensa 15ton/hr.

P5: Digestor de la prensa 5ton/hr.

RFF: Racimo de fruto fresco.

Rpm: Revoluciones por minuto.

SOW: Statement of work.

SWIPE: Siglas de Standard, Workpiece, Instrument, Procedure/ Person y Environment.

TEA: Taza de extracción de aceite.

X-R: Medias y Rangos.

RESUMEN

TITULO: Mejoramiento del proceso productivo de Extractora Vizcaya S.A.S aplicando la metodología de Seis Sigma. *

AUTOR: Angie Catherine Acevedo Valdivieso. Leidy Johana Moyano Silva **

PALABRAS CLAVES: Seis Sigma, Control Estadístico, Índices de Capacidad, Variables Críticas, Calidad, Proceso Productivo.

DESCRIPCIÓN:

El proyecto se desarrolló en la Planta Extractora Vizcaya S.A.S argumentado en las necesidades de tomar decisiones con base en la información confiable y oportuna, interesada en mejorar su competitividad en términos de costos, rendimiento y calidad del aceite, teniendo en cuenta las consecuencias de la no calidad en el proceso productivo que contribuye un problema de gran transcendencia social y económica. Consecuentes con la progresiva incorporación de los sistemas de gestión de calidad en el proceso que brinda mejoras a los problemas que afectan la producción.

La metodología utilizada se basa en la filosofía Seis Sigma cuantificando la calidad en términos de cumplimiento de las condiciones de operación y las especificaciones del mercado. Iniciando con la descripción general de las variables del proceso, posterior la identificación de variables críticas por medio del AMEF que esclarece desde su NPR, las pocas vitales y sus etapas productivas, se definen métodos de medición, se identifica el tipo de gráfico de control de acuerdo a el tipo de variable, se calcula los índices de capacidad, su nivel Seis Sigma y se analiza desde la perspectiva de sus límites de especificación, para así iniciar el periodo de monitoreo de las variables críticas, para posterior identificación de causas asignables a cada métrico primario, demostrando su significancia y determinando el deber ser del proceso en cada una de sus etapas productivas, evaluadas desde el diseño de experimentos, para con ello finalmente concluir que el proceso no cumple en ciertos puntos con las especificaciones del cliente, y no cumple con los criterios de capacidad, por lo que en este proyecto se formulan las mejoras para tales puntos de desestabilidad demostrados estadísticamente.

* Proyecto de grado. Modalidad práctica empresarial.

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales.

Director: Frank Nicolás Moreno Delgado, Msc. en sistemas de calidad y productividad.

ABSTRACT

TITLE: Improvement of the productive process of Extractor Vizcaya S.A.S applying the methodology of Six Sigma. *

AUTHOR: Angie Caterine Acevedo Valdivieso. Leidy Johana Moyano Silva **

KEY WORDS: Six Sigma, Statistical Control, Capacity Indexes, Critical Variables, Quality, Productive Process.

DESCRIPTION:

The project was developed in the Extractor Plant Vizcaya S. A. S argued in the needs to take decisions based on reliable information and timely, interested in improving its competitiveness in terms of costs, performance and quality of the oil taking into account the consequences of non-quality in the productive process that contributes to a problem of great concern, social and economic. Consistent with the progressive incorporation of quality management systems in the process that provides improvements to the problems that affect production.

The methodology used is based on the philosophy of Six Sigma quantifying the quality in terms of compliance with the operating conditions and the specifications of the market. Starting with the general description of the variables of the process, subsequent to the identification of critical variables by means of the FMEA that illuminates from its NPR, the few vital and their stages of production, are defined methods of measurement, identifies the type of chart control according to the type of the variable, it calculates the indexes of ability, your level Six Sigma and analyzed from the perspective of its specification limits, so as to start the monitoring period of the critical variables, for later identification of assignable causes to each metric primary, demonstrating their significance and determining the duty to be the process in each of its stages of production, evaluated from the design of experiments, to finally conclude that the process does not meet in certain points to the customer's specifications, and does not meet the criteria of capacity, so that in this project includes the improvements to such points of instability demonstrated statistically.

* Degree Project. Practical business mode.

** Faculty of Mechanical Physics Engineering. School of Industrial and Business Studies.
Director: Frank Nicolás Moreno Delgado, Msc. in quality and productivity systems.

Introducción

Este trabajo describe el potencial que tiene la extracción de aceite crudo a partir de la palma africana, que desde hace décadas ha venido mejorando su participación en el mercado, siendo líder a nivel internacional con un 60 y 70% de la producción mundial (Mouthon, 2018), lo que muestra una importante representación en la economía colombiana y a su vez alude al control de los precios del producto en el mundo, ayudando esto a la sostenibilidad económica, al desarrollo regional y a las exportaciones nacionales.

En este orden de ideas la cadena agroindustrial debe buscar mejorar su competitividad en términos de costos, rendimiento y calidad, los principales factores que muestra este crecimiento es la excesiva importación, venta y distribución de aceite crudo. Los cuales generan una amplia gama de productos finales. Con el tiempo los procesos de una organización van requiriendo cambios y van presentando ausencia de control debido la competencia entre ellas, por la alta oferta y el afán de cumplir con la demanda, proporcionando una serie de consecuencias como: incremento de pérdidas, producto fuera de las especificaciones, paradas en el proceso y bajo rendimiento en la planta.

Se propone la aplicación de la metodología Seis sigma, una guía completa y flexible que tiene como fin conservar y extender el éxito en los negocios. Precisa el conocimiento total de las necesidades del cliente, requiere análisis disciplinado de datos controlando así la actuación de las variables influyentes con respecto a las metas y objetivos propuestos previamente en calidad del proceso y del producto, proporciona a la planta a través del monitoreo de las variables la ocasión exacta de fluctuación correspondiente a una causa asignable, lo que garantiza una respuesta a tiempo a futuras tendencias que puedan causar ruido en el proceso, y promete reducir a un mínimo los defectos en fabricación hasta lograr reconocer en totalidad las necesidades del cliente, permitiendo a la organización más productividad y competitividad.

Cumplimiento de los Objetivos

Tabla 1.

Metodología Objetivos/Actividades/cumplimiento.

Objetivos	Etapas DMAIC	Actividades	Cumplimiento
1.Diagnosticar la situación actual del proceso de extracción de aceite crudo en la empresa Vizcaya S.A.S con el fin de identificar falencias y oportunidades de mejora.	DEFINIR	1. Definición y enfoque del problema	Numeral 6
		1.1. Identificar la oportunidad de mejora	
		1.2. Recolectar y trasladar la voz del cliente	
		2. Determinar los objetivos del proyecto	
		2.1. Definir los métricos y defectos	
		2.2. Establecer el Baseline y el Entitlement	
		2.3. Desarrollar la declaración del problema y los objetivos	
		2.4. Estimar los beneficios financieros	
		2.5. Establecer el Statement of work SOW	
		3. Crear el Project Charter	
2.Formular un plan de mejoramiento al proceso productivo sustentado cuantitativamente, acorde a los problemas encontrados en el diagnóstico.	MEDIR	3.1. Definir los roles del proyecto y responsabilidades	Numeral 7
		3.2. Establecer la línea de tiempo del proyecto	
		4. Definir como es el proceso	
		4.1. Determinación de un diagrama de flujo o un VSM	
		4.2. Determinar la Existencia de soluciones rápidas	
		5. Validar el sistema de Medición	
		5.1. Análisis del sistema de Medición	
		5.2. Mejoramiento del sistema de Medición	
		6. Cuantificar el desempeño del proceso	
		6.1. Recolección de datos	
	ANALIZAR	6.2. Realizar Pruebas de normalidad	Numeral 8
		6.3. Examinar la estabilidad del proceso	
		6.4. Análisis de la capacidad del proceso	
		7. Identificar las causas	
		7.1. Listas causas potenciales	
		7.2. Planeación del DOE	
		7.3. Identificar las causas importantes enfocadas a $y=f(x's)$	

3. Implementar las propuestas de mejora teniendo en cuenta los puntos críticos identificados que permita mejorar la eficacia, estabilidad, calidad y los costos duros del proceso de extracción y que pueda ejecutarse en el alcance establecido para el proyecto.	MEJORAR	10. Crear un plan de acción 11. Generar soluciones potenciales 11. Crear un plan de implementación	Numeral 9
4. Diseñar y aplicar un sistema de indicadores de gestión que permita realizar seguimiento y medición al plan de mejoramiento del proceso de extracción de aceite crudo de la empresa Vizcaya S.A.S. 5. Socializar a las áreas interesadas los resultados obtenidos y mecanismos de control siguientes ya aprobados	CONTROLAR	15. Crear un plan de control y monitoreo. 16. Desarrollar plan de transición. 16.1. Definir los niveles de transformación seis sigma a tomar. 16.2. Establecer las etapas de implementación 17. Diagrama de actividades de control.	Numeral 10

Nota: Objetivos, fases Seis Sigma y actividades del proyecto tomadas de la metodología propuesta y aprobada internacionalmente por (Neil , 2005).

1. Generalidades del proyecto

1.1. Objetivo general

Implementar un plan de mejoramiento al proceso de extracción de aceite de la empresa Vizcaya S.A.S por medio de la aplicación de las fases de la metodología Six Sigma con el fin de mejorar la eficacia, estabilidad, calidad y los costos duros del proceso.

1.2. Objetivos específicos

Diagnosticar la situación actual del proceso de extracción de aceite crudo en la empresa Vizcaya S.A.S con el fin de identificar falencias y oportunidades de mejora.

Formular un plan de mejoramiento al proceso productivo sustentado cuantitativamente, acorde a los problemas encontrados en el diagnóstico.

Implementar las propuestas de mejora teniendo en cuenta los puntos críticos identificados que permita mejorar la eficacia, estabilidad, calidad y los costos duros del proceso de extracción y que pueda ejecutarse en el alcance establecido para el proyecto.

Diseñar y aplicar un sistema de indicadores de gestión que permita realizar seguimiento y medición al plan de mejoramiento del proceso de extracción de aceite crudo de la empresa Vizcaya S.A.S.

Socializar a las áreas interesadas los resultados obtenidos y mecanismos de control siguientes ya aprobados.

1.3. Alcance

Este proyecto se realiza con el apoyo de la Extractora Vizcaya S.A.S., con la finalidad de formular propuestas de mejora, creando escenarios alternativos para la solución de la problemática específicamente en el proceso de esterilización, prensado y clarificado, identificando posibles alternativas de solución y mejora, siguiendo los lineamientos de la metodología Seis Sigma por medio del DMAIC, que incluye métodos de análisis estadísticos, de procesos y herramientas para

la toma de decisiones multi-criterio, lo que arrojará las fuentes de variabilidad, para la posterior reducción de los inconvenientes presentes, a través de análisis y acciones concretas.

1.4. Justificación del proyecto

Actualmente en Colombia cada día hay un crecimiento en empresas en el sector agroindustrial, con el fin de ser altamente competitivos y ofrecer productos de calidad. La falta de control en el proceso de extracción de aceite implica una serie de consecuencias en la calidad del producto. Por tal razón es conveniente el uso de herramientas y metodologías estadísticas con el fin de determinar las fuentes de variabilidad para el control y posterior reducción de pérdidas a través de análisis y acciones concretas resultantes en la toma de decisiones con base a la información confiable y oportuna para el mejoramiento continuo de los procesos.

Para lograr lo anterior es necesario adoptar nuevos sistemas de calidad para figurar a nivel mundial. El Six Sigma es uno de los más exitosos sistemas de calidad que actualmente ha dado resultados reales en muchas empresas, es una herramienta disciplinaria que sirve para mejorar la calidad de los procesos, productos o servicios, dando mayor rentabilidad y crecimiento al negocio.

2. Generalidades de la empresa

2.1. Descripción de la empresa

Tabla 2.

Información general de la empresa.

Nombre	Vizcaya S.A.S
Razón social:	Acciones simplificada planta extractora de aceite crudo de palma extractora Vizcaya sociedad por extractora Vizcaya S.A.S.
NIT:	900.320.695-6
Número de empleados:	40 directos
Representante legal:	Juan Carlos Jiménez Céspedes
Dirección:	Planta extractora Vizcaya S.A.S (Km 16 vía San Pablo – Simití) Parte administrativa En la ciudad de Bucaramanga (CALLE 53 # 35ª-16)

Nota: Suministrado por (Extractora Vizcaya S.A.S., 2018).

2.2. Reseña histórica

Extractora Vizcaya S.A.S tiene una trayectoria de Nueve (9) años en el sector palmicultor, nace como respuesta al polo de desarrollo generado por las Empresas, Oleaginosas las Brisas, Promociones Agropecuarias Monterrey, Palmeras de Puerto Wilches y Palmas Oleaginosas Bucarelia. Donde 31 pequeños agricultores incursionaron en el mundo de la Palma Africana en los años 1981 y 1982.

Las dificultades generadas en la comercialización del fruto hicieron que por primera vez pensarán en la integración vertical, generando una Cooperativa (Copalsa) que posteriormente con el apoyo del Gobierno Regional (FONDISER), Coomultrasan y Santandereana de Aceites S.A., creó la EXTRACTORA VIZCAYA S.A.S. asociada a Palmeras de Puerto Wilches S.A.

El 29 de agosto de 2009 en Bucaramanga se concreta con el grupo de accionistas y en el año 2012 inician sus operaciones de extracción de aceite, cumpliendo los deseos de integración de cultivadores de palma africana, siendo socios accionistas: Santandereana de Aceites S.A., Luis Jose Álvarez, Sergio Rangel Consuegra, Enrique Pérez Barrera con una participación del 83.4% y FONDISER con una participación del 16.6% de las acciones. Suministrado por (Extractora Vizcaya S.A.S., 2018) .

2.3. Misión

Somos una empresa dedicada a la producción y comercialización de aceite de palma, que pretende satisfacer los mercados nacionales e internacionales con un producto que cuente con los más altos estándares de calidad. Estamos comprometidos con el desarrollo de la agroindustria, el progreso y bienestar de nuestros colaboradores, proveedores y zona de influencia (Extractora Vizcaya S.A.S., 2018).

2.4. Visión

Extractora Vizcaya S.A.S. al año 2025, será una empresa reconocida en el sector de la agroindustria del aceite de palma gracias al cumplimiento de los parámetros de calidad que el mercado internacional exige y el uso eficiente y sostenible de los recursos, con un alto compromiso con nuestro papel como ciudadano corporativo responsable (Extractora Vizcaya S.A.S., 2018).

2.5. Política de calidad

En Extractora Vizcaya S.A.S, nos dedicamos a la extracción y comercialización de aceite crudo de palma mediante procesos efectivos y de mejoramiento continuo, generando valor agregado a nuestros clientes y aliados estratégicos en función de sus necesidades y expectativas. Contamos con una sólida estructura organizacional, personal competente, uso adecuado de maquinaria y planta que logran la optimización de los recursos para la obtención de un producto final de excelente calidad. Extractora Vizcaya S.A.S, está comprometida con la satisfacción de sus aliados estratégicos, el cumplimiento de la normatividad aplicable a la organización y la mejora continua, enfocada en el desarrollo económico, gestión responsable del medio ambiente y social de la región (Extractora Vizcaya S.A.S., 2018).

2.5.1. Objetivos de la calidad. Optimizar los procesos productivos mediante el adecuado uso de la maquinaria y planta para el incremento de la efectividad.

- Cumplir a cabalidad los requisitos especificados por el cliente, ofreciendo un producto conforme a los requerimientos del cliente para aumentar la fidelización.
- Establecer programas de formación para el recurso humano, en herramientas que permitan su crecimiento para la consolidación de un equipo competitivo.
- Controlar efectivamente los indicadores de gestión mediante su análisis y seguimiento para la toma de decisiones.

2.5.2. Alcance del sistema de gestión de calidad. El alcance del sistema de gestión abarca las áreas direccionamiento estratégico, abastecimiento de materia prima, producción, gestión comercial y logística, suministros, talento humano, gestión financiera y contable, mantenimiento, gestión de calidad, TIC's. El alcance incluye las instalaciones ubicadas en el municipio de San Pablo, Sur de Bolívar y la oficina administrativa en la, Calle 53 No. 35A-16, en Bucaramanga Santander (Extractora Vizcaya S.A.S., 2018).

2.6. Estructura física de la planta extractora

La planta extractora se encuentra conformada y distribuida de la siguiente manera:

- Una única puerta de acceso compuesta por un portón de apertura manual, para ingreso y salida de vehículos y una puerta auxiliar para el ingreso de las personas.
- Sobre la izquierda de la planta, se ubican las áreas de producción a fondo y frente del ingreso a mano derecha se encuentra la báscula.

- En el fondo de la planta se ubica en un segundo nivel la zona de descargue de fruta.
- Entrando al lado de la báscula se encuentran las oficinas administrativas y las instalaciones sanitarias.
- El laboratorio de calidad se localiza en una esquina por fuera del área de producción.
- Por fuera de las instalaciones se ubica el reservorio de agua utilizado para la alimentación del proceso productivo.



Figura 1. Ubicación de la planta extractora. Tomado de <https://www.google.com/maps/place/San+Pablo,+Bolívar/>.

3. Generalidades del producto

3.1. Productos

El aceite Crudo de Palma es un producto obtenido del beneficio del fruto de la palma aceitera ExG (*Elaeis Guineensis*) el cual se extrae por la aplicación de una secuencia de etapas en donde solo intervienen procesos mecánicos. Posterior a un acondicionamiento térmico, el aceite es extraído del mesocarpio del fruto por la acción de la presión en la etapa de prensado. En etapas posteriores, este aceite es purificado, secado y acondicionado hasta obtener las características ideales. El aceite crudo de palma presenta un color naranja oscuro o rojo intenso debido al alto contenido de Carotenos y a temperaturas inferiores a 25 °C es una pasta semisólida debido a sus características fisicoquímicas.

Tabla 3.

Perfil de ácidos grasos del producto.

PARÁMETRO FÍSICO-QUÍMICO	LIMITE BAJO	LIMITE ALTO
Láurico	0,09	0,5
Mirístico	0,85	1,5
Palmítico	42	46
Palmitoleico	0.09	0,3
Oleico	38	41
Linoleico	7,2	11
Linolénico	0,02	0,4
Araquidónico	0,1879	0,174
Esteárico	3	4,5

Nota: Se muestra los límites (Bajo-Alto) requeridos entre los parámetros físicos-químicos del producto. Adaptado de (Palmeras de Puerto Wilches S.A., s.f.).

Tabla 4.

Características Fisicoquímicas del producto.

CARACTERISTICAS	RANGO
Índice de peróxidos (meq/L)	1-3
Índice de Refracción	1.4490-1.4550
Punto de Fusión (°C)	34-40
Densidad aparente 42-70(g/cm3)	0.8766-0.8957
Acidez %	2.5-5
Humedad + Impurezas %	0.4

Nota: Se muestra los rangos requeridos para las características del producto. Adaptado de (Palmeras de Puerto Wilches S.A., s.f.).

3.1.1. Uso. El aceite crudo de palma se utiliza en su forma natural como materia prima en la industria de aceite y grasas comestibles (aceites líquidos y margarinas), concentrado para animales, jabones, biodiesel, entre otros. Gracias a su relación de ácidos grasos, del aceite se obtiene dos fracciones: estearina y oleína, las cuales tienen un amplio rango de usos a nivel industrial.

3.1.2. Almacenamiento y recomendaciones. Almacenar en un lugar seco, lejos de olores fuertes y sin ingreso de luz solar directamente, producto no inflamable, En caso de derrame, lavar con agua y detergente biodegradable. Su contacto directo no representa riesgo para la salud.

4. Descripción general del proceso

El aceite de palma, crudo o rojo se trata de un aceite de origen vegetal obtenido del mesocarpio de la fruta de la palma, este aceite es considerado como el segundo más ampliamente producido sólo superado por el aceite de soya. El fruto de la palma es ligeramente rojo y este es el color que tiene el aceite sin refinar.

El proceso de extracción de aceite de palma según lo planteado por Acuña (2000), comienza realmente desde el amontonamiento y transporte posterior a la planta de extracción, el cual se hace en camiones de carga, o carretas tiradas por tractores de llantas. Los cuales llegan a la planta y se genera el proceso de descarga posterior al pesado de la fruta dándose una secuencia en el proceso. Inicia con la esterilización de los frutos, luego, se desgranar del racimo y se maceran para extraer el aceite de la pulpa, clarificarlo y recuperar las almendras de la torta de palmiste resultante, de donde se sacará el aceite crudo. Control de calidad, participa en el proceso en las etapas de recepción, desfrutado, extracción y clarificación, estableciendo algunas normas y procedimientos para que en algunas etapas se extraiga la mayor cantidad de aceite y en otras para mantener las características de este.

El control de calidad se realiza evaluando el aceite rojo con el propósito de valorar su vida útil, (análisis químicos de porcentaje de humedad, porcentaje de acidez e índice peróxido), así como las características requeridas tomadas de (Libega, 2017) y (Bonomie & Reyes); para poder valorar como un producto óptimo que se describe a continuación detalladamente:

4.1. Recepción del fruto

Los racimos llegan a las instalaciones de la planta en camiones llenos de fruta proveniente de los productores agrícolas y luego se descarga para obtener por diferencia el peso neto de la fruta y según los criterios de la empresa se establece el tipo de control para evaluar la calidad del fruto. Los racimos generalmente se descargan en una plataforma de recibo y, mediante un sistema de tolvas se alimentan las vagonetas con una capacidad aproximadamente de 2.5 TM. Una vez cargadas, éstas se trasladan por medio de rieles a la zona de esterilización. En lo posible se deben eliminar las impurezas (arena, piedras) a causa de desgaste y daños en los equipos de extracción de aceite.

4.2. Operación de esterilización

Es la etapa más importante del proceso de extracción del aceite de palma; se lleva a cabo, generalmente sometiendo los racimos de fruto fresco de palma a la acción de vapor de agua en recipientes cilíndricos horizontales (autoclaves) con un diámetro de 1700 mm durante aproximadamente 90 minutos, disminuyendo la presión entre 20 y 45 psia en dos o tres picos descargando el vapor congelado entre pico y pico, donde los factores principales son el tiempo de cocción y la temperatura, dependiendo del tamaño de los racimos y del grado de madurez de los mismos, este proceso acelera el ablandamiento de la unión de la fruta lo cual facilita su separación, la extracción del aceite y el desprendimiento de la almendra de la cáscara de nuez. Mediante este proceso de esterilización se inactiva la enzima lipasa con una temperatura a los 60 °C que favorece la producción de los ácidos grasos libres.

4.2.1. Ciclo de esterilización. Des aireación: consiste en introducir vapor lentamente con el fin de empujar el aire hacia abajo y evacuarlo por las líneas de condensados.

- Ascenso y expansión en un primero y segundo picos: Se realizan con el objeto de expulsar el aire residual que haya podido quedar en el esterilizador y para conseguir un desecamiento de las almendras dentro de las nueces y obtener la mayor recuperación posible.
- Sostenimiento: en este paso es que realmente se alcanza los objetivos principales de la esterilización. La presión y el tiempo utilizados en el sostenimiento dependen del grado de madurez de los frutos.
- Expansión final y operaciones de descargue y cargue del esterilizador: Desde el punto de vista de la seguridad es importante tener en cuenta que en cada esterilizador debe haber una válvula de seguridad indicadora del momento de la apertura de la puerta. Antes de la apertura de la puerta de descarga del esterilizador es indispensable abrir dicha válvula y hasta tanto no haya dejado de salir vapor por ella no se puede descargar el equipo.

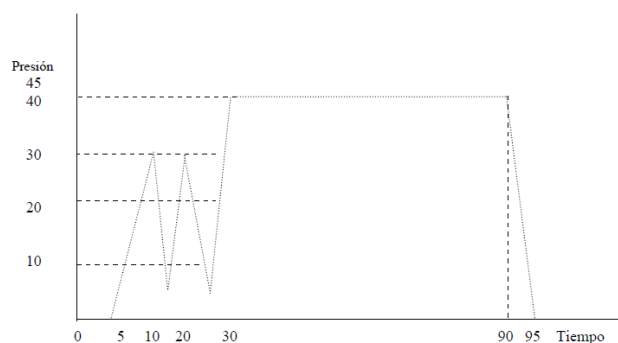


Figura 2. Ciclo de esterilización para la extracción de aceite de palma africana. Adaptado de (Delgado, 2018).

De acuerdo con el ciclo descrito anteriormente la esterilización tendría una duración de 78 a 95 minutos en total, incluyendo el tiempo para descargue y cargue de las vagonetas dentro del equipo. La variación del tiempo de sostenimiento entre 30 y 50 minutos depende del grado de madurez del fruto que se está procesando. Es importante anotar que para que la esterilización sea verdaderamente efectiva debe realizarse “en seco” o sea, cuidando de que haya un drenaje permanente de condensados durante todo el tiempo del proceso (Delgado, 2018).

4.3. Operación desfrutación

Luego del esterilizado, se procede a separar el fruto del racimo. Este proceso se realiza en el tambor desfrutador con un diámetro entre 1.8 y 2.1 m y una longitud entre 4.5 y 6.1 m para separar el fruto del raquis con una velocidad entre 19 y 23 Rpm. El fruto es enviado al digestor mediante transportadores sinfín y columna elevadora de cangilones. Los raquis son conducidos fuera de la planta por medio de bandas transportadoras y se carga en remolques para llevarlas al campo en donde se distribuyen en las plantaciones de palma e inicia su descomposición y la incorporación de sus elementos al suelo, para luego ser absorbidos como nutrientes por las palmas y como mejorador de suelo (Delgado, 2018).

4.3.1. Pérdidas de aceite en la desfrutación. Las pérdidas de aceite que se pueden presentar durante la etapa de desfrutación son:

- **Pérdidas de aceite impregnado en los racimos desfrutados o raquis.**

El nivel de pérdidas por aceite impregnado en los raquis puede variar entre 0.5% y 0.7% del peso de los racimos frescos. Estas pérdidas dependen no sólo del método de esterilización adoptado sino también del tipo de desfrutador y de su operación. La alimentación irregular del desfrutador puede causar un incremento en las pérdidas, debido a la sobrecarga temporal del equipo en ciertos momentos y a la operación en vacío o con poca carga, en otros momentos. El contacto prolongado entre racimos llenos de frutos y racimos vacíos o tusas permitirá que estos últimos absorban gran cantidad de aceite de los primeros. Otro factor que produce una fuerte absorción de aceite por parte de la tusa es el hecho de acumular más del contenido de una vagoneta en la tolva de alimentación del desfrutador: esto ocasiona el aplastamiento de los racimos esterilizados que quedan en la parte de abajo, los cuales sueltan aceite que también es en parte absorbido por las tusas.

- **Pérdidas debidas a los frutos no separados del racimo.**

Las pérdidas de aceite debidas a los frutos no desprendidos del racimo se deben básicamente a los siguientes factores:

- Comportamiento defectuoso del desfrutador.
- Racimos verdes o enfermos.
- Esterilización inadecuada

4.4. Operación digestión

El fruto es depositado en un cilindro llamado digestor el cual presenta unas paletas en las cuales va a macerar el fruto por medio de la agitación circular, además se le aplica vapor a 45 psi, esto ayuda a que las células de aceite se desprendan del fruto y la recuperación del aceite en el momento del prensado sea eficiente. La pulpa, también llamada mesocarpio, tiene un espesor que varía entre 4 y 8 mm de acuerdo con la variedad de fruto; posee una corteza externa que la cubre y está conformada por un gran número de celdas minúsculas. Estas celdas son de forma irregular, contienen aceite y están pegadas entre sí, por medio de un cemento intercelular (una especie de almidón) y a un esqueleto de fibras duras. Este cemento es soluble sólo en agua muy caliente (95 – 100°C) y, por lo tanto, el conjunto se puede desintegrar en grupos de celdas de aceite y material fibroso en la medida en que el cemento se disuelva.

Para reducir la cantidad residual de aceite en las fibras, se acostumbra a agregar agua a la masa de frutos digerida en la descarga del digestor. Esta actuará como un medio hidráulico para ayudar a empujar el aceite dentro de los espacios que quedan en el material que se está prensando. Dicha

agua no debe agregarse al digestor mismo por el riesgo que se corre de que ella se emulsifique con el aceite, aumentando las pérdidas en las aguas lodosas de desecho. Se agrega el bajante de la prensa después de la caja de separación de aceite “virgen” (aquel que se ha separado dentro del digestor antes de la presión). Por la acción agitadora y de maceración del digestor, las paredes de las celdas que contienen el aceite tienden a romperse, de tal manera que, el aceite se suelta espontáneamente y puede ser fácilmente expulsado fuera de las celdas rotas durante el proceso de extracción por presión (Delgado, 2018). El aceite liberado en el digestor desciende a la parte inferior del recipiente y se procura separarlo de la masa de frutos a través de una caja con láminas perforadas, ubicada en el conducto de descarga, por medio de una tubería (aceite virgen). Si el aceite crudo liberado de las celdas en el digestor no se removiera, éste actuaría como un lubricante, haciendo que los brazos maceradores perdieran su agarre y entonces, un gran número de celdas de aceite no serían rotas y luego, durante el prensado, algunas de ellas, probablemente no estallarían a pesar de la presión ejercida.

4.5. Operación prensado

El fruto ya digestado se procede a prensarlo. En esta etapa de prensado que busca separa de la masa de frutos dirigido la fracción líquida, aplicando agua a la salida del digestor y en la parte inferior de la prensa con el fin de lavar las fibras y lograr que la extracción del aceite sea lo más eficientemente posible y mantener las pérdidas de aceite dentro de los estándares, además de dar la dilución adecuada para realizar la separación en la sección de clarificación. La eficiencia del prensado depende de dos factores; la presión adecuada aplicada a los conos de los tornillos y el estado de por desgaste de canastas tornillos y conos, además de la buena digestión que se hizo (Delgado, 2018). Del prensado se producen dos efluentes uno sólido y otro líquido, el sólido está compuesto por la semilla del fruto y las fibras producidas en el proceso de prensado, el líquido va a ser una mezcla aceite – agua – lodos. Representa 60 % sobre fruta, además se produce 6 % de semilla (4% almendra y 2% de cáscara) el 9 % es fibra (Alfaro C. & Ortiz A., 2006).

4.5.1. Pérdidas de aceite en el prensado. Algunas de las relaciones entre estos factores y la pérdida de aceite se describen a continuación:

- A mayor ajuste de los conos se disminuye la pérdida de aceite en fibra, pero aumenta la cantidad de nueces rotas.

