

UNIVERSIDAD NACIONAL INTERCULTURAL DE LA AMAZONIA

FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS AMBIENTALES

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



Influencia del estado de la madurez y condiciones de esterilización de los frutos, en el rendimiento y calidad de aceite crudo de palma africana (*Elaeis guineensis*) de la Planta Extractora Oleaginosas Amazónicas S.A. – Ucayali 2018.

Tesis para optar el título de
INGENIERO AGROINDUSTRIAL

ORISON EDUARDO GUIMARAES ROJAS

ASESOR:

Ing. Caleb Leandro Laguna

YARINACocha - UCAYALI

PERÚ - 2019

DEDICATORIA

Dedico en primer lugar a DIOS, a mis padres quienes me dieron vida, educación, apoyo y consejos. A mis compañeros de estudio, a mis maestros y amigos, quienes sin su ayuda nunca hubiera podido hacer esta tesis. A todos ellos se los agradezco desde el fondo de mi alma. Para todos ellos hago esta dedicatoria.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar deseo expresar mi agradecimiento a mi asesor de tesis al Ing Caleb Leandro Laguna, por la dedicación y apoyo que ha brindado a este trabajo, por el respeto a mis sugerencias e ideas y por la dirección y el rigor que ha facilitado a las mismas. Gracias por la confianza ofrecida desde que llegué a esta facultad.

Así mismo, agradezco a mis compañeros por su apoyo personal y humano, especialmente a Daniel, Sussi, Katyuska, Carmen, Eduardo Pinto, Anita, con quien he compartido proyectos e ilusiones durante estos años de estudios. Un trabajo de investigación es siempre fruto de ideas, proyectos y esfuerzos previos que corresponden al apoyo vital que nos ofrecen las personas que nos estiman, sin el cual no tendríamos la fuerza y energía que nos anima a crecer como personas y como profesionales.

Gracias a mi familia, a mis padres Mateo y Teolinda, a mi hermana Mery, a mis sobrinos que son como mis hijos Lia y Valentino, porque con ellos comparto mi vida y hacen de mi día a día feliz, el cual guardo en el recuerdo y es un aliento para seguir escribiendo sobre la vida. Sobre todo por su paciencia, comprensión y solidaridad con este proyecto, por el tiempo que me han concedido, un tiempo robado a la historia familiar. Sin su apoyo este trabajo nunca se habría escrito y, por eso, este trabajo es también el suyo.

Gracias a Sixto Eduardo compañero y hermano de vida por el apoyo moral, por el énfasis y entusiasmo de hacerme ver la vida, por ser parte de esta realidad.

Gracias a mis amigos, que siempre me han prestado un gran apoyo moral y humano, necesarios en los momentos difíciles de este trabajo y esta profesión.

A todos, muchas gracias.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	14
II.	REVISION DE LITERATURA	16
2.1.	Antecedentes de la Investigación	16
2.2.	Bases teóricas	19
2.2.1.	Palma Africana (<i>Elaeis guineensis</i>)	19
a.	Generalidades	19
b.	Descripción botánica	19
c.	Taxonomía del fruto	20
d.	Índice de madurez	21
e.	Rendimiento del racimo de fruta de palma africana	21
f.	Situación actual de la palma en Perú	23
g.	Producción y mercado	23
h.	Proceso de extracción de aceite de Palma	24
i.	Método de extracción Soxhlet	29
j.	Solvente industrial: Hexano	30
2.3.	Definiciones de términos básicos	31
III.	METODOS	33
3.1.	Ubicación y descripción del área de estudio	33
3.1.1.	Ubicación	33
3.1.2.	Descripción del área de estudio	33
3.2.	Identificación y descripción del material experimental	33
3.2.1.	Identificación del material experimental	33
3.2.2.	Descripción del material experimental	33
3.3.	Variables	34
3.3.1.	Variables Independientes	34
3.3.2.	Variables dependientes	34
3.4.	Población y muestra	34
3.4.1.	Población	34
3.4.2.	Muestra	34
3.5.	Tratamientos	35
3.6.	Recolección de datos	36
3.6.1.	Fuentes de información	36
3.6.2.	Unidad experimental y unidad de medición	36
3.6.3.	Tipo de muestreo	36
3.7.	Técnicas para la recolección de datos	36
3.7.1.	Clasificación de racimos de fruto fresco según estado de madurez	37
3.7.2.	Determinación de las características sensoriales y fisicoquímica del racimo de fruto fresco antes del esterilizado	38
3.7.3.	Esterilización de los racimos de fruto fresco a diferentes condiciones	39
3.7.4.	Rendimiento de extracción mediante el método soxhlet	40
3.7.5.	Características fisicoquímicas del aceite extraído	43
3.8.	Procesamiento de datos	44
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
4.1	Clasificación de racimo de fruta fresca según estado de madures antes de esterilizado	45

4.2	Determinación de características sensoriales y fisicoquímicas del fruto fresco según estado de madures antes del esterilizado	45
4.2.1	Determinación de Características sensoriales del fruto fresco según estado de madurez	45
4.2.2.	Determinación de características fisicoquímica del aceite de los frutos según estado de madurez	46
4.3	Proceso de esterilización de los frutos	48
4.3.1	Características sensoriales del fruto después de esterilizar	48
4.4	Rendimiento de extracción de aceite mediante el método Soxhlet.	49
4.5	Características fisicoquímicas del aceite extraído	52
V.	CONCLUSIONES	61
5.1.	Características sensoriales y fisicoquímicas del fruto fresco según estado de madurez	61
5.2.	Proceso de esterilización de los frutos	61
5.3.	Rendimiento de extracción de aceite mediante el método Soxhlet	61
5.4.	Características fisicoquímicas del aceite extraído	62
VI.	RECOMENDACIONES	63
VII.	BIBLIOGRAFIA	64
VIII.	ANEXOS	67

ÍNDICE CUADROS

CUADRO 01	Tratamientos considerados en la investigación	35
CUADRO 02	Instrumentos de recolección de datos en tres etapas del proyecto de investigación	36
CUADRO 03	Equipos y materiales utilizados en cada proceso	37
CUADRO 04	Clasificación de racimos de fruta fresca según estado de madurez	45
CUADRO 05	Características sensorial de los frutos frescos de palma antes de esterilizado	45
CUADRO 06	Comparación múltiple de medias de Tukey para el contenido de Ácidos Grasos Libres (Acidez) de los frutos por estado de madurez.	47
CUADRO 07	Características sensoriales de los frutos de palma después del proceso de esterilización.	48
CUADRO 08	Análisis de varianza para evaluar el efecto de los factores en la cantidad de aceite en racimo.	49
CUADRO 09	Comparación múltiple de Tukey de la cantidad de aceite en racimo, por madurez.	49
CUADRO 10	Comparación múltiple de Tukey de la cantidad de aceite en racimo, por pico de esterilización.	51
CUADRO 11	Análisis de varianza para evaluar el efecto del proceso de esterilización en el el contenido de Ácidos Grasos Libres (Acidez) de los frutos verdes.	52
CUADRO 12	Comparación múltiple de Tukey para el contenido de Ácidos Grasos Libres (Acidez) de los frutos verdes, según proceso de esterilización.	52
CUADRO 13	Análisis de varianza para evaluar el efecto del proceso de esterilización en la acidez de los frutos maduros.	54
CUADRO 14	Comparación múltiple de Tukey para la acidez de los frutos maduros, según proceso de esterilización.	54
CUADRO 15	Análisis de varianza para evaluar el efecto del proceso de esterilización en la acidez de los frutos sobremaduros	55
CUADRO 16	Comparación múltiple de Tukey para la acidez de los frutos sobremaduros, según proceso de esterilización	55
CUADRO 17	Análisis de varianza para evaluar el efecto de los factores en el índice de blanqueamiento (DOBI) del aceite.	57
CUADRO 18	Calificación del parámetro Dobi	60
CUADRO 19	Resultado del análisis sensorial de los frutos frescos de palma, por panelista	71
CUADRO 20	Resultado de la evaluación de la acidez para los frutos frescos, por estado de madurez.	72
CUADRO 21	Resultado de la evaluación del contenido de Ácidos Grasos Libres (Acidez) para los frutos esterilizados, por tratamiento y repetición.	72
CUADRO 22	Resultado de la evaluación del DOBI para los frutos frescos, por estado de madurez.	73
CUADRO 23	Resultado de la evaluación del DOBI para el aceite de los frutos de palma esterilizados, por tratamiento y repetición	73
CUADRO 24	Datos utilizados para determinar el potencial de aceite en racimo de palma, primera repetición.	74
CUADRO 25	Datos utilizados para determinar el potencial de aceite en racimo de palma, segunda repetición.	75
CUADRO 26	Datos utilizados para determinar el potencial de aceite en racimo de palma, tercera repetición.	76
CUADRO 27	Resultados del potencial de aceite en racimo de palma, primera repetición	77
CUADRO 28	Resultados del potencial de aceite en racimo de palma, segunda repetición	77
CUADRO 29	Resultados del potencial de aceite en racimo de palma, tercera repetición	78

CUADRO 30	Resumen estadístico para el contenido de Ácidos Grasos Libres (Acidez) de los frutos verdes, antes y después del proceso de esterilización	81
CUADRO 31	Tabla de medias con intervalos de confianza para el contenido de Ácidos Grasos Libres (Acidez) de los frutos verdes, antes y después del proceso de esterilización.	82
CUADRO 32	Prueba de verificación de varianza para los resultados del contenido de Ácidos Grasos Libres (Acidez) de frutos verdes.	82
CUADRO 33	Resumen estadístico para el contenido de Ácidos Grasos Libres (Acidez) de los frutos maduros, antes y después del proceso de esterilización	83
CUADRO 34	Tabla de medias con intervalos de confianza para el contenido de Ácidos Grasos Libres (Acidez) de los frutos maduros, antes y después del proceso de esterilización.	84
CUADRO 35	Prueba de verificación de varianza para los resultados del contenido de Ácidos Grasos Libres (Acidez) de frutos maduros	84
CUADRO 36	Resumen estadístico para el contenido de Ácidos Grasos Libres (Acidez) de los frutos de sobre maduros, antes y después del proceso de esterilización.	85
CUADRO 37	Tabla de medias con intervalos de confianza para el contenido de Ácidos Grasos Libres (Acidez) de los frutos sobre maduros, antes y después del proceso de esterilización.	85
CUADRO 38	Tabla de medias para el contenido de Ácidos Grasos Libres (Acidez), por madurez y pico de esterilización.	87
CUADRO 39	Tabla de medias para la densidad del aceite, por madurez y pico de esterilización.	89
CUADRO 40	Tabla de medias para el índice de blanqueamiento (DOBI) del aceite crudo, por madurez y pico de esterilización	91
CUADRO 41	Promedios para el contenido de Ácidos Grasos Libres (Acidez) del aceite crudo, por tratamiento	93
CUADRO 42	Tabla de medias para el contenido de Ácidos Grasos Libres (Acidez) del aceite crudo, por tratamiento.	94
CUADRO 43	Tabla de medias para el DOBI del aceite crudo, por tratamiento	95
CUADRO 44	ANVA para evaluar el efecto de los factores en el contenido de aceite de mesocarpio seco.	96
CUADRO 45	Comparación múltiple de Tukey para el aceite de mesocarpio seco, por madurez	96
CUADRO 46	Comparaciones múltiples para aceite mesocarpio seco, por pico de esterilización	96
CUADRO 47	Tabla de medias para el aceite de mesocarpio seco, por madurez y pico de esterilización	97
CUADRO 48	ANVA para evaluar el efecto de los tratamientos en el contenido de aceite de mesocarpio seco.	101
CUADRO 49	Tabla de medias para el aceite de mesocarpio seco, por tratamiento	101
CUADRO 50	Comparación múltiple de Tukey para el aceite de mesocarpio seco, por madurez.	102
CUADRO 51	ANVA para evaluar el efecto de los factores en aceite de mesocarpio fresco	103
CUADRO 52	Comparación múltiple de Tukey para el aceite de mesocarpio fresco, por madurez.	103
CUADRO 53	Comparaciones múltiples para aceite mesocarpio fresco, por pico de esterilización.	103
CUADRO 54	Tabla de medias para el aceite de mesocarpio fresco, por madurez y pico de esterilización	104
CUADRO 55	ANVA para evaluar el efecto de los tratamientos en el contenido de aceite de mesocarpio fresco.	108
CUADRO 56	Tabla de medias para el aceite de mesocarpio fresco, por tratamiento.	108