- En la medida en que la presión sobre la torta prensada aumenta, las nueces tienden a reunirse dentro de la torta y a transmitir a la fibra la fuerza ejercida por el sistema, pero dejando en la masa de fibras espacios libres entre las nueces que no son afectados suficientemente por la presión. Si el contenido de nueces en la torta aumenta a valores superiores, ocurre un aumento en las pérdidas de aceite y en la proporción de nueces rotas.
- Si el porcentaje de nueces en la torta es menor, las pérdidas de aceite también se ven incrementadas, debido a que hay una alta resistencia entre las fibras, lo cual dificulta la transmisión de la presión dentro de la torta. Este fenómeno se presenta generalmente cuando se procesan frutos de cultivos jóvenes, los cuales tienen nueces más pequeñas que los frutos de cultivos adultos. Algunas veces se practica la adición de nueces a la masa de frutos contenida en el digestor, para mejorar la transmisión de la presión dentro de la torta.
- La cantidad de nueces rotas aumenta cuando tienen un espesor de cuesco muy delgado (más frágil).
- Así mismo, con una alimentación inadecuada se obtiene una muy baja capacidad de prensado, en relación con la velocidad de los tornillos de la prensa, incrementando el rompimiento de las nueces.

4.6. Operación clarificación

El aceite crudo de Palma, proveniente del prensado del mesocarpio del fruto de la palma de aceite contiene cantidades variables de impurezas de tipo vegetal (solubles e insolubles), arena y agua, que deben ser removidos con el fin de dar al producto terminado claridad, estabilidad y buena apariencia, lo anterior se logra mediante el clarificado del licor por decantación y centrifugado. Debido a que el aceite crudo de Palma Africana es altamente viscoso, se hace necesario adicionar suficiente agua de dilución para lograr una buena separación del aceite y lodos. La adición de agua a 90 °C ayuda a obtener aceite en volumen del 35 a 40 % y lograr un rápido decantado.

Ya en la sección de clarificación, la mezcla aceite – agua – lodos es pasada por un proceso de desarenado con el fin de remover las arenas y tierras. Luego del desarenado, la mezcla aceite – agua– lodos pasa al tamizado cuya función es remover una alta cantidad de sólidos con un mínimo de arrastre de aceite y lograr la máxima reducción en la viscosidad con una mínima reducción en el tamaño de las gotas de aceite. Después de haber tamizado la mezcla se procede a elevar la temperatura de la mezcla llevándola a 95– 98 grados, por medio de un recalentador que se instala

a la entrada al clarificador, luego de calentado el aceite pasa al tanque clarificador donde se le aplica agitación constante con el fin de acelerar la separación de la mezcla, el clarificador cuenta además con serpentines de vapor que logran mantener las temperaturas y así lograr una separación eficiente, el aceite ya separado de las otras fases es decantado y enviado a un tanque de aceite el cual cuenta con serpentines para mantener la temperatura a 80 grados, este aceite decantado se le elimina la humedad en una unidad de vacío, para luego ser almacenado a una humedad no mayor al 0.20 % y una temperatura no mayor de 50 grados. Los lodos de la clarificación son depositados en un tanque para luego procesarlos en las centrífugas y así recuperar el aceite contenidos en ellos (aceite recuperado), este lodo centrifugado es mandado a los florentinos donde se trata de recuperar el aceite residual, y luego se manda a las lagunas de tratamiento (Delgado, 2018).

4.6.1. Fundamentos de la clarificación. La clarificación está dividida en dos partes según (Delgado, 2018):

Clarificación estática: Las gotas de aceite se encuentran dispersas en la mezcla que se va a clarificar (obedeciendo la ley de Arquímedes). Debido a que la densidad del aceite es menor que la del agua, la fuerza P es menor que la fuerza E , por lo tanto, las gotas siempre tienden a subir; pero existe una tercera fuerza llamada fricción, la cual se define como el esfuerzo de arrastre que hace el medio para evitar que la gota suba. A medida que la fricción aumenta, la fuerza con la que sube la gota disminuye, impidiendo la separación.

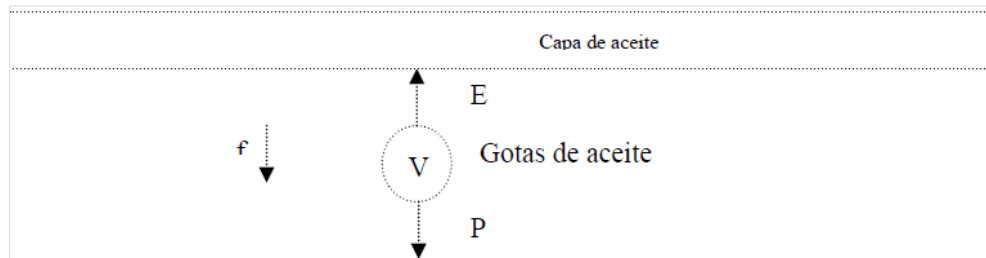


Figura 3. Ley de Arquímedes. Adaptado de (Delgado, 2018).

Donde,

E : Fuerza de empuje = $V \times \rho_{agua}$

P : Peso de la gota de aceite = $V \times \rho_{aceite}$

f : Fuerza de fricción

V: Volumen de la gota de aceite

ρ_{Agua} : Densidad del agua

ρ_{Aceite} : Densidad del aceite

La magnitud de la fricción depende principalmente de dos factores que deben tenerse en cuenta para controlar esa fuerza durante la clarificación y lograr una separación rápida y eficiente:

a) Temperatura: influye inversamente en la viscosidad (grado de fluidez), y esta a su vez influye directamente en la fricción así:

Temperatura alta	viscosidad baja	fricción baja	la gota SUBE
Temperatura baja	viscosidad alta	fricción alta	la gota NO SUBE

La temperatura sólo puede incrementarse hasta unos 95°C para evitar la ebullición del líquido, la cual ocasiona turbulencia dentro del clarificador, impidiendo la separación.

b) Dilución (cantidad de agua que contiene la mezcla): influye inversamente en la viscosidad, la cual, a su vez influye directamente en la fricción así:

Dilución alta	viscosidad baja	fricción baja	la gota SUBE
Dilución baja	viscosidad alta	fricción alta	la gota NO SUBE

Sin embargo, los lodos livianos tienen una densidad similar a la del aceite y por lo tanto cuando la cantidad de agua es muy alta, estos tienden a subir con el aceite. Para evitar este inconveniente se debe regular la dilución hasta llegar a una determinada concentración de lodos, de modo que no suban con las gotas de aceite. Los sólidos presentes en la mezcla deben estar en el orden de 5.5% en peso.

Clarificación dinámica: En la centrifugación se aprovechan los mismos principios de la clarificación estática, pero la separación ocurre con una velocidad mucho mayor, mediante fuerzas centrífugas. El agua y los lodos pesados salen por las boquillas o toberas y el aceite y los lodos livianos se concentran en el centro y son descargados por un tubo recolector llamado “recuperador”.

Dentro de la centrífuga hay una parte rotatoria o “bowl” que gira sobre dos ejes soportados por rodamientos: uno macizo y otro hueco. A través de este último pasa el tubo de alimentación de

lodos aceitosos. Debido a que el eje hueco gira alrededor del mencionado tubo de entrada los lodos del interior del “bowl” tienden a salirse por el espacio que hay entre el eje y el tubo. Para evitarlo se inyecta agua caliente que empuja los lodos hacia dentro y hace el sello. En la entrada del agua caliente hay un juego de empaques que a su vez evitan la pérdida del agua de sello.

4.7. Desfibración

La mezcla compuesta por fibra y nueces, que se seca a una humedad requerida, es conducida mediante sinfines para la separación. La separación es un proceso neumático, donde se utiliza una columna vertical a través de la cual pasa un flujo de aire ascendente a una velocidad determinada que toda la fibra sube y las nueces caen al fondo de la columna de separación. Las nueces pasan al tambor pulidor para el retiro de impurezas y de éste van al silo de almacenamiento, donde se secan para facilitar el rompimiento de la cáscara y poder recuperar la almendra contenida en ella. La fibra recogida sirve como combustible de las calderas y como abono en las plantaciones.

4.8. Generación de vapor

Proporciona vapor a las etapas del proceso productivo tales como esterilización, extracción y clarificación, con el propósito de realizar de una manera más efectiva los procesos para la extracción de aceite. La generación de vapor necesaria como fuente de calor para los equipos de la planta; la caldera utiliza como combustible la fibra y la cáscara generada en el proceso productivo. La calidad del vapor es del tipo saturado y para controlar la emisión de partículas por la chimenea se emplea un sistema de recolección de cenizas, compuesto por un ventilador, ciclón y esclusa.

4.9. Tratamiento de agua

Las aguas aceitosas se tamizan y pasan por centrífugas desludadoras para recuperar el aceite y separar las aguas efluentes. Estas aguas ya no tienen ningún contenido de aceite recuperable, por tanto, pasan a las piscinas de desaceitado para continuar con el sistema de tratamiento como aguas residuales (Vargas, 2000), lagunas de purificación, trampas, así como tanques de sedimentación de los desechos. El método de purificación del efluente por bacterias anaeróbicas es un proceso lento y complicado, en el que microorganismos descomponen el material orgánico de hidratos carbónicos, proteínas y grasas para convertirlo en sustancias más estables.

4.10. Almacenamiento

Una vez que el aceite alcanza los niveles de pureza realizados los controles de calidad, el aceite es llevado a los tanques de almacenamiento para su posterior despacho.

5. Marco de referencia

5.1. Marco de antecedentes

Para dar enfoque al proyecto dentro de lo que sería una estrategia de negocios guiada específicamente al mejoramiento del proceso de extracción de aceite crudo de palma, que adopte las bases de lo que es un proceso de calidad, esta como la percepción del cliente, el manejo de datos, metodologías y diseños robustos, que permitan la eliminación de variabilidad y alcanzar niveles de defectos mínimos, se estudian algunos proyectos de grado, artículos y libros, tanto UIS, como de universidades Mexicanas que dentro de su trayectoria educativa gracias a las plantas de autos actualmente constituidas allí, han tomado del seis sigma una herramienta de alto impacto en las organizaciones productoras de bienes y/o servicios que buscan principalmente crear valor desde la satisfacción a las necesidades del cliente. Se estudiaron alrededor de 23 libros, de los cuales aproximadamente 8 corresponden a proyectos de grado UIS con aplicación de la metodología que van desde el 2004, hasta su más actual publicado en 2011, destacamos el de Ángela Ramírez (2005) “Control estadístico del proceso bajo la metodología Seis Sigma aplicado en el proceso de extracción aceite de palma - Oleaginosas las brisas s.a.” hace una detallada referencia de la competencia del sector y exigencias del mercado desde entonces, deja clara la necesidad de tomar decisiones con información confiable y oportuna que permita el análisis y estimación de futuras tendencias dentro del proceso.

De los artículos con mayor trasfondo histórico se destaca el estudio de caso “Aplicación de la Metodología seis sigma, en la mejora del desempeño en el consumo de combustible de un vehículo en las condiciones de uso del mismo” presentado por Jorge Morales, (2007), donde se presenta la reseña histórica desde la segunda guerra mundial con Walter Shewhart y Dodge Romig en la Western Electric de la Bell Telephone quienes desarrollaron el control estadístico de Procesos por medio de métodos estadísticos para la reducción de variación, hasta la década de los noventa donde surge la administración estratégica por calidad total, y se reconoce el efecto estratégico de la calidad en el proceso de competitividad.

Como plan metodológico para el desarrollo del proyecto se toma referencia de las actividades que contempla Neil Decarlo, (2005) aprobada internacionalmente, que se encuentra en el libro “The Complete Idiot’s Guide to Lean Six Sigma”.

5.2. Marco Teórico.

En este capítulo se describe brevemente la metodología seis sigma, sus orígenes, métricas, autores, y herramientas fundamentales para el desarrollo de las distintas fases del proyecto, con el propósito de lograr mayor comprensión y entrar en contexto a los temas tratados.

Muchos de los conceptos expuestos son tomados del (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2006) e (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2012).

5.2.1. Seis Sigma

5.2.1.1. **Origen.** En 1988, la compañía Motorola ganó el premio Malcolm Baldrige (Premio Nacional de Calidad de Estados Unidos) durante la primera generación de dicho evento. El esfuerzo que realizó Motorola estuvo basado en el objetivo de lograr la “satisfacción del cliente” como estrategia de negocio desde 1987 (Smith, 1993), los elementos para lograrlo fueron la calidad Seis Sigma, reducción del tiempo de ciclo, y el proceso de administración participativa.

De 1987 a 1991 Motorola redujo su tasa promedio de defectos de 6000 ppm (partes por millón) a 40 ppm. En 1992 se redefinió el objetivo de calidad a “reducción del nivel de defectos por un factor de 10 cada dos años” (Smith, 1993).

A nivel de proceso, Seis Sigma es creada para reducir la variabilidad, encontrar y eliminar las causas de los errores, defectos y retrasos en los procesos de negocio, así como disminuir los costos directos; Por lo que se puede describir como una iniciativa estratégica y táctica para la gestión de negocio, que puede enfocar a la empresa hacia las necesidades del cliente (Gutiérrez & De la Vara, 2009, pág. 396). La meta 6σ , es lograr procesos con tal calidad sometiéndolos a un programa riguroso de mejora, diseñado e impulsado por la alta dirección de una organización, con el propósito de eliminar defectos y retrasos de productos, procesos y transacciones.

General Electric la implantó en 1996, donde propuso lograr un nivel de defectos no mayor a 3,4 ppm para el año 2000 de la mano con su presidente ejecutivo Jack Welch. Empezó con procesos de nivel 3 sigma y estimó que para el año 2000 sus beneficios serían del orden de 6.6 billones de dólares.

5.2.1.2. **Métrica Seis Sigma.** Seis Sigma representa una manera de medir el desempeño de un proceso en cuanto a su nivel de productos o servicios fuera de especificación, tal nivel de calidad representa estadísticamente tener un nivel de clase mundial al no producir servicios o productos defectuosos (0,00189 ppm, proceso centrado y hasta 3,4 ppm, proceso con un descentrado de $1,5\sigma$). (Escalante, 2007).

Uno de los elementos cruciales de los proyectos de Seis Sigma es la selección de los métricos del proyecto. Los métricos del proyecto deben reflejar la voz del cliente (necesidades del cliente), así como asegurar que los métricos internos seleccionados por la organización se logren. Se debe de tener un especial cuidado al determinar qué es lo que se está midiendo. Los métricos se deben basar en lo que se necesita medir para mejorar el proceso en lugar de medir lo que se adecue a los sistemas de medición actuales (Yañez, 2002).

La clave para un buen reconocimiento de proyectos es identificar y mejorar esos métricos de desempeño que ayudarán mejor al desempeño de la compañía e impactarán al cliente.

Los proyectos pueden ser utilizados para crear una línea base para determinar:

- Qué tan bien este trabajado el proceso actual.
- Teóricamente, que tan bien debe trabajar un proceso.
- Cuánto pueden mejorar el proceso.
- Cuánto va a afectar los resultados del cliente una mejora en el proceso.
- Cuánto impacto se verá reflejado en el costo.

Existen varios tipos de métricos:

- Métricos del Negocio: Lo que le interesa al Champion.
- Métricos del Proceso: Con lo que el Black Belt mide su avance.
- Métricos Críticos: Lo que se monitorea para prevenir una suboptimización.
- Métricos Financieros: Lo que se usa para evaluar los resultados

Métricos del Negocio:

- La perspectiva de la administración.
- De lo que se preocupan los Champions y los Process Owners.
- A menudo muy amplios para un Black Belt. No son la "Y" que representa la verdadera función del proceso.

Métricos del Proceso:

- Típicamente un métrico de un solo proceso.

- Debe de representar la "Y" del proceso.
- Se debe de buscar que sea una variable continua si es posible; con los procesos transaccionales esto a menudo no es tan fácil.
- Existen tres categorías:
 - Índice de defectos.
 - Tiempo de ciclo.
 - Índice de consume.

Dentro de los métricos del proceso se encuentran los primarios y los secundarios.

Primarios:

- El instrumento utilizado para medir el éxito.
- Debe ser consistente con el planteamiento del problema. Es utilizado para medir el progreso hacia las metas y los objetivos.
- Comúnmente se reporta como una gráfica de serie de tiempo de:
 - Datos de la línea base - promedio en el año.
 - Desempeño del objetivo - meta u objetivo.
 - Desempeño Actual

Secundarios:

- Mediciones de características claves de salida, tiempo de ciclo o utilización de los recursos del proceso que pueden mejorar como resultado de cumplir con los objetivos del métrico primario.
- Puede ser un métrico del negocio.

Métricos Críticos:

- Métricos para medir posibles consecuencias no intencionales por cambios en el proceso.
- Es la conciencia para mantener la honestidad; para evitar pasar el problema a otra área
- Puede ser que sea necesario más de un métrico crítico.
- Muchos de estos métricos críticos pueden ser obtenidos de las sesiones en equipo ya que siempre va a haber alguien que diga que algo no se puede porque se va a afectar otra cosa; debemos de aprovechar a este tipo de personas para identificar estos métricos.

Métricos Financieros:

- Mide el impacto del dinero cuando el métrico primario es mejorado.
- Son utilizados para evaluar el proyecto.

- Son utilizados para validar los resultados del proyecto.

Tabla 5.

Otros significados de Seis Sigma.

Sigma	PPM	Costo de Calidad	Rendimiento del proceso (Largo Plazo)	Clasificación
6	3,4	<10% ventas	99,9997%	Clase mundial
5	233	10-15% ventas	99,98%	
4	6.210	15-20% ventas	99,40%	
3	66.807	20-30% ventas	93,30%	Promedio
2	308.537	30-40% ventas	69,20%	No-competitivo
1	690.000		30,90%	

Nota: Adaptado y modificado de (McFadden, 1993).

La mejora de las métricas tiene un impacto muy significativo en los resultados de un proceso, al reducir la oportunidad de tener defectos. Es de gran importancia medir la capacidad del proceso en términos cuantificables y monitorear las mejoras a través del tiempo.

5.2.1.3. Actores y roles en Seis Sigma

Tabla 6.

Roles en Seis Sigma.

Nombre	Rol	Características	Capacitación para recibir	Acreditación
Líder de Implementación	Dirección del comité directivo para 6σ. Suele tener una jerarquía sólo por abajo del máximo líder ejecutivo de la organización.	Profesional con experiencia en la mejora empresarial en calidad, es muy respetado en la estructura directiva.	Liderazgo, calidad conocimiento estadístico básico (pensamiento estadístico); entendimiento del programa 6σ y de su metodología.	
Champions y/o Patrocinadores	Gerentes de planta y gerentes de área, son los dueños de los problemas; establecen problemas y prioridades.	Dedicación, entusiasmo, fe en sus proyectos, capacidad para administrar.	Liderazgo, calidad, conocimiento estadístico básico, y un buen entendimiento del programa Seis Sigma, así como de su metodología.	Aprobar examen teórico práctico acerca de las generalidades de 6σ y el proceso DMAIC

	Responsables de garantizar el éxito de la implementación de 6σ en sus áreas de influencia.			
Máster Black Belt (MBB)	Dedicados 100% a 6σ, brindan asesoría y tienen la responsabilidad de mantener una cultura de calidad dentro de la empresa. Dirigen o asesoran proyectos clave. Son mentores de los BB.	Habilidades y conocimientos técnicos, estadísticos y en liderazgo de proyectos.	Requieren amplia formación estadística y en los métodos de 6σ (de preferencia Maestría en estadística o calidad), y recibir el entrenamiento BB.	Haber dirigido cuando menos un proyecto exitoso y haber asesorado 20 proyectos exitosos. Aprobar examen teórico práctico acerca de currículo BB y aspectos críticos de 6σ.
Black Belt (BB)	Gente dedicada de tiempo completo a Seis Sigma, realizan y asesoran proyectos.	Capacidad de comunicación, reconocido por el personal por su experiencia y conocimientos. Gente con futuro en la empresa.	Recibir el entrenamiento BB con una base sólida.	Haber dirigido dos proyectos exitosos, y asesorado cuatro. Aprobar examen teórico práctico acerca del currículum BB y aspectos críticos de 6σ.
Green Belt		Trabajo en equipo, motivación, aplicación de métodos (DMAMC), capacidad para dar seguimiento.	Recibir el entrenamiento BB.	Haber sido el líder de dos proyectos exitosos. Aprobar examen teórico práctico acerca de currículum BB.
Yellow Belt		Conocimiento de los problemas, motivación y voluntad de cambio.	Cultura básica de calidad y entrenamiento en herramientas estadística básica, y solución de problemas.	Haber participado en un proyecto. Aprobar examen teórico práctico acerca del entrenamiento básico que recibe.

Nota: Adaptado de (Gutiérrez & De la Vara, 2009).

5.2.1.4. **Metodología DMAIC.** Para poder lograr y mejorar de manera consistente dentro de una organización, es importante tener un modelo estandarizado a seguir. DMAIC es el proceso de mejora que utiliza el Seis Sigma y es un modelo que sigue un formato estructurado y disciplinado (Garza , Gonzales , Rodríguez, & Caridad , 2016, pág. 22) . DMAIC consistente de 5 fases conectadas de manera lógica entre sí (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar). Cada una de estas fases utiliza diferentes herramientas que son usadas para dar respuesta a ciertas preguntas específicas que dirigen el proceso de mejora representada en la (tabla 7) donde explicar cada una de las fases con su respectiva tarea.

Tabla 7.

Etapas, objetivos y herramientas de la metodología Seis Sigma.

Etapas	Objetivos	Herramientas
Definir	Identificar aspectos claves de la organización, definir clientes, sus requisitos y los procesos claves que pueden afectar a los clientes, es decir, identificar posibles proyectos de mejora.	Diagrama de Pareto, diagrama de flujo de proceso, histograma, voz del cliente, lluvia de ideas, árbol crítico de la calidad, entre otras.
Medir	Identificando los requisitos clave de los clientes, las características clave del producto (o variables del resultado) y los parámetros (variables de entrada) que afectan al funcionamiento del proceso y a las características o variables clave. A partir de esta caracterización se define el sistema de medida y se mide la capacidad del proceso para la recogida de datos en el proceso objeto de estudio.	Diagrama entrada- proceso- salida, análisis de capacidad de proceso, gráfico de Pareto, gráficos de control.
Analizar	Analizar los datos de resultados actuales e históricos. Se desarrollan y comprueban hipótesis sobre posibles relaciones causa-efecto utilizando las herramientas estadísticas pertinentes. De esta forma el equipo confirma los determinantes del proceso, es decir las variables clave de entrada o “pocos vitales” que afectan a las variables de respuesta del proceso.	Diagrama de causa-efecto, matriz de relación, correlación y regresión, análisis de varianza, muestreo.
Mejorar	Determinar la relación causa-efecto (relación matemática entre las variables de entrada y la variable de respuesta que interese) para predecir, mejorar y optimizar el funcionamiento del proceso. Por último, se determina el rango operacional de los parámetros o variables de entrada del proceso. Se generan posibles soluciones al problema detectado e implementar las más convenientes.	Técnicas analíticas, pruebas piloto.

Controlar	Diseñar y documentar los controles necesarios para asegurar que lo conseguido mediante el proyecto Seis Sigma se mantenga una vez que se hayan implantado los cambios. Cuando se han logrado los objetivos y la misión se da por finalizada, el equipo informa a la dirección y se disuelve. Se establecer un plan de controles que garanticen que la mejora alcanzará el nivel deseado.	Planes de control, gráficos de control, capacidad de proceso.
-----------	--	---

Nota: Adaptado de (Garza , Gonzales , Rodríguez, & Caridad , 2016, pág. 22).

5.2.2. (AMEF) Análisis de modo y efecto de fallas. Metodología para identificar las fallas potenciales de un producto o proceso a partir del análisis de su probabilidad de ocurrencia, formas de detención y efectos provocados; estas fallas se jerarquizan, o dependiendo la vulnerabilidad causada en el producto o proceso se generan acciones para eliminarlas o reducir el riesgo asociado. Su propósito consiste en:

- Reconocer y evaluar las fallas potenciales de un producto o proceso, y los efectos de dichas fallas.
- Identificar acciones que podrían eliminar o reducir la posibilidad de que ocurran fallas potenciales.
- Documentar el proceso.

La aplicación estándar de esta metodología se basa en el manual desarrollado para la industria automotriz por Chrysler, Ford y GM (Análisis de Modos y Efectos de Fallas Potenciales (AMEFs), 2008). La metodología tiene dos enfoques, una hacia el diseño (AMEF- D) y otra hacia el proceso (AMEF-P).

- **(AMEF – D) AMEF de diseño**

Evalúa lo que podría resultar mal con el producto durante su uso y durante su manufactura como consecuencia de debilidades del diseño (Aldridge , Taylor, & Dale, 1991).

Sus elementos son:

- Número de AMEF: en este apartado se escribe el número de AMEF, el cual puede ser empleado para su rastreo.
- Sistema, Subsistema o Nombre y Número de Componente: en este apartado se indica el nivel apropiado de análisis, así como su número de identificación.

- Responsabilidad de Diseño: indique el departamento o grupo responsable, también incluya el nombre del proveedor si es posible.
- Preparado por: registre el nombre, número de teléfono y compañía del ingeniero responsable de elaborar el AMEF.
- Año del Modelo/Programa: escriba el año del modelo y programa que serán empleados o que serán afectados por el diseño que está siendo analizado.
- Fecha Clave: escriba la fecha inicial del AMEF, la cual no debe exceder la fecha de producción programada por el departamento de diseño.
- Fecha del AMEF: Escriba la fecha en la que la información del AMEF fue recopilada y la fecha de la última revisión.
- Equipo: enliste los nombres de los responsables y los departamentos que tienen la autoridad para identificar o realizar tareas.
- Artículo/Función: registre el nombre y otra información pertinente.
- Modo de la Falla Potencial: se define como la manera en que un componente, subsistema o sistema puede potencialmente fallar al realizar la función descrita en la columna previa.
- Efecto Potencial de la Falla: se definen como los efectos de la falla en su funcionamiento tal como los percibe el cliente.
- Severidad: es el rango asociado con el más serio de los efectos de una falla dada; es un ranking relativo.
- Clasificación: esta columna se emplea para clasificar cualquier característica especial del producto debida a sus componentes, subsistemas o sistemas que requieran de diseño adicional o controles de proceso.
- Causa Potencial/Mecanismos de Falla: Se define como una indicación de una debilidad de diseño, la consecuencia de la presencia de la falla.
- Ocurrencia (O): es la similitud de que una causa o mecanismo de falla ocurrirá durante el diseño. El valor de la ocurrencia tiene un significado relativo más que un valor absoluto. Previniendo o controlando las causas o mecanismos de falla a través de cambios en el diseño es la única manera de reducirla.
- Controles Actuales de Diseño: enliste las actividades de prevención, diseño, validación/verificación (DV) u otras que se han completado o desarrollado que aseguran la adecuación del diseño a la causa o mecanismo de la falla potencial en cuestión.

- Detección: es el rango asociado con el mejor control de detección. La detección es un rango relativo. Para lograr un bajo rango, el control de diseño debe ser mejorado.
 - Número Prioritario de Riesgo (RPN): es el producto de los rangos de severidad (S), ocurrencia (O) y la detección (D).
 - Acciones Recomendadas: los esfuerzos de ingeniería para prevenir/corregir acciones debe estar dirigidas a la severidad, ocurrencia y detección.
 - Responsabilidad para las Acciones Recomendadas: escriba el nombre del responsable para la acción recomendada y señale la fecha de cumplimiento de esta.
 - Acciones Tomadas: Después de que la acción ha sido implementada, escriba una breve descripción de la acción actual y su fecha de realización.
 - Resultados de las Acciones: Después de identificar la acción preventiva/correctiva estime y registre los valores de severidad, ocurrencia y detección resultantes. Calcule y registre el RPN.
- **(AMEF –P) AMEF de proceso**

Se enfoca en las razones de fallas potenciales durante la manufactura, como resultado del incumplimiento con el diseño original, o el incumplimiento de las especificaciones del diseño (Aldridge , Taylor, & Dale, 1991).

Con el paso de los años se ha ampliado el campo de aplicación del AMEF (Gutiérrez & De la Vara, 2009). A aspectos como:

- Las fallas y obstáculos impiden que la instalación de un equipo sea fácil y rápida.
- Los modos de falla potenciales que obstaculizan que el mantenimiento y/o servicio a un equipo sea fácil y rápido.
- La facilidad de utilización de un equipo.
- Seguridad y riesgos ambientales.

Iniciar con un diagrama de flujo del proceso general. Donde identifica las características del producto/proceso asociadas con cada operación y sus los efectos del producto del correspondiente AMEF de diseño incluidas. El detalle del flujo del proceso depende de la etapa de discusión de desarrollo del proceso. El diagrama de flujo inicial es generalmente considerado un mapa de procesos de alto nivel. Necesita un análisis con más detalles para identificar los modos de fallas potenciales. Y determinar los criterios de severidad, ocurrencia y detección.

5.2.2.1. Metodología del AMEF

Tabla 8.

Diseño y proceso del AMEF.

Pasos del AMEF
• Seleccionar al equipo y realizar lluvia de ideas (personal de diferentes áreas) • Obtener datos de fallas y llenado de la forma (modos de falla) • Análisis de la información, tantos como cuantitativos o cualitativos. Se puede usar lluvias de ideas, Ishikawa, SPC, DOE, simulación, para obtener información sobre los efectos de las fallas y estimar la severidad, ocurrencia y detención. • Recomendar acciones de mejoramiento. • Evaluar las acciones (confirmar efectividad de las acciones y recomendar mejoras) • Continuar con las mejoras (documento dinámico).

Nota: Adaptado y modificado de (Stamatis, 1995).

Para el inicio del AMEF de diseño es necesario:

Tabla 9.

AMEF de diseño.

• Desarrollar una lista de lo que se espera que sea el diseño y lo que no se espera que sea • Elaborar un diagrama de bloques del sistema subsistema y/o componente a ser analizado (estos diagramas deberían acompañar al AMEF)

Nota: Adaptado de (Stamatis, 1995).

Para el inicio del AMEF de diseño es necesario:

Tabla 10.

AMEF de proceso.

• Desarrollar una lista de lo que se espera que sea el diseño y lo que no se espera que sea. • Elaborar un diagrama de bloques del sistema subsistema y/o componente a ser analizado (estos diagramas deberían acompañar al AMEF).

Nota: Adaptado de (Stamatis, 1995).

5.2.3. Gráficas de control. Son herramientas estadísticas que muestran de manera continua la variabilidad de un proceso respecto al tiempo. Así, es posible distinguir entre variaciones por causas comunes o causas especiales, lo que ayudará a caracterizar el funcionamiento del proceso y decidir las mejores acciones de control y de mejora, distinguir estos dos tipos de causas indica cuando es necesario actuar en un proceso para mejorarlo y cuando no hacerlo, pues sobreactuar en un proceso estable provoca más variación.

A los gráficos lo conforman los límites de control superior e inferior, quienes definen el inicio y final del rango de variación de los datos, de forma que el proceso está en control estadístico cuando prácticamente todos los valores caigan dentro de los límites, por lo que, si algún punto se observa fuera, significa que ocurrió algo fuera de lo usual. Concretamente, las gráficas o cartas de control se utilizan (Escalante, 2007):

- Para Evaluar el desempeño de un proceso por medio de estudios de capacidad.
- Para mejorar el desempeño de un proceso al dar indicaciones sobre las posibles causas de variación y ayudan a la prevención de problemas.
- Para mantener el desempeño de un proceso al indicar el tiempo de ajustes de este.

En la figura 4 se observan los elementos que debe tener una gráfica de control.

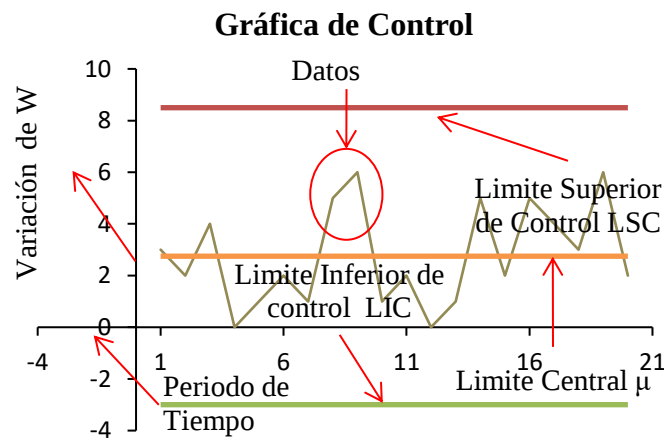


Figura 4. Idea y elementos de una carta de control (Bajo CEP).

La clave está en establecer los límites de control de acuerdo al porcentaje de variación natural del proceso que se desee cubrir, procurando que este no sea demasiado alto (99.999999%), dado que sus límites serán muy amplios y hará más difícil la detención de cambios en el proceso, en caso contrario los límites serán demasiado estrechos y con ello se incrementa el error tipo I, por lo tanto una forma aparente de proceder es encontrar la distribución de probabilidades de la variable, estimar sus parámetros y ubicar los límites de manera que un alto porcentaje (99,73%) de la distribución este dentro de ellos, esto se conoce como límites de probabilidad (Duncan,1989).

Otra forma más sencilla y usual se obtiene a partir de la relación entre la media (μ_w) y la desviación estándar (σ_w) de los valores (W), que para cada caso que su distribución sea normal y bajo condiciones de control estadístico se tiene que entre $\mu_w - 3\sigma_w$ y $\mu_w + 3\sigma_w$ se encuentra

99.73% de los posibles valores (W), en el caso de que (W) no presente una distribución normal, pero cuente con una distribución unimodal con forma muy cercana a la normal, se aplica la regla empírica o la extensión de teorema de Chebyshev, De acuerdo a lo mencionado, el modelo general para una carta o grafica de control es de la siguiente manera:

Sea W el estadístico que se va a graficar en la carta, con distribución normal, media μ_w y desviación estándar σ_w , sus límites de control inferior (LCI), central (LC) y superior (LSC) están dados por;

$$LCI = \mu_w - 3\sigma$$

$$\text{Línea central} = \mu_w$$

$$LSC = \mu_w + 3\sigma$$

Con tales límites y bajo condiciones de control estadístico se tiene una probabilidad de 0,9973 que los valores de W estén dentro, lo que se espera que de cada 10.000 procesos 27 están fuera de control estadístico (Gutiérrez, H. y De la Vara, R., 2013, p.176).

Para cada situación se presenta una gráfica de control diferente, la (Figura 5) presenta un resumen de las posibles según sus características;

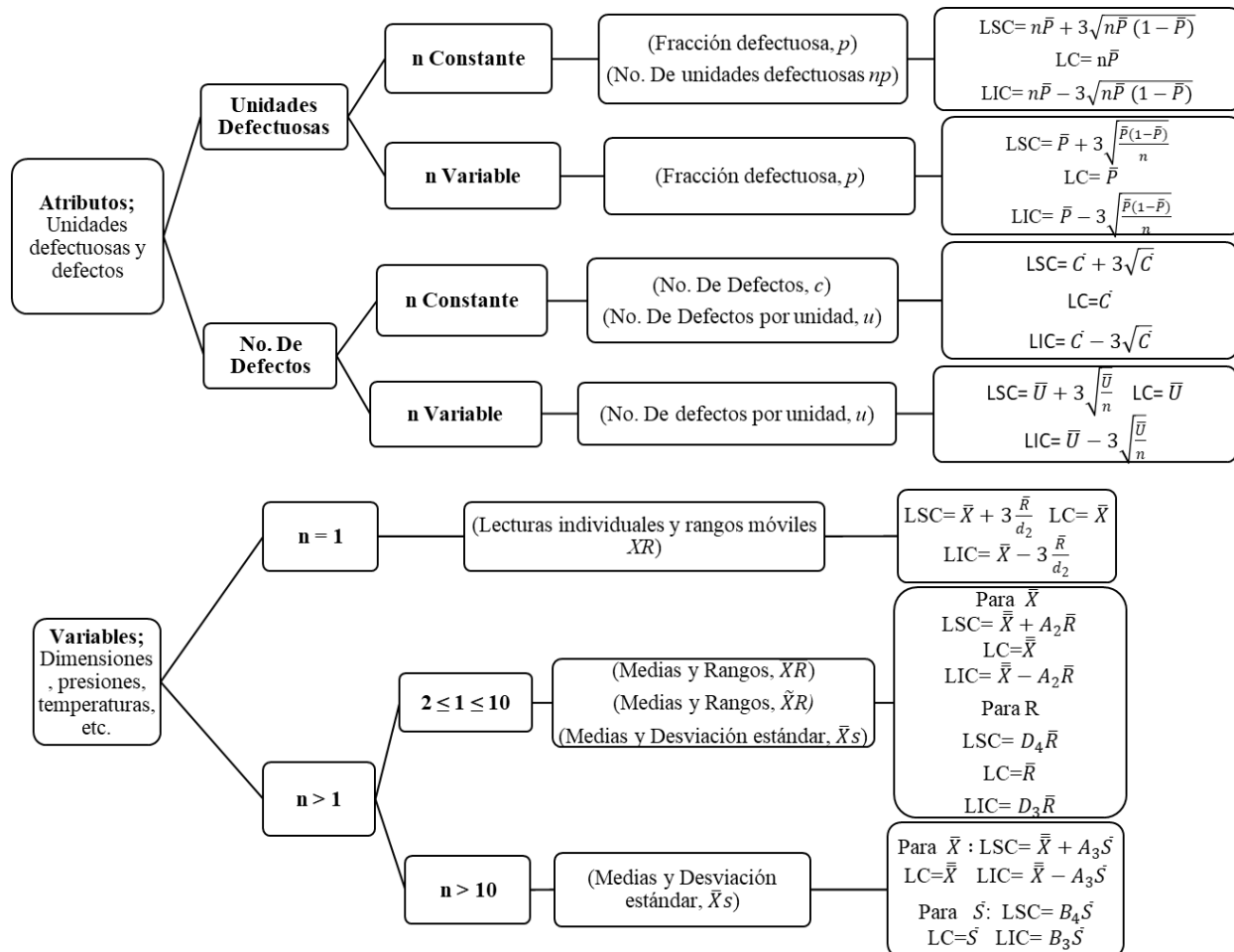


Figura 5. Guía para la selección de graficas de control. Adaptado y modificado de (Escalante, 2007, p.215).

Estas gráficas fueron propuestas por Walter A. Shewhart, por ello se les atribuye el nombre de Cartas de control tipo Shewhart, de las que en 1996 General Electric presento con el programa GE Quality 2000, la implantación de Seis-Sigma, con el que se asigna una serie de reglas para interpretar tales cartas de control y sus causas de inestabilidad.

5.2.3.1. LC Límites de control. No son las especificaciones, tolerancias o deseos para el proceso. Por el contrario, se calculan a partir de la variación del estadístico (datos) que se representa en el gráfico de control como Límite superior, inferior y central. Se utilizan para determinar si un proceso está fuera de control.

$$LCI = \mu_w - 3\sigma$$

$$LC = \mu_w$$

$$LSC = \mu_w + 3\sigma$$

Donde,

LCI: límites de control inferior.

LC: límites de control.

LCS: límites de control superior.

W: estadístico que se va a graficar en la carta, con distribución normal.

μ : media.

σ : desviación estándar.

5.2.3.2. **LE Límites de Especificación.** Son los valores entre los cuales deberían funcionar los productos o servicios. Estos límites por lo general se establecen de acuerdo con los requisitos del cliente.

5.2.3.3. **Reglas de Western Electric.** Conociendo del paradigma universal que toma multiplicar la desviación estándar por $k=3$, se grafica el estadístico W, calculando los límites para $k=1$, y $k=2$, los valores dentro de $k=2 < W < k=3$ están dentro de los límites de acción, para $k=1 < W < k=2$ están en los límites de advertencia y los valores de W dentro del LC y $k=1$ se consideran en la región ideal de trabajo, tal como se señala en la figura 6.

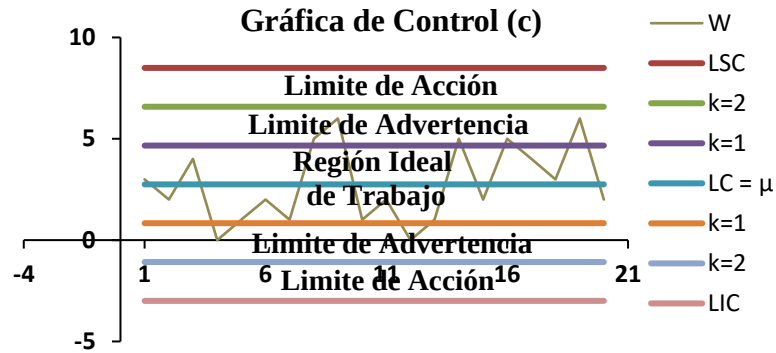


Figura 6. Zonas y límites probabilísticos de una carta de control.

De acuerdo con los límites, el proceso está fuera de control sí.

- Al menos un punto excede los límites naturales $k=3$, o límite de acción.

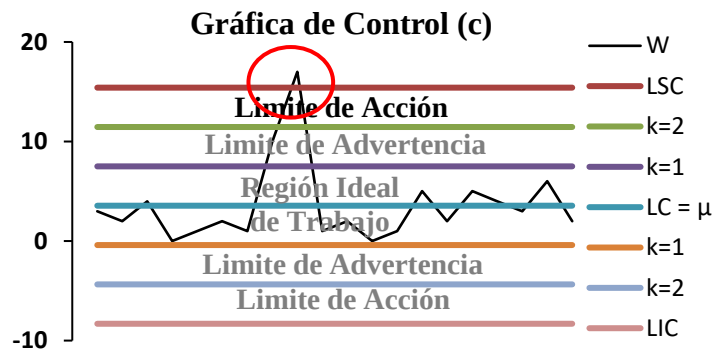


Figura 7. Gráfico fuera de control por sobrepasar los límites naturales.

- Dos de tres puntos consecutivos se encuentran fuera de los límites de advertencia $>k=2$.

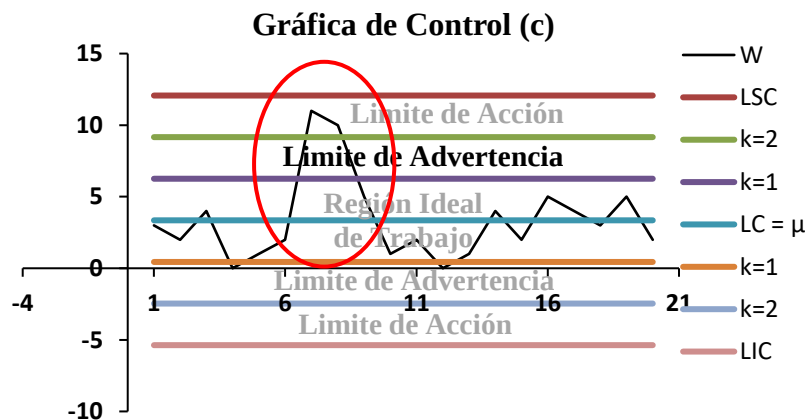


Figura 8. Gráfico fuera de control por exceder límites de advertencia.

- Cuatro de cinco puntos consecutivos se encuentran a una distancia de $k=1$.

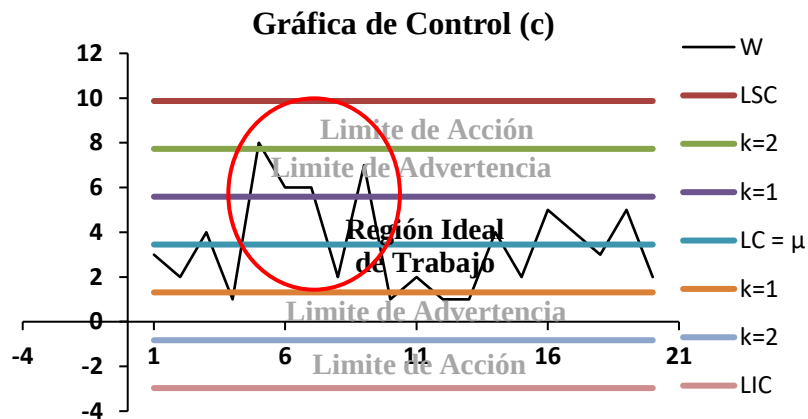


Figura 9.. Gráfico fuera de control por 4 puntos consecutivos por encima de la región ideal.

- Siete puntos consecutivos se encuentran por arriba, o por debajo de la línea central lo que indica un sesgo.

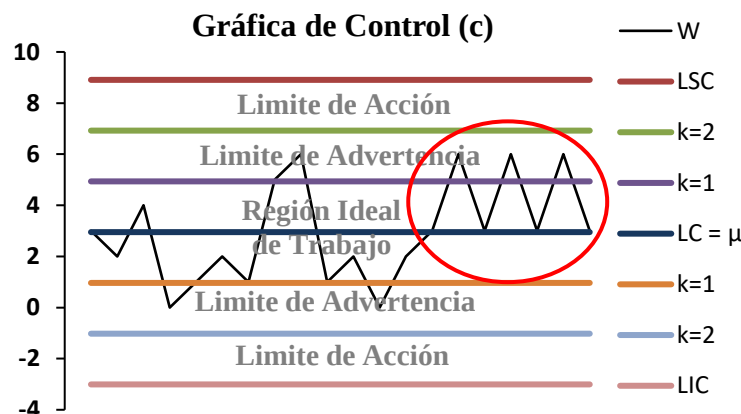


Figura 10. Gráfico fuera de control por sesgo a la derecha, Racha o tendencia

Se determina según esto si las gráficas están fuera de CEP, en lo que se deberá investigar y eliminar todas las causas especiales de variación (Western Electric, 1956).

5.2.3.4. **Error tipo I (α).** Probabilidad de rechazar algo que es cierto, el proceso está fuera del control estadístico (CEP) cuando en realidad lo está. Reaccionar ante un cambio o variación (efecto o problema) como si proviniera de una causa especial, cuando en realidad surge de algo más profundo en el proceso, como son las causas comunes de variación.

$$\alpha = P(\text{rechazar } H_0 \mid H_0 \text{ es verdadero})$$

Donde

- Los valores del Estadístico que son compatibles con H_0 se denominan región de aceptación.
- Los valores del Estadístico que no son compatibles en H_0 se denominan región crítica.

5.2.3.5. **Error tipo II (β)**. Probabilidad de aceptar algo que es falso, el proceso está bajo control estadístico de proceso (CEP) cuando en realidad no lo está. Tratar un efecto o cambio como si procediera de causas comunes de variación, cuando en realidad se debe a una causa especial.

$\beta = P(\text{aceptar } H_0 | H_0 \text{ es falsa})$

Donde

- Los valores del Estadístico que son compatibles con H_0 se denominan región de aceptación.
- Los valores del Estadístico que no son compatibles en H_0 se denominan región crítica.

5.2.4. Conceptos Estadísticos

5.2.4.1. **Media (μ)**. Es el valor numérico en torno al cual se sitúan los valores de una característica de los individuos, y en cuanto a su concepto matemático podría describirse como el resultado de sumar todos los datos de la muestra y dividirlo por el total de miembros de la muestra.

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^N X}{N}$$

Donde:

N : Número total de elementos de la población

Para lo que se debe tener en cuenta los tipos de muestreo realizados tanto para una media poblacional con N aleatorio, finito o incontable, como para una media muestral con n datos de un subconjunto de la población total.

5.2.4.2. **Desviación estándar (σ)**. Mide la cantidad de variación o dispersión respecto de la media. Es la raíz cuadrada de la varianza y está expresada en las mismas unidades de medida que los datos originales.

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad \text{Datos no agrupados de una muestra aleatoria.}$$

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_i (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \text{ Datos agrupados en frecuencias de una muestra aleatoria.}$$

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_i (M_i - \bar{X})^2}{n-1}} \text{ Datos agrupados en clases de una muestra aleatoria.}$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N f_i (M_i - \mu)^2}{N-1}} \text{ Datos agrupados en clases de una muestra poblacional.}$$

Donde:

S^2 : Varianza de una variable aleatoria

$\bar{X}$: Media muestral

μ : Media Poblacional

f_i : Frecuencias de una muestra

X_i : i-ésimo elemento de la muestra

M_i : Marca de clase del grupo

n : Número de observaciones de la muestra

N : Número de observaciones de la población

5.2.4.3. **Distribución Normal.** Es una distribución continua cuya densidad tiene forma campana, por lo tanto, si X es una variable aleatoria normal, la función de su densidad de probabilidades está dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \text{ Con } -\infty < x < \infty$$

El teorema central del límite es uno de los teoremas estadísticos más importantes que explica el uso generalizado de la distribución normal. En primer lugar, después de un análisis de 10 libros de estadística básica se identifican 4 propiedades básicas para lograr una comprensión sólida del teorema (Tauber, 2001).

- La media de la distribución muestral es igual a la media de la población, e igual a la media de una muestra cuando el tamaño de la muestra tiende al infinito.
- La varianza de la distribución muestral es menor que la de la población (Cuando $N > 1$).
- La forma de la distribución muestral tiende a ser acompañada a medida que se incrementa el tamaño muestral, y aproximadamente normal, independientemente de la forma de la distribución en la población.

- La forma de la distribución muestral crece en altura y decrece en dispersión a medida que el tamaño muestral crece.

5.2.4.4. **Capacidad o habilidad de un proceso.** Es el nivel de actuación de un proceso para cumplir especificaciones o requerimientos de un cliente. Consiste en conocer la amplitud de la variación natural del proceso para una característica de calidad dada; esto permitirá saber en qué medida tal característica de calidad es satisfactoria. Para calcular la habilidad o capacidad potencial, primero se determina la desviación estándar estimada de la población como sigue:

$$\sigma_{ST} = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

$$C_p = \frac{(LSE - LIE)}{6\sigma_{ST}}$$

Donde:

R: rango promedio

d_2 : toma de una tabla estadística.

C_p : capacidad potencial.

LSE: límite superior de especificaciones.

LIE: límite inferior de especificaciones.

σ_{ST} : desviación estándar a corto plazo.

El índice C_p debe ser para tener el potencial de cumplir con especificaciones (LIE, LSE). Los valores Z se determinan como sigue:

$$Z_I = \frac{LIE - \bar{X}}{\sigma_{ST}}$$

$$Z_S = \frac{LSE - \bar{X}}{\sigma_{ST}}$$

Para calcular la habilidad o capacidad real utilizamos la siguiente fórmula:

$$C_{pk} = \frac{\text{menor } |Z_I, Z_S|}{3}$$

Para que el proceso cumpla con las especificaciones el C_{pk} debe ser $\geq 1,33$

5.2.4.5. **Capacidad Inherente.** Consiste en conocer la amplitud de la variación natural del proceso para una característica de calidad dada; esto permitirá saber en qué medida tal característica de calidad es satisfactoria.

5.2.5. Causas y Variabilidad

5.2.5.1. **Proceso Estable.** Se da cuando un proceso está sujeto a causas comunes de variación (pueden existir también algunas causas especiales, pero en su efecto sería despreciable), por lo que se conoce como un sistema constante de causas, está en control estadístico y por tanto su variación es predecible dentro de los límites de control, lo que no significa que necesariamente el proceso tenga poca variación o se encuentre dentro de las especificaciones y su capacidad se puede predecir.

La capacidad de un proceso estable puede medirse y, mediante técnicas sofisticadas como el diseño de experimentos (DDE), puede mejorarse. Sin embargo, el CEP se conforma con detectar las inestabilidades del proceso, al que considera una caja negra. No pretende desentrañar las causas comunes que provocan su variabilidad regular ni tampoco actuar directamente sobre ellas, las asume multitudinarias e ininteligibles. Cuando el proceso anuncia una inestabilidad incipiente, las acciones se orientan a detectar la posible causa especial emergente y corregirla. Mientras el proceso se mantiene en estado de control, el mensaje del CEP es “la situación permanece estable”, y no hay que tomar acciones.

5.2.5.2. **Proceso Inestable.** Proceso el cual no necesariamente tiene gran variación, sin embargo, ésta no es predecible y el mejoramiento de este generalmente se logra a través del personal de área. Su índice de inestabilidad se calcula de la siguiente manera:

$$st: \frac{\text{numero de causas asignables}}{\text{numero totales de puntos graficados}} * 100$$

Por causas asignables entenderos los puntos fuera de los límites y cuando el índice es mayor al 10% son indicativos de alta inestabilidad.

5.2.5.3. **Variabilidad Natural o del proceso.** Son dentro del proceso estable más perfecto, natural o artificial, aquellas ciertas variaciones rutinarias de naturaleza aleatoria que debemos aceptar como parte inseparable del mismo. Un administrador exitoso es aquel que logra controlarla. La teoría de la variabilidad es una de las cuatro que el Dr. Deming propuso a los

japoneses dentro de su filosofía del Conocimiento Profundo, otra teoría que complementa la anterior es la "teoría de la causalidad", en donde plantea que todo efecto tiene una causa, todo defecto también. El control de la variación solo puede darse en sus causas, principalmente en el control de su causa raíz. La problemática encontrada es que se acepta que hay problemas con la variación, pero no hay interés en estudiar el por qué se produce y ni cómo medir esa variabilidad. La desviación estándar es muy importante pues es una de las formas más sencillas de controlar la variabilidad, llámese presupuestos, ventas, productos, tiempos de atención y para todo el nuevo conjunto de indicadores que están de moda. Por medio de la desviación estándar se pueden analizar encuestas a clientes y determinar qué tan concluyentes son las respuestas, se puede inferir la probabilidad de que se alcancen la meta.

5.2.5.4. **Causas Aleatorias, comunes o por azar de Variación.** Es aquella que permanece día a día, lote a lote; y es aportada de forma natural por las condiciones de las 6 M. Esta variación es inherente a las actuales características del proceso y es resultado de la acumulación y combinación de diferentes causas que son difíciles de identificar y eliminar, ya que son inherentes al sistema y la contribución individual de cada causa es pequeña.

Por lo tanto, son aquellas fuentes de variación en un proceso que están bajo control estadístico. Esto significa que todas las mediciones se encuentran dentro de los límites de variación normal, los cuales se determinan sumando y restando tres desviaciones estándar al promedio de esas mediciones. Las causas comunes de variación se comportan como un sistema constante de causas totalmente aleatorias. Aun cuando los valores individualmente medidos son todos diferentes, como grupo, ellos tienden a formar un patrón que puede describirse como una distribución por medio de técnicas estadísticas. Sin embargo, identificar esas causas requiere un análisis más detallado por parte de quienes operan el sistema. La solución o eliminación de estas causas comunes normalmente requiere la intervención de la gerencia para tomar acciones sobre el sistema o proceso como un todo, ya que las variaciones comunes son propias o inherentes a cada proceso.

5.2.5.5. **Causas Asignables, especiales o atribuibles de Variación.** Se debe a situaciones o circunstancias especiales que no están de manera permanente en el proceso. Por ejemplo, la falla ocasionada por el mal funcionamiento de una pieza de la máquina, el empleo de materiales no habituales o el descuido no frecuente de un operario en un momento particular en el tiempo.

Solo si todas las causas especiales de variación son identificadas y corregidas, ellas continuarán afectando la salida del proceso de una manera impredecible. Si hay causas especiales de variación, la salida del proceso no es estable a través del tiempo y por supuesto tampoco es predecible. Cuando en el proceso existen causas especiales de variación, la distribución del proceso toma cualquier forma y es por lo tanto impredecible.

5.3. Marco legal

La palmicultura está regida según la normativa de orden nacional vigente que regula y modifica las actividades en materia agropecuaria, muchos de los textos de ley, decretos, resolución o documentos CONPES, se señalan en la tabla 11.

Tabla 11.

Decretos, resolución y documentos.

Resolución No. 224 de 2012 MADR	Por la cual se fija el precio de referencia para el palmiste y el aceite crudo de palma, que sirven de base para la liquidación de la cuota de fomento de la agroindustria de la palma de aceite.
Resolución No. 398 de 2011, MADR	“Por el cual se deroga la Resolución No. 546 de 1.983, y se establece el procedimiento para el reconocimiento de empresas especializadas conforme a lo establecido en la Ley 9ª de 1983, modificada por la Ley 75 de 1986 y compiladas en el artículo 157 del Decreto 624 de 1.989” (Para efectos de la deducción tributaria)
Ley 939 de 2004, Congreso de la Republica	Por medio de la cual se subsanan los vicios de procedimiento en que incurrió en el trámite de la Ley 818 de 2003 y se estimula la producción y comercialización de biocombustibles de origen vegetal o animal para uso en Motores diésel y se dictan otras disposiciones.
Decreto 1970 de 2005, Ministerio de Agricultura	Por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 939 de 2004.
Decreto 76 de 2005, Ministerio de Agricultura	Por el cual se corrigen yerros de la Ley 939 de 2004, por medio del cual se subsanan los vicios de procedimiento en que incurrió en el trámite de la Ley 818 de 2003 y se estimula la producción y comercialización de biocombustibles de origen vegetal o animal para uso en motores diésel y se dictan otras disposiciones.
Resolución 351 de 2005, Ministerio de Agricultura	Por la cual se reglamenta el registro de nuevas plantaciones de tardío rendimiento y se dictan otras disposiciones.
Formulario de Solicitud	Formulario para solicitud de registro de plantaciones, Resolución 00351 del 10 de agosto de 2005.
Resolución ICA No. 2685 de 2010	Por medio de la cual se modifica la Resolución 3087 de 2009 Modifica el art. 1 de la Res. 3087 de 2009.

Resolución ICA No. 507 de 2009	Por la cual se establecen medidas cuarentenarias para controlar la diseminación de la enfermedad de la palma de aceite conocida como “Pudrición del Cogollo” en el Municipio de Puerto Wilches - Santander
Resolución ICA No. 395 de 2005	Por la cual se adoptan normas de carácter fitosanitario y de recursos biológicos para la producción, distribución y comercialización de plantas de palma de aceite en vivero.
Resolución ICA No.2 de 2006	Por la cual se adoptan medidas de carácter fitosanitario tendientes a implementar la campaña encaminada a llevar a niveles bajos la presencia de la enfermedad Anillo Rojo - Hoja Corta de la palma de aceite, en lo que compete a su control y manejo técnico económico para el territorio nacional.
Resolución ICA No. 3697 de 2007	Por la cual se adoptan medidas cuarentenarias para controlar la diseminación de enfermedades de la palma africana conocidas como Síndrome de la Pudrición de Cogollo (PC), Anillo Clorótico y Mancha Anular de la Palma de aceite.
Resolución ICA No. 3698 de 2007	Por la cual se adoptan medidas de control legal tendientes a controlar y disminuir el daño y el nivel poblacional de <i>Rhynchophorus palmarum</i> L. (Coleóptera: Curculionidae).
Resolución ICA No. 1720 de 2008	Por la cual se establecen las normas para el Registro y Seguimiento Agronómico de cultivares de Palma de aceite <i>Elaeis guineensis</i> (Ténera) e híbrido interespecífico (<i>Elaeis oleífera</i> x <i>Elaeis guineensis</i>), para la comercialización de semillas y clones en el territorio colombiano.

Nota: Adaptado de (MAVDT. NA. & Fedepalma, 2011).

6. Fase Definir

6.1. Definición y enfoque del problema

El sector palmicultor como muchos otros se ve afectado por la variabilidad natural o del proceso, resultado de múltiples causas comunes presentes en el conjunto de operaciones que integran el proceso, en este caso específico los controles son escasos, lo que lleva a la aparición de causas asignables que aumentan los costos operativos y reducen la rentabilidad de la empresa.

Problemas como el costo que generan demoras en la línea de producción, desencadenan reducción de la calidad, y frustración en los operarios, cuya atención, motivación y eficiencia se reduce en cuanto a manejo de maquinaria. Otro problema que podría derivarse del mal funcionamiento de la planta es el derrame de aceite en el recorrido de la línea de producción, estos derrames implican desperdicios que se pueden traducir en falta de eficiencia.

Es por ello que se considera como principal problema, la carencia de métodos idénticos y adecuados de muestreo, pruebas y vigilancia de pérdidas de aceite de palma, que resultan de la falta de reconocimiento a las variables especiales, por ello hoy, si se cosechan racimos de igual

madurez, tipo y calidad, se deberá obtener un 26% de contenido de aceite, a lo que se pierde alrededor de un 6% de los racimos y del 20% de la producción total de aceite (Velayuthan, 2012).

La implantación de un sistema de control de calidad, como del análisis de variables atribuibles a modos de falla, ayudará a evitar las situaciones desagradables que se presentan durante la producción y constituirá un elemento de apoyo para la administración.

6.1.1. Oportunidad de Mejora

6.1.1.1. **Variables y atributos del producto.** En el siguiente cuadro se presentan las variables y atributos del aceite de palma africana vistos desde cada operación del proceso de extracción, considerados como medibles y controlables.

Tabla 12.

Variables y atributos del producto en cada operación.

Variables del proceso de extracción de aceite	
Operación	Variables y Atributos
Esterilización	Presión, temperatura, tiempo de ciclo, T° condensados, % vapor.
Desfrutación	Alimentación continua, calidad esterilización, % racimos mal desfrutados.
Prensado	Amperaje, PSI, T° Agua, T° Digestores.
Clarificación	T° Tamiz de crudo, T° columna de calentamiento, Dilución, Agitación, RPM.
Almacenamiento	T°, Tiempo de residencia.