CUADRO 57	Comparación múltiple de Tukey para el aceite de mesocarpio seco, por madurez.	109
CUADRO 58	ANVA para humedad de mesocarpio.	110
CUADRO 59	Comparación múltiple de Tukey para humedad de mesocarpio, por madurez	110
CUADRO 60	Comparaciones múltiples para humedad de mesocarpio, por pico de esterilización.	110
CUADRO 61	Tabla de medias para humedad de mesocarpio, por madurez y pico de esterilización	111
CUADRO 62	ANVA para evaluar el efecto de los tratamientos en el contenido de aceite de mesocarpio fresco.	115
CUADRO 63	Tabla de medias para la humedad de mesocarpio, por tratamiento	115
CUADRO 64	Comparación múltiple de Tukey para el aceite de mesocarpio seco, por madurez.	116
CUADRO 65	ANVA para evaluar el efecto de los factores en la cantidad de aceite en racimo	117
CUADRO 66	Comparación múltiple de Tukey para cantidad de aceite en racimo, por madurez.	117
CUADRO 67	Comparaciones múltiples para cantidad de aceite en racimo, por pico de esterilización	117
CUADRO 68	Tabla de medias para cantidad de aceite en racimo, por madurez y pico de esterilización.	118
CUADRO 69	ANVA para evaluar el efecto de los tratamientos en el contenido de aceite en racimo	122
CUADRO 70	Tabla de medias para el contenido de aceite en racimo, por tratamiento	122
CUADRO 71	Comparación múltiple de Tukey para el contenido de aceite en racimo, por tratamiento.	123
CUADRO 72	ANVA para evaluar el efecto de los factores en la másica de frutos en racimo	124
CUADRO 73	Comparación múltiple de Tukey para la másica de frutos en racimo, por madurez	124
CUADRO 74	Comparaciones múltiples para la másica de frutos en racimo, por pico de esterilización	124
CUADRO 75	Tabla de medias para la másica de frutos en racimo, por madurez y pico de esterilización	125
CUADRO 76	Resultado de la evaluación fisicoquímica (densidad) del aceite de palma, por tratamiento y repetición	128

ÍNDICE FIGURAS

FIGURA 01	Diagrama de flujo de extracción de aceite crudo de palma	24
FIGURA 02	Diagrama de flujo obtención de aceite crudo de palma africana (<i>Elaeis guineensis</i>) por método de extracción Soxhlet	40
FIGURA 03	Variación del contenido de Ácidos Grasos Libres (Acidez) de los frutos frescos de palma según madurez	47
FIGURA 04	Interacción de Madurez – Pico de esterilización por contenido de aceite por racimo aplicado a los frutos de palma, para el contenido de aceite.	50
FIGURA 05	Interacción de los factores Madurez – Pico de esterilización por estado de madurez de los frutos de palma, para el contenido de aceite	51
FIGURA 06	Variación del contenido de Ácidos Grasos Libres (Acidez) para los frutos verdes según picos de esterilización	53
FIGURA 07	Variación de la acidez para los frutos maduros según picos de esterilización	54
FIGURA 08	Variación de la acidez para los frutos sobre maduros según picos de esterilización.	56
FIGURA 09	Variación del DOBI por madurez del fruto y picos de esterilización.	58
FIGURA 10	Variación del DOBI durante el proceso de extracción de aceite considerando los picos de esterilización.	59
FIGURA 11	Formato listo para la aplicación de la prueba de Análisis Sensorial	68
FIGURA 12	Análisis Sensorial realizado por el panelista 1	69
FIGURA 13	Análisis Sensorial realizado por el panelista 2	70
FIGURA 14	Comportamiento de la acidez de los frutos verdes según el tipo de esterilización.	78
FIGURA 15	Gráfico de caja y bigotes para la acidez de los frutos verdes según el tipo de esterilización.	79
FIGURA 16	Gráfico de residuos para la acidez de los frutos verdes según el tipo de esterilización.	79
FIGURA 17	Comportamiento de la acidez de los frutos maduros según el tipo de esterilización	80
FIGURA 18	Gráfico de caja y bigotes para la acidez de los frutos maduros según el tipo de esterilización.	80
FIGURA 19	Gráfico de residuos para la acidez de los frutos maduros según el tipo de esterilización	81
FIGURA 20	Gráfico de caja y bigotes para la acidez de los frutos verdes según el tipo de esterilización	82
FIGURA 21	Gráfico de residuos para la acidez de los frutos verdes según el tipo de esterilización	83
FIGURA 22	Gráfico de caja y bigotes para la acidez de los frutos maduros según el tipo de esterilización.	84
FIGURA 23	Gráfico de residuos para la acidez de los frutos maduros según el tipo de esterilización	85
FIGURA 24	Gráfico de caja y bigotes para la acidez de los frutos sobre maduros según el tipo de esterilización.	86
FIGURA 25	Gráfico de residuos para la acidez de los frutos sobre maduros según el tipo de esterilización	86
FIGURA 26	Gráfico de probabilidad normal para la acidez, por madurez y pico de esterilización.	88
FIGURA 27	Gráfico de residuos para la acidez, por madurez y pico de esterilización.	88
FIGURA 28	Gráfico de probabilidad normal para la densidad del aceite, por madurez y pico de esterilización	90
FIGURA 29	Gráfico de residuos para la densidad del aceite, por madurez y pico de esterilización	90
FIGURA 30	Gráfico de probabilidad normal para el DOBI del aceite crudo, por madurez y pico de esterilización	92

FIGURA 31	Gráfico de residuos para el DOBI del aceite crudo, por madurez y pico de esterilización	92
FIGURA 32	Gráfico de residuos para la acidez del aceite crudo, por tratamiento.	93
FIGURA 33	Gráfico de residuos para la densidad del aceite crudo, por tratamiento	94
FIGURA 34	Gráfico de residuos para el DOBI del aceite crudo, por tratamiento.	95
FIGURA 35	Gráfico de medias para el aceite crudo de mesocarpio seco, según madurez	98
FIGURA 36	Gráfico de medias para el aceite crudo de mesocarpio seco, según pico de esterilización	98
FIGURA 37	Gráfico de interacción para el aceite crudo de mesocarpio seco, por pico de esterilización según madurez.	99
FIGURA 38	Gráfico de interacción para el aceite crudo de mesocarpio seco, por madurez según pico de esterilización	99
FIGURA 39	Gráfico de probabilidad normal para el aceite crudo de mesocarpio seco, por madurez y pico de esterilización	100
FIGURA 40	Gráfico de residuos para el aceite crudo de mesocarpio seco, por madurez y pico de esterilización.	100
FIGURA 41	Gráfico de residuos para el aceite de mesocarpio seco, por tratamiento	102
FIGURA 42	Gráfico de medias para el aceite de mesocarpio fresco, según madurez.	105
FIGURA 43	Gráfico de medias para el aceite de mesocarpio fresco, según pico de esterilización.	105
FIGURA 44	Gráfico de interacción para el aceite crudo de mesocarpio seco, por madurez según pico de esterilización.	106
FIGURA 45	Gráfico de interacción para el aceite crudo de mesocarpio fresco, por pico de esterilización según madurez.	106
FIGURA 46	Gráfico de probabilidad normal para el aceite crudo de mesocarpio fresco, por madurez y pico de esterilización	107
FIGURA 47	Gráfico de residuos para el aceite crudo de mesocarpio fresco, por madurez y pico de esterilización	107
FIGURA 48	Gráfico de residuos para el aceite de mesocarpio fresco, por tratamiento.	109
FIGURA 49	Gráfico de medias para la humedad de mesocarpio, según madurez.	112
FIGURA 50	Gráfico de medias para la humedad de mesocarpio, según pico de esterilización	112
FIGURA 51	Gráfico de interacción para la humedad de mesocarpio, por madurez según pico de esterilización.	113
FIGURA 52	Gráfico de interacción para la humedad de mesocarpio, por pico de esterilización según madurez	113
FIGURA 53	Gráfico de probabilidad normal para la humedad de mesocarpio, por madurez y pico de esterilización.	114
FIGURA 54	Gráfico de residuos para la humedad de mesocarpio, por madurez y pico de esterilización.	114
FIGURA 55	Gráfico de residuos para la humedad de mesocarpio, por tratamiento.	116
FIGURA 56	Gráfico de medias para cantidad de aceite en racimo, según madurez.	119
FIGURA 57	Gráfico de medias para cantidad de aceite en racimo, según pico de esterilización	119
FIGURA 58	Gráfico de interacción para cantidad de aceite en racimo, por pico de esterilización según madurez.	120
FIGURA 59	Gráfico de interacción para cantidad de aceite en racimo, por madurez según pico de esterilización	120
FIGURA 60	Gráfico de probabilidad normal para cantidad de aceite en racimo, por madurez y pico de esterilización.	121
FIGURA 61	Gráfico de residuos para cantidad de aceite en racimo, por madurez y pico de esterilización.	121
FIGURA 62	Gráfico de residuos para el contenido de aceite en racimo, por tratamiento.	123
FIGURA 63	Gráfico de medias para la másica de frutos en racimo, según madurez.	126

FIGURA 64	Gráfico de medias para la másica de frutos en racimo, según pico de esterilización.	126
FIGURA 65	Gráfico de interacción para la másica de frutos en racimo, por pico de esterilización según madurez.	127
FIGURA 66	Gráfico de interacción para la másica de frutos en racimo, por madurez según pico de esterilización.	127
FIGURA 67	Selección de los frutos por estados de madurez. A. Verde, B. Maduro, C. Sobremaduro.	128
FIGURA 68	Proceso de esterilizado de los frutos.	128
FIGURA 69	Frutos después del proceso de esterilizado.	128
FIGURA 70	Control de peso de racimos después del esterilizado.	129
FIGURA 71	Análisis de potencial de aceite.	129
FIGURA 72	Proceso de extracción para evaluar el potencial de aceite.	129
FIGURA 73	Muestra de frutos verdes para para análisis sensorial y fisicoquímico antes del esterilizado	130
FIGURA 74	Muestra de frutos maduros para para análisis sensorial y fisicoquímico antes del esterilizado	130
FIGURA 75	Muestra de frutos sobremaduros para para análisis sensorial y fisicoquímico antes del esterilizado.	130
FIGURA 76	Muestra de frutos verdes para para análisis sensorial y fisicoquímico después del esterilizado.	131
FIGURA 77	Muestra de frutos maduros para para análisis sensorial y fisicoquímico después del esterilizado.	131
FIGURA 78	Muestra de frutos sobremaduros para para análisis sensorial y fisicoquímico después del esterilizado.	131
FIGURA 79	Extracción de aceite de los frutos de palma aceitera	132
FIGURA 80	Análisis acidez y del DOBI de las muestras de aceite	132
FIGURA 81	Análisis de densidad de las muestras de aceite	132