Nota: adaptado y modificado de (Ramírez , 2005) a características vistas en la visita técnica.

Según el producto terminado, sus atributos podrían darse desde la calidad percibida por los clientes, quienes, a parte de las cualidades intrínsecas del aceite de palma, como su alto contenido de antioxidantes naturales y oxidación mínima, las industrias de refinación de aceites y grasas buscan otras, como bajo contenido de ácidos grasos libres (AGL), humedad e impurezas, y a su vez según la valoración que se tenga de estas características, generan bonificaciones a las empresas extractoras (Ver apéndice L), desde este punto de vista para el comercio al nivel internacional, debe reunir las siguientes características:

Tabla 13.

Características específicas para el comercio internacional.

1. Acidez promedio	<3.0% (como ácido palmítico)
--------------------	------------------------------

2. Índice de peróxido	<3,0 meq/Litro
3. Humedad promedio	<0,1%
4. Impurezas promedio	< 0,005%
5. Slip point (Punto de deslizamiento)	30,8 – 37,6 °C
6. Índice de yodo	50,6 – 55,1

Nota: Adaptado de (Beltrán Roldán , 2012)

6.1.1.2. **Condiciones óptimas del proceso.** Normalmente hay condiciones propias del proceso que según estudios del Centro de Investigación (Cenipalma) permiten aumentar el rendimiento de la Planta Extractora y minimizar las pérdidas del proceso, desde el conocimiento de estas se diseña una lista de chequeo, evaluada el día (07/03/2019), dirigida conforme los requerimientos de temperatura, tiempo, presión, entre otras, debidos en el proceso, para valorar el comportamiento actual en la planta extractora según las observaciones realizadas. (Ver Apéndice H).

En esta se resaltan las faltas de control en la recepción, almacenamiento de producto, pérdidas de aceite durante el recorrido en planta, ausencia de limpieza en máquinas y mínimos controles de variables como temperatura y presión.

6.1.1.3. **Enfoque al cliente.** El enfoque al cliente corresponde al primer principio para la gestión de calidad según las normas internacionales, dado que al cumplimiento de las especificaciones se dirigen los esfuerzos organizacionales de una empresa.

De acuerdo con esto se presenta en la Tabla 14, la información suministrada por la empresa que indica las preocupaciones recurrentes desde las distintas partes interesadas, antes, durante y al finalizar el proceso de extracción.

Tabla 14.

Tabla de percepción del cliente.

Proceso	Clientes	Sus Preocupaciones
1. Recepción del fruto	Proveedor Equipo seis sigma Stakeholders Operarios	La madurez del fruto en su punto correcto, mínima recepción de impurezas y control del peso total calculado.
2. Esterilización	Equipo seis sigma Stakeholders Operarios	Cantidad de vapor producido, recorrido redler, control de temperatura, tiempo de calentamiento.

3. Desfrutación	Equipo seis sigma Stakeholders Operarios	Racimos mal desfrutados, alimentación continua al tambor desfrutador.
4. Digestión	Equipo seis sigma Stakeholders Operarios	Garantizar la correcta digestión del fruto desgranado verificando que el digestor se mantenga lleno y que la temperatura del fruto que entra a la prensa se mantenga entre 95° y 100°C.
5. Extracción/Prensado	Equipo seis sigma Stakeholders Operarios	Procesamiento de las prensas, cantidad de aceite extraído
6. Clarificación	Equipo seis sigma Stakeholders Operarios	Blanqueamiento del aceite, cantidad de impurezas, temperatura y tiempo de decantado.
7. Almacenamiento	Equipo seis sigma Stakeholders Operarios Cliente Externo	Reducir al máximo la humedad y evitar el aumento de la acidez que podría desencadenar penalidades monetarias.

Nota: Suministrado por (Extractora Vizcaya S.A.S., 2018)

6.1.1.4. **Análisis de la voz del cliente.** Siguiendo a lo anterior se procede con la ejecución de una encuesta a el director de planta y el Coordinador de calidad (Ver apéndice I y J) que enlazadas con entrevistas previas permiten establecer los puntos de vista y percepciones acerca del procesamiento regular en la planta. Esto a su vez se relaciona con las falencias vistas en la lista de chequeo con la que mediante una matriz de ponderación se cuantifica el sector de mayor trascendencia dentro del contexto real del proceso de producción.

La ponderación de la matriz, la pregunta problema, sus alternativas y criterios (Ver apéndice K).

Tabla 15.

Ponderación de consolidados.

ALTERNATIVAS	TOT.PTS 1	TOT.PTS 2	TOTAL	%
A	3	6	9	12.5
B	1	1	2	2.78
C	2	2	4	5.56
D	6	8	14	19.44
E	4	1	5	6.94
F	5	3	8	11.11

G	3	3	6	8.33
H	4	6	10	13.89
I	8	6	14	19.44
		TOTAL	72	100

De acuerdo con los resultados, la principal preocupación de las partes interesadas radica al cumplimiento de las especificaciones de los clientes, siendo estas acidez, humedad e impurezas en el producto entregado, quienes dependiendo el porcentaje de cumplimiento (Ver apéndice L) resultan en bonificación a la extractora de aceite.

Los sectores en los que se ven afectados en mayor proporción aquellos aspectos de calidad según la percepción consolidada de los expertos se muestran en la (tabla 15) como D, H e I, que corresponden a prensado (prensas), esterilización (calderas) y Aprovisionamiento de agua respectivamente.

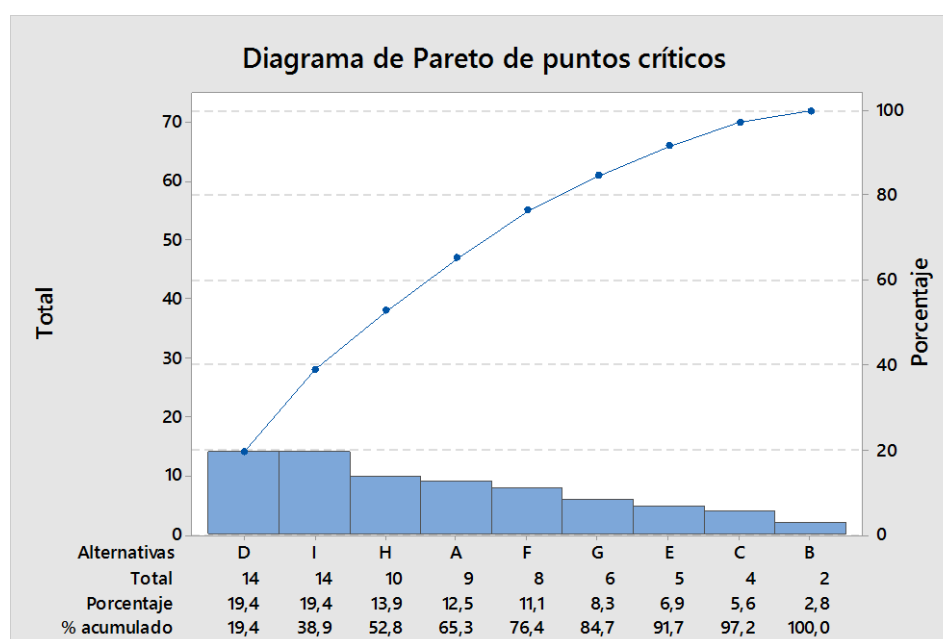


Figura 11. Diagrama de Pareto de puntos críticos.

De acuerdo con un análisis Pareto (figura 11) serían 5 áreas de trascendencia vitales dentro del proceso de extracción, D: prensas, I: aprovisionamiento de agua, H: Caldera, A: Generador de vapor, y F: columna de calentamiento.

En las que 3 corresponde a la etapa de esterilización (I, H, A), a prensado (D) y a Clarificado (F).



Figura 12. Diagrama de flujo de proceso suministrado por (Extractora Vizcaya S.A.S., 2018).

6.2. Objetivos del Proyecto

El objetivo, resume y cuantifica la meta del proyecto seis sigma, expresa como el equipo espera enfrentar el problema raíz, y de este modo, se encuentra unido con la descripción del problema y con las Y's, (Medible a mejorar) del proceso.

6.2.1. Definir los métricos y defectos. Para la definición de los métricos y su trascendencia en el proceso de extracción se realiza una Matriz de Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF), que evalúa la recurrencia de falla dentro de las etapas productivas en el proceso de esterilización y prensado del sistema.

6.2.1.1. AMEF. Criterios del AMEF: Conforme la metodología, existen tres criterios de evaluación, los cuales son según su severidad, ocurrencia y detención, estas se han adaptado al proceso visto en el proyecto desde las ya propuestas en el Curso de Entrenamiento Seis Sigma: Green Belt (UPAEP, 2012).

Tabla 16.

Criterios de Severidad.

Efecto	Rango	Efecto	Criterios: Severidad del efecto en el proceso (Efecto en la manufactura Ensamble)
Falla en el cumplimiento con requerimientos de seguridad y/o Regulatorios	10	Falla en el cumplimiento con requerimientos de seguridad y/o regulatorios	Puede poner en peligro al operador (Equipo a ensamble) sin advertencia
	9		Puede poner en peligro al operador (Equipo a ensamble) con advertencia
	8	Interrupción mayor	Puede ser que el 100% del producto se deseche. Paro de línea a paro de envíos
Pérdida o degradamiento de alguna función primaria	7	Interrupción significativa	Puede ser que una proporción de la corrida de producción se deseche. Desviación del proceso incluyendo un decremento en la velocidad de la línea a adición de mano de obra
	6		Puede ser que el 100% de la corrida de producción tenga que retrabajarse fuera de la línea y ser aceptada
Pérdida o degradamiento de alguna función secundaria	5	Interrupción moderada	Puede ser que una proporción de la corrida de producción tenga que retrabajarse fuera de línea y ser aceptada
	4		Puede ser que el 100% de la corrida de producción tenga que retrabajarse en la estación, antes de ser procesada.
Molestia o Incomodidad	3	Interrupción moderada	Puede ser que una proporción de la corrida de producción tenga que retrabajarse en la estación, antes de ser procesada.
	2	Interrupción menor	Leve o ligera inconveniencia al proceso, operación u operador.

Sin efecto	1	Sin efecto	Sin efecto discernible
------------	---	------------	------------------------

Nota: Adaptado de (UPAEP, 2012)

Tabla 17.

Criterios de Ocurrencia.

Probabilidad de Falla	Criterios: Ocurrencia de las Causas (Incidentes por ítems/Artículos)	Rango
Muy alta	≥ 100 por mil - ≥ 1 en 10	10
	50 por mil - 1 en 20	9
Alta	20 por mil - 1 en 50	8
	10 por mil - 1 en 100	7
	2 por mil - 1 en 500	6
Moderada	5 por mil - 1 en 2.000	5
	1 por mil - 1 en 10.000	4
	0.01 por mil - 1 en 100.000	3
Baja	≤ 0.001 por mil - 1 en 1'000.000	2
Muy Baja	La falla es eliminada a través de controles preventivos	1

Nota: Adaptado de (UPAEP, 2012)

Tabla 18.

Criterios de Detección.

Oportunidad para detección	Criterios: Probabilidad de Detección	Tipos de Inspección			Rangos de detección	Calif
		A	B	C		
Casi imposible	Certeza absoluta de no detección			X	No se puede detectar o no es verificada	10
Muy remota	Los controles probablemente no detectarán			X	El control es logrado solamente con verificaciones indirectas o al azar	9
Remota	Los controles tienen poca oportunidad de detección			X	El control es logrado solamente con inspección visual	8

Muy baja	Los controles tienen poca oportunidad de detección		X	El control es logrado solamente con doble inspección visual	7
Baja	Los controles pueden detectar	X	X	El control es logrado con métodos gráficos con el CEP	6
Moderada	Los controles pueden detectar	X		El control se basa en mediciones por variables después de que las partes dejan la estación, o en dispositivos pasa NO pasa realizado en el 100% de las partes después de que las partes han dejado la estación.	5
Moderadamente alta	Los controles tienen una buena oportunidad para detectar	X	X	Detección de error en operaciones subsiguientes, o medición realizada en el ajuste y verificación de primera pieza (solo para causas de ajuste)	4
Alta	Los controles tienen una buena oportunidad para detectar	X	X	Detección del error en la estación o detección del error en operaciones subsiguientes por filtros múltiples de aceptación: suministro, instalación, verificación. No puede aceptar parte discrepante.	3
Muy alta	Controles casi seguros para detectar	X	X	Detección del error en la estación (medición automática con dispositivo de paro automático). No puede pasar la parte discrepante.	2
Muy alta	Controles seguros para detectar	X		No se pueden hacer partes discrepantes porque el ítem ha pasado a prueba de errores dado el diseño del proceso/producto.	1

Nota: tipos de inspección A) A prueba de error B) Medición automática C) Inspección visual/Manual. Recuperado de (C.S. Summers , 2006).

- Resultados del AMEF

Tabla 19.

RPN consolidados.

Fase		RPN
Esterilización		
✓	Tiempo de acción enzima	315
✓	Presión de Caldera	350

✓ Madurez del fruto	448
✓ Tiempo de esterilización	300
✓ Ciclos de tres picos	189
✓ Temperatura de caldera >60°C	15
Prensado	
✓ La temperatura del digestor de 95°C.	315
✓ Verificación visual del digestor lleno durante todo el proceso.	224
✓ Presión de la prensa estable.	210
Clarificado	
✓ Temperatura del Clarificador	350
✓ Dilución de aceite	378

Nota: consolidados de procesos extracción y prensado (Ver Apéndice M) AMEF.

Con respecto al número prioritario de riesgo (RPN), los procedimientos importantes que inciden considerablemente en que existan perdidas de aceite e incumplimientos con las características de calidad respecto al cliente dentro de los procesos de esterilización, prensado y clarificado se ven consolidados en la *figura 13*.

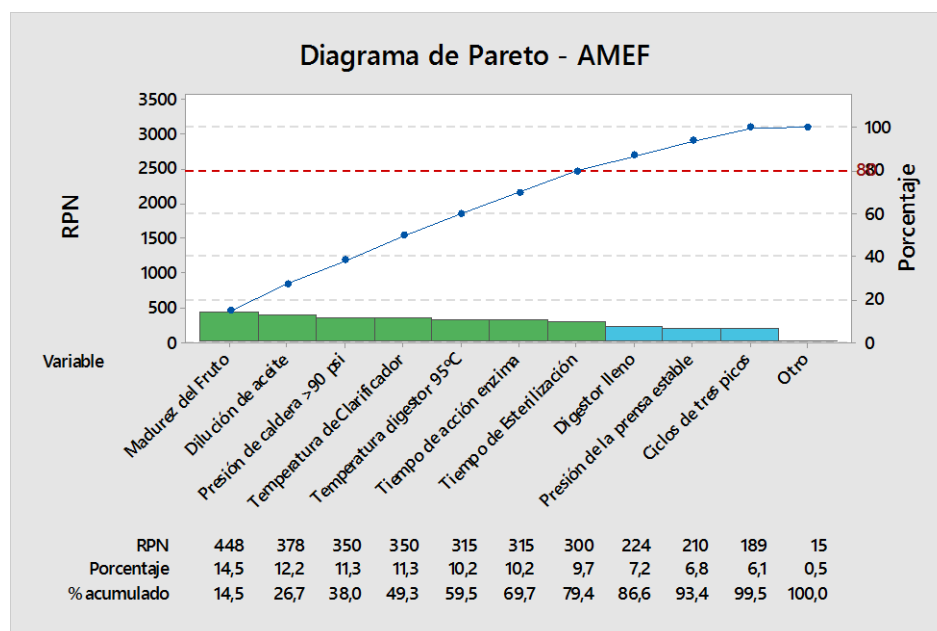


Figura 13. Diagrama de Pareto RPN consolidados.

En términos generales, sería, la madurez del fruto al ingresar, La dilución de aceite, la presión del distribuidor de caldera, la temperatura de clarificado, la temperatura del digestor, el tiempo de acción de la enzima lipasa o tiempos de esperas para procesar y el tiempo de esterilización.

Las variables de esterilización y prensado críticas según los resultados obtenidos se toman en cuenta para la etapa de medición, junto con variables como dilución de aceite y agua, pertenecientes a la etapa de clarificación, que se muestran trascendentes para la producción de aceite esperado, y las impurezas en el producto terminado.

6.2.2. Baseline y entitlement. Teniendo en cuenta los resultados del análisis de la voz del cliente, requisitos de calidad y la trascendencia en las fases importantes, se procede a cuantificar el nivel de imperfecto que se genera de los índices de calidad previamente mencionados y de los cuales se hará planeación de mejora, durante el proyecto, esto se hace conforme los datos de entrada de materia prima a la línea de producción, teniendo en cuenta el estado de la fruta aceptada durante de abril del 2019.

Para ello se establecen algunos parámetros visuales para la caracterización de la fruta, ya previamente definidos por la planta extractora como:

Tabla 20.

Definición operacional por atributos del estado del fruto.

Definición Operacional / Estado del fruto	
Verde: de 0% Alveolos Vacíos	
Maduro: Entre 1 a 50% de sus frutos sueltos o alveolos vacíos naturalmente	

Sobremaduro: Entre 51% a 89% de sus frutos sueltos o alveolos vacíos



Podrido: Más del 90% de sus frutos sueltos, pedúnculo blando, y olor fétido



Nota: Tomado de (Extractora Vizcaya S.A.S., 2018) y (Palmeras de Puerto Wilches S.A. , 2019).

De los datos tomados se arrojó que el 9% de la fruta calificada no se encuentra en condiciones óptimas para su procesamiento ver *figura 14*, que teniendo en cuenta que la fruta a medida que aumenta su maduración hasta su estado podrido crea un hongo del tipo Oospora, que es capaz de elevar el porcentaje de ácidos grasos libres en el aceite recuperado desde 0.1% a 6.4% en 60 horas (Beltrán Roldán , 2012). Contrario a frutos maduros y sanos los cuales conducirán a baja acidez.

El fruto maduro es muy fácil de desprender del racimo, y por lo tanto tiene menos resistencia al manipuleo que un fruto verde. Pero a su vez, este último contiene menos aceite, por cuanto la lipogénesis no ha sido completa.

Por lo tanto, acideces muy bajas y porcentajes de extracción anormalmente bajos, ponen de presente una posible alta proporción de racimos verdes (Beltrán Roldán , 2012).

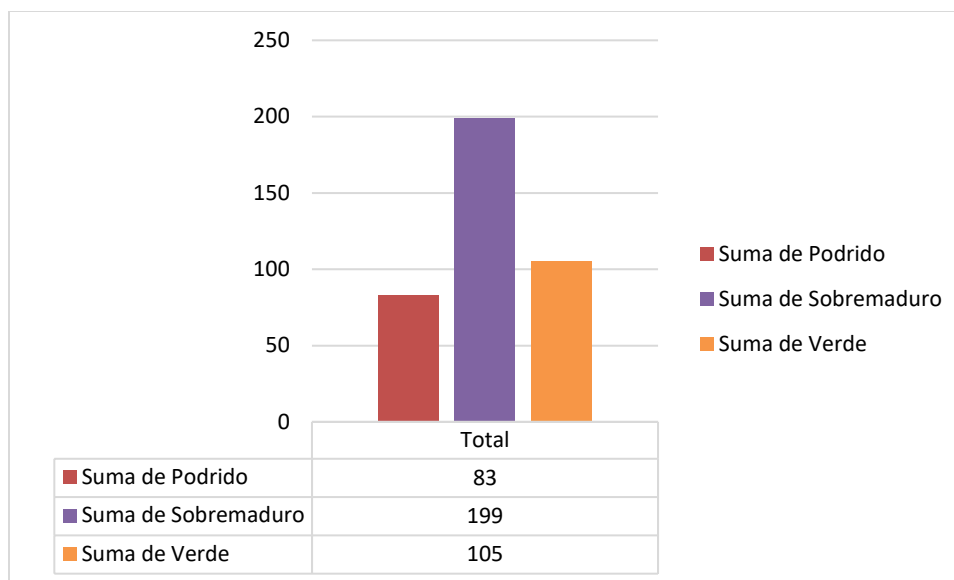


Figura 14. Histograma de fruta calificada, fuera de las condiciones de madurez normales (mes de abril).
Ver apéndice Y.

Con un total de 4387 racimos calificados durante el mes de abril, de los cuales se estima un peso promedio para cultivos adultos por racimo entre los 14 y 20 kg, y un índice de fruto sobre el racimo de 51 a 63% (Peso) que corresponde a un peso promedio de 5,8 y 9,7 gr (Corrado , 2012), que con una producción de aceite de 15 ton de fruta/hr concluye en los siguientes indicadores.

Tabla 21.

Indicadores del proceso (Ideal).

Toneladas de Fruto procesados	15 (Ton/hr)
Producción de aceite (20%)	3 (Ton/hr)
Peso promedio por Racimo	16 kg
Peso promedio por Fruto	6,8 gr
Total, racimos calificados (Mes)	4387 unds
Toneladas de racimos (Mes)	70,19 (Ton)
Toneladas de fruto (Mes)	29,83 (Ton)
Producción de aceite estimado (17 horas)	0,414 (Ton Aceite/17hr)
Producción de aceite estimado (Ideal/día)	0,585 (Ton Aceite/día)
Producción de aceite estimado (Ideal/Mes)	14,04 (Ton Aceite/mes)
Producción de aceite estimado (Fruta Apta)	12,80 (Ton Aceite/mes)

Nota: se toman los promedios ya definidos de peso del racimo y el fruto según (Corrado , 2012), y la producción ideal estimada por proveedores según (Extractora Vizcaya S.A.S., 2018).

Se contrasta con la producción esperada teniendo en cuenta que los racimos toman un ciclo PEPS para el ingreso a la planta, y que, al realizado el estudio de tiempos de espera por vehículo con carga de fruto de palma, se estima en promedio 17 horas por volqueta despachada, siendo esta la que supone menor tiempo de descarga por su configuración física.

Adicional a esto, el fruto descargado se da a granel y es probable que el que ingresa al redler no sea exactamente el primero en llegar, por esto se estima el estado del fruto resultante teniendo en cuenta el indicador de desprendimiento y peso en el tiempo, ya determinado dentro de los primeros 21 días de la postcosecha, tomado de (Montoya Pantoja, 2011).

Tabla 22.

Indicadores del proceso (Con pérdidas).

Total, racimos calificados Mes	4387 unds
Toneladas de racimos (Ton/Mes)	70,19 (Ton/Mes)
Porcentaje de peso promedio perdido día	1,63%
Porcentaje de desprendimiento día	2%
Peso promedio racimos procesados kg/día	2925 kg/día
Peso promedio racimos procesados Ton/día	2,925 ton/día
Total, de racimos procesados ton/día	2,877 ton/día
Total, de racimos procesados kg/día	2877 kg/día
Peso promedio perdido por racimos día	0,048 ton/día
Producción de aceite perdido (17 horas)	0,00675 (Ton Aceite/17h)
Producción de aceite perdido (17 horas)	6,754 (kg Aceite/17h)
Producción de aceite estimado día	0,575 (Ton Aceite/día)
Producción de aceite estimado mes	13,81 (Ton aceite/mes)
Producción de aceite estimado (Fruta apta)	12,59 (Ton Aceite/mes)

Nota: Se toman los datos promedio de pérdidas de peso por racimo, y el porcentaje de desprendimiento de la fruta al día según (Montoya Pantoja, 2011), y el porcentaje de producción estimado por proveedores según (Extractora Vizcaya S.A.S., 2018).

De acuerdo con los resultados obtenidos, se pierden en promedio al cabo de 17 horas de espera 6,754 Kg de aceite por causa del desprendimiento del fruto y pérdida de propiedades como absorción de agua, esto tomando como útil 9% de frutos inicialmente en estados anormales para procesos con calidad, que al tomarlo en cuenta reduce la producción de 13,81 toneladas de aceite al mes, a 12,59 toneladas de aceite, reduciendo la producción en 1,22 toneladas de aceite al mes,

a sabiendas de que este promete mayor bonificación de acuerdo a sus características de acidez, humedad e impurezas.

6.2.3. Beneficios y costos económicos. Se toman los ingresos y costos totales por venta de aceite de los estados financieros del año 2015, 2016 y 2017 (Extractora Vizcaya S.A.S.), con los que se determina el costo por kilogramo, teniendo en cuenta el precio de venta establecido según la resolución para el año en estudio como lo presenta el (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural), con el que se calcula los kilogramos totales vendidos para cada año y se determina por relación los costos unitarios, los cuales a través de un promedio indican \$1.804 por kilogramo de aceite, esto quiere decir que por cada 17 horas de espera, por desprendimiento de fruta, en producción de aceite se genera un costo de \$12.183.

Se estiman los ingresos de acuerdo con el estado de la fruta como lo muestra la tabla 23, tomando el precio de venta por kilogramo de \$1.755 de acuerdo con la resolución N°000504 del 2018, para la venta de aceite del primer semestre del año 2019 (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2018).

Tabla 23.

Ingresos por venta de aceite, según el estado de la fruta.

Ganancias de la producción aceite fruta ideal	\$	1.026.558	\$/día
Ganancias de la producción aceite fruta ideal	\$	24.637.392	\$/mes
Ganancias de la producción aceite fruta apta	\$	936.000	\$/día
Ganancias de la producción aceite fruta apta	\$	22.464.000	\$/mes
Ganancias de la producción aceite fruta perdida	\$	1.009.825	\$/día
Ganancias de la producción aceite fruta perdida	\$	24.235.803	\$/mes
Ganancias de la producción aceite fruta consolidado	\$	920.743	\$/día
Ganancias de la producción aceite fruta consolidado	\$	22.097.837	\$/mes

Nota: Se calcula para cada estado de la fruta, siendo este, como ideal si se procesa la fruta completa, apta, si se procesa la fruta excluyendo la verde, sobremadura y podrido, conservando los más altos criterios de calidad en cuanto a proporción de aceite extraído, %AGL, humedad e impurezas, perdida, si se excluye el porcentaje perdido por kg de aceite por hora de espera para ser procesada, y consolidado, si se procesa, solo la fruta apta excluyendo las pérdidas por esperas.



Figura 15. Ingresos por venta de aceite, según el estado de la fruta.

Las ganancias más altas se obtienen si la fruta procesada, es el total de fruta que ingresa a la planta, sin pérdidas por tiempos de espera, y con el total de su fruta en condiciones de calidad óptima, con ganancias diarias de \$1'026.558, pero se sabe que el 9% de la fruta no está en condiciones ideales, y que por tiempos de espera para la fruta ser procesada, se pierden 1,63% del peso del fruto diario, con un total 6,754 kg Aceite perdidos al cabo de 17 horas de espera.

6.2.4. Statement of work (SOW)

Tabla 24.

Declaración del trabajo.

SOW	
Título del proyecto	Plan de mejoramiento del proceso productivo de Extractora Vizcaya S.A.S aplicando la metodología de Seis Sigma. – Aumentar la producción de aceite y reducir %AGL, I, e incrementar el %H.
Y's	• Madurez del fruto • Tiempo de acción de la enzima (espera) • Presión de la caldera • Tiempo de esterilización • Temperatura del digestor • Dilución de aceite • Dilución de agua • Temperatura del clarificador
Declaración del problema	El proceso está funcionando con un nivel de perdida de aceite por esperas de aproximadamente 6,754 kg Aceite por cada 17 horas en promedio que le toma por vehículo, en desprendimiento de frutos, lo que origina un coste de \$12.183 al cabo de tal periodo de tiempo, e impide la obtención ideal del 20% que promete la fruta adquirida, y se

aceptan al mes 387 frutos inconformes en términos de acidez, humedad e impurezas.

Objetivo del proyecto seis sigma Aumentar la producción de aceite hasta lograr el 20% del aceite que promete el fruto y reducir los %AGL, I, e incrementar el %H.

Nota: los datos fueron anterior mente registrados y calculados.

Al consolidar las Y's del proceso encontradas dentro de las etapas críticas de la extracción de aceite, y relacionarlas con ciertos criterios de aceptación, se obtiene la tabla 25.

Tabla 25.

Y's del proceso críticos.

Y's del proceso	¿Es efectiva?	¿Fácil de medir?	¿Con que lo mido?	Escenarios atípicos
Madurez del fruto	Si	No	Control visual	La fruta sobremadura y podrida tendrá un índice de acidez alto, y la fruta verde impide la producción de aceite en su totalidad.
Tiempo de acción de la enzima (espera)	Si	Si	Reloj análogo o digital	Entre más tiempo en ser procesado aumenta la acidez, humedad e impurezas.
Presión de la caldera	No	Si	Manómetro	Que el esterilizador no tenga suficiente vapor a la presión óptima de 40psi durante todo el tiempo de permanencia en el ciclo.
Tiempo de esterilizado	Si	Si	Reloj análogo o digital	No examinar la calidad del fruto podría extender los tiempos de esterilizado
Temperatura del digestor	Si	Si	Termómetro	Que no se dé una correcta digestión del fruto desgranado
Dilución de aceite	Si	Si	Tubo de muestras para centrifugas.	Impedir una correcta separación del aceite respecto a los lodos livianos.
Dilución de agua	Si	Si	Tubo de muestras para centrifugas.	Impedir una correcta separación del aceite respecto a los lodos livianos.
Temperatura del clarificado	Si	Si	Termómetro	Impedir la mayor velocidad de ascenso de la gota de aceite y no dar optimo clarificado.

Nota: algunas aclaraciones son tomadas de (Hamblin, 2012)

Se descarta la madurez del fruto ya que no es fácil de medir, debido la heurística utilizada actualmente en la extractora cuando se hace el descargue del fruto, en el que se toma un lazo con 15 nudos, que se extiende 3 veces sobre el lote, y se toma como una muestra con 3 repeticiones donde se verifica visualmente la calidad del fruto por racimos, lo que implica una mayor certidumbre, que si se hiciera por conteo manual racimo por racimo en épocas del año con altas demandas pueden llegar a evaluarse más de 4387 racimos (Calificados en Abril), y seria de extenso trabajo.

De la misma forma se descarta la presión de la caldera ya que no es efectiva en el proceso de extracción de aceite, debido que la operación de esterilizado no se ve afectada con el comportamiento habitual de la caldera y por tal motivo no afecta nuestro métrico primario principal.

6.3. Project Charter

En este documento se detallan cada uno de los aspectos fundamentales del proyecto y es aquí donde se definen los objetivos y entregables, se delimita el alcance, se define las posiciones (stakeholders), se asigna responsabilidades, se definen los planes de recursos y de calidad, se declara el equipo de trabajo, la meta y las fechas importantes en la ejecución del proyecto y se tienen en cuenta consideraciones del cliente interno como externo. (Ver apéndice N).