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo determinar la influencia del estado de madurez y condiciones de esterilizado en el rendimiento de extracción de aceite crudo de palma africana (*Elaeis guineensis*). Se aplicó un Diseño en Bloque Completo al azar con arreglo factorial 3x2 con seis repeticiones-bloque. Los resultados demostraron que la acidez de los frutos es menor cuando el fruto está maduro; mientras que la acidez de los frutos verdes y sobremaduros es mayor. También las características sensoriales del fruto maduro son mejores comparando con las características sensoriales de los frutos verdes y sobremaduros. Las características sensoriales del fruto maduro luego de someter a los frutos al proceso de esterilización (Pico de esterilización) son mejores comparando con las características sensoriales de los frutos verdes y sobremaduros. Hay predominio de la coloración naranja, del sabor a grasa y textura húmeda, características que permitirán obtener un aceite crudo de palma de buena calidad. La acidez de los frutos disminuye con el proceso de esterilización (Pico de esterilización) para los frutos con distinto estado de madurez. La disminución en el porcentaje podría deberse a que la hidratación es mayor en los frutos maduros. La madurez y el proceso de esterilización (Pico de esterilización) son factores que afectan el rendimiento en aceite; los frutos maduros son los que presentan mayor contenido de aceite; mientras que los frutos verdes presentaron menor contenido de aceite, esto porque los frutos no llegaron a su madurez completa. Durante el proceso de esterilización el tratamiento que permitió mejor rendimiento de aceite se obtuvo cuando el pico de esterilización fue 30/10/45 psi – 80 min., porque se debió a que se logra mayor ablandamiento de los frutos que mejoran la extracción. Según los resultados tanto el factor madurez del fruto y el proceso de esterilización (Pico de esterilización) no presentan diferencia. Para todos los tratamientos en estudio el índice de blanqueamiento disminuye. Sin embargo, durante las etapas posteriores de la extracción el índice de blanqueamiento mejora, considerando el criterio que a menor madurez de los frutos la esterilización debe tener mayor tiempo (10/30/45 psi – 80 min); mientras que a mayor madurez menor tiempo de esterilización (10/30/40 psi – 60 min).

Palabras clave: Aceite de palma, índice de madurez, acidez, pico de esterilización, índice de blanqueamiento.

ABSTRACT

The research aimed to determine the influence of the state of maturity and sterilization conditions on the extraction performance of crude oil from African palm (*Elaeis guineensis*). A randomized Full Block Design with 3x2 factorial arrangement with six block repetitions was applied. The results showed that the acidity of the fruits is lower when the fruit is ripe; while the acidity of green and overripe fruits is greater. Also the sensory characteristics of the ripe fruit are better compared to the sensory characteristics of the green and overripe fruits. The sensory characteristics of the ripe fruit after subjecting the fruits to the sterilization process (Sterilization Peak) are better compared to the sensory characteristics of the green and overripe fruits. There is a predominance of orange coloration, fatty flavor and wet texture, characteristics that will allow obtaining a good quality crude palm oil. The acidity of the fruits decreases with the sterilization process (Sterilization peak) for fruits with different stages of maturity. The decrease in the percentage could be due to the fact that hydration is greater in ripe fruits. Maturity and the sterilization process (Sterilization peak) are factors that affect oil yield; Ripe fruits are those with the highest oil content; while the green fruits presented lower oil content, this because the fruits did not reach full maturity. During the sterilization process the treatment that allowed better oil yield was obtained when the sterilization peak was 10/30/45 psi - 80 min., Because it is due to the fact that greater softening of the fruits that improve the extraction is achieved. According to the results, both the fruit maturity factor and the sterilization process (Sterilization Peak) do not present a difference. For all the treatments under study the whitening index decreases. However, during the later stages of the extraction, the bleaching index improves, considering the criterion that, at a lower fruit maturity, sterilization should have more time (10/30/45 psi - 80 min); while at greater maturity less sterilization time (10/30/40 psi - 60 min).

Keywords: Palm oil, maturity index, acidity, sterilization peak, whitening index.

I. INTRODUCCIÓN

La palma aceitera o palma africana (*Elaeis guineensis*) se ha desarrollado como uno de los principales factores en el sector industrial y en el sector económico no solo de nuestra región, dado que en la actualidad hay 60 mil hectáreas de palma aceitera instaladas en San Martín, Loreto y Huánuco según la OXFAM (2016). Lo cual ha generado que se invierta en el desarrollo de diversas plantas de extracción de aceite crudo de palma; es por ello, que se tiene como principal mercado la exportación del aceite industrializado; sin embargo, se ha logrado identificar que el principal problema es el rendimiento y la calidad del aceite extraído de los frutos de palma aceitera teniendo como consecuencia grandes pérdidas económicas.

La empresa Oleaginosas Amazónicas S.A. - OLAMSA, cuenta con dos plantas extractoras ubicadas en las Carretera Federico Basadre km 36.800 y km 59.800 del distrito de campo verde, provincia de coronel portillo del departamento de Ucayali, de las cuales el proceso de producción consiste en la extracción mecánica de aceite crudo de palma y palmiste. Actualmente la empresa tiene una capacidad instalada de 24 ton/hora en prensas, pero afronta un problema, la empresa inicialmente fue concebida para procesar 6 toneladas/hora, sin embargo se vio en la necesidad de ampliar su capacidad. Esto trajo como consecuencia un crecimiento inapropiado dentro de las instalaciones, los cuales han generado un desaprovechamiento del 30% de la capacidad instalada en comparación con la capacidad utilizada. En gran medida por problemas de cuello de botella en la sección de esterilización que con llevan a pérdidas por inestabilidad de tiempo y presión, problemas de rendimiento de extracción de aceite crudo, baja calidad de aceite crudo por el estado de madurez del fruto. Este tipo problemas se ven más reflejados en el tercer semestre del año, en los meses de septiembre, octubre, noviembre, diciembre y enero donde existe una sobreproducción de fruto, ya que son épocas de picos altos.

Los palmicultores que son proveedores de la empresa Oleaginosas Amazónicas S.A. no toman en cuenta la clasificación de los frutos por estado de madurez al momento de cosechar el racimo de palma, por lo que se define como el primer problema en el rendimiento y calidad en la extracción del aceite llegando a identificarse en la primera etapa del proceso de extracción (esterilizado). Ya que no se tiene en cuenta las condiciones de esterilización (picos de esterilización) según la madurez de los frutos, arrojando como consecuencia el bajo rendimiento de extracción; sumado a ello el aceite crudo extraído es de baja calidad. Todo ello ocurre por desconocimiento de la influencia del estado de madurez de los frutos y las condiciones de esterilización, en el rendimiento y calidad de aceite crudo de palma africana (*Elaeis guineensis*), lo que motivó a la propuesta de investigación: ¿Influirá el estado de

madurez y las condiciones de esterilización de los frutos, en el rendimiento y calidad de aceite crudo de palma africana (*Elaeis guineensis*)?

En la planta extractora de aceite, se busca evitar pérdidas de rendimiento y calidad de aceite crudo extraído por diversos factores, como las condiciones de esterilización, condiciones fisicoquímicas de fruto y capacidad de extracción. Luego, los resultados de la investigación permitieron mejorar la extracción, beneficiando a los palmicultores y socios de esta planta. La investigación tuvo como objetivo principal determinar la influencia del estado de madurez y condiciones de esterilizado en el rendimiento de extracción de aceite crudo de palma africana (*Elaeis guineensis*), y objetivos específicos como clasificar según el estado de madurez y determinar las características sensoriales (color, olor, sabor; textura) y fisicoquímicas (% ácidos grasos libres) del fruto de palma africana (*Elaeis guineensis*); esterilizar los frutos de palma africana (*Elaeis guineensis*) a diferentes condiciones de esterilización (picos de esterilización) según el estado de madurez; determinar las características sensoriales (color, olor, sabor; textura) de los frutos de palma africana (*Elaeis guineensis*) esterilizados según el estado de madurez; determinar el rendimiento de extracción de aceite mediante el método Soxhlet, por condiciones de esterilización (picos de esterilización) y según el estado de madurez; determinar las características fisicoquímicas (% ácidos grasos libres, Determinación del deterioro del índice de blanqueamiento - DOBI) del aceite extraído por condiciones de esterilización (picos de esterilización) y según el estado de madurez, considerando la evaluación del factor tiempo-presión, de la misma manera tener en consideraciones la evaluación de las características sensoriales y fisicoquímicas del aceite crudo extraído, con ello se podrá tener una alternativa para resolver los problemas de rendimiento y calidad del aceite.

El resultado de la investigación permitió desarrollar nuevas condiciones de extracción y es referencia de nuevas investigaciones para mejorar el rendimiento y calidad del aceite extraído, permitiendo utilizar los equipos instalados y la capacidad de producción de la planta, reduciendo con esto las pérdidas de tiempo de operación y mejora de la calidad de aceite crudo las cuales representan pérdidas económicas.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de la Investigación

Ariffin (2016) en su investigación: “Esterilización a alta presión de racimos de fruta fresca de palma de aceite, cero frutos adheridos en tusas y máximo 5% de aceite en fibra de prensa”, menciona que las reacciones químicas en racimo fruta ocurren únicamente en el esterilizador o durante la esterilización. La eficiencia en la esterilización determina virtualmente los valores la tasa de extracción de aceite (TEA). Donde la hidrólisis completa de las hemicelulosas (polímeros de carbohidrato), que unen las células circundantes y la fruta al tallo, depende mucho de la presencia continua de agua. La presión más alta aumenta la hidrólisis. La eficiencia hidrolítica depende de: La presión, el equilibrio del agua y el período de reacción. La baja incidencia de la separación de la fruta y el bajo desfrutado se debe a una hidrólisis incompleta. La penetración incompleta del calor en las frutas dentro del racimo impediría la actividad hidrolítica efectiva. La hidrólisis ineficiente lleva al mayor contenido de azúcares con cadena larga, lo que hace que el aceite se vuelva más viscoso.

Coapalmaecara (2014) en el trabajo publicado: “Procesamientos de palma africana”, menciona que el proceso de esterilización, es donde se cuece a una presión de 45 psig y entre 60 – 70 minutos. Con el proceso de esterilización de la fruta se busca: Inactivar las enzimas que causan el desdoblamiento del aceite. Ablandar el pedúnculo de unión de los frutos con su soporte natural. Debilitar los tejidos de la pulpa. Calentar y deshidratar parcialmente las almendras contenidas dentro de las nueces. Coagular las proteínas e hidrolizar la materia mucilaginosa, contenida en la pulpa del fruto. Se procede con el proceso de desfrutamiento que consiste en la separación de los racimos esterilizados en frutos sueltos y raquis vacíos. Se utiliza el desfrutador llamado tambor rotatorio, de gran diámetro y longitud extendida, esta última con el fin de favorecer la recuperación de los frutos interiores que aparecen en los racimos como consecuencia de la infusión de insectos polinizadores en las plantaciones.

Lowe (2013) en la publicación: “Esterilización a alta presión de racimos de fruta fresca de palma de aceite”, afirma que el proceso de hidrólisis para garantizar que cada fruta en el racimo se desprenda es largo. A una presión de esterilización baja, <40 psi, la esterilización demora entre 1,5 y 2 horas. El período para el desprendimiento completo de la fruta en una carga de esterilización se reduce a mayor temperatura/presión de esterilización. El grado de desprendimiento en las frutas puede diferir aunque se utilice el mismo periodo de tiempo de esterilización. La excesiva evaporación de agua en las frutas debido a demasiados picos de vapor afectará el proceso de hidrólisis

Martínez (2009) en el proyecto de investigación: “Evaluación de alternativas para incrementar la eficiencia en la etapa de esterilización y desfrutado en el beneficio de la fruta de palma de aceite”, menciona que la esterilización influye en el ablandamiento de la unión entre las frutas y el racimo para facilitar su separación en el desgranado. Si bien el calor seco no afloja las frutas, el calor húmedo del vapor de la esterilización es muy efectivo en estos casos, pues penetra hasta la unión del fruto con el tallo y produce hidrólisis en estos lugares debilitando las fuerzas mecánicas que adhieren las frutas. Al respecto es necesario tener en cuenta que entre más grande sea el racimo, mayor debe ser el tiempo de permanencia en el esterilizador, debido a que la acción del vapor para este ablandamiento será más demorada; la cual tendrá la preparación del pericarpio y destrucción de las paredes de las celdas cargadas de aceite preparando el fruto para el proceso de digestión. Durante la esterilización el calor penetra en el pericarpio y si la temperatura es suficientemente elevada, produce cambios físico-químicos que ayudaran en el proceso de desfrutado y prensado.