7. Fase Medir

7.1. Validación del sistema de Medición

Un sistema de medición es la colección de dispositivos, estándares, métodos, herramientas, softwares, personas, y supuestos utilizados para cuantificar una unidad de medición. La meta de cualquier proceso medible es obtener una medición que represente la realidad, sin embargo, existen oportunidades para que exista variación.

Por ello se debe considerar todas las fuentes potenciales de variación e implementar controles que minimicen su impacto, la variación total en el proceso se debe a un error del sistema de medición, siendo este la suma de:

- Exactitud (Sesgo)
- Repetibilidad (dispositivo) y Reproducibilidad (operarios) (Gage R&R)

- Estabilidad

La exactitud y la estabilidad se tratan mediante la calibración del dispositivo. En las etapas de esterilización y prensado los instrumentos de medición se dan de acuerdo con las maquinas utilizadas, siendo las siguientes:

Tabla 26.

Lista de las máquinas y equipos de procesamiento con su respectivo instrumento de medición.

Lista de maquinarias y equipos de procesamiento	Instrumento de medición
Área de Esterilización	
2 esterilizadores Oblicuos 12 ton	X
1 Caldera y distribuidor	X
Área de prensado	
1 digestor P-15	X
2 digestores P-5	X
3 prensas	-
Área de clarificado	
1 tanque pre clarificador	X
1 tanque clarificador	X
1 tanque sedimentado de aceite	X
1 tanque de lodos centrifuga	X

7.1.1. Análisis del sistema de Medición (MSA). La exactitud y la precisión son dos características de un sistema de medición aceptable. La exactitud se refiere a qué tan cerca están del valor real las mediciones de un sistema de medición, y La precisión se refiere a qué tan cerca están las mediciones entre ellas (Minitab 18, 2019).

Tabla 27.

Análisis del sistema de medición por variables.

Variables	Instrumento	Sesgo			Gage R&R		
		Asimetría	Curtosis	%Contribución (de CompVar)	El valor P	%Var. estudio (%VE)	N° de categorías distintas

Tiempo de acción de la enzima (espera)	Reloj Res. Segundos	Se estudia la variación del sistema de medición desde el estudio de Repetibilidad y reproducibilidad		Operario:	Operario:	Operario:	31
				0,00	0,843	0,00	
				Oper*Parte:	Parte*Oper:	Oper*Parte:	
				0,18	0,000	4,22	
				Parte a parte: 99,80	Parte a parte: 0,000	Parte a parte: 99,90	

El %Contribución de la variación entre las partes es alto, lo que significa que el sistema de medición puede distinguir entre las partes de manera fiable, El valor P de la interacción y la parte es $<0,05$, lo que indica que este es significativo para el estudio, contrario a el valor P por operario y El porcentaje de variación del estudio total debido al Gage R&R es del 4,51%, inferior al 10% de la variación del proceso, entonces el sistema de medición es aceptable con número de categorías distintas >5 permitiendo una adecuada discriminación.

Tiempo de estilización	Reloj Res. Segundos	Se estudia la variación del sistema de medición desde el estudio de Repetibilidad y reproducibilidad		Operario:	Operario:	Operario:	18
				0,00	0,831	0,00	
				Oper*Parte:	Oper*Parte:	Oper*Parte:	
				0,00	0,395	0,00	
				Parte a parte: 99,41	Parte a parte: 0,000	Parte a parte: 99,71	

El %Contribución de la variación entre las partes es alto, lo que significa que el sistema de medición puede distinguir entre las partes de manera fiable, el valor P de la interacción y el operario son $>0,05$ lo que indica que no son significativo para el estudio y El porcentaje de variación del estudio total debido al Gage R&R es del 7,67% inferior al 10% de la variación del proceso, entonces el sistema de medición es aceptable con número de categorías distintas >5 permitiendo una adecuada discriminación.

Temperatura del digestor	Termómetro Res. 2 °C	-0,04	-0,59	Operario:	Operario:	Operario:	19
				0,00	0,831	0,00	
				Oper*Parte:	Oper*Parte:	Oper*Parte:	
				0,00	0,395	0,00	
				Parte a parte: 99,50	Parte a parte: 0,000	Parte a parte: 99,75	

Asimetría negativa centrada a la izquierda, con una Curtosis que indica una distribución platocúrtica. Gran parte de la variación se debe a las diferencias entre las partes, el valor P de la interacción y el operario son $>0,05$ lo que indica que no son significativo para el estudio, el porcentaje de variación del estudio total debido al Gage R&R es de 7,06 % (inferior al 10%) por lo tanto es aceptable con número de categorías distintas >5 permitiendo una adecuada discriminación.

Temperatura del clarificador	Termómetro Res. 2 °C	-1,62	5,14	Operario:	Operario:	Operario:	20
				0,00	0,595	0,00	
				Oper*Parte:	Oper*Parte:	Oper*Parte:	
				0,00	0,489	0,00	
				Parte a parte: 99,52	Parte a parte: 0,000	Parte a parte: 99,76	

Lo que indica una asimetría negativa centrada a la izquierda, una Curtosis que indica una distribución Leptocúrtica, el %Contribución gran parte de la variación se debe a las diferencias entre las partes, el

valor P de la interacción y el operario es $>0,05$, lo que indica que este no es significativo para el estudio, contrario a el valor P de la parte, el porcentaje de variación del estudio total debido al Gage R&R es de 6,92% (inferior al 10%) por lo tanto es aceptable con número de categorías distintas a 20 permitiendo una adecuada discriminación.

Dilución de aceite	Tubo de muestras (centrifugas) Res.0,1 ml	Se estudia la variación del sistema de medición desde el estudio de Repetibilidad y reproducibilidad	Operario:	Operario:	Operario:	5
			0,00	0,905	0,00	
			Oper*Parte:	Oper*Parte:	Oper*Parte:	
			2,55	0,001	15,96	
			Parte a parte: 93,44	Parte a parte: 0,00	Parte a parte: 96,67	

El %Contribución gran parte de la variación se debe a las diferencias entre las partes, el valor P de la interacción y la parte es $<0,05$, lo que indica que este es significativo para el estudio, contrario a el valor P por operario, el porcentaje de variación del estudio total debido al Gage R&R es del 25,61%, inferior al 30% de la variación del proceso, entonces el sistema de medición es aceptable con algunos ajustes con numero de categorías distintas >5 permitiendo una adecuada discriminación.

Dilución de agua	Tubo de muestras (centrifugas) Res.0,1 ml	Se estudia la variación del sistema de medición desde el estudio de Repetibilidad y reproducibilidad	Operario:	Operario:	Operario:	8
			0,07	0,665	2,59	
			Oper*Parte:	Oper*Parte:	Oper*Parte:	
			0,00	0,418	0,00	
			Parte a parte: 97,26	Parte a parte: 0,00	Parte a parte: 98,62	

El %Contribución gran parte de la variación se debe a las diferencias entre las partes, el valor P de la parte es $<0,05$, lo que indica que este es significativo para el estudio, contrario a el valor P por operario e interacción, el porcentaje de variación del estudio total debido al Gage R&R es del 16,55%, menor del 30% de la variación total del proceso, lo que significa que el sistema de medición es aceptable con algunos ajustes con numero de categorías distintas >5 lo que quiere decir que el sistema debe mejorado.

Nota: Los datos y los MSA se encuentran en el Apéndice O, P respectivamente y las cifras corresponden a mediciones realizadas desde Minitab.

7.1.2. Plan de mejoramiento del sistema. Seguido lo anterior, el sistema de medición de dilución de aceite y agua, en su porcentaje de variación del estudio total debido al Gage R&R arrojó entre el 10% y el 30%, que dadas las recomendaciones del manual (AIAG) el sistema de medición es aceptable con algunos ajustes, por tal razón se hacen las siguientes recomendaciones:

- Definir un poka-yoke con una cinta de color amarillo en los tubos de centrifuga que defina claramente donde debe ir los 10 mililitros de fluido para mejorar el control visual en sus muestras.

- Para verificar el porcentaje de aceite separado en la prueba se debe contar con 3500 rpm en la centrifuga y 10 minutos de centrifugado, para garantizar una correcta separación de las fases (Guayazan).
- Los lodos livianos tienen una densidad similar a la del aceite y por lo tanto cuando la cantidad de agua es muy alta, estos tienden a subir con el aceite, para que se dé una correcta separación de aceite en lodos livianos, la relación de agua debe ser de 1% en 1.4% de aceite (Alvarado T.).

7.2. Cuantificar el desempeño del proceso

7.2.1. Pruebas de normalidad. Es indispensable conocer, que cuando se aplica una herramienta estadística en donde se involucran variables continuas o cuantitativas es necesario determinar si la información obtenida en el proceso tiene un comportamiento mediante una distribución normal (Herrera A. & Fontalvo H., 2011), para acercarse a diversas distribuciones de probabilidad discreta, como la distribución binomial y la distribución de Poisson.

Para el análisis a continuación se evalúan las variables a partir de las distintas pruebas de normalidad, como Kolmogorov Smirnov, Anderson Darling y Ryan Joiner, pruebas no paramétricas que determinan la bondad de ajuste de dos distribuciones entre sí (Minitab 18, 2019).

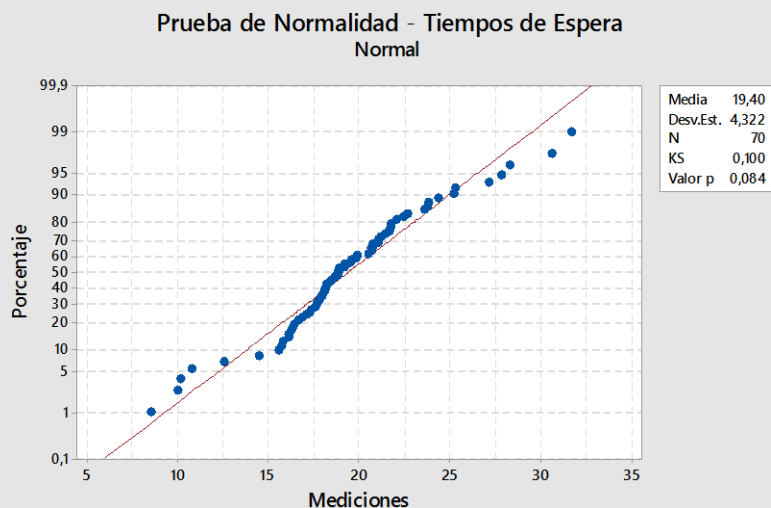
Estas mediciones se realizan para su mejor interpretación con $n \geq 70$, y en caso de no ser normales, se hace una transformación de tipo Box Cox, o Johnson, que, al no demostrarse, serán transformaciones empíricas.

Tabla 28.

Pruebas de normalidad por variables.

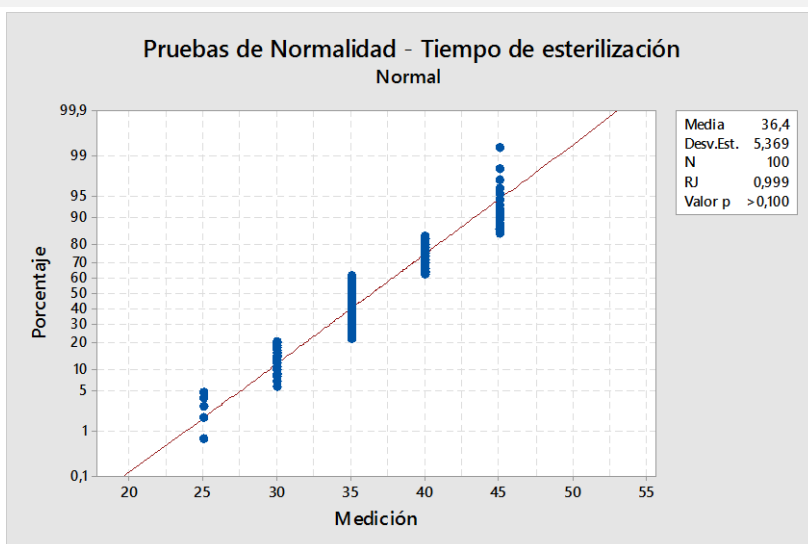
Variables	Pruebas de normalidad	Conclusión
-----------	-----------------------	------------

**Tiempo de
acción de la
enzima
(espera)**



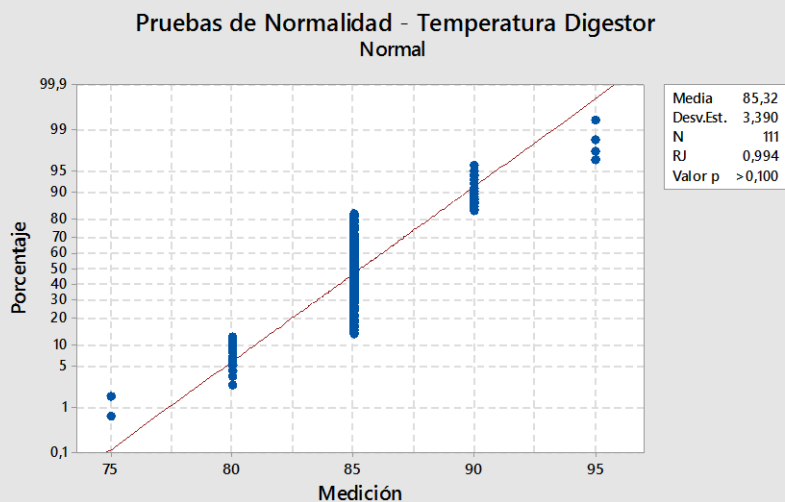
Valor P
 $>0,05$, los
datos
toman una
distribución
normal

**Tiempo de
esterilización**



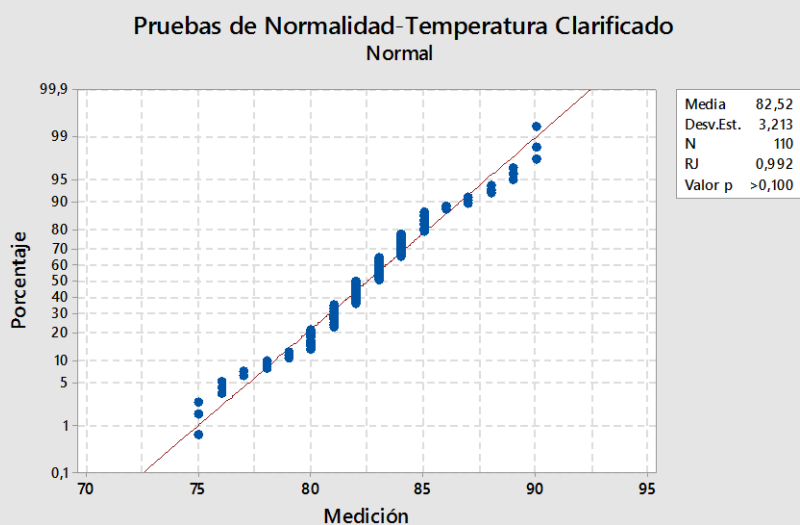
Valor
 $P>0,05$ los
datos se
comportan
de manera
normal.

**Temperatura
del digestor**



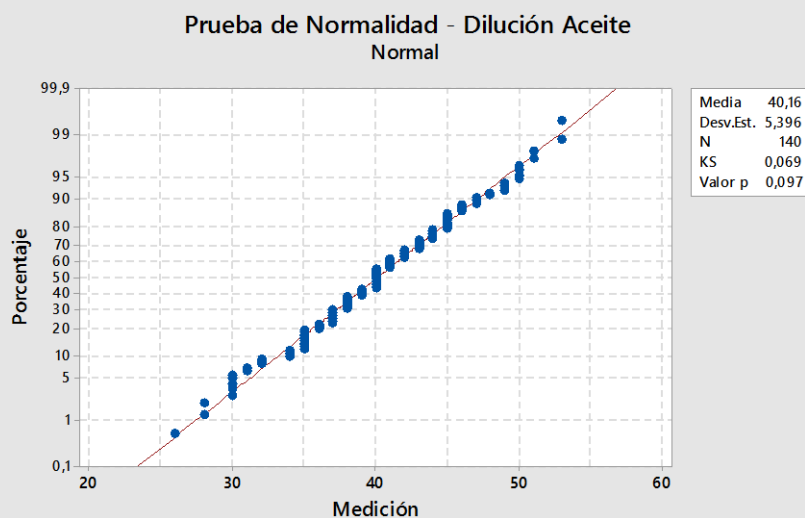
Valor
 $P > 0,05$ los
Datos se
comportan
de manera
normal.

**Temperatura
del
clarificador**



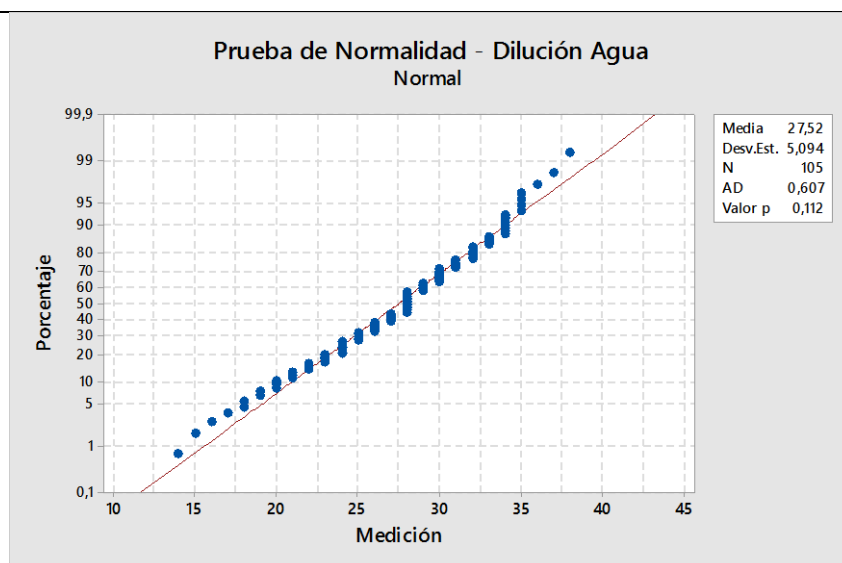
Valor
 $P > 0,05$ los
datos se
comportan
de manera
normal.

**Dilución de
aceite**



Valor
 $P > 0,05$ los
datos se
comportan
de manera
normal.

Dilución de
agua



Valor
 $P > 0,05$ los
datos se
comportan
de manera
normal.

Nota: Los datos se pueden ver en el Apéndice P las cifras y sus gráficos corresponden a mediciones realizadas desde Minitab.

7.2.2. Estabilidad del proceso. La estabilidad del proceso se da mediante el análisis de las variables en el tiempo, e indica, posibles tendencias, y variaciones en ciertos intervalos, se sabe que el proceso es estable, cuando todos sus puntos se encuentran bajo control estadístico, y ya demostrada su distribución normal se procede a realizar los gráficos de control, esto también permite encontrar las posibles causas especiales en las etapas productivas ya definidas como críticas.

Cada variable es evaluada por las reglas de la Western Electric, para detectar causas asignables con mayor rigurosidad.

7.2.2.1. Tiempos de Espera. Se toman $m = 18$ muestras de tamaño $n = 7$, y se realiza un gráfico de control de promedios y rangos ($\bar{\bar{X}} - \bar{R}$), evaluados con $k = 1, 2$ y 3 desviaciones estándar.

Los resultados obtenidos de sus límites se resumen en la tabla 29, a continuación.

Tabla 29.

Límites de especificación, Tiempos de espera.

Gráfico	LCS	$\bar{X}$	LCI
Medias	25,87	16,58	7,28
Rangos	42,67	22,17	1,68

Nota: Extraídos de Minitab.

Se estima un promedio de 16,58 horas para el ingreso del fruto a la planta a su posible procesamiento, que, siguiendo el gráfico, muestras como la 8, 9 y 10, tomaron tiempos por encima de las 38 horas, lo que equivale a esperas mayores de 1 día y medio.

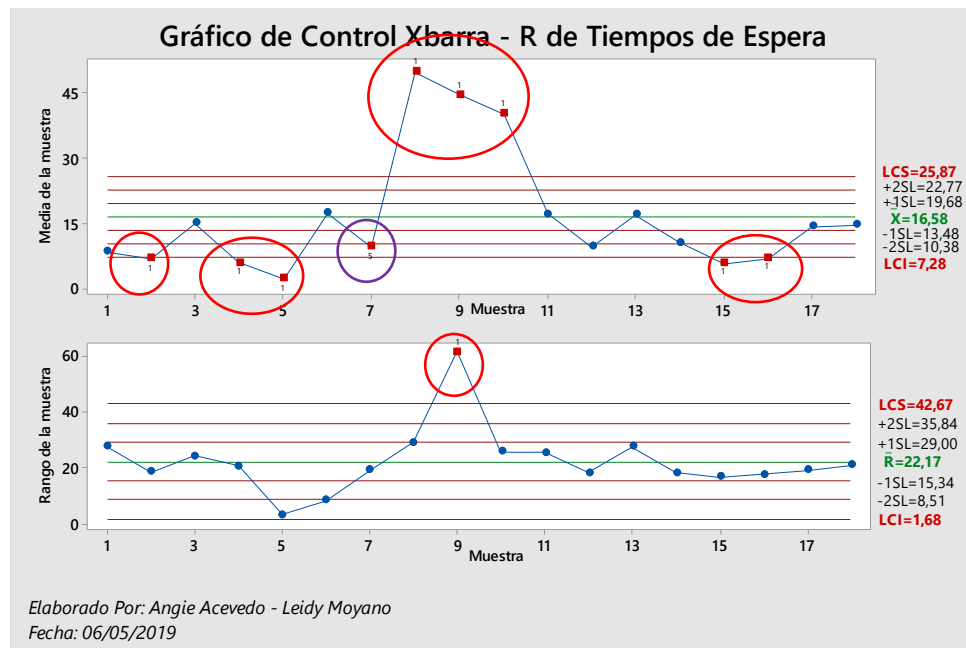


Figura 16. Gráfico de control ($\bar{X} - \bar{R}$) de Tiempos de espera, los índices 1 indican Fuera CEP en la regla N°1, el índice 5, indica Fuera CEP en la regla N°2. Extraído de Minitab.

Las medias y los rangos de la muestra para tiempo de espera del fruto a ser procesado (Horas), según las reglas se encuentra:

1. Fuera CEP
2. Fuera CEP
3. Bajo CEP
4. Bajo CEP

Las medias y rangos de las muestras se encuentran fuera de control estadístico exactamente en los puntos, 2, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 15 y 16, que corresponden a mediciones tomadas los días, 21/03/2019 en horas de 11:17 am a 4:06 pm, a las 9:50 pm del 21 de marzo, hasta la 1:50 pm del 22/03/2019, nuevamente el 22/03/2019 desde la 5:16 pm hasta las 11:58 am del 25/03/2019, y el 27/03/2019 de 11:14 am a 5:13 pm.

7.2.2.2. Tiempo de esterilización. Se toman $m = 15$ muestras de tamaño $n = 7$, y se realiza un gráfico de control de promedios y rangos ($\bar{X} - \bar{R}$), evaluados con $k = 1, 2$ y 3 desviaciones estándar.

Los resultados obtenidos de sus límites se resumen en la tabla 30, a continuación.

Tabla 30.

Límites de especificación, Tiempos de Esterilizado.

Gráfico	LCS	$\bar{X}$	LCI
Medias	40,11	36,33	32,56
Rangos	17,32	9	0,68

Nota: Extraídos de Minitab.

Se estima un promedio de 36,33 minutos en el tiempo de ciclo de esterilización.

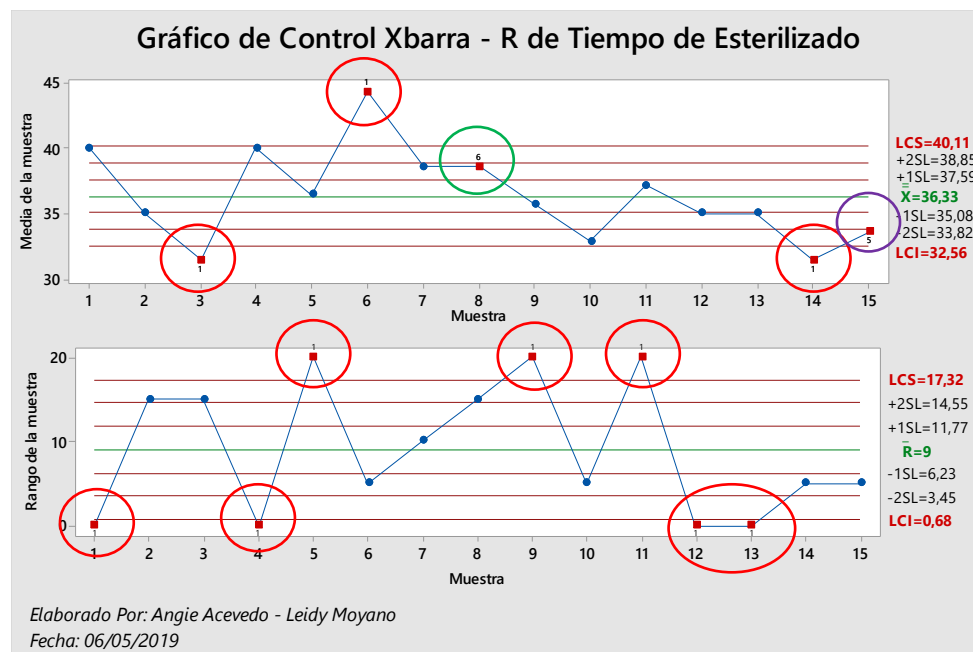


Figura 17. Gráfico de control ($\bar{X} - \bar{R}$) de Tiempos de esterilizado, los índices 1 indican Fuera CEP en la regla N°1, el índice 5, y 6 indican Fuera CEP en la regla N°2 y 3 respectivamente. Extraído de Minitab.

Las medias y los rangos de la muestra para tiempo de ciclo de esterilizado (Minutos), según las reglas se encuentra:

1. Fuera CEP
2. Fuera CEP
3. Fuera CEP
4. Bajo CEP

Las medias y rangos de las muestras se encuentran fuera de control estadístico exactamente en los puntos, 3, 6, 14, 15 y 1, 4, 5, 9, 11, 12, 13 respectivamente, que corresponden a mediciones

tomadas los días del 22 al 31 de marzo, excepcionando algunos del 22, 25, 27, 28 y 29 del mismo mes.

7.2.2.3. **Temperatura del Digestor.** Se toman $m = 15$ muestras de tamaño $n = 7$, y se realiza un gráfico de control de promedios y rangos ($\bar{X} - \bar{R}$), evaluados con $k = 1, 2$ y 3 desviaciones estándar.

Los resultados obtenidos de sus límites se resumen en la tabla 31, a continuación.

Tabla 31.

Límites de especificación, Temperatura del Digestor.

Gráfico	LCS	$\bar{X}$	LCI
Medias	88,177	85,381	82, 585
Rangos	12,83	6,67	0,50

Nota: Extraídos de Minitab.

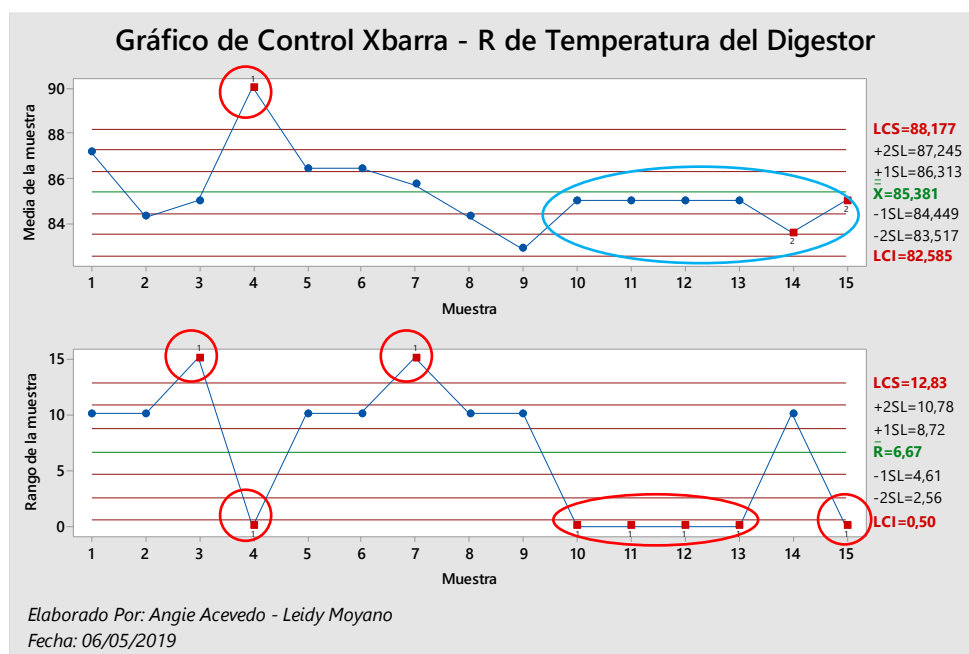


Figura 18. Gráfico de control ($\bar{X} - \bar{R}$) de Temperatura del digestor, los índices 1 indican Fuera CEP en la regla N°1, y los índices 2, indican Fuera CEP en la regla N°4. Extraído de Minitab

Las medias y los rangos de la muestra para temperatura del digestor (psi), según las reglas se encuentra:

1. Fuera CEP
2. Bajo CEP

3. Bajo CEP

4. Fuera CEP

Las medias y rangos de las muestras se encuentran fuera de control estadístico exactamente en los puntos, 4, 14, 15 y 3, 4, 7, 10, 11, 12, 13, 15 respectivamente, en lo que los primeros corresponden a mediciones tomadas los días del 6 al 8, 26, y 27 de marzo y los últimos del 3, al 8, 20, y 22 al 27 de marzo.

7.2.2.4. **Temperatura del Clarificador.** Se toman $m = 15$ muestras de tamaño $n = 7$, y se realiza un gráfico de control de promedios y rangos ($\bar{X} - \bar{R}$), evaluados con $k = 1, 2$ y 3 desviaciones estándar.

Los resultados obtenidos de sus límites se resumen en la tabla 32, a continuación.

Tabla 32.

Límites de especificación, Temperatura de clarificado.

Gráfico	LCS	$\bar{X}$	LCI
Medias	84,553	82,848	81,142
Rangos	7,83	4,07	0,31

Nota: Extraídos de Minitab.