Díaz *et al.* (2007), Publicó en su investigación “Evaluación a escala piloto de ciclos de esterilización con racimos de fruto palma”, que la prevención del aumento de los ácidos grasos libres por la actividad de la lipasa con la acción de la temperatura a la cual se lleva a cabo la esterilización, se inactiva la enzima lipolítica responsable de la descomposición del aceite y separación del ácido graso libre y la glicerina en las frutas frescas. Esto es, si cosechamos frutas con la maduración óptima, las recolectamos manualmente sin golpearlas, las transportamos sin maltrato y procedemos a cocinarlas a temperatura de 55° a 65°C, neutralizaríamos el proceso de acidificación y obtendríamos una acidez menor del 1% (teóricamente podríamos llegar incluso al 0%).

Díaz *et al.*, 2007, afirma que la esterilización es la primera etapa del proceso de beneficio de fruta de palma que se realiza por lotes. Tradicionalmente, el proceso se opera mediante ciclos, variaciones de presión de vapor, hasta 45 psig, con expansiones intermedias durante 90 min. Los ciclos de esterilización aplicados en las plantas de beneficio generan inconvenientes en la continuidad del proceso que reducen la capacidad de procesamiento y elevan los costos. Este proceso requiere grandes cantidades de energía expresadas en consumo de vapor (250 kg vapor/t Racimo de Fruta Fresca) debido a la conformación del racimo para penetrar y permitir el desprendimiento de los frutos que contienen el aceite, generando a su vez efluentes producto de la condensación. Por otra parte, la mayor pérdida de aceite en el proceso ocurre mediante la impregnación del raquis durante la esterilización y desfrutado, que corresponde a 33% del total de pérdidas en el proceso. Esta pérdida se controla únicamente evitando el intercambio de aceite por contacto de los racimos esterilizados al interior del desfrutador. Asimismo, los

condensados generados en la esterilización aportan el 34% del flujo del efluente final de la planta y de igual forma a la pérdida global en el proceso.

Sivasothy (2006) publicó en su investigación "Estado actual de la comercialización del proceso de esterilización continua", menciona que el desarrollo de la esterilización continua, fundamentada en la modificación física de los racimos para incrementar el área de transferencia de calor, del vapor al racimo, demostró el aumento de la eficiencia del proceso disminuyendo la presión de 45 psi a presión atmosférica y el tiempo de proceso de 70-80 minutos a 60 minutos.

Velayuthan (1999) publicó el artículo: "Procesamiento y control del aceite de palma". Afirma que para obtener máxima eficiencia de procesamiento y optimizar la calidad del producto, es de vital importancia cosechar la fruta de la palma en la etapa precisa de madurez, las variaciones de calidad de la cosecha no solamente ocasionan pérdidas continuas en el campo sino que afectan la eficiencia del procesamiento y la calidad del aceite que se produce. El control del proceso de extracción no es solamente tomar muestras y probarlas. También es importante operar el proceso de acuerdo con un sistema de "control preventivo". Es necesario tomar muestras para tener un panorama claro de lo que está sucediendo en el proceso. Los datos que se obtengan pueden utilizarse más adelante para tomar las decisiones adecuadas para controlar las pérdidas. Las decisiones administrativas deben tomarse sobre la base de "hechos y cifras" y no suposiciones. La reducción de la eficiencia del proceso y de las tasas de extracción de aceite siempre ha dado lugar a discusiones en contra de la planta de beneficio o de la administración del campo.

Ojeda (1991), publicó en la revista Palmas, "Esterilización en proceso de extracción". Menciona que dentro del proceso de extracción de aceite del fruto de la palma africana, el primer paso y quizás el más importante, es el de la esterilización. Ello se debe a la incidencia que este proceso tiene en los pasos subsiguientes, al dar al fruto un tratamiento físico químico que afectará el rendimiento y la calidad final del aceite y de la almendra obtenida en las plantas extractoras. A este primer paso, no se le ha dado adecuado tratamiento y he podido observar que siempre se da una excusa para no ejecutarlo en forma correcta. Olvidando la importancia del proceso que sin un adecuado manejo afectará adversamente todos los pasos subsiguientes y la eficiencia de la producción.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Palma Africana (*Elaeis guineensis*)

a. Generalidades

Es una planta propia de la región tropical calurosa (selva húmeda tropical cálida), crece a altitudes por debajo de los 500 msnm, aunque se desarrolla bien en regiones pantanosas. (InfoAgro 2010).

La palma de aceite es un cultivo perenne y de tardío y largo rendimiento, ya que su vida productiva puede durar más de 50 años, aunque a partir de los 25-30 años se dificulta su cosecha por la altura del tallo, llega a alcanzar los 20 metros. (Infoagro 2010).

Comienza a producir frutos a partir de los dos años y medio tras su siembra, y se suelen utilizar palmas de vivero de 12 meses de edad que alcanzan su mayor producción entre los 20 y 30 años, luego de lo cual declinan y dejan de ser rentables, especialmente por la altura a la que se encuentran los frutos. No es la única especie que se maneja dentro del cultivo de la palma de aceite, aunque inicialmente y por muchos años sólo se habló de la palma africana de aceite, actualmente involucra a otras especies de palmas y cruces entre ellas, dentro del cultivo. (InfoAgro 2010).

b. Descripción botánica

Palmera monoica (las flores femeninas y masculinas, se producen independientes, en una misma planta) con tronco solitario de 10 -15 (20) m. de altura y 30-60 cm. de diámetro con cicatrices de las hojas viejas. Hojas pinnadas de 4-5 m. de longitud, con 100-150 pares de folíolos de 50-100 cm. de longitud. Se insertan en el raquis en varios planos, dándole a la hoja aspecto plumoso, de color verde en ambas caras. Pecíolo de 1-1.5 m. de longitud con los folíolos de la base convertidos en espinas y con fibras. Inflorescencia corta pero muy densa, de 10-30 cm. de longitud. Frutos ovoides, muy abundantes, en racimos con brácteas puntiagudas. Son de color rojizo y de hasta 4 cm. de diámetro (Guoron 2015).

Se trata de una planta Alógama, pues su polinización es cruzada y además es una planta perenne (Guoron 2015). Detalladamente cada una de sus partes se describe a continuación:

- Raíces: Su sistema radicular se expande a partir de un bulbo que está ubicado debajo del tallo por ser una planta monocotiledónea.
- Tallo: Contiene en su interior los haces vasculares (Xilema y Floema) y en su parte central alberga el punto de crecimiento o meristemo apical. Las palmas crecen en promedio de 30 a 60 cm por año. (Guoron 2015).
- Hojas: En condiciones normales las palmas adultas tienen entre 30 y 49 hojas funcionales. Las hojas funcionales están compuestas de un pecíolo de 1.5m aproximadamente, con espinas laterales, luego está el Raquis, que soporta los 200 a 300 folíolos insertos en las caras laterales, donde se alternan. La filotaxia o distribución de las hojas indica que ellas están dispuestas en 8 espirales respecto del eje vertical. (Guoron 2015).
- Inflorescencias: Cada hoja que produce la palma trae en su axila una inflorescencia sin sexo definido. Debe realizar una polinización cruzada para poder producir la semilla. Las flores masculinas, proveen polen, están compuestas de 100 a 160 espigas, cada una de ellas tiene entre 10 y 20 cm de largo y de 700 a 1200 flores, que en conjunto proveen entre 30 y 60 gramos de polen. (Guoron 2015).
- Frutos: Son de forma ovoide, de 3 a 6 cm de largo y cuentan con un peso aproximado de 5 a 12 gramos. Tienen la piel lisa y brillante (Exocarpio), una pulpa o tejido fibroso que contiene las células con aceite (Mesocarpio), una nuez o semilla compuesta por un cuesco lignificado (Endocarpio), y una almendra aceitosa o palmiste (Endospermo). Los frutos insertados en las espiguillas que rodean el raquis en forma helicoidal, conforman los racimos. (con peso variable entre 5 a 40 kg) (Guoron 2015).

c. Taxonomía del fruto

Según Guoron (2015), la clasificación taxonómica es:

Reino	:	Plantae
División	:	Magnoliophyta
Clase	:	Liliopsida
Subclase	:	Commelinidae
Orden	:	Arecales
Familia	:	Arecaceae
Subfamilia	:	Coryphoideae
Género	:	Elaeis
Especie	:	<i>E. guineensis</i> Jacq.

d. Índice de madurez

El comportamiento de la relación de madurez es resultado del aumento de sólidos solubles y azúcares, y decremento en el contenido de ácidos durante la maduración. La relación de madurez refleja el balance dulce/ácido de los frutos y es usada como un criterio para evaluar la calidad del fruto. Durante el proceso de maduración el nivel de firmeza disminuye, resultado de adelgazamiento de las paredes celulares y la degradación de productos de reserva. La maduración de los frutos también suele coincidir con un cambio de color y el desarrollo del aroma y sabor característico del fruto, producto de la síntesis y desenmascaramiento de carotenoides y la manifestación de los compuestos volátiles que son indispensables tener en cuenta; ya que al ser sometidas al proceso industriales, tendrá que conservar las propiedades fisicoquímicas del fruto, es por ellos que se tiene en cuenta el estado de maduración del fruto, de acuerdo a los análisis sometidos esto nos permitirá obtener productos con alto contenido de nutrientes y vitaminas; así mismo con niveles sensoriales aptos para el mercado industrial (Rajanaidu *et al.* 1987).

Madurez es la máxima acumulación de aceite en el fruto y desde luego, en el racimo. Los análisis bioquímicos de racimos indican que la máxima cantidad de aceite sintetizado se presenta cuando los frutos empiezan a desprenderse del racimo. Para la cosecha el problema sería esperar a que todos los racimos lleguen hasta este estado antes del corte. Una vez cumplida la antesis y la polinización, empieza la formación de fruto. Un componente básico en este período es la clorofila (Rajanaidu *et al.* 1987).

Cuando maduran los frutos y la clorofila ya cumplió su función de producir carbohidratos, es lentamente degradada y es considerada obsoleta. Esto mismo sucede en los frutos que están escondidos en la parte baja del racimo. Otro componente es el caroteno, que es sintetizado y llega a su tope cuando el fruto madura totalmente. El caroteno se presenta en pequeñas cantidades en frutos parte nocárpicos. Sirve para absorber rayos ultravioletas y en los frutos más viejos actúan como un regulador para prevenir la oxidación del aceite. (Rajanaidu *et al.* 1987).

e. Rendimiento del racimo de fruta de palma africana

La tasa de extracción de aceite (TEA) es un factor importante que determina la cantidad producida de aceite de palma crudo, un elemento crucial en la determinación de las ganancias de una empresa de producción de aceite. Desde una perspectiva tecnológica, el declive de la Tasa de Extracción de Aceite se

puede evitar si la materia prima principal, los Racimos de Fruta Fresca (RFF) de palma de aceite, se cosechan y procesan apropiadamente. Sin embargo, puede existir un incentivo de mercado no suficiente para hacerlo así, especialmente cuando los segmentos de producción y procesamiento de los RFF de la industria no están integrados. Las fuerzas del mercado pueden tener una influencia profunda sobre la forma como se cosecha, mercadea, comercia y procesa el Racimo de Fruta Fresca (Alfaro y Ortiz 2006).

El Racimo de fruta fresca (RFF) de palma de aceite normalmente contiene, en forma aproximada, 45% de agua, 30% de sólidos no grasos y un cuarto de su peso en aceite. El RFF consiste de los frutos que tienen aceite y del pedúnculo. El pedúnculo desfrutado o racimo vacío también se denomina tusa. Por lo tanto, la TEA es el porcentaje de aceite de palma crudo obtenido del RFF como resultado del procesamiento. El objetivo del procesamiento es el de extraer el máximo de aceite del RFF. Una extracción de aceite completa no es posible con el proceso mecánico actual. Fuera del aceite que se queda en la fibra, también se pierde un poco en: los lodos, por derramamiento o por quedar atrapado en las tusas, en el condensado del esterilizador, en la torta de la prensa y en las nueces (Marcos 2006).

El contenido de aceite en el racimo de fruta fresca está influenciado por un número de factores fisiológicos, físicos y administrativos. Los factores fisiológicos, los cuales en gran parte están fuera de control, especialmente a corto plazo, incluyen la edad de la palma de aceite y el clima (Mukesh, citado por Alfaro y Ortiz 2006), quien estudió la relación entre la edad de la palma y la Tasa de Extracción de Aceite (TEA), encontró que la TEA disminuía con la edad de la palma y el tamaño del racimo. A medida que la palma se vuelve más vieja, produce racimos más grandes con mucha más humedad y pedúnculos más grandes. Esto quiere decir que el contenido de aceite en el racimo es más bajo. Consecuentemente, la TEA medida es más baja. Una solución a este problema es renovar las palmas viejas, para que la plantación en cuestión tenga un perfil de edad de palma de aceite más joven, lo cual genera una mejor relación aceite a racimo. La otra razón para renovar es que las palmas mayores son relativamente altas, presentando un impedimento para un trabajo apropiado de cosecha, además de incrementar su costo (Alfaro y Ortiz 2006).

f. Situación actual de la palma en Perú

La expansión de la palma aceitera es un fenómeno mundial. Para Vladimir Pinto, coordinador del programa de territorios y recursos naturales en Perú, está demostrado que los proyectos de gran escala, como la palma aceitera, promueven este cultivo únicamente en áreas deforestadas. Además, Perú, Ecuador y Colombia empiezan a aparecer como países productores de palma aceitera. Perú ocupa el puesto dieciséis (OXFAM 2016)

En la actualidad hay 60 mil hectáreas de palma aceitera instaladas en San Martín, Ucayali, Loreto y Huánuco. Es una alternativa rentable a la hoja de coca para las poblaciones amazónicas. En la selva peruana existen 600 mil hectáreas con potencial para cultivar palma aceitera. Algo importante es que el 60% del área cultivada de palma aceitera pertenece a medianos y pequeños agricultores, generando una buena oportunidad de desarrollo para las poblaciones de la Amazonía nacional. Un ejemplo de lo exitoso que viene siendo esta actividad (MINAGRI 2016-2025).

g. Producción y mercado

La producción de palma aceitera fue declarada de interés nacional por el Estado peruano en el 2000, generando mayor interés en las grandes inversiones.

El Grupo Romero (a través de Palmas del Espino y Palmas del Shanushi) maneja 22.000 hectáreas en producción, además tienen 4 proyectos en proceso de evaluación que abarcan 35.000 hectáreas en Loreto. Aunque la empresa va más allá y ha declarado que para el 2021 proyecta tener 120.000 hectáreas de palma aceitera. Asimismo, el gobierno regional de Loreto dice tener solicitudes de diversas empresas para la adjudicación de más de 106.213 hectáreas para plantaciones de palma aceitera (Ninahuanca 2014).

Es un cultivo con buen futuro, pues en el 2012 la producción de palma aceitera se estimó en 544 mil toneladas métricas, mostrando un incremento anual de 40%. Sin embargo, los pequeños productores todavía presentan bajos rendimientos de 9 a 12 toneladas de RFF (Racimo de Fruto Fresco), si lo comparamos con el promedio de Palmas del Espino de 20 a 25 toneladas (Ninahuanca 2014).

El problema de esta actividad agrícola radica en el difícil acceso a tecnología de mediana escala para desarrollar un adecuado procesamiento de su producto, por eso es importante la asociatividad de los productores (Ninahuanca 2014).

Otra dificultad era que los productores estaban obligados a trasladar su producción a las principales plantas de procesamiento y extracción en Ucayali, como OLAMSA. Esto trajo como consecuencia el encarecimiento de los fletes (S/. 260/1.5 tm de fruta), restando competitividad a los Palmicultores (Ninahuanca 2014).

En cuanto al mercado, Perú es un país importador neto de aceite de palma, pero desde el 2012 las compras de aceite en bruto se redujeron en 99,88% y las compras de aceite refinado se han estancado en US\$ 25,5 millones (Ninahuanca 2014).

h. Proceso de extracción de aceite de Palma

Las etapas que intervienen en el proceso de extracción de aceite de palma en plantas de beneficio (Fedepalma 1998), se muestran en la Figura 1.

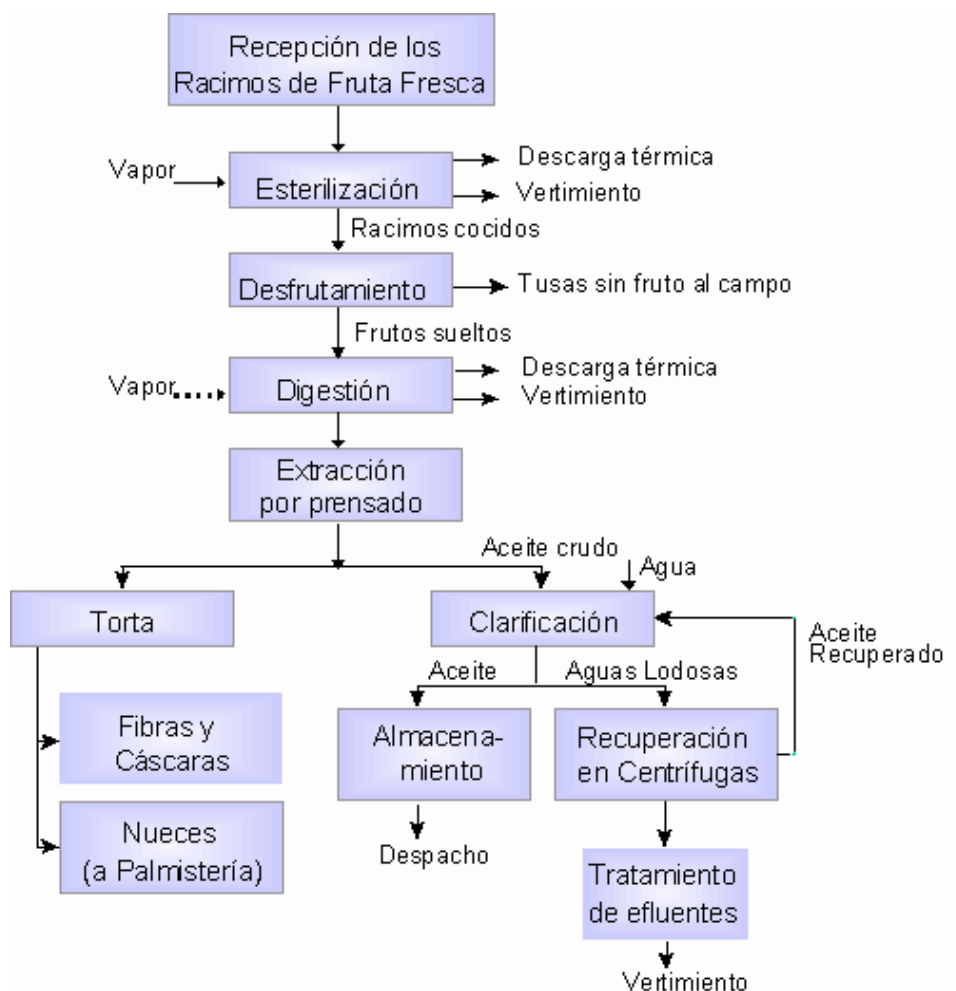


Figura 1. Diagrama de flujo de extracción de aceite crudo de palma.

FUENTE: Elaboración propia

- **Recepción del fruto**

Los racimos de fruta cortados en campo son llevados a la planta extractora, estos son pesados en una báscula y posterior se le hace control de calidad (estado de madurez, tamaño de pedúnculo y potencial de aceite), y son almacenados en tolvas para luego ser alimentados por medio de vagonetas de 1.5 ton de capacidad a la etapa de esterilización (Fedepalma 1998).

- **Esterilización**

La esterilización es el proceso mediante el cual se cocina la fruta a base de presión y temperatura con vapor de agua, en una autoclave. Los objetivos de la esterilización son los siguientes:

Inactivar las enzimas lipolíticas que son las que causan el incremento de la formación de los ácidos grasos libres (A.G.L.).

Hidrolizar los puntos de unión (pectinas) entre los frutos y el racimo, con lo que se logra un fácil desprendimiento en el desfrute.

Inducir al cambio físico – químico el pericarpio del fruto, lo que facilita la digestión y el prensado.

Reducir el quebrado de almendras y el rompimiento de nueces durante el proceso de prensado.

Deshidratar parcialmente las almendras y las nueces para facilitar el quebrado y separación de las mismas (Fedepalma 1998).

Una vez evaluada la fruta se procede al llenado de vagonetas o canastas de esterilización de acuerdo con la capacidad del equipo autoclave. La canasta es transportada a la sección de esterilización al interior de la autoclave por medio del equipo cabrestante (Fedepalma 1998).

El proceso de esterilización se inicia con un desaire “eliminación del aire frío dentro del autoclave”, el cual se realiza dejando totalmente abierta la válvula de descarga de vapor y un suministro lento de vapor durante 10 minutos.

Seguido del desaire se realizan tres picos de ciclos de presión de 15, 30 y 40 PSI. El primer pico 15 psi. Consiste en llevar la presión interna del autoclave de 0 a 15psi, cerrando la válvula de salida de vapor y abriendo la válvula de entrada cuando el equipo alcanza la presión requerida se retira el suministro de vapor y se abre la válvula de descarga de vapor – condensado hasta que el manómetro marque 5 psi. Este paso se repite para el segundo pico en donde la presión requerida es de 30 psi. El tercer pico de ciclo se realiza hasta

alcanzar una presión de 40 psi en esta etapa del proceso se realiza un sostenimiento controlando la válvula de entrada y salida de vapor durante cuarenta minutos. Finalizado este tiempo se procede a descargar el equipo el vapor – condensado es conducido a la chimenea el vapor es desalojado a la atmósfera y los condensados son conducidos a las trampas de grasas y tanques florentinos (Fedepalma 1998).

- **Desfrutado**

Proceso mecánico mediante el cual se separan los frutos de las espigas del racimo por medio de un cilindro que gira entre 23 a 26 rpm. Cuenta con unas paletas que golpean los racimos para desprender los frutos que pasan por unas ranuras longitudinales, los cuales son transportados por medio de sinfines elevadores hacia los digestores (Fedepalma 1998).

- **Digestión y prensado**

Este proceso se realiza en unos cilindros verticales que cuentan con un eje central, equipado con cuatro grupos de paletas que giran a pocas revoluciones y cuatro entradas de vapor directo para mantener una temperatura de operación de 90 a 95 °C. En esta etapa se pretende el acondicionamiento de la fruta para facilitar el prensado.