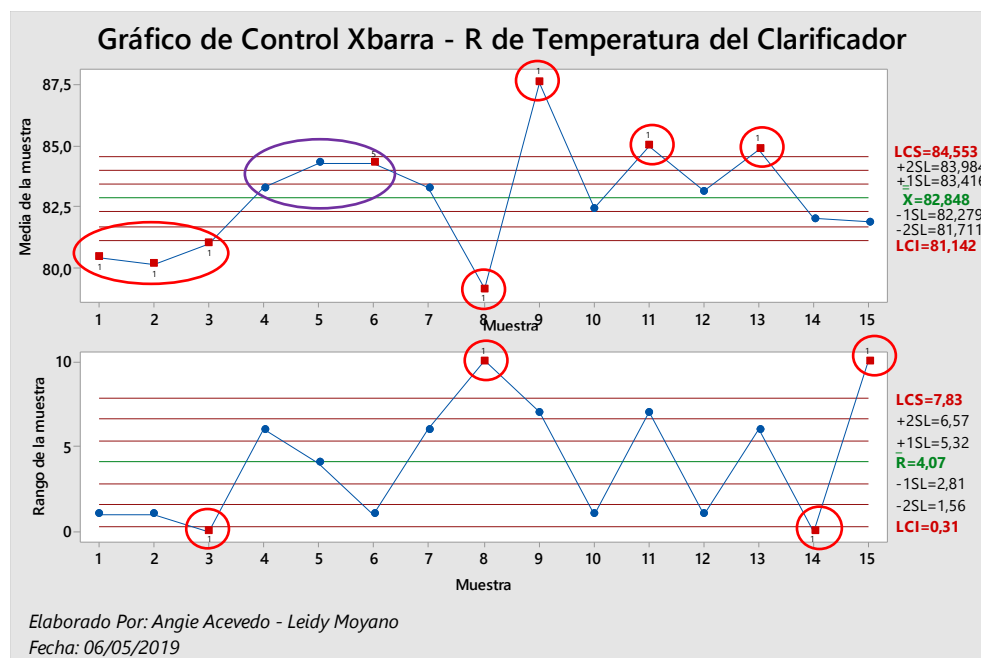


Figura 19. Gráfico de control ($\bar{\bar{X}} - \bar{R}$) de Temperatura del clarificador, los índices 1 indican Fuera CEP en la regla N°1, y los índices 5, indican Fuera CEP en la regla N°2. Extraído de Minitab.

Las medias y los rangos de la muestra para temperatura del clarificador (psi), según las reglas se encuentra:

1. Fuera CEP
2. Fuera CEP
3. Bajo CEP
4. Bajo CEP

Las medias y rangos de las muestras se encuentran fuera de control estadístico exactamente en los puntos, 1, 2, 3, 6, 8, 9, 11, 13 y 3, 8, 14, 15 respectivamente, que corresponden a mediciones tomadas los días el 1, 2, 7, 8, 13, y 14 de marzo para los primeros puntos fuera y los días 2, 8, 17 al 23 de marzo, para los últimos puntos fuera, mencionados.

7.2.2.5. **Dilución de Aceite.** Se toman $m = 20$ muestras de tamaño $n = 7$, y se realiza un gráfico de control de promedios y rangos ($\bar{\bar{X}} - \bar{R}$), evaluados con $k = 1, 2$ y 3 desviaciones estándar.

Los resultados obtenidos de sus límites se resumen en la tabla 33, a continuación.

Tabla 33.

Límites de especificación, Dilución de aceite.

Gráfico	LCS	$\bar{\bar{X}}$	LCI
Medias	46,16	40,16	34,17
Rangos	27,52	14,3	1,08

Nota: Extraídos de Minitab.

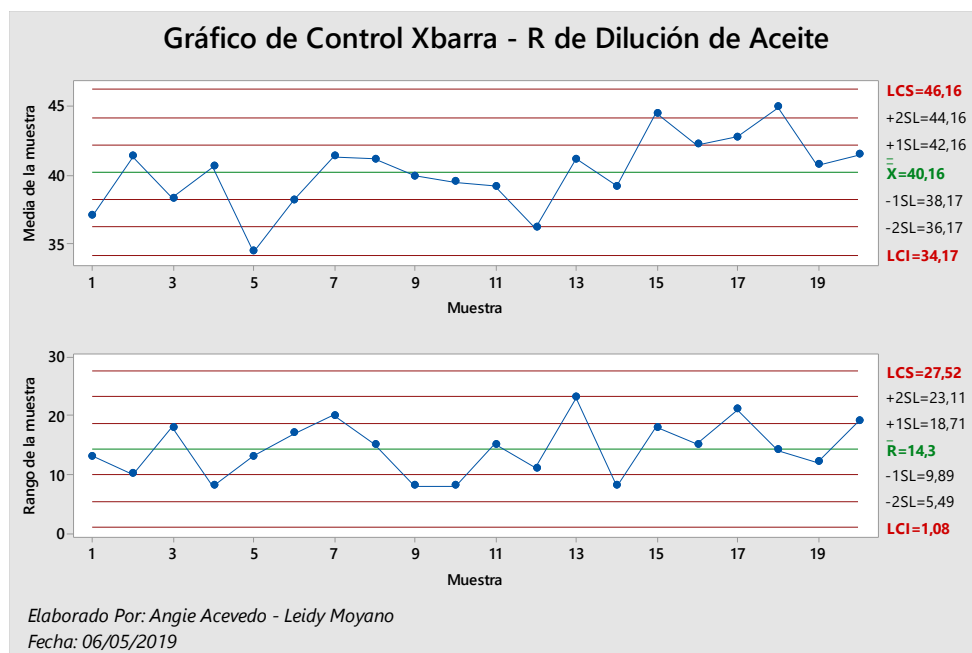


Figura 20. Gráfico de control ($\bar{\bar{X}} - \bar{R}$) de Dilución de aceite. Extraído de Minitab.

Las medias y los rangos de la muestra para Dilución de aceite (%), según las reglas se encuentra:

1. Bajo CEP
2. Bajo CEP
3. Bajo CEP
4. Bajo CEP

Las medias y rangos de las muestras se encuentran bajo control estadístico.

7.2.2.6. **Dilución de Agua.** Se toman $m = 15$ muestras de tamaño $n = 7$, y se realiza un gráfico de control de promedios y rangos ($\bar{\bar{X}} - \bar{R}$), evaluados con $k = 1, 2$ y 3 desviaciones estándar.

Los resultados obtenidos de sus límites se resumen en la tabla 34, a continuación.

Tabla 34.

Límites de especificación, Dilución de Agua.

Gráfico	LCS	$\bar{\bar{X}}$	LCI
Medias	33,14	27,52	21,90
Rangos	25,79	13,4	1,01

Nota: Extraídos de Minitab.

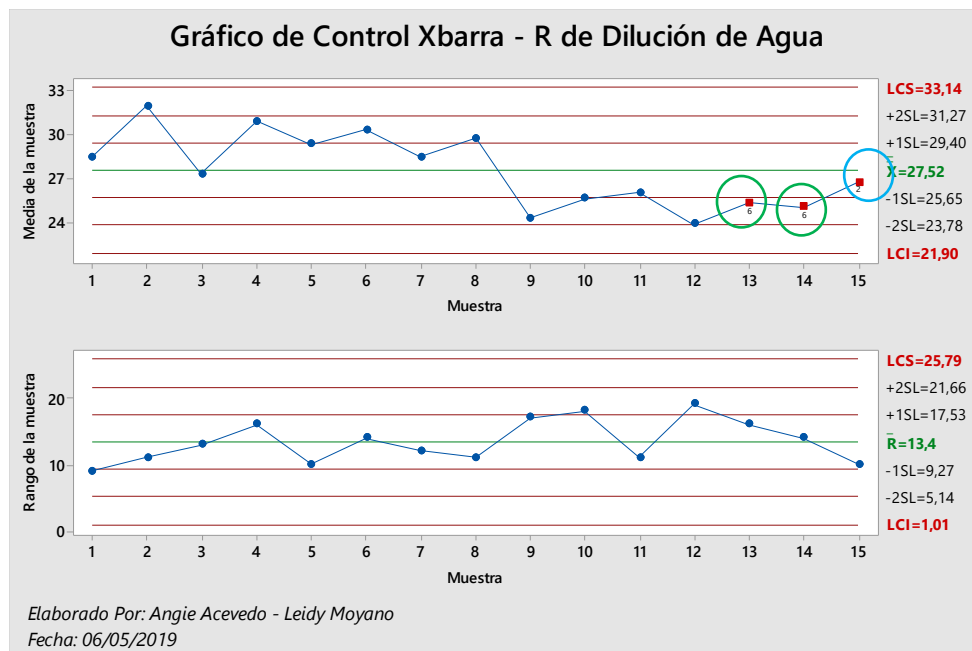


Figura 21. Gráfico de control ($\bar{X} - \bar{R}$) de Dilución de Agua, los índices 6 indican Fuera CEP en la regla N°3, y el índice 2, indica Fuera CEP en la regla N°4. Extraído de Minitab.

Las medias y los rangos de la muestra para Dilución de agua (%), según las reglas se encuentra:

1. Bajo CEP
2. Bajo CEP
3. Fuera CEP
4. Fuera CEP

Las medias de las muestras se encuentran fuera de control estadístico exactamente en los puntos, 13, 14, y 15, que corresponden a mediciones tomadas los días del 17, al 19 y el 26 de marzo.

7.2.3. Análisis de la capacidad del proceso. Los índices de capacidad son valoraciones numéricas que señalan los niveles que estadísticamente cumplen con las especificaciones del proceso, de forma que se dice que un proceso es capaz si cumple con las especificaciones del cliente. Para ello se suele considerar que:

Tabla 35.

Interpretación del índice de capacidad del proceso.

Valor índice de capacidad Cp	Categoría del proceso	Decisión
$Cp \geq 2$	6σ	Proceso de clase mundial.

$1,33 \leq C_p < 2$	1	Adecuado para trabajar.
$1 \leq C_p < 1,33$	2	Adecuado para trabajar, pero requiere control estricto.
$0,67 \leq C_p < 1$	3	No adecuado para trabajar y requiere análisis.
$C_p < 0,67$	4	No adecuado para trabajar, requiere de modificación seria (reingeniería).

Nota: tomado de (Gutiérrez & De la Vara, 2009).

7.2.3.1. **Tiempos de espera.** Wilboux describió que un hongo del tipo Oospora es capaz de elevar el porcentaje de ácidos grasos libres en el aceite recuperado de frutos frescos desde 0.1% a 6.4% en 60 horas (Beltrán Roldán , 2012), para lo que, el aceite crudo con especificaciones de nivel internacional no deberá sobrepasar el 3,0% de AGL, lo que equivale a 28 horas.

Teniendo en cuenta la tabla de bonificaciones (Apéndice L), el menor porcentaje de acidez permitido es de 2,93%, que equivale aproximadamente a 27 horas, y un mayor porcentaje permitido de 3,43%, que equivale aproximadamente a 32 horas.

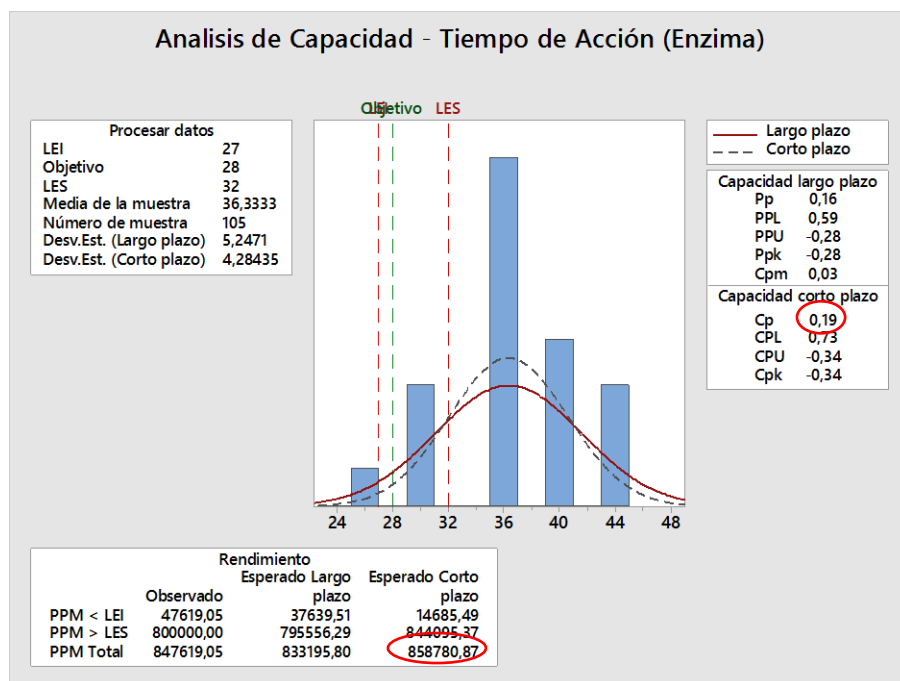


Figura 22. Análisis de capacidad para tiempos de espera, tomado de Minitab

Un $C_p < 1,33$ indica un proceso incapaz de cumplir con las especificaciones del cliente, el proceso genera 858780,87 partes por millón.

7.2.3.2. **Tiempo de esterilizado.** Una correcta operación de esterilizado tendrá un sostenimiento de 30 a 45 min, y una duración de 78 a 95 minutos el ciclo (Delgado, 2018).

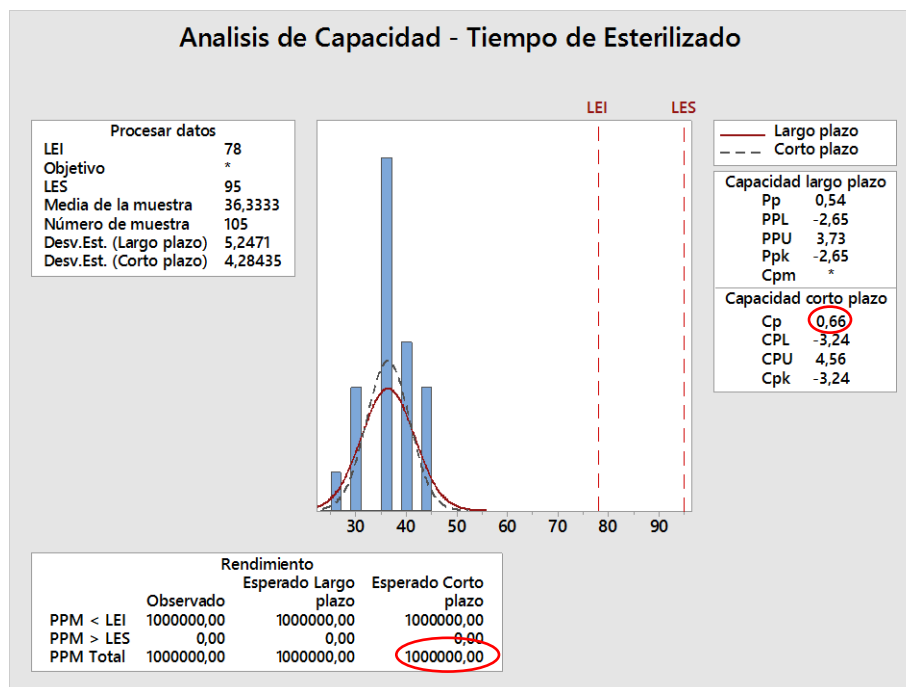


Figura 23. Análisis de capacidad para tiempos de ciclo de esterilizado, tomado de Minitab

Un $C_p < 1$ indica un proceso incapaz de cumplir con las especificaciones del cliente, y el proceso genera 1'000.000 partes defectuosas por millón.

7.2.3.3. **Temperatura del digestor.** Para garantizar una correcta digestión del fruto desgranado se debe garantizar que la temperatura cuando entra a la prensa se mantenga entre $95^{\circ}\text{C} \pm 0,5$ (Hamblin, 2012).

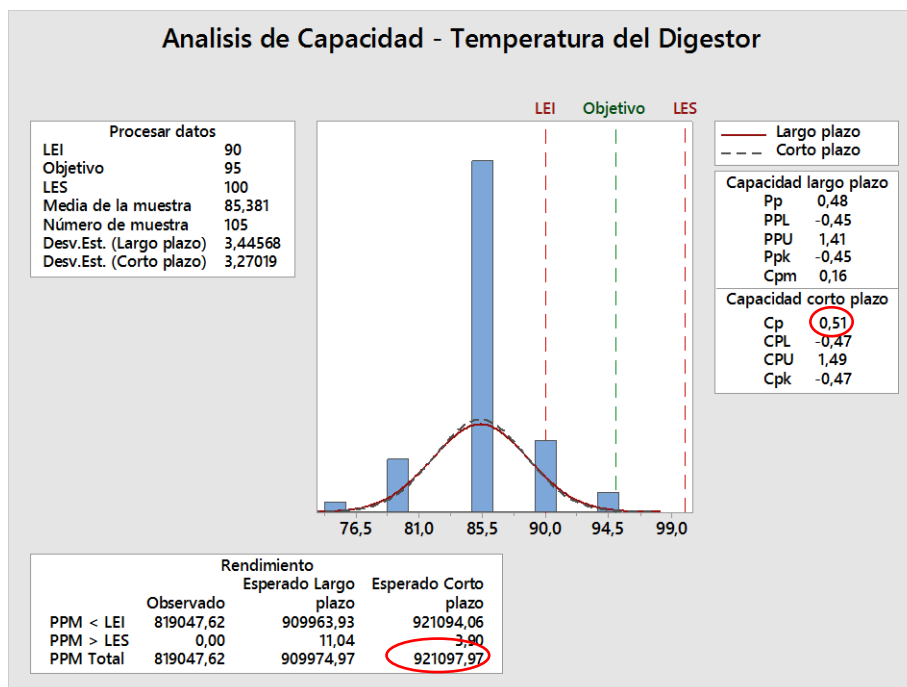


Figura 24. Análisis de capacidad para Temperatura del digestor

Un $C_p < 1$ indica un proceso incapaz de cumplir con las especificaciones del cliente, y el proceso genera 921.097,97 partes defectuosas por millón.

7.2.3.4. Temperatura del clarificado. Se deben conservar temperaturas altas de clarificado, entre $95^{\circ}\text{C} \pm 0,5$, para permitir la mayor velocidad de ascenso de la gota de aceite, y dar un óptimo clarificado, sin que mantenga los 100°C de ebullición del agua que impide la separación (Delgado, 2018).

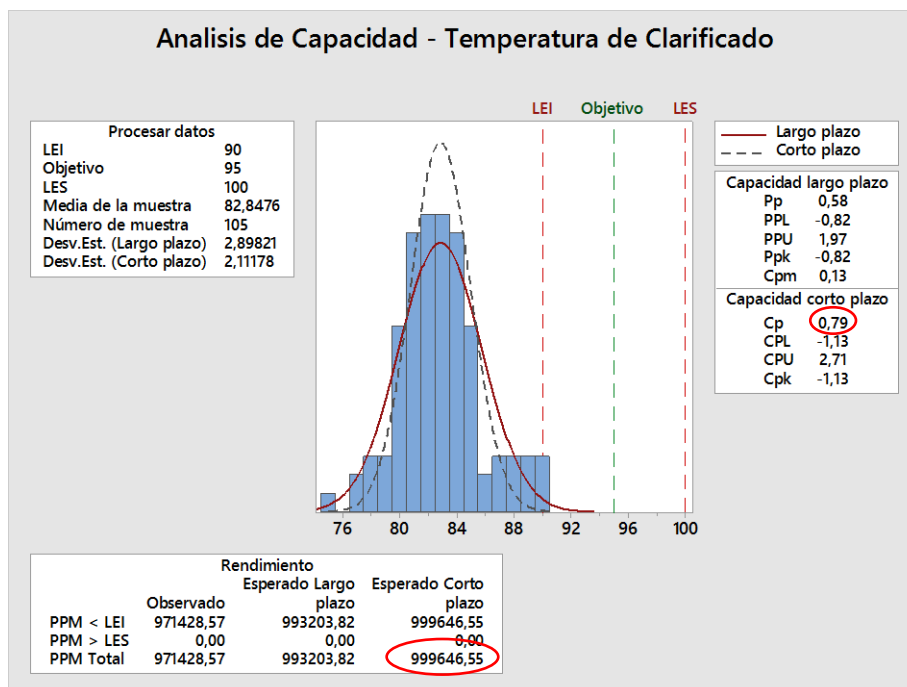


Figura 25. Análisis de capacidad para Temperatura de Clarificado

Un $C_p < 1$ indica un proceso incapaz de cumplir con las especificaciones del cliente, y el proceso genera 999.646,55 partes defectuosas por millón.

7.2.3.5. Dilución de aceite y Dilución de agua. Se debe controlar la cantidad de agua con que se toman las mediciones de %VolAgua, y %VolAceite, hasta llegar a una determinada concentración que arroje la mayor claridad visual de separación por fases, tradicionalmente la dilución usada en la clarificación es de 1:1 aceite/agua, sin embargo de acuerdo a trabajos realizados por Cenipalma, se ha visto que una relación de solución de 1,4:1, mejora eficazmente la separación de aceite (Alvarado T., 2010), para lo que la primera relación equivale a 35%VolAceite/35%VolAgua, que para la segunda relación equivaldría a 49%VolAceite/35%VolAgua.

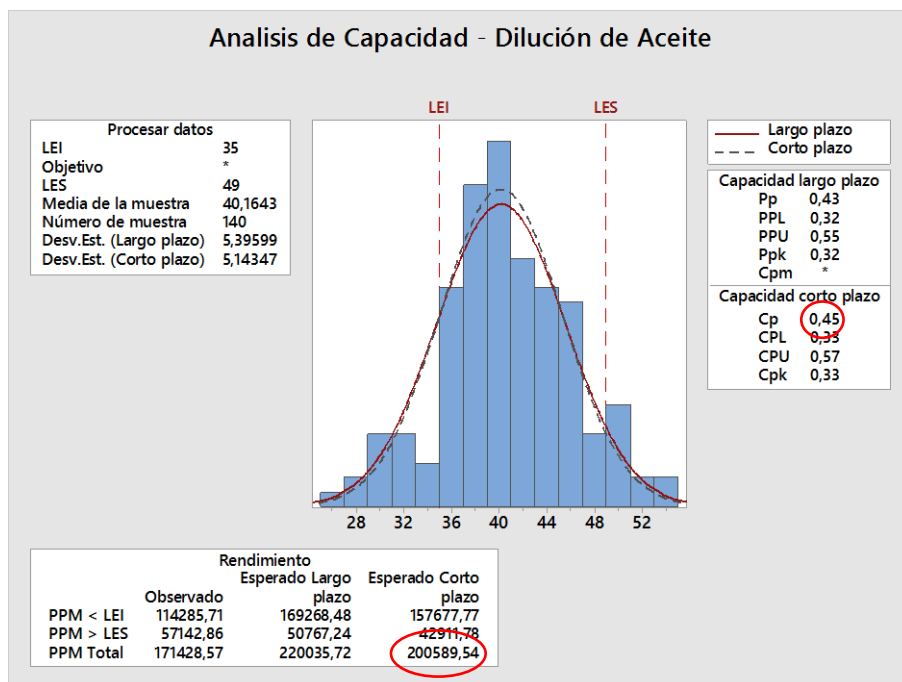


Figura 26. Análisis de capacidad para Dilución de Aceite

Un $Cp < 1$ indica un proceso incapaz de cumplir con las especificaciones del cliente, y el proceso genera 200.589,54 partes defectuosas por millón.

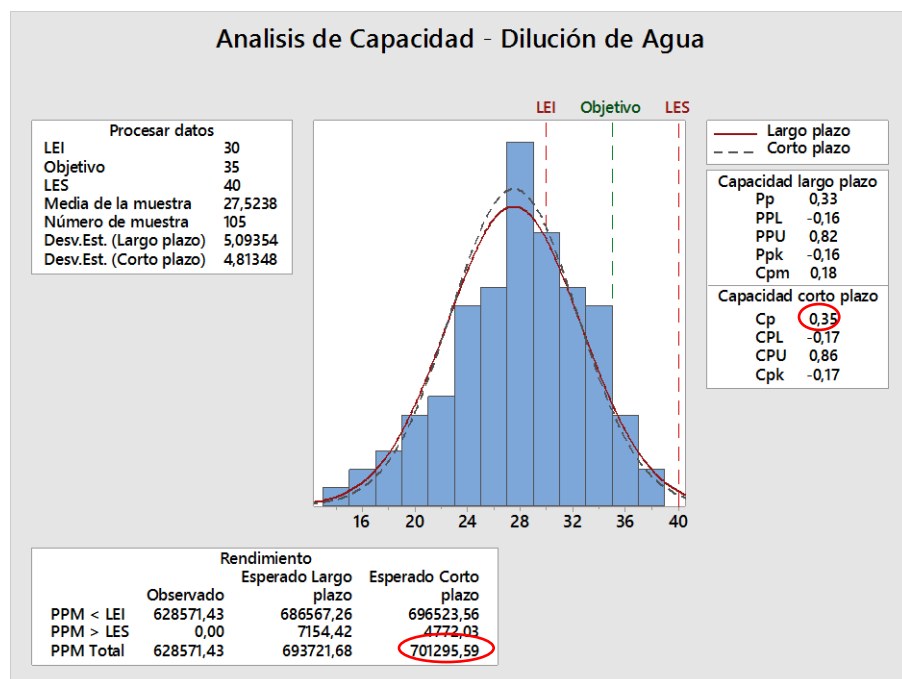


Figura 27. Análisis de capacidad para Dilución de Agua

Un $Cp < 1$ indica un proceso incapaz de cumplir con las especificaciones del cliente, y el proceso genera 701.295,59 partes defectuosas por millón.

8. Fase Analizar

8.1. Causas de Variación

La meta de la fase de analizar es identificar la(s) causa(s) raíz del problema o métrico primario principal, esto corresponde a reconocer las X's vitales, entender cómo es que estas generan el problema y confirmarlas con los datos, para ello se identifican todas estas variables de entrada a través de un diagrama de Ishikawa, que las deja en evidencia como lo muestra la tabla 36 y figura 28.

Tabla 36.

Tabla de 6M's para diagrama causa – efecto.

Mano de Obra	Maquinaria	Materiales	Métodos	Medición	Medio Ambiente
<u>Operarios</u> <u>Supervisores</u> - Eliuth - Francisco - José	<u>Tipo de Vehículo de descargue</u> - Camión - Volqueta - Turbo	<u>Proveedor</u> - Palmeras Aliados - Agrocolombia - Palmas del sur	<u>Presión del digestor</u> 600 psi 700 psi 800 psi 900 psi 1000 psi	<u>Termómetro</u>	<u>Clima</u>
	<u>Esterilizador</u> 1. 2.	<u>N.º Racimos Calificados</u> 15 45 70	<u>Temperatura del Preclarificador</u> 70°C 75°C 80°C 90°C	<u>Reloj</u>	<u>Jornada de llegada del Fruto</u> - Mañana - Tarde - Noche
	<u>Digestor</u> - P5 - P15	<u>Madurez del fruto</u> - Verde - Maduro	<u>Tiempo de Centrifugado</u> ≥1 hr <1 hr	<u>Tubo de muestras</u>	
	<u>Amperaje del motor del digestor</u> 35A 40A	<u>Volumen de Licor de Prensa</u> 20-30%Vol 31-40%Vol 41-50%Vol	<u>Presión del distribuidor de Caldera</u> 60 psi 70 psi 80 psi	<u>Bacula</u>	
	<u>Tiempo de uso del motor</u> 2646,0 hr 6228 hr 2820 hr	<u>Recepción del fruto por época del año</u>	<u>Temperatura de Caldera</u> 70 °C 75 °C 80 °C 85 °C	<u>Manómetros</u>	
	<u>Dilución de centrifuga</u> 3ml 10ml	<u>Edad de la palma</u>			

Nota: Causas de variación tomada desde la perspectiva de los métricos primarios, sus opciones están basadas en los registros más repetitivos de los datos (ver Apéndice Q).

Para cada X, se agregaron dos o más niveles, que corresponden a valores alternativos que se pueden tomar y que serán usados para probar cuál de estas X son realmente vitales.

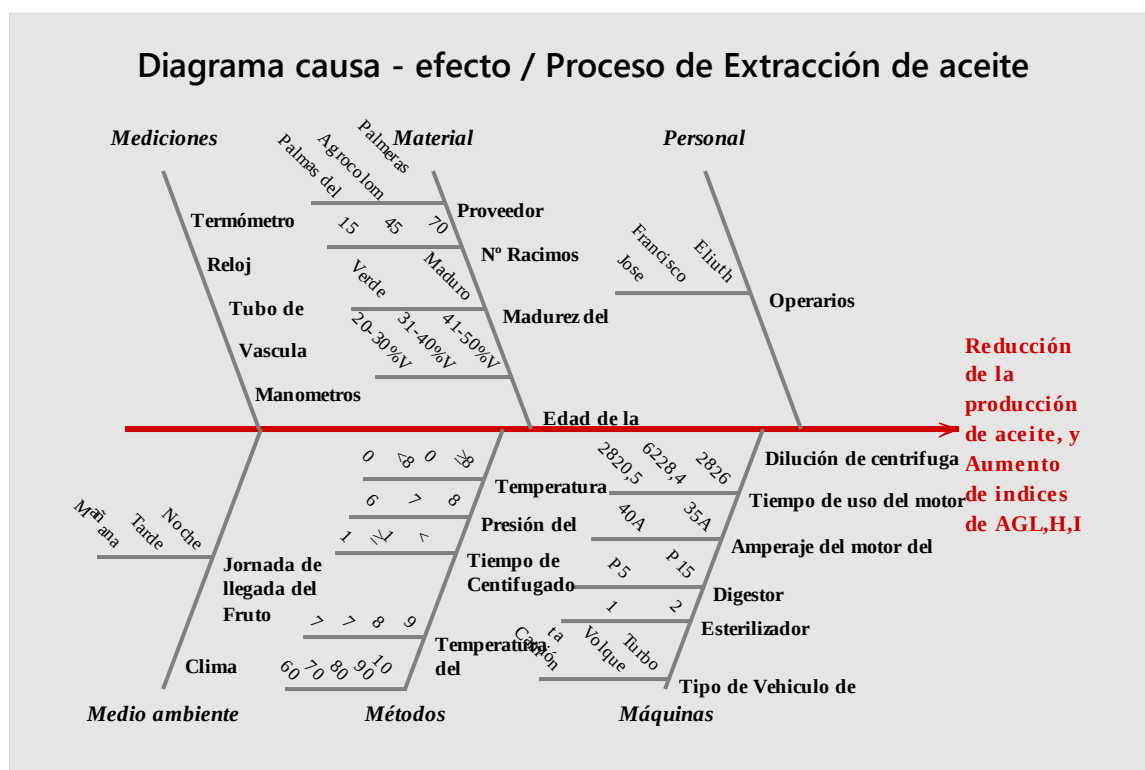


Figura 28. Diagrama Causa – efecto /Producción de aceite

El análisis de las variables se puede desarrollar a partir de distintas herramientas estadísticas que permiten discriminar unas de otras, como los contrastes de hipótesis, intervalos de confianza, regresiones simples o múltiples, ANOVA, entre otras. Al final se concluye con un diseño de experimentos (DOE), a continuación, se plantea una tabla de planeación de variables, en donde se especifica las de estudio, y la herramienta estadística utilizada.