Los frutos ingresan por la parte superior del digestor que debe mantenerse lleno, los frutos maxilados son llevados hacia la parte baja y luego pasan directamente a la prensa hidráulicas de doble tornillos las cuales constan de una camisa perforada y un pistón “gato de doble entrada “, que baja presionando la fruta con el fondo de la prensa, el aceite licor de prensa es liberado por los orificios de la camisa y conducidos a la sección de clarificación para obtener el aceite crudo y la torta de prensado compuesta por nueces enteras, nueces rotas, almendras enteras almendras rotas, cuesco y fibras son transportadas a la sección de palmisteria para la extracción y secado de la almendra palmiste (Fedepalma 1998).

- **Clarificación**

El proceso mediante el cual se separa y purifica el aceite de la mezcla líquida extraída en la prensa, la cual contiene aceite, agua, lodos livianos (compuestos por pectinas y gomas) y lodos pesados (compuestos por tierra, arenas y otras impurezas).

Para lograr dicha separación se aprovecha las características de inmiscibilidad entre el agua y el aceite. El aceite crudo de palma que entra a clarificación, teóricamente debe contener 35% de aceite, 5% de lodos ligeros, 35% de agua y 25% de lodos pesados. El proceso de clarificación se lleva a cabo en varias etapas, donde predomina el consumo de vapor como fuente calórica (Fedepalma 1998).

El recorrido del aceite en el proceso de clarificación, nombrando los equipos es el siguiente:

El aceite que sale de las prensas se conduce a un tanque con conos de drenaje en donde se sedimentan los volúmenes de arena. El aceite que fluye del tanque de sedimentación se somete a un proceso de tamizado. Para tal efecto utiliza un tamiz vibrador, en esta etapa se retira las fibras que no fueron retiradas en el tanque de sedimentación esta fibra “cachaza” es utilizada para la alimentación de porcinos (Fedepalma 1998).

Una vez tamizado el aceite es enviado al tanque clarificador, el objetivo de este tanque es separar la mezcla proveniente del licor tamizado en tres fases, conforme a la densidad, las cuales son:

- **Aceite Purificado (Capa superior):** Es el aceite limpio que pasa directamente al tanque de aceite húmedo.
- **Lodoso Aceitoso (Capa intermedia):** Lodo con un bajo contenido de aceite que se envían al tanque de lodos para un posterior tratamiento de recuperación de aceite.
- **Lodos pesados (Capa inferior):** Los lodos pesados se acumulan en el extremo inferior del tanque y están compuestos principalmente de agua y de sólidos pesados (Fedepalma 1998).

Este tanque cuenta con un fondo cónico para evacuar los sólidos pesados. Además, tiene un serpentín por medio del cual circula vapor para mantener una temperatura interna entre 90 y 95 °C, con la que se logra la mayor diferencia entre la densidad del agua y la densidad del aceite y un agitador para facilitar el accenso del aceite (Fedepalma 1998).

Los lodos aceitosos son enviados a las centrífugas desladoras en donde los lodos son separados en dos fases:

- **Liviana aceitosa:** compuesta principalmente de agua y aceite, es enviada al tanque de recuperados donde se deja decantar y el aceite es recuperado por medio de una bandeja hacia los tanques secadores.

- Fase Lodosa: En la que predomina el agua y un bajo porcentaje de sólidos y aceite. Esta se envía a las trampas de grasa y lagunas de oxidación.

El proceso de clarificación de aceite de palma en las plantas de beneficio primario se realiza en dos etapas consecutivas correspondientes a un proceso de clarificación estática y un proceso de clarificación dinámica (Fedepalma 1998).

- **Almacenamiento**

Una vez realizados los controles de calidad en el laboratorio, el aceite es llevado a los tanques de almacenamiento para ser despachado a las industrias procesadoras (Fedepalma 1998).

- **Centrifugado**

Las aguas aceitosas se pasan por centrifugas para recuperar el aceite que aun contienen, el aceite recuperado se envía al área de clarificación para su reproceso y el resto de la mezcla se envía a los tanques florentinos en los cuales se recuperan las últimas trazas de aceite que pudiera contener. Los florentinos, son la última parte del proceso de extracción y constituye la primera parte del sistema de tratamiento de efluentes de la planta (Fedepalma 1998).

- **Desfibración y trituración**

La mezcla compuesta por fibra y nueces, que se seca a una humedad requerida es conducida mediante sinfines para su separación. Éste es un proceso neumático, donde se utiliza una columna vertical a través de la cual pasa un flujo de aire ascendente a velocidad determinada y que por densidad hace que toda la fibra suba y que las nueces caigan al fondo de la columna de separación. Las nueces pasan al tambor pulidor para quitarle la fibra residual y de éste al silo de secado (Fedepalma 1998).

- **Palmistería**

Las nueces secas provenientes de los silos de secado se envían a un clasificador de nueces y de ahí al triturador en donde se rompe la nuez y se obtiene el palmiste o almendras limpias. Una vez rota la nuez, la separación de la cascarilla de la almendra se realiza por un proceso neumático por

diferencia de densidades. La cascarilla se envía a la caldera como combustible y la almendra al silo de secado (Fedepalma 1998).

- **Planta de aceite de palmiste**

La almendra seca se envía a través de transportadores sin fin a la planta de aceite de palmiste en donde se extrae el aceite mediante el uso de prensas sinfín (de caracoles) y se envía al tamiz para quitarle parte de las impurezas. Después, se hace pasar por un filtro de lonas de donde se obtiene el aceite listo para su comercialización. Este proceso es continuo y físico y no se utiliza ningún tipo de solventes (Fedepalma 1998).

i. Método de extracción Soxhlet

La extracción Soxhlet es la técnica de separación sólido-líquido comúnmente usada para la determinación del contenido graso en muestras de diferente naturaleza. De igual modo, puede ser usada como técnica preparativa de muestra como paso previo al análisis mediante otra técnica instrumental, por ejemplo, la extracción de ácidos grasos en muestras de tocino para su posterior determinación mediante cromatografía de gases (Cela *et al.* 2016).

Aunque su campo de aplicación es fundamentalmente el agroalimentario es también de utilidad en el área medioambiental, así es el método de análisis recomendado para la determinación del aceite y la grasa total recuperable en aguas de vertidos industriales permitiendo la determinación de hidrocarburos relativamente no volátiles, aceites vegetales, grasas animales, ceras, jabones y compuestos relacionados (Cela *et al.* 2016).

Como ya hemos comentado, el contenido de materia grasa es uno de los parámetros analíticos de interés en los productos destinados a la alimentación, tanto humana como animal, y, en consecuencia, su determinación es muy habitual. El procedimiento para llevar a cabo su extracción se basa en la extracción sólido-líquido en continuo, empleando un disolvente, con posterior evaporación de éste y pesada final del residuo (Cela *et al.* 2016).

La extracción Soxhlet ha sido (y en muchos casos, continua siendo) el método estándar de extracción de muestras sólidas más utilizado desde su diseño en el siglo pasado, y actualmente, es el principal método de referencia con el que se comparan otros métodos de extracción. Además de muchos métodos de la EPA (U.S. Environmental Protection Agency) y de la FDA (Food and Drugs Administration) utilizan esta técnica clásica como método oficial para la extracción continua de sólidos (Cela *et al.* 2016).

La extracción con Soxhlet presenta las siguientes ventajas:

- La muestra está en contacto repetidas veces con porciones frescas de disolvente.
- La extracción se realiza con el disolvente caliente, así se favorece la solubilidad de los analitos.
- No es necesaria la filtración después de la extracción.
- La metodología empleada es muy simple.
- Es un método que no depende de la matriz.
- Se obtienen excelentes recuperaciones, existiendo gran variedad de métodos oficiales cuya etapa de preparación de muestra se basa en la extracción con Soxhlet.

Por otra parte, las desventajas más significativas de este método de extracción son:

- El tiempo requerido para la extracción normalmente está entre 6-24 horas.
- La cantidad de disolvente orgánico (50-300 mL)
- La descomposición térmica de los analitos termolábiles, ya que la temperatura del disolvente orgánico está próxima a su punto de ebullición.
- No es posible la agitación del sistema, la cual podría acelerar el proceso de extracción.
- Es necesaria una etapa final de evaporación del disolvente para la concentración de los analitos.
- Esta técnica no es fácilmente automatizable.

j. Solvente industrial: Hexano

Comercialmente conocido como n-Hexano, es un solvente alifático que se utiliza en varias industrias como la gráfica, textil entre otras. También se emplea industrialmente para la extracción de aceites comestibles (Rojas 2010).

- Propiedades físicas y químicas:

Aspecto	: líquido transparente e incoloro.
Olor	: característico
Fórmula	: C ₆ H ₁₄
Masa molar	: 86.3 g/mol

Punto de ebullición	: 69°C
Punto de fusión	: -95°C
Densidad (20/4)	: 0.67
Solubilidad (g/L 20°C)	: Insoluble
Momento dipolar	: 0 D

- Peligros

Reacciona violentamente con oxidantes fuertes originando peligro de incendio y explosión.

Por inhalación causa pesadez, dolor de cabeza, dificultad respiratoria.

Por ingestión causa calambres abdominales.

En contacto con la piel causa enrojecimiento y resequedad.

Código NFPA: Salud 1, inflamabilidad 3, reactividad 0.

2.3. Definiciones de términos básicos

- Palma aceitera

La palma aceitera es un cultivo perenne. El procesamiento de los frutos de la palma aceitera se lleva a cabo en la planta extractora, donde se extrae el aceite crudo de palma y las almendras (palmiste).

- Estado de madurez

Cualidad que tiene un fruto (color, humedad, olor, tamaño, acidez, °brix, % de aceite) para un determinado fin: consumo, transformación, transporte. La madurez en los frutos de palma aceitera se clasifica en cinco clases principales: inmaduro, poco maduro, maduro, demasiado maduro y podrido (Mat Jusoh *et al.* 2013).

- Picos de presión

Consiste en las condiciones de esterilización (ciclo de esterilización: presión y tiempo) a la que se somete a los racimos frescos, puede ser entre los 40 – 45 psi durante 1,5 - 2 horas. Aplicándose doble o triple pico en el esterilizador horizontal convencional (Ariffin 2013).

- Características sensoriales del fruto

Características macroscópicas del fruto y que dependen de su estado de madurez. El aceite crudo de palma exhibe un intenso color rojo - naranja debido a su alto contenido de carotenos (0.05-0.2 %), que son poderosos antioxidantes.

- **Extracción de aceite**

Proceso mediante el cual se rompen las células vegetales mediante trituración, y después se aísla la parte grasa (aceite) de los otros componentes de las semillas o frutos. La extracción a partir de semillas depende del tipo y estructura de las mismas. Dentro de los procesos de extracción del aceite tenemos: Molienda, prensado, prensado en caliente, prensado en frío, extracción con disolvente.

- **Método Soxhlet**

Método clásico que permite cuantificar la grasa en un producto de forma indirecta. También se le conoce como gravimétrico. El método registra el peso de la muestra de en dos momentos clave: al inicio, cuando el alimento aún contiene a la sustancia que nos interesa; y al final, cuando ha perdido parte de su composición, que bien puede ser el componente que queremos cuantificar o toda la materia que no lo contenga.

- **Características fisicoquímicas del aceite extraído**

Características utilizadas como referencia de calidad del aceite, entre las cuales tenemos la acidez (AGL), el índice de blanqueamiento. Dependen de la madurez del fruto y del proceso de esterilización al que fueron sometidos los frutos.

- **Índice de blanqueamiento**

Es un parámetro de calidad del aceite crudo de palma, se evalúa mediante el DOBI. Es el análisis que determina el deterioro a la blanqueabilidad del aceite crudo, el cual será sometido al proceso de blanqueo y refinación. El DOBI es un parámetro de calidad para diferenciar la refinabilidad de aceite de palma crudo de buena calidad y mala calidad. Este método se basa en la relación de carotenos respecto al resto de carotenos oxidados. Las moléculas de caroteno absorben luz a 446 nm, mientras que sus productos oxidados absorben luz a 269 nm (Ureta 2007).