Tabla 37.

Planeación de Variables.

TABLA PLANEACIÓN VARIABLES		
X's potenciales	Método de comparación	Significancia
X1: Operarios Supervisores (Eliuth, Francisco, José)	One way ANOVA	No
X2: Tipo de Vehículo de descargue (Camión, Volqueta, Turbo)	One way ANOVA	No
X3: Esterilizador (1, 2)	Inferencia est. P-Hipótesis	No
X4: Digestor (P5, P15)	Inferencia est. P-Hipótesis	Si

X5: Amperaje del motor del digestor (35A, 40A)	Inferencia est. P-Hipótesis	No
X6: Tiempo de uso del motor (2646,0 hr, 6228 hr, 2820 hr)	One way ANOVA	Si
X7: Temperatura de Preclarificador/ Aceite (70, 75, 80, 90)	One way ANOVA	No
X8: Temperatura de Preclarificador/ Agua (70, 75, 80, 90)	One way ANOVA	Si
X9: Tiempo de descarga del proveedor (Palmeras Aliados, Agrocolombia, Palmas del sur)	One way ANOVA	No
X10: N.º Racimos Calificados (15, 45, 70)	One way ANOVA	No
X11: Madurez del fruto (Verde, Maduro)	-	Si
X12: Niveles del licor de Prensa volumen/aceite (20-30%Vol, 31-40%Vol, 41-50%Vol)	One way ANOVA	No
X13: Niveles del licor de Prensa volumen/agua (20-30%Vol, 31-40%Vol, 41-50%Vol)	One way ANOVA	No
X14: Recepción del fruto por época del año	-	No controlable
X15: Edad de la palma	-	No
X16: Presión del digestor (600 psi, 700 psi, 800 psi, 900 psi, 1000 psi)	One way ANOVA	Si
X17: Temperatura del Preclarificador (70°C, 75°C, 80°C, 90°C)	One way ANOVA	Si
X18: Tiempo de Centrifugado (1mil) / Aceite (≥ 1 hr, < 1 hr)	Inferencia est. P-Hipótesis	No
X19: Tiempo de Centrifugado(1mil) / Agua (≥ 1 hr, < 1 hr)	One way ANOVA	Si
X20: Tiempo de Centrifugado(3mil) / Aceite (≥ 1 hr, < 1 hr)	Regresión lineal simple	Si
X21: Tiempo de Centrifugado(3mil) / Agua (≥ 1 hr, < 1 hr)	One way ANOVA	Si
X22: Presión del distribuidor de Caldera (60 psi, 70 psi, 80 psi) *	Regresión lineal Múltiple	No
X23: Temperatura de Caldera ($< 80^\circ\text{C}$, $\geq 80^\circ\text{C}$) *	Regresión lineal Múltiple	No
X24: Instrumentos de medición (Termómetro, Reloj, Tubo de muestras, Bascula, Manómetros)	-	Controlado
X25: Temperatura del ambiente, Clima	-	No controlable
X26: Jornada de llegada del Fruto (Mañana, Tarde, Noche)	One way ANOVA	Si
Factores significativos	DOE	X4, X6, X8, X11, X16, X17, X18, X20, X21, X22, X26.

Nota: Esta tabla fue actualizada después de la comprobación de significancia a cada variable. (ver Apéndice Q y R).

8.1.1. Causas potenciales. Se considera comparar por factores de forma individual con experimentos comparativos simples, de modo que se encuentre los factores con diferencias significativas, para cada caso se presenta a continuación su valor P.

Tabla 38.

Prueba de las X's Vitales.

X's potenciales	Valor - P	H_0
X1: Operarios Supervisores (Eliuth, Francisco, José)	0,885 > 0,05	Rechazo H_1
X2: Tipo de Vehículo de descargue (Camión, Volqueta, Turbo)	0,349 > 0,05	Rechazo H_1
X3: Esterilizador (1, 2)	0,088 > 0,05	Rechazo H_1
X4: Digestor (P5, P15)	0,000 < 0,05	Rechazo H_0
X5: Amperaje del motor del digestor (35A, 40A)	0,398 > 0,05	Rechazo H_1
X6: Tiempo de uso del motor (2826 hr, 6228 hr, 2820 hr)	0,000 < 0,05	Rechazo H_0
X7: Temperatura de Preclarificador/ Aceite (70, 75, 80, 90)	0,234 > 0,05	Rechazo H_1
X8: Temperatura de Preclarificador/ Agua (70, 75, 80, 90)	0,002 < 0,05	Rechazo H_0
X9: Tiempo de descarga del proveedor (Palmeras Aliados, Agrocolombia, Palmas del sur)	0,101 > 0,05	Rechazo H_1
X10: N.º Racimos Calificados (15, 45, 70)	0,819 > 0,05	Rechazo H_1
X11: Madurez del fruto (Verde, Maduro)	-	-
X12: Niveles del licor de Prensa volumen/aceite (20-30%Vol, 31-40%Vol, 41-50%Vol)	0,094 > 0,05	Rechazo H_1
X13: Niveles del licor de Prensa volumen/agua (20-30%Vol, 31-40%Vol, 41-50%Vol)	0,208 > 0,05	Rechazo H_1
X14: Recepción del fruto (Por época del año)	-	-
X15: Edad de la palma	-	-
X16: Presión del digestor (600 psi, 700 psi, 800 psi, 900 psi, 1000 psi)	0,040 < 0,05	Rechazo H_0
X17: Temperatura del Preclarificador (70°C, 75°C, 80°C, 90°C)	0,001 < 0,05	Rechazo H_0
X18: Temperatura del Sedimentador (>75°C, ≤75°C)	0,003 < 0,05	Rechazo H_0
X19: Tiempo de Centrifugado (1mil) / Aceite (≥1 hr, <1 hr)	0,083 > 0,05	Rechazo H_1
X19: Tiempo de Centrifugado(1mil) / Agua (≥1 hr, <1 hr)	0,013 < 0,05	Rechazo H_0
X20: Tiempo de Centrifugado(3mil) / Aceite (≥1 hr, <1 hr)	0,000 < 0,05	Rechazo H_0
X21: Tiempo de Centrifugado(3mil) / Agua (≥1 hr, <1 hr)	0,003 < 0,05	Rechazo H_0
X22: Presión del distribuidor de Caldera (60 psi, 70 psi, 80 psi) *	0,307 > 0,05	Rechazo H_1
X23: Temperatura de Caldera (<80°C, ≥80°C) *	1,000 > 0,05	Rechazo H_1
X24: Instrumentos de medición (Termómetro, Reloj, Tubo de muestras, Bascula, Manómetros)	-	-
X25: Temperatura del ambiente, Clima	-	-
X26: Jornada de llegada del Fruto (Mañana, Tarde, Noche)	0,000 < 0,05	Rechazo H_0

Nota: Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$, Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$, los soportes se encuentran en el Apéndice R.

Las causas potenciales, se evalúan en conjunto por medio de un diseño factorial 2^k , ampliamente utilizados en experimentos en los que intervienen varios factores, para así estudiar su efecto conjunto en la variable respuesta.

Para tal efecto se establece la tabla 39 y 40.

Tabla 39.

Tabla de relación, métricos Y, con X's Vitales.

Métrico primario Principal	Variable Respuesta Métricos primarios Y's	Causas X's Vitales
Producción de aceite, e índices de AGL, H, e I.	Y1: Tiempos de Espera (descargue del fruto)	X26: Jornada de llegada del Fruto (Mañana, Tarde, Noche)
	Y2: Tiempos de Esterilizado	X11: Madurez del fruto (Verde, Maduro)
	Y3: Temperatura del Digestor	X16: Presión de la prensa (600 psi, 700 psi, 800 psi, 900 psi, 1000 psi)
		X4: Digestor (P5, P15)
		X6: Tiempo de uso del motor de prensa (2646, 2826 hr, 6228 hr, 2820 hr)
	Y4: Temperatura del Clarificador	X17: Temperatura del Preclarificador (70°C, 75°C, 80°C, 90°C)
	Y5: Dilución de Agua	X19: Tiempo de Centrifugado(1mil) / Agua (≥ 1 hr, < 1 hr)
		X21: Tiempo de Centrifugado(3mil) / Agua (≥ 1 hr, < 1 hr)
		X8: Temperatura de Preclarificador/ Agua (70, 75, 80, 90)
	Y6: Dilución de Aceite	X20: Tiempo de Centrifugado(3mil) / Aceite (≥ 1 hr, < 1 hr)

Nota: se relaciona para cada Y, una o varias X's, según sea el caso.

8.1.2. Planeación del DOE



Impacto fuerte, Fácil de cambiar



Impacto moderado, Moderadamente fácil de cambiar



Impacto débil, Difícil de cambiar

Tabla 40.

Planeación del DOE.

Planeación del DOE						
Factores	Fuerza del impacto sobre Y	Fácil de cambiar	¿Incluir como factor en el experimento?	Si es factor del DOE		No es factor del DOE
				Nivel actual	Nivel propuesto	
X1: Operarios Supervisores (Eliuth, Francisco, José)			No	-	-	No es significativo, por lo que puede continuar con cualquier operador.
X2: Tipo de Vehículo de descargue (Camión, Volqueta, Turbo)			No	Camión, Volqueta, Turbo	-	No es significativo, aunque se sabe que a la volqueta le toma menos tiempo el descargar del fruto
X3: Esterilizador (1, 2)			No	1, 2	-	No es significativo, pero en el esterilizador 1, se toman mayores tiempos de esterilizado
X4: Digestor (P5, P15)			Si	P5, P15	P15	-
X5: Amperaje del motor de la prensa (35A, 40A)			No	-	-	No es significativo, pero a menor corriente, mayor temperatura en el digestor

X6: Tiempo de uso del motor (2646,0 hr, 6228 hr, 2820 hr)			Si	>2646h, 6228hr, 2820hr.	<2646hr	
X7: Temperatura de Preclarificador/Aceite (70, 75, 80, 90)			No	-	-	No es significativo, pero a 80°C se consigue la mayor dilución de aceite en el Preclarificador
X8: Temperatura de Preclarificador/Agua (70, 75, 80, 90)			Si	(70, 95)	(80, 90)	-
X9: Tiempo de descarga del proveedor (Palmeras Aliados, Agrocolombia, Palmas del sur)			No	-	-	No es significativo, dado que los proveedores no interfieren de manera individual en los tiempos de espera para procesamiento del fruto.
X10: N.º Racimos Calificados (15, 45, 70)			No	-	-	No es significativo, dado que el tiempo que se toma para calificar el fruto es netamente independiente, al tiempo de espera para procesamiento del fruto.
X11: Madurez del fruto (Verde, Maduro)			No	Verde, madura, sobremadura y podrido	Maduro	Teniendo en cuenta que el sobremadura y podrido presentan mayor índice de AGL
X12: Niveles del licor de Prensa volumen/aceite (20-30%Vol, 31-40%Vol, 41-50%Vol)			No	-	-	No es significativo, pero con menos volumen de (20,30%LP) se obtiene la mayor proporción de dilución de aceite

X13: Niveles del licor de Prensa volumen/agua (20-30%Vol, 31-40%Vol, 41-50%Vol)			No	-	-	No es significativo, pero con un nivel mayor de LP podría presentar una dilución de agua mayor
X14: Recepción del fruto			No	-	-	No es controlable, pero se sabe que, a mayor cosecha, mayores son los tiempos de espera en la planta, por la congestión de vehículos a descargue.
X15: Edad de la palma			No	-	-	La edad no influye en la producción de aceite.
X16: Presión en prensa (600 psi, 700 psi, 800 psi, 900 psi, 1000 psi)			Si	550 P5, >600 P15	>600	-
X17: Temperatura del Preclarificador (70°C, 75°C, 80°C, 90°C)			Si	(70, 90)	>90	-
X18: Tiempo de Centrifugado (1mil) / Aceite (≥ 1 hr, <1 hr)			No	-	-	No es significativo, pero se obtiene una mayor dilución de aceite, con un tiempo de centrifuga ≥ 1 hora
X19: Tiempo de Centrifugado(1mil) / Agua (≥ 1 hr, <1 hr)			Si	(≥ 1 hr, <1 hr)	≥ 1 hr	-
X20: Tiempo de Centrifugado(3mil) / Aceite (≥ 1 hr, <1 hr)			Si	(≥ 1 hr, <1 hr)	1 hr	-

X21: Tiempo de Centrifugado(3mi l) / Agua (≥ 1 hr, < 1 hr)			Si	$(\geq 1$ hr, < 1 hr)	≥ 1 hr	-	
X22: Presión del distribuidor de Caldera (60 psi, 70 psi, 80 psi) *			No	-	-	-	No es significativo, puesto que es una variable independiente al tiempo
X23: Temperatura de Caldera ($< 80^{\circ}\text{C}$, $\geq 80^{\circ}\text{C}$) *			No	-	-	-	No es significativo, puesto que es una variable independiente al tiempo.
X24: Instrumentos de medición (Termómetro, Reloj, Tubo de muestras, Bascula, Manómetros)			No	-	-	-	Está controlado, dado que sus resultados de sesgo, y R&R son aceptables.
X25: Temperatura del ambiente, Clima			No	-	-	-	No se puede controlar
X26: Jornada de llegada del Fruto (Mañana, Tarde, Noche)			Si	Mañana, Tarde y Noche	Mañana	-	

8.1.3. Causas importantes enfocadas a la $Y=f(X's)$. De acuerdo con el diseño de experimentos, se estudia la X4: Digestor P5, P15, X6: Tiempo de uso del motor (2646hr, 6228hr, 2820hr), X8: Temperatura del Preclarificador-Agua (70,75,80,90), X16: Presión del digestor (600psi, 700psi, 800psi, 900psi, 1000psi), X17: Temperatura del Preclarificador (70°C, 75°C, 80°C, 90°C), X19: Tiempo de centrifuga 1000L – Agua (≥ 1 hr, < 1 hr), X20: Tiempo de centrifuga 3000L – Aceite (≥ 1 hr, < 1 hr), X21: Tiempo de centrifuga 3000L – Agua (≥ 1 hr, < 1 hr), y X26: Jornada de llegada del fruto (Mañana, Tarde, Noche), según esto los resultados para el diseño son:

Y1: Tiempo de espera (Descargue del fruto) – **X26:** Jornada de la Mañana

Y2: Tiempo de esterilizado – **X11:** Fruto Maduro

Y3: Temperatura del digestor – **X16:** >600 psi, **X4:** P15, P5 **X6:** >2646 hr >2802 hr

Y4: Temperatura de Clarificado – **X17:** >90.

Y5: Dilución de agua – **X21:** ≥ 1 hr, <1hr, **X8:** (80, 90), **X19:** ≥ 1 hr, <1hr.

Y6: Dilución de aceite - **X20:** ≥ 1 hr, <1hr

Para Y1, Y2, Y4, y Y6 no es necesario un diseño factorial, puesto que las variables que no acercan la media al valor ideal se bloquean, en el caso de Y3, se bloquea la variable X16, dado que su respuesta más cercana a la media ideal, son todos los posibles ya tomados, por lo tanto su diseño es de 2^2 , y para Y5 se bloquea X21, dado que este es igual a X19 en cuanto a que toman medias de dilución de agua mayores, en tiempos <1 hora, por ello el diseño factorial puede realizarse con cualquiera de las dos variables, puesto que su significancia será la misma, por tal motivo se realiza un diseño factorial de 2^2 .

8.1.3.1. DOE para Y3.

Tabla 41.

Resumen del diseño.

Factores:	2	Diseño de la base:	2; 4
Corridas:	20	Réplicas:	5
Bloques:	1	Puntos centrales (total):	0

Nota: Extraído de Minitab.

Tabla 42.

Análisis de Varianza Y3.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	983,75	327,917	58,30	0,000
Lineal	2	972,50	486,250	86,44	0,000
Tipo de Digestor	1	911,25	911,250	162,00	0,000
T. Uso del motor	1	61,25	61,250	10,89	0,005
Interacciones de 2 términos	1	11,25	11,250	2,00	0,176
Tipo de Digesto*T. Uso del motor	1	11,25	11,250	2,00	0,176
Error	16	90,00	5,625		
Total	19	1073,75			

Nota: Extraído de Minitab.

Los efectos tipo de digestor y el tiempo de uso del motor desde su ultimo procesamiento, son estadísticamente significativos dado que los valores son menores al valor $P < 0,05$.

Tabla 43.

Resumen del modelo Y3.

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
2,37171	91,62%	90,05%	86,90%

Nota: Extraído de Minitab.

El modelo se ajusta a los datos, dado que su $R^2 > 90\%$.

Tabla 44.

Coefficientes codificados Y3.

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		92,250	0,530	173,95	0,000	
Tipo de Digestor	13,500	6,750	0,530	12,73	0,000	1,00
T. Uso del motor	-3,500	-1,750	0,530	-3,30	0,005	1,00
Tipo de Digestor*T. Uso del motor	1,500	0,750	0,530	1,41	0,176	1,00

Nota: Extraído de Minitab.

Los efectos son estadísticamente significativos dado que los valores son menores al valor $P < 0,05$.

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\begin{aligned} TempDigestor = & 92,250 + 6,750 \text{ Tipo de Digestor} - 1,750 \text{ Tiempo de Uso del motor} \\ & + 0,750 \text{ Tipo de Digestor} * \text{Tiempo de Uso del motor} \end{aligned}$$

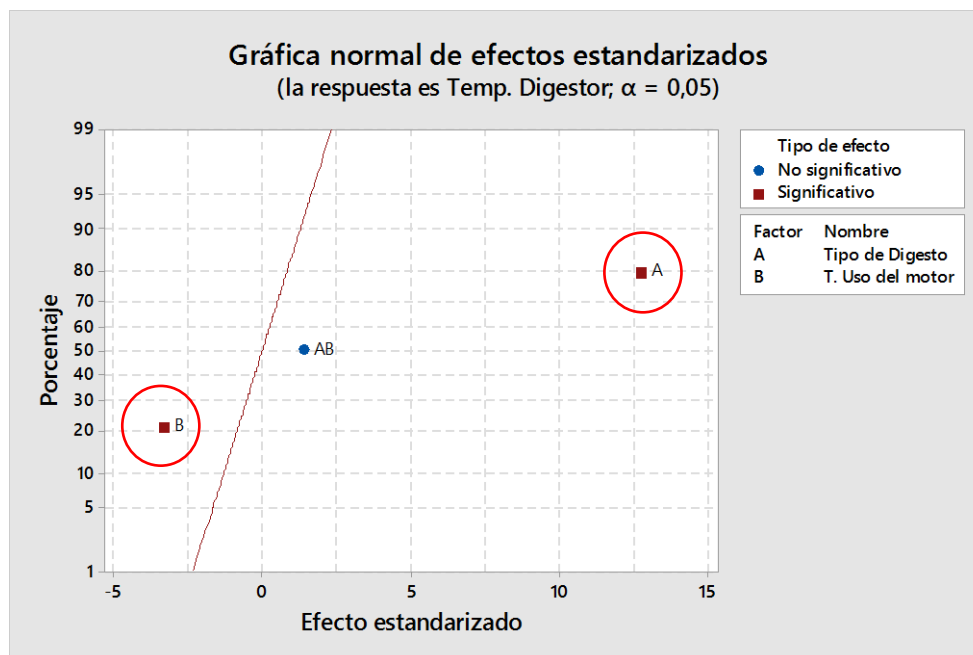


Figura 29. Grafica normal de efectos estandarizados para Y3. Extraído de Minitab.

Con el fin de implementar mejoras, se hace uso del predictor de Minitab, para obtener la configuración exacta que arroja la temperatura superior a 95°C en el digestor.

Tabla 45.

Configuración para Y3

Variable	Valor de configuración
Tipo de Digestor	P15
Tiempo de Uso del motor	>2646

Nota: Extraído de Minitab

Tabla 46.

Predicción para Y3.

Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
98	1,06066	(95,7515; 100,248)	(92,4923; 103,508)

Nota: Extraído de Minitab

Se logran temperaturas en el digestor P15 de entre (95°C – 100 °C), con presiones superiores a los 600psi en prensa, y un número de horas del motor o equipo de función desde la última vez que se ha inicializado el dispositivo de (2646hr - 2739,8hr).

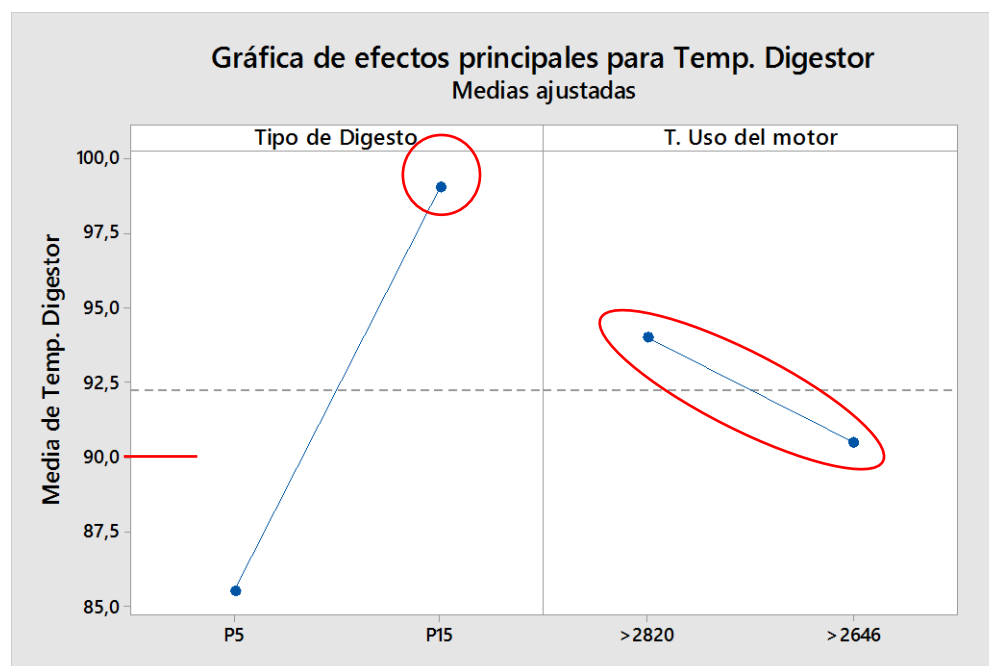


Figura 30. Gráfica de efectos principales para Y3. Extraído de Minitab.

8.1.3.2. DOE para Y5

Tabla 47.

Resumen del diseño.

Factores:	2	Diseño de la base:	2; 4
Corridas:	20	Réplicas:	5
Bloques:	1	Puntos centrales (total):	0

Nota: Extraído de Minitab.

Tabla 48.

Análisis de Varianza Y5.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	203,600	67,867	34,36	0,000
Lineal	2	158,600	79,300	40,15	0,000
Temp. Preclarificador	1	156,800	156,800	79,39	0,000
T. Centrifugado	1	1,800	1,800	0,91	0,354

Interacciones de 2 términos	1	45,000	45,000	22,78	0,000
Temp. Preclarificador*T. Centrifugado	1	45,000	45,000	22,78	0,000
Error	16	31,600	1,975		
Total	19	235,200			

Nota: Extraído en Minitab.

La temperatura del Preclarificador y la interacción entre los 2 factores son significativos, con valor $P < 0,05$.

Tabla 49.

Resumen del modelo Y5.

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1,40535	86,56%	84,05%	79,01%

Nota: Extraído en Minitab.

El modelo se ajusta a los datos, dado que su $R^2 > 80\%$.

Tabla 50.

Coeficientes codificados Y5.

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		37,800	0,314	120,29	0,000	
Temp. Preclarificador	-5,600	-2,800	0,314	-8,91	0,000	1,00
T. Centrifugado	-0,600	-0,300	0,314	-0,95	0,354	1,00
Temp. Preclarificador*T. Centrifugado	-3,000	-1,500	0,314	-4,77	0,000	1,00

Nota: Extraído en Minitab.

La temperatura del Preclarificador y la interacción entre los 2 factores son significativos, con valor $P < 0,05$.

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

*Dilución Agua = 37,800 – 2,800 Temp. Preclarificador – 0,300 Tiempo de Centrifugado – 1,500 Temp. Preclarificador * Tiempo de Centrifugado*

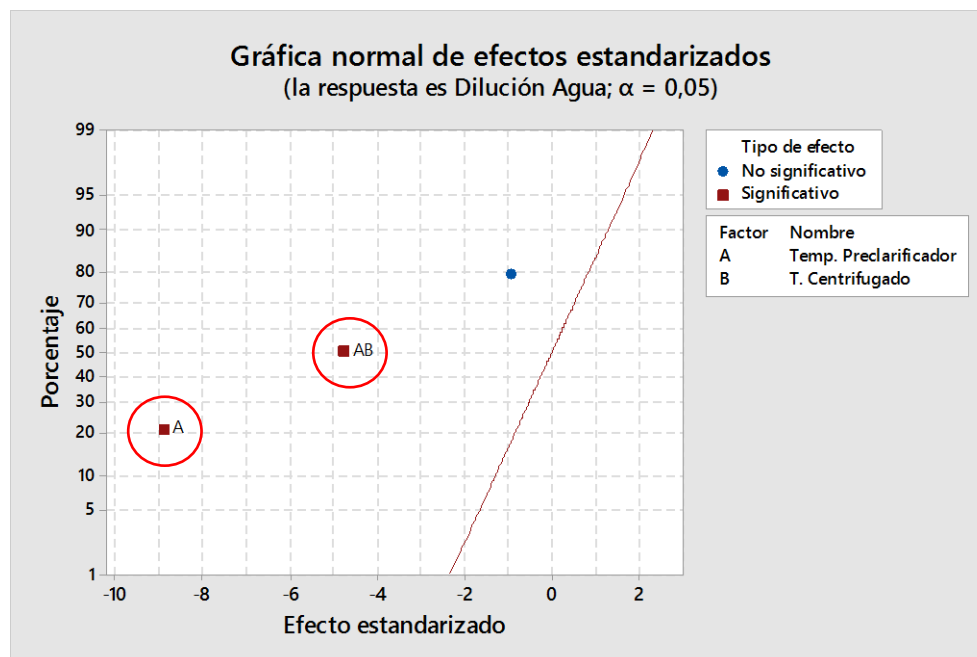


Figura 31. Gráfica normal de efectos estandarizados para Y5. Extraído en Minitab.

Tabla 51.

Configuración para Y5.

Variable	Valor de configuración
Temperatura del Preclarificador	≥ 80
Tiempo de Centrifugado	> 1 hr

Nota: Extraído en Minitab.

Tabla 52.

Predicción para Y5.

Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
33,8	0,628490	(32,4677; 35,1323)	(30,5364; 37,0636)

Nota: Extraído en Minitab.

Se logran diluciones de agua entre los (31%Vol, 35%Vol), que contienen %Volumen de agua de 35% con temperaturas de clarificado (≥ 80) y tiempos (≤ 1 hora).

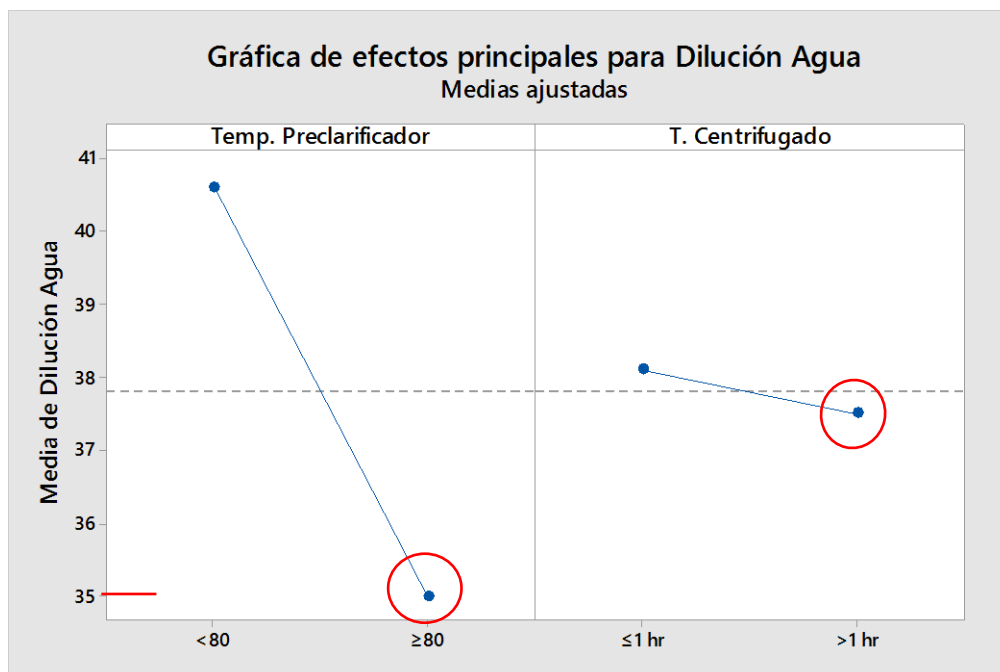


Figura 32. Gráfica de efectos principales para Y5. Extraído en Minitab.

9. Fase Mejorar

9.1. Plan de acción

El control estadístico de los procesos evidentemente permite la detección de causas especiales de variación, que encontradas de forma preventiva evitan la generación de defectos al producto terminado, dan la entrada a las acciones correctivas y complementa las decisiones con base en registros sustentados cuantitativamente, por ello se hace necesario dar continuidad al proceso, asegurando la permanencia de la metodología como un proceso rutinario.

El objetivo de esta fase es proponer las soluciones para atender las causas raíz detectadas en el punto anterior, que se espera sean implementadas, juntamente con un sistema que mantenga las mejoras controladas, diseñado con el fin de comprender el paso a paso del control en el tiempo, prevenir que los problemas que surgen en el proceso no se repitan, impedir que las mejoras y el conocimiento obtenido se olviden, mantener el desempeño del proceso y alentar la mejora continua.

Adicional a esto el plan establece una serie de actividades claramente definidas, que permiten de forma sencilla y ordenada, revisar y ejecutar la metodología DMAIC, como también una serie

de controles por etapas, con el listado del deber ser del proceso de extracción de aceite que se ajustan a cumplir con el objetivo del proyecto.