III. METODOS

3.1. Ubicación y descripción del área de estudio

3.1.1. Ubicación

El presente trabajo de investigación se realizó los ambientes de la planta Oleaginosas Amazónicas S.A. – OLAMSA, en el Laboratorio de Control de Calidad, ubicado en el Km 36.800 carretera Federico Basadre en el distrito de Campo Verde provincia de Coronel Portillo, departamento de Ucayali, el cual consistió en una serie de actividades encaminados a lograr la tecnología más apropiada para obtener el mayor rendimiento de extracción de aceite crudo de palma.

3.1.2. Descripción del área de estudio

El trabajo de investigación es de tipo aplicativo ya que toma los conocimientos establecidos de nuestra realidad para solucionar un problema que afecta a nuestro medio, teniendo en cuenta el apoyo del personal de laboratorio, así como de la jefatura de planta a cargo de los ingenieros de esta empresa.

El nivel de investigación es experimental, consiste en manipular intencionalmente las variables independientes y medir el efecto que tienen estas sobre las dependientes para contribuir con las investigaciones que se plantea.

3.2. Identificación y descripción del material experimental

3.2.1. Identificación del material experimental

Se utilizó fruta de palma africana (*Elaeis guineensis*) en tres estados de maduración (verde, maduro, sobremaduro), el cual fue sometida al proceso de esterilización para la obtención del rendimiento de extracción de aceite crudo y los análisis de fisicoquímicos del aceite obtenido, los cuales fueron procedentes de los cultivos aledaños a la planta de procesamiento para la investigación.

3.2.2. Descripción del material experimental

- Material biológico: Se utilizó fruta de palma africana (*Elaeis guineensis*).
- Reactivo: Hexano (la empresa cuenta con el permiso correspondiente de la SUNAT)
- Materiales de laboratorio y otros: Vaso de precipitado, pipetas, espátulas, entre otros.
- Equipos de laboratorio y otros: equipo de extracción Soxhlet, balanza analítica, congelador, baño maría, cocina, recipientes de acero inoxidable, cronómetro.

3.3. Variables

3.3.1. Variables Independientes

Factor 1 : Estado de madurez de fruta de palma africana (*Elaeis guineensis*)

Niveles : Verde, Maduro, Sobremaduro.

Factor 2 : Condiciones de esterilización (picos de esterilización)

Niveles : Pico de esterilización 1 (30/10/40 psig - 60 min)

Pico de esterilización 2 (30/10/45 psig – 80 min)

3.3.2. Variables dependientes

- Rendimiento de extracción: % de extracción
- Calidad del aceite extraído: análisis sensorial y característica fisicoquímica (% ácidos grasos libres, índice de deterioro de blanqueabilidad).

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

La población estuvo formada por la variedad de fruta de palma africana (*Elaeis guineensis*), de acuerdo a la capacidad de tolvas y piso de recepción (800 TN) de la empresa, así mismo cabe mencionar que dicha población pertenece a los comités asociados a la empresa Oleaginosas Amazónicas S.A. del distrito de Campo Verde (San Pedro, Las Palmeras, La Merced).

3.4.2. Muestra

- Muestra 1

La Muestra 1 estuvo conformada por 1 racimo de fruta de aproximadamente 15 kg de palma africana por repetición de cada tratamiento, obtenido de manera aleatoria y al azar de la recepción total del día de la empresa Oleaginosas Amazónicas S.A. Como tenemos seis tratamientos y 3 repeticiones entonces se utilizó 18 racimos, haciendo un total de 270 kg de racimo de palma. Para las evaluaciones de rendimiento y análisis fisicoquímicos se hizo un muestreo de cada racimo.

- Muestra 2

La Muestra 2 estuvo conformada por 200 g de pepa por racimo esterilizado según cada tratamiento y repetición, como se tuvo 6 tratamiento y 3 repeticiones, se utilizó 3600 g de muestra para la evaluación de los análisis fisicoquímicos y para el análisis de rendimiento de extracción con el equipo Soxhelt se tomó 10 g de mesocarpio de seco por tratamiento y repetición.

3.5. Tratamientos

En la investigación se ha trabajado con dos factores de estudio: el estado de maduración de fruta de palma africana (*Elaeis guineensis*), verde, maduro y sobremaduro. Las condiciones de esterilización, picos de esterilización 30/10/40 psig – 60 min; 30/10/45 psig – 80 min. Por tanto, se tuvo 3 x 2=6 tratamientos. Antes y después de la operación de esterilización se realizó el análisis sensorial y fisicoquímico del fruto, donde se determinó el rendimiento de extracción por método de arrastre de vapor – Soxhlet, como se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Tratamientos considerados en la investigación.

Factor 1: Estado de madurez de fruta de palma africana (<i>Elaeis guineensis</i>)	Factor 2: Condiciones de esterilización (picos de esterilización).	Tratamientos
Nivel 1: Verde	Nivel 1: Pico de esterilización (30/10/40 psig - 60 min)	T1
Nivel 2: Maduro	Nivel 2: Pico de esterilización (30/10/45 psig – 80 min)	T2
Nivel 3 : Sobre Maduro	Nivel 1: Pico de esterilización (30/10/40 psig - 60 min)	T3
Nivel 1: Verde	Nivel 2: Pico de esterilización (30/10/45 psig – 80 min)	T4
Nivel 2: Maduro	Nivel 1: Pico de esterilización (30/10/40 psig - 60 min)	T5
Nivel 3 :Sobre Maduro	Nivel 2: Pico de esterilización (30/10/45 psig – 80 min)	T6

FUENTE: Elaboración propia.

El diseño estadístico aplicado fue el Diseño en Bloque Completo al azar con arreglo factorial 3x2 con seis repeticiones-bloque. Siendo el modelo lineal aditivo:

$$Y_{ijk} = \mu + M_i + C_j + (M \times C)_{ij} + B_k + E_{ijk}$$

Donde

Y_{ijk} : Observación (característica tecnológica y fisicoquímica)

μ : Media general

M_i : Efecto del estado de madurez

C_j : Efecto de las condiciones de esterilización

$(M \times C)_{ij}$: Efecto de la interacción estado de madurez de fruto – condiciones de esterilización.

B_k : Efecto de la repetición - bloque

E_{ijk} : Error experimental

3.6. Recolección de datos

3.6.1. Fuentes de información

Se tuvo información primaria y secundaria. Teniendo en cuenta que la información primaria se obtuvo directamente de la ejecución de la investigación (reporte de los valores del respectivo análisis realizado). La información secundaria fue mediante la lectura y el análisis de las fuentes bibliográficas referidas a la investigación.

3.6.2. Unidad experimental y unidad de medición

Unidad experimental

La unidad experimental estuvo constituido por el racimo de fruta de palma africana (*Elaeis guineensis*), el cual fue sometido a proceso de esterilización en un tiempo y presión según su estado de madurez para la obtención del rendimiento óptimo de extracción de aceite crudo.

Unidad de medición

La unidad de medición fue: Rendimiento (%), tiempo (min), presión (psig), acidez (mg), DOBI (AA)

3.6.3. Tipo de muestreo

El muestreo de los frutos fue no probabilístico (intencional o por criterio), porque se consideró parte de la muestra los frutos que cumplan con el criterio de estado de madurez.

3.7. Técnicas para la recolección de datos

La técnica e instrumento de recolección de datos de la investigación fue la observación directa, porque tuvo que involucrarse con cada actividad de la investigación, objeto de estudio.

Cuadro 2. Cuadro general de instrumentos de recolección de datos en tres etapas del proyecto de investigación.

PROYECTO	Campo (Proceso)	Análisis
Documentación bibliográfica según antecedentes	<ul style="list-style-type: none">• Guía de proceso de esterilización.• Formularios de registro de control.• Cuadernos de apuntes.	<ul style="list-style-type: none">• Equipos extracción y de análisis fisicoquímicos.• Observación directa y cuaderno de apuntes• Sistemas estadísticos para la obtención verídica de los resultados

FUENTE: Elaboración propia

La técnica de recolección de datos a través de la observación es necesaria para el registro sistemático, cálido y confiable durante la determinación de los parámetros para rendimiento de extracción de aceite crudo en proceso de esterilización, mediante el llenado o registro de formularios, análisis de fuentes documentales y demás sistemas de conocimiento, los cuales tienen aplicación antes durante y después de cada etapa del proceso de obtención del producto final. Para la recolección de datos se usaron instrumentos como los formularios de registros en el control de cantidad de porcentaje de extracción, presión y tiempo.

Cuadro 3. Cuadros de equipos y materiales utilizados en cada proceso.

M. experimental	Equipos o materiales	Medición
Preparación de muestra	Cuchillos	Temperatura ambiente
Pesado	Balanza	Kilogramo
Esterilizado	Esterilizadores	Presión y tiempo
Pesado	Balanza	Kilogramos
Cortado	Cuchillos	Temperatura ambiente
Secado	Estufa	Temperatura y tiempo
Pesado	Balanza	Temperatura ambiente
Extracción	Equipo soxhlet	% de extracción
Pesado	Balanza	Gramos
Análisis fisicoquímicos.	Equipos de análisis	Gramos

FUENTE: Elaboración Propia.

3.7.1. Clasificación de racimos de fruto fresco (RFF) según estado de madurez

La fruta de palma africana (*Elaeis guineensis*), se clasificó según el estado de madurez: Manual de procedimientos de laboratorio en plantas de beneficio (CENIPALMA 2011).

- **Verde:** el fruto de palma se encuentra en pleno crecimiento y desarrollo del mesocarpio, en el cual no se encuentra aún concentración de aceite.
- **Maduro:** el fruto de palma se encuentra en el óptimo balance de contenido y la calidad del aceite.
- **Sobre maduro:** el fruto de palma pasa a un estado de descomposición, en el cual empieza la concentración de características fisicoquímicas.

Durante el proceso de clasificación del fruto, se pesó, seleccionó y se registró en el cuaderno de control dependiendo del tipo de muestra. De los racimos seleccionados según estado de madurez se tomó una muestra 200 g para análisis en laboratorio.

3.7.2. Determinación de las características sensorial y fisicoquímica del racimo de fruto fresco (RFF) antes del esterilizado.

El grupo de fruto seleccionado se tomó una muestra 200 g para análisis en laboratorio para poder determinar las características sensoriales y fisicoquímicas como lo describe a continuación (Echevarría et al. 2008).

a) Características sensoriales

- **Olor:** debe ser característico de la fruta. no debe presentar olores fuertes relacionados con algún agente químico. por otro lado, un olor intenso en una fruta demuestra que la fruta está en plena madurez, pero si el olor es demasiado fuerte es probable que la fruta este empezando su proceso de descomposición.
- **Color:** el color verdoso en la cascara según sea el fruto, nos indicara que aún no se ha madurado. si el fruto presenta un color agradable y característico libre de manchas que indiquen deterioro nos damos cuenta que es una fruta que está en el punto deseado para su cosecha.
- **Sabor:** característico de la fruta, debe ser agradable y no demasiado intenso.
- **Textura:** el fruto debe tener una textura firme, no debe estar demasiado blando ni magullado. Debe ser de fácil manipulación y no debe presentar exudación.

Para el análisis sensorial se utilizó el **FORMATO PARA PRUEBA DE ANALISIS SENSORIAL** (Formato 1 que se muestra en Anexos) según Hernández (2005), donde los panelistas serán 06 personas calificadas en el ámbito de calidad debido a la experiencia laboral en plantas de extracción de aceite (supervisores de calidad, evaluadores de calidad, analistas de calidad, jefas de planta).

b) Características fisicoquímicas: Se aplicará la metodología descrita por Fernández (2011).