9.2. Soluciones potenciales

Tabla 53.

Propuestas de soluciones potenciales.

Métrico primario principal Y	Métricos primarios influyentes Y's	Métricos vitales o causas raíz X's	Descripción	Soluciones propuestas
Producción de aceite, e índices de AGL, H, e I.	Y1: Tiempos de Espera (descargue del fruto)	X26: Jornada de llegada del Fruto	Los tiempos de espera por descargue del fruto, prolongan la acción de enzimas de tipo Oosporas, que aumentan la acidez por hora en 0,11%, permiten la deshidratación del fruto y la pérdida de peso en 1,63% al día, que en estas condiciones afecta directamente el métrico primario.	1. Realizar el corte de los frutos tan pronto en cuanto desprenda el o los primeros 2 frutos, por cada kg de peso del racimo. 2. Recepción de frutos con ciclos de cosecha menores de los 15 días. 3. Citar la recepción de frutos a la planta únicamente en la jornada de la mañana diaria, para solventar la falta de capacidad de la planta. 4. Verificar el ciclo PEPS de los frutos en planta, basados en el tiempo de cosecha del racimo. 5. Reducir la incidencia de golpes en los racimos, y evitar la adición de impurezas con descargas directas al redler. 6. Incorporar un sistema de lavado pre del fruto. 7. Adopción de racimos de palma híbridos como los OxG. 8. Para evitar incrementos en la acidez por hidrólisis, el aceite se debe almacenar con el menor contenido posible de humedad, muy limpio y a una temperatura conveniente. 9. Procesos de esterilizado superior a los 60°C.
	Y2: Tiempos de Esterilizado	X11: Madurez del fruto	Los frutos verdes son generadores del aumento de	1. Asegurar una temperatura del vapor de 140°C en caldera.

		tiempo en el proceso de esterilizado, dado que su ablandamiento es lento, considerando una reducción de la producción de aceite/ pulpa fresca (54,8% contra 57,8%).	2. Verificación visual rutinaria de la temperatura óptima para generar el mayor ablandamiento de los racimos 95°C - 100°C en el esterilizador. 3. Considerar el peso de entrada, para asegurar un tiempo de esterilizado entre los (70-120 min), calculando con prioridad el tiempo de ciclo, y supervisando el llenado a tope. 4. El mayor porcentaje de extracción de aceite se da cuando el racimo ha desprendido de 2 a 4 frutos, en su estado maduro. 5. Asegurar para racimos completos una desaireación de 5 min, con una temperatura no mayor a los 90°C, y un sostenimiento de 30 a 50 min. 6. Para racimos desgarrados se debe contar con un desairado a 5 psi, sostenimiento a 30 psi por 40 min. 7. Realizar un control periódico semanal de frutos calificados teniendo en cuenta que el 70 u 80% de los racimos que llegan deben estar en el nivel adecuado de madurez o dentro de esta categoría. 8. Garantizar que la operación de esterilización desaloje todo el aire atrapado, instalando válvulas de escape de aire acopladas al cuerpo del esterilizador e indicadora del momento de la apertura de la puerta para que salga el vapor, con mayor seguridad.
Y3: Temperatura del Digestor	X16: Presión de prensa	La presión de prensa es directamente proporcional con la temperatura del digestor, que debe estar entre los 95°C y 100°C, para una correcta	1. Asegurar una presión en la prensa >600 psi, tanto en el P5, como en el P15. 2. Verificación visual por horas, de la presión estable en todo el proceso de prensado. 3. Desarrollar un proyecto de automatización que controle el llenado y la alimentación continua del desfrutador a los digestores.

		digestión del fruto.	
	X4: Digestor	El digestor P5, no registra temperaturas mayores a los 90°C, dado por lo que su presión no supera los 550psi, y se ha demostrado que estas dos condiciones son directamente proporcionales.	1. Verificación visual y por horas, del continuo llenado del digestor. 2. Revisar el tamizado antes de la digestión, para evitar desgaste de las máquinas y el aumento de impurezas. 3. Aumentar la capacidad del P15, en búsqueda de usar su máximo rendimiento.
	X6: Tiempo de uso del motor	Se demostró estadísticamente que, a mayor tiempo de uso en la prensa, menor es su presión.	1. Inicializar los dispositivos de prensado con frecuencia, de modo que su tiempo de uso sea menor. 2. Evitar el uso del P5 N°2, con el fin de reducir sus ineficiencias en tiempo y presión. 3. Hacer mantenimiento y limpieza periódicamente con el fin de evitar impurezas y dañar los equipos de prensado.
Y4: Temperatura del Clarificador	X17: Temperatura del Preclarificador	La temperatura es de primordial importancia debido a su relación intrínseca con la viscosidad del aceite que influye en su recuperación como lo muestra la ley de Stokes. A medida que aumenta la temperatura, la viscosidad, disminuye y por consiguiente la fricción de la gota de aceite,	1. Asegurar temperaturas del Preclarificador superiores a los 90°C 2. Asegurar un vapor a una presión de 45 psi y agua caliente a 95°C 3. Adoptar un separador estático con un volumen que permita un tiempo de retención hidráulica de 4 a 5 horas. 4. Verificación visual diaria del estado de las mallas de los tamices de aceite crudo y de lodos. 5. Mantener una temperatura de 95 a 100°C en el tanque de alimentación de las deslodadoras 6. Supervisar semanalmente, la cantidad de lodos producidos por tonelada de racimo fresco (Lodos/RFF), para con ello determinar la pérdida de aceite en términos de TEA, que no deben sobrepasar el 0,5%.

		permitiendo mayor velocidad de ascenso de la gota de aceite para su óptima clarificación.	7. Medir continuamente la eficiencia del proceso, que debe superar los 92%. 8. Hacerle un tratamiento de sedimentación y secado al aceite preclarificado en una línea independiente a la del aceite obtenido en el Preclarificador, trae beneficios de calidad sobre el aceite final producido, ya que reduce su acidez.
	X19: Tiempo de Centrifugado	Se ha demostrado estadísticamente que con tiempos de centrifugado >1hora se logran diluciones de agua de %VolAgua de 35%.	1. Aumentar la capacidad de las centrífugas deslodadoras a 600 L/Ton RFF. 2. Periódicamente (cada 6 meses) hay que verificar la velocidad de régimen de las centrífugas la cual debe ser de 1450 rpm. Esta velocidad se puede aumentar o disminuir agregando o quitando aceite en el acoplamiento hidráulico. 3. Asegurar tiempos de residencia en centrifuga, >1hora. 4. La cantidad de agua debe ser menor a un 40% del contenido en el proceso de extracción de aceite, exactamente 35%.
Y5: Dilución de Agua	X21: Tiempo de Centrifugado	Se debe asegurar que la temperatura de clarificado este entre los 90°C y 95°C, para lo que es necesario una temperatura de preclarificado >85°C, que a su vez arroja, porcentajes de dilución de agua entre los (31,8677; 35,5323), necesarios para una correcta separación por fases.	1. Asegurar temperaturas de Preclarificador >85°C 2. Asegurar %Vol. agua no mayor a 35%. 3. Adoptar los formatos de control y monitoreo, propuestos.
	X8: Temperatura de Preclarificador		

Y6: Dilución de Aceite	X20: Tiempo de Centrifugad o	Se ha demostrado estadísticamente que con tiempos de centrifugado >1hora se logran diluciones de aceite con %VolAceite de 49%.	1. Definir un poka-yoke con una cinta de color amarillo en los tubos de centrifuga que defina claramente donde debe ir los 10 mililitros de fluido para mejorar el control visual en sus muestras.
			2. Para verificar el porcentaje de aceite separado en la prueba se debe contar con 3500 rpm en la centrifuga y 10 minutos de centrifugado, para garantizar una correcta separación de las fases.
			3. Los lodos livianos tienen una densidad similar a la del aceite y por lo tanto cuando la cantidad de agua es muy alta, estos tienden a subir con el aceite, para que se dé una correcta separación de aceite en lodos livianos, la relación de agua debe ser de 1% en 1.4% de aceite, asegurando un %Vol aceite de 49%.

Nota: las propuestas se soportan desde los estudios estadísticos (Ver Apéndice R).

9.3. Plan de implementación

Con base en las causas raíz se procede a plantear un plan de implementación de mejora que se muestra en la tabla 54 con el fin declarar las responsabilidades a tomar para el cumplimiento de las mejoras a las no conformidades en el proceso de extracción de aceite.

Tabla 54.

Plan de implementación de mejoras.

Métricos vitales		Responsable	Implementación
o causas raíz	Propuestas		
X's			
X26: Jornada de llegada del Fruto		Operarios encargados de la Calificación del fruto: Guillermo Gallego y Dober Barragan.	El comité de control debe hablar con los proveedores el transcurso del mes agosto para comenzar el mes de septiembre con la posible implementación y capacitar a sus operarios encargados en la operación.
X11: Madurez del fruto		Operarios encargados de la operación de esterilizado:	El comité de control debe capacitar a sus operarios encargados con una verificación visual rutinaria, para mejorar la extracción de aceite y controlar la

		Frank Herrera, Jhon Álvarez y Luis Carlos López.	desaireación mediante la instalación de una válvula de escape de aire y mantener un control semanal del fruto calificado.
X16: Presión de prensa		Operarios encargados de la operación de prensado: Alexander Celis, Luis Eduardo Ríos y Arlinson Lambraña.	El comité de control debe capacitar a sus operarios encargados en la operación, con el fin de mejorar verificación visual por hora del control de llenado en el digestor y la alimentación continua del desfrutador a los digestores.
X4: Digestor	Soluciones Potenciales de X's. Ver tabla 53	Operarios encargados de la operación de prensado: Alexander Celis, Luis Eduardo Ríos y Arlinson Lambraña.	El comité de control debe capacitar a sus operarios en la correcta verificación visual del llenado del digestor y revisión del tamizado, pre a la digestión.
X6: Tiempo de uso del motor		Operarios encargados de la operación de prensado: Alexander Celis, Luis Eduardo Ríos y Arlinson Lambraña.	El comité de control debe capacitar a sus operarios encargados para menor tiempo de utilización de los dispositivos en el prensado con el fin de reducir sus ineficiencias.
X17: Temperatura del Preclarificador		Operarios encargados de la operación de clarificado: Jair A. Urango, Gustavo Márquez y Juan E. Villegas.	El comité de control debe capacita a sus operarios encargados en la operación para permitir una mayor extracción de aceite por medio de una verificación visual tanto de temperaturas, como presiones y de las mallas de los tamices de aceite crudo y lodo.
X19: Tiempo de Centrifugado		Operarios encargados de la operación de clarificado: Jair A. Urango, Gustavo Márquez y Juan E. Villegas.	El comité de control debe capacitar a sus operarios encargados en la operación periódicamente (cada 6 meses) verificando la velocidad de régimen de las centrifugas y aumentar la capacidad de las centrifugas deslodadoras.
X8: Temperatura de Preclarificador		Operarios encargados de la operación de clarificado: Jair A. Urango, Gustavo Márquez y Juan E. Villegas.	El comité de control debe capacitar a los operarios encargados en la operación. Revisar Apéndices S y T.
X20: Tiempo de Centrifugado		Operarios encargados de la operación de clarificado:	El comité de control debe capacitar a los operarios encargados en la operación de la posible implementación en el

Jair A. Urango, Gustavo Márquez y Juan E. Villegas.	transcurso del próximo mes del poka-yoke (cinta de color amarilla en los tubos de centrifuga), para el mejor control visual y a 3500 rpm por 10 minutos, con 1% de agua para una correcta separación de aceite.
---	---

Nota: tener en cuenta para cada solución potencial de la tabla 53. Su proceso de implementación.

10. Fase Controlar

En esta etapa se diseña un sistema que mantenga en el tiempo las mejoras, y permita que estos cambios a realizar se vuelvan permanentes, se institucionalicen, y generalicen. Lo que implica la participación y adaptación a los cambios de toda la gente involucrada en el proceso, por lo que se pueden presentar resistencias, en todo caso el sistema de control se desarrolla a fin de prevenir que los problemas que tenía el proceso vuelvan a repetirse, impedir que las mejoras y conocimientos obtenidos se olviden, mantener el buen desempeño en el proceso y alentar a la mejora continua.

10.1. Plan de Control y Monitoreo

Se debe establecer un comité de control, que regule los niveles correctos en toda la línea de producción y analicen las irregulares mostradas en el control estadístico, esto con el propósito de comprometer el personal a enfocar los esfuerzos en las operaciones críticas del proceso.

Pertenece al comité todo el personal encargado y con conocimientos suficientes en las áreas productivas de la extracción de aceite, como también el director de planta y jefe de calidad.

Adicional a esto, el plan de control se presenta para cada etapa, aportando mayor claridad en cada proceso, como también un formato de control propuesto en el Apéndice S, y el formato de actas de comité de control de proceso Apéndice T.

10.2. Plan de Transición

Se formula un plan de transición que tome todos los temas que deben adquirirse para el conocimiento básico del control estadístico, para que de esta manera todas las personas pertenecientes al comité de control sean aptas al oficio de regular los procesos y proponer sostenidos en evidencias estadísticas mejoras en las distintas etapas productivas.

10.2.1. Niveles de transformación 6σ. En la historia de los esfuerzos por 6σ, se han dado tres niveles de profundidad y amplitud de la iniciativa, (Pande & Holpp, 2002) que se explica a continuación.

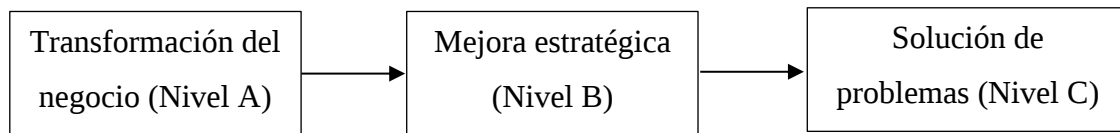


Figura 33. Niveles de implementación seis sigmas.

- **Nivel A.**

En este nivel se marca por la alta gerencia un nuevo ritmo, donde se argumenta porque es necesaria la aplicación a base de debates en los que se entenderá su función, no como una estrategia de ingenieros, si no como una iniciativa que va dirigida a la competitividad, enfocándola al cliente (interno y externo). Lo que abre la posibilidad a nuevas ideas y una visión al cambio basada en la mejora continua.

- **Nivel B**

En este nivel la estrategia se dirige a atender algunas unidades, áreas o necesidades del negocio, la iniciativa no es tan ambiciosa, y se enfoca en mejoras por partes, su desafío no es dirigir el cambio en toda la organización, lo que puede ocasionar aislamiento en algunas etapas de cadena, pues no tendrían conocimiento total de los aportes alcanzados en las demás áreas.

- **Nivel C**

En este punto, los esfuerzos van dirigidos a problemas específicos, que no han solucionado en el tiempo, este nivel puede ser el adecuado en algunas empresas en las que no se quiere hacer demasiadas labores, y más bien buscan aprovechar los beneficios de aplicar el DMAIC en algunas áreas, lo que implicará que solo unos pocos estén involucrados, y probablemente la iniciativa pase a la historia en un determinado tiempo.

10.2.2. Etapas de implementación. Sea el nivel que la organización quiera tomar las etapas para su ejecución se aclaran en la tabla a continuación.

Tabla 55.

Etapas para la transición Seis Sigma

Etapas para la transición 6σ	
Etapas 1. Diagnostico organizacional	El comité de control debe desarrollar un diagnostico organizacional, para identificar, y reconocer las practicas más alejadas de los principios seis sigma, a partir de entrevistas a empleados y lluvia de ideas, para con ello identificar el liderazgo y compromiso de las algunas áreas, y cuales toman más resistencia al cambio.
Etapas 2. Planeación directiva	Con el apoyo del director de planta y comité de control, se debe convocar una serie de secciones de trabajo directivo para iniciar el proceso de implementación, estos talleres familiarizan a las partes interesadas, con los métodos y estrategias seis sigma, y plantean como serán integrados los planes de mejoramiento, se identifican los procesos claves y se designan los encargados.
Etapas 3. Talleres de mejora seis sigma	Seminario – taller, de planeación estratégica, durante el cual el equipo de alta dirección desarrolla una visión de cómo 6σ ayuda a la organización a cumplir con las metas claves del negocio. Encabezada por el director de planta, quien debe estar convencido de la necesidad del cambio, y se establece un lenguaje común para desarrollar una cultura de mejora continua.
Etapas 4. Evaluación y profundización del cambio	Tanto el proceso después de la implementación, como las personas encargadas que ya han sido entrenadas, serán evaluados de forma periódica a partir de los resultados obtenidos, para determinar el nivel de compromiso que han tomado los colaboradores, verificar el cumplimiento de los objetivos seis sigma y delegar futuros entrenadoras, con ayuda del AMEF ver apéndice M.

Nota: Etapas modificadas y adaptadas por actividades de (Gutiérrez & De la Vara, 2009).

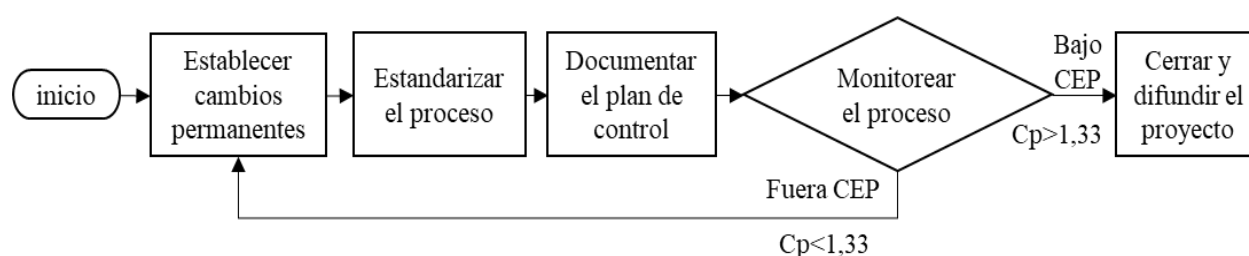
10.3. Diagrama de actividades de Control

Figura 34. Diagrama de actividades de control.

Siguiendo los criterios de aceptación para un proceso capaz, y controlable, con actividades relaciones a la última etapa del seis sigma, en la que se controla desde la base inicial, y se monitorea a partir de la comparación de los procesos históricos, versus los actuales.

11. Conclusiones

Actualmente los costos duros se ven afectados por pérdidas de peso en el fruto después de largos tiempos de espera desde su cosecha, que se calculan en \$12.183 COP, tomando de muestra los racimos calificados que corresponden en promedio a 50 racimos por volqueta, que calculado con el total de racimos existentes podría incrementar el costo hasta los \$2'000.000 COP diarios aproximados.

Los ingresos por kilogramo de aceite ascienden proporcionalmente a la recepción de fruto en condiciones óptimas de calidad, a esto refiere en termino maduro, que para el experimento realizado el 9% de los racimos calificados no cumple, y se sabe que esta cifra equivale únicamente al aproximado de 6,25% del total de racimos existentes por volqueta.

Se debe considerar la madurez, y el peso de los racimos que ingresan a esterilizado a través del cálculo del tiempo de ciclo antes del procesamiento para evitar pérdidas por falta de ablandamiento.

La aplicación de la estrategia seis sigma en la industria palmera proporciona grandes avances en términos de temperaturas, presiones, tiempos, tipos de máquinas, y metodologías correctas para el término del aceite de palma con características a nivel internacional, que si bien sus requisitos requieren rigurosidad para el cumplimiento de tal fin.

Para la prolongación en el tiempo del control estadístico es imprescindible la capacitación en los términos, actividades relacionas y herramientas estadísticas, como también personal dedicado al 100% en el análisis de los resultados.

La transición total seis sigma en pymes, puede costar tiempo en la medida que los procesos no estén estandarizados, digitalizados mediante algún tipo de software y no exista una periodicidad en los muestreos.

12. Recomendaciones

Para tomar la estrategia seis sigma e institucionalizarla en la planta extractora es necesario un compromiso de todo el personal, actualizar los formatos existentes, incorporar mediciones por atributos, y asegurar los niveles ya demostrados en cada etapa, a fin de reducir variaciones considerables en las mediciones e indicar con exactitud los puntos que requieren acciones correctivas.

Si se desea tomar el nivel de transformación C en seis sigma, se debe ampliar los métricos primarios tomados en el estudio, e incluir las etapas faltantes del experimento, identificar sus puntos críticos desde el NPR, y apuntar los esfuerzos a los niveles altos de riesgo, como también calcular los indicadores de gestión después de realizadas las mejoras.

Hacer un tratamiento de sedimentado y secado al aceite preclarificado en una línea independiente a la del aceite obtenido en el Preclarificador, traerá beneficios de calidad sobre el aceite final producido, sumado a beneficios económicos por bonificaciones adicionales.

Crear convenios con entidades educativas, con el fin de posibilitar la capacitación en mejores prácticas al proceso actual de extracción de aceite y conocer el uso y análisis de las diferentes herramientas estadísticas.

Adecuar un espacio de descarga del fruto en condiciones óptimas de temperatura y espacio que evite el contacto del racimo con el suelo, para con ello reducir perdidas por desprendimiento, y aumento en los índices de humedad e impurezas.

Reevaluar el tamaño de la muestra calificada de racimos, a fin de cubrir con mayor exactitud el total de racimos de fruto fresco que ingresan a la planta extractora.

Referencias Bibliográficas

- Acuña, Á. (2000). *Proceso de extracción de aceite de palma africana mediante el desgranado del fruto fresco*. Industrias Acuña LTDA. INAL. Obtenido de <http://www.santanderinnova.org.co/media/be1a5f0e234c2977b974835e322ceca9.pdf>
- AIAG, A. I. (2010). *Measurement Systems Analysis Reference Manual*. 4th. Obtenido de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/measurement-system-analysis/supporting-topics/gage-r-r-analyses/is-my-measurement-system-acceptable/>
- Aldridge , J., Taylor, J., & Dale, B. (1991). *The Application of Failure Mode and Effects Analysis at an Automotive Components Manufacturer*. MCB UP Ltd.
- Alfaro C., M., & Ortiz A., E. (2006). *Proceso de Producción del aceite de Palma 2006*. Obtenido de <http://www.galeon.com/subproductospalma/proceso1.pdf>
- Alvarado T., M. O. (2010). *Evaluación del proceso de clarificado en la planta de beneficio Palmagro S.A*. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/3088/1/796070.2010.pdf>
- Arvelo, A. F. (2006). *Gráficas de Control*. Caracas. Obtenido de <http://www.arvelo.com.ve/pdf/graficas-de-control-arvelo.pdf>
- Beltrán Roldán , C. (2012). Influencia del procesamiento sobre la calidad final del aceite . *Revista Palmas, Vol.12. , 107*.
- Bonomie, M., & Reyes, M. (s.f.). Estrategia ambiental en el manejo de efluentes en la extracción de aceite de palma. *TELOS: Revista de estudios interdisciplinarios en ciencias sociales*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/html/993/99324907006/>
- C.S. Summers , D. (2006). *Administración de la calidad*.
- Corrado , F. (2012). La conformación de los racimos de la palma africana en las plantaciones de Colombia. *Revista Palmas. Revista Palmas*. Obtenido de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/73>
- DaimlerChrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation. (2008). *Análisis de Modos y Efectos de Fallas Potenciales (AMEFs)* (Cuarta ed.). AIAG.
- Delgado, F. (2018). *Palma de Aceite*. Obtenido de <http://palmaceite.webcindario.com/>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE. (14 de Febrero de 2019). *Glosario de Términos de Calidad Estadística*. Obtenido de DANE Información para todos:

- <https://www.dane.gov.co/index.php/terminos-de-uso/138-espanol/1994-glosario-de-terminos-de-calidad-estadistica>
- Escalante, E. (2007). *Seis - Sigma metodología y técnicas* . Mexico, D.F.: LIMUSA, S.A.
- Extractora Vizcaya S.A.S. (2018). *Plan estratégico Organizacional*.
- Garza , R., Gonzales , C., Rodríguez, E., & Caridad , M. (2016). Aplicación de la metodología DMAIC de Seis Sigma con simulación discreta y técnicas multicriterio. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 22, 19–35. Obtenido de <https://www.upo.es/revistas/index.php/RevMetCuant/article/view/2337>
- Guayazan, L. A. (2017). *Determinación de los niveles de dilución apropiados para el proceso de clarificación según las condiciones específicas de la planta extractora de aceites morichal*. Obtenido de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/14445/1/ValenciaGuayaz%C3%A1nLuzAmparo2017.pdf>
- Gutiérrez, H., & De la Vara, R. (2009). *Control estadístico de calidad y seis sigma* (Tercera ed.). México, D.F: Mc Graw Hill Education.
- Hamblin, F. K. (2012). Extracción de aceite de palma y nuevos criterios de procesamiento. Obtenido de [file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/310-Texto-310-1-10-20120719%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/310-Texto-310-1-10-20120719%20(1).pdf)
- Herrera A., R., & Fontalvo H., T. (2011). *Seis Sigma. Métodos estadísticos y sus Aplicaciones*. Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2006). *Glosario Básico de términos estadísticos*. Lima. Obtenido de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib0900/Libro.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2012). *Glosario de estadística Básica* . México D.F. Obtenido de https://portalsocial.guanajuato.gob.mx/sites/default/files/documentos/2014_INEGI_Glosario_estadistica_basica.pdf
- Libega. (2017). *Plan de Manejo Ambiental Palma y Trabajo S.A.S*. Obtenido de <http://portal.daabon.com.co/subportal/documents/P%26T%2C%20PMA%20Planta%20Extractora%20Palma%20%26%20Trabajo%202017.pdf>

- Manual AMEF Análisis de modo y efecto de fallas potenciales*. (2005). Obtenido de <https://www.gestiopolis.com/manual-amef-analisis-de-modo-y-efecto-de-fallas-potenciales/>
- Manual AMEF Análisis de modo y efecto de fallas potenciales*. (201).
- MAVDT. NA. & Fedepalma. (2011). *Guia ambiental de la agroindustria de la palma de aceite en colombia*. Bogota. Obtenido de <http://cultivopalma.tripod.com/guiambiental.pdf>
- McFadden, F. R. (1993). *Six-Sigma Quality Programs* . Colorado Springs: ASQ .
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2018). *Precio de Referencia para la liquidación de la cuota de fomento de la agroindustria de la palma de aceite para el primer semestre de 2019*. Obtenido de <http://web.fedepalma.org/precios-de-referencia-del-fondo-de-fomento-palmero>
- Minitab 18. (2019). *Soporte técnico Minitab 18*. Obtenido de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/>
- Montgomery, D. (2005). *Control Estadístico de Calidad*. Obtenido de https://www.casadellibro.com/libro-control-estadistico-de-la-calidad-3aa-ed/9789681862343/942387?wgu=8941_16644_15598292854498_2256d1eccf&wgexpiry=1567605285&ca=21394&utm_source=webgains&utm_medium=RedAfiliacion&utm_campaign=21394&utm_content=ND
- Montoya Pantoja, L. (2011). *Determinación del nivel optimo de madurez para criterios de cosecha mediante un estudio de lipogénesis en palma alto oleico*. Nariño.
- Morales, J. (2007). *Aplicación de la Metodología seis sigma, en la mejora del desempeño en el consumo de combustible de un vehículo en las condiciones de uso del mismo*. México D.F.: Universidad Iberoamericana. Obtenido de <http://www.bib.uia.mx/tesis/pdf/014873/014873.pdf>
- Mouthon, L. (2018). Colombia exporta 50% de producción de aceite de palma. *El Heraldo*. Obtenido de <https://www.elheraldo.co/economia/colombia-exporta-50-de-produccion-de-aceite-de-palma-446354>
- Neil , D. (2005). *The Complete Idiot's Guide to Lean Six Sigma*. Alpha Decay, S.A.
- Ocampo, J., & Pavón, A. (2012). *Integrando la metodologia DMAIC de Seis Sigma con la Simulación de Eventos Discretos en Flexsim*. Obtenido de <http://laccei.org/LACCEI2012-Panama/RefereedPapers/RP147.pdf>

- Palmeras de Puerto Wilches S.A. . (2019). *USAP - Unidad de Servicio y Atención al Proveedor*.
Obtenido de Criterios de Calidad de Fruto de Palma Africana:
<https://www.palmwil.com/criterios-de-calidad-de-fruto-de-palma-africana-usap/>
- Palmeras de Puerto Wilches S.A. (s.f.). *Aceite de crudo de palma (CPO)*. Obtenido de
<http://www.palmwil.com/aceite-crudo-de-palma/>
- Pande, P., & Holpp, L. (2002). *What is this Six Sigma?* McGraw Hill Professional.
- Ramírez , Á. (2005). *Control estadístico del proceso bajo la metodología seis sigma aplicado en el proceso de extracción aceite de palma - oleaginosas las brisas s.a*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Rodriguez, D. (s.f.). *AMEF Análisis de Modo y Efecto de Falla*. Obtenido de
<http://leansolutions.co/conceptos-lean/lean-manufacturing/amef-analisis-de-modo-y-efecto-de-falla/>
- Rodriguez, D. (s.f.). *AMEF Análisis de Modo y Efecto de Fallo*. Obtenido de
<http://www.icicm.com/files/CurAMEF.pdf>
- Ruiz, A., & Rojas, F. (2006). *Control estadístico de procesos*. Madrid: Universidad Pontificia de Comillas ICAI, ICADE. Obtenido de
<http://web.cortland.edu/matresearch/ControlProcesos.pdf>
- Smith, A. (1993). *Reliability-centered Maintenance*. McGraw-Hill.
- Stamatis, D. (1995). *Modo de falla y análisis de efectos : FMEA de la teoría a la ejecución* (Segunda ed.). Milwaukee: ASQ. Quality press.
- Tailliez, B., Siaka Coulibaly, M., Bonny, C., & Jacquemard, J. (2012). La maduración de los racimos de palma y los criterios de cosecha en Palmindustrrie . *Revista Palmas*.
- Tauber, L. (2001). *La construcción del significado de la distribución normal a partir de actividades de análisis de datos*. Sevilla. Obtenido de
<https://www.ugr.es/~batanero/pages/ARTICULOS/Tesisliliana.pdf>
- UPAEP. (2012). *Curso de entrenamiento Seis Sigma: Green Belt*. Puebla.
- Vargas, C. (2000). *Descripción del sistema de tratamientos de efluentes en el proceso de extracción de palma aceitera*. Obtenido de www.magraficaeditora.com/carlosvargas.htm.
- Velayuthan, A. (2012). *Procesamiento y control del aceite de palma*. Obtenido de
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/download/142/142>

Yañez, L. R. (2002). *Modelo para el desarrollo de la fase de reconocimiento previo al DMAIC de Seis Sigma*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11285/567642>