- **Contenido de ácidos grasos libre (acidez):** todos aquellos ácidos grasos que han roto el enlace éster con glicerol y se encuentran libres en el aceite de palma y en el palmiste. El contenido de ácidos grasos libres se reporta como porcentaje y expresa peso (mg) de hidróxido de sodio requerido para neutralizar un gramo de material graso. Para el caso específico de aceite crudo de palma proveniente de materiales *Elaeis guineensis* Jacq, este porcentaje corresponde al ácido palmítico, mientras que para aceite de palmiste se estima sobre el ácido láurico.

Para la determinación de la acidez se disuelve la muestra en etanol neutralizado, se calienta y se titula con solución acuosa de hidróxido de sodio.

El porcentaje de ácidos libres (AGL) en el aceite de palma se calcula como:

$$\% \text{ AGL} = \frac{25.6 * V * N}{W}$$

3.7.3. Esterilización de los racimos de fruto fresco (RFF) a diferentes condiciones

Se colocó cada muestra seleccionada, pesado y rotulada según estado de madurez en los vagones para ser cocinados a diferentes tiempos y picos de presión:

- 30/10/40 psi a 60 minutos, de los cuales obtendremos 3 tratamientos.
- 30/10/45 psi a 80 minutos, de los cuales obtendremos 3 tratamientos.

En general serán 6 tratamientos. En este proceso la fruta cambia su composición fisicoquímica porque es sometida a presión por un tiempo determinado, el calor sometido inactiva las enzimas lipolíticas que son las que causan el incremento de la formación de los ácidos grasos libres (A.G.L.). La hidrólisis de los puntos de unión (pectinas) entre los frutos y el racimo, con lo que se logra un fácil desprendimiento en el disfrute. El cambio físico – químico el pericarpio del fruto, lo que facilita la digestión y el prensado. Así mismo ayuda a reducir el quebrado de almendras y el rompimiento de nueces durante el proceso de prensado. Deshidrata parcialmente las almendras y las nueces para facilitar el quebrado y separación de las mismas (FEDEPALMA 1998).

a. Características sensoriales de los frutos esterilizados

Una vez esterilizado, del fruto clasificado según su estado de madurez, el cual se procedió a pesar y se registró los pesos, posteriormente de cada racimo se tomó una muestra 200 g para el análisis en laboratorio. Para la obtención de los resultados de características sensoriales de los racimos de fruto fresco esterilizados se tuvo en cuenta lo descrito por el manual de procedimientos de laboratorio en plantas de beneficio (CENIPALMA 2011) y lo descrito por Echevarría *et al.* (2008). Tomar línea ítem 3.7.1.

3.7.4. Rendimiento de extracción de aceite mediante el método Soxhlet - laboratorio.

Para la determinación y evaluación del rendimiento de extracción de aceite por método Soxhlet se aplicó el procedimiento reportado por manual de laboratorio de planta de beneficio – (CENIPALMA 2011) que se muestra en la Figura 2.

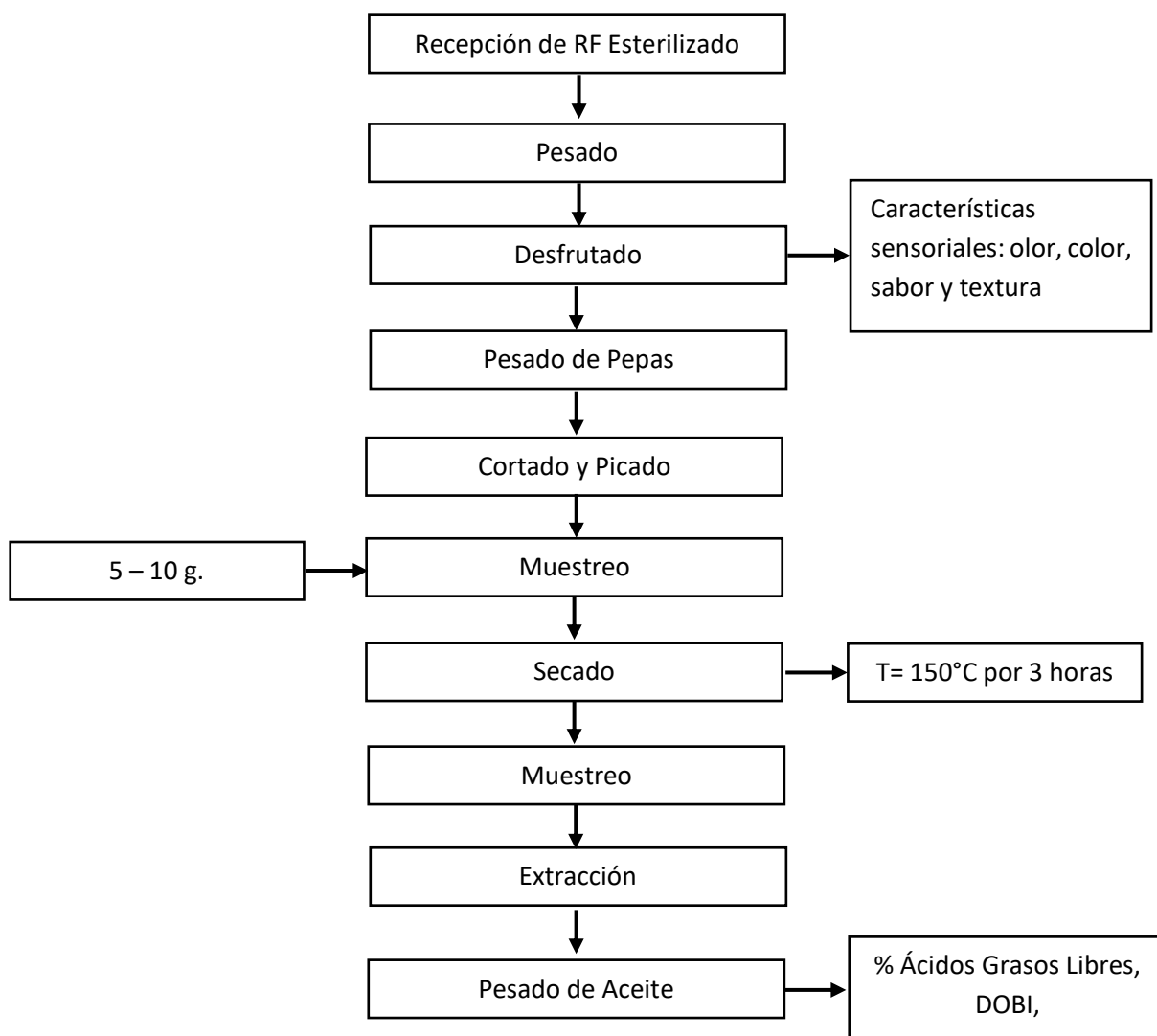


Figura 2. Diagrama de flujo obtención de aceite crudo de palma africana (*Elaeis guineensis*) por método de extracción Soxhlet.

FUENTE: Elaboración propia.

De acuerdo con lo mostrado en la Figura 2 diagrama de flujo para la obtención de aceite crudo de palma africana (*Elaeis guineensis*) por método de extracción Soxhlet descrito por CENIPALMA 2011, con solvente de Hexano (la empresa Oleaginosas Amazónicas S.A cuenta con el permiso emitido por la SUNAT), tenemos:

- Se pesó en una balanza los frutos de palma esterilizados, tomar el dato del peso cuando se encuentre estable. Registrar en el formato respectivo.

- Con la ayuda de un cuchillo se logró separar totalmente el mesocarpio de las nueces en los frutos.
- La muestra obtenida se pesó en la balanza analítica I; se tomó el dato del peso cuando se estabilizó la balanza, registrándose en el formato respectivo.
- En la balanza analítica, se pesó una cápsula limpia y seca previamente identificada y se registró este valor en el formato respectivo.
- Se agregó aproximadamente 5 a 10 gramos (g) de muestra molida, a la cápsula que se encuentra en la balanza, registrando el siguiente valor.
- Seguidamente se colocó la cápsula con la muestra húmeda en la estufa 130 a 150°C hasta obtener peso constante (aproximadamente 3 horas).
- Luego se colocó la muestra en el desecador por espacio de una hora, y se pesó la cápsula con la muestra seca, registrando el valor
- Se preparó el cartucho con papel filtro Whatman N° 40 para el equipo Soxhlet, se pesó el cartucho y se registró el valor.
- Se colocó 10 g de muestra seca en el cartucho de la cápsula, luego se pesó y registró su valor, se taponeó con un trozo de algodón, para evitar que la muestra se salga del cartucho al mezclarse con el solvente (Hexano). Luego se colocó el cartucho más la muestra en el dedal del tubo Soxhlet.
- Se pesó un matraz fondo plano de 250 mL limpio y seco, se anotó el número del matraz y el peso, en el formato respectivo. Se agregó aproximadamente 150 a 200 mL de Hexano al matraz.
- Luego se conectó el matraz a la parte central del extractor, separando el refrigerante, colocándolo en la plancha de calentamiento.
- Se encendió la estufa, para iniciar el proceso de extracción y se abrió la llave de agua del refrigerante (equipo Soxhlet), este proceso duró aproximadamente de 3 a 4 horas. Se detuvo el proceso cuando el solvente que se encuentra en la parte central, estuvo totalmente incoloro.
- Luego se retiró cuidadosamente el cartucho del dedal de extracción, con la ayuda de una pinza, después se retiró el Hexano con la ayuda de una pipeta, hasta obtener el Aceite final en el balón de extracción.
- El matraz con la muestra de aceite se llevó al horno (estufa) de calentamiento a 130°C hasta la total eliminación del solvente remanente (aproximadamente 1 hora).

- Transcurrido el tiempo, se llevó el matraz al Desecador (aproximadamente 1 hora) hasta su enfriamiento total y se pesó el matraz en la balanza analítica.
- Todos los resultados se llevó a las fórmulas de hoja de cálculo.

Cálculos de rendimiento

a) Determinación del % Aceite en Mesocarpio Seco (AMS)

$$\begin{aligned} & \% \text{ AMS} \\ & = \frac{(P \text{ DE CAPS} + P \text{ MESOCARP SECO ACEIT.}) - (P \text{ PAPEL} - P \text{ MESOCARP FRESCO ACEIT.})}{P \text{ESO CAPS} + P \text{ MESOCARP SECO ACEITOSO}} \times 100 \end{aligned}$$

b) Determinación del % Aceite a Mesocarpio Fresco (SOXHLET) (AMF)

$$\% \text{ AMF} = \text{AMS} \times \frac{(P \text{ESO DE CAPSULA}) - (P \text{ESO NUECES FRESCA})}{P \text{ESO CUESCO SECO}}$$

c) Determinación del % Humedad de Mesocarpio (HM)

$$\% \text{ HM} = \frac{(P \text{ CUESCO SECO}) - (P \text{ CAPSULA}) - P \text{ NUECES FRESCA}}{P \text{ CUESCO SECO}} \times 100$$

d) Determinación del % Aceite a Mesocarpio Fresco por formula (AMF formula)

$$\% \text{ AMF formula} = 82.37 - (0.95 * \text{HM})$$

e) Determinación de % Mesocarpio en el Fruto (MF)

$$\% \text{ MF} = \frac{(P \text{ MEDIO FRUTOS NORMALES RAQUILAS}) - (P \text{ FRUTOS NORMALES})}{P \text{ MEDIO FRUTOS NORMALES RAQUILAS}} \times 100$$

f) Determinación másica de los frutos en el racimo, % Fruto de racimo (FR)

$$\% \text{ FR} = \frac{P \text{ FRUTOS PARTENOCARPIOS}}{P \text{ MUESTRA DE RAQUILAS}} \times \frac{((P \text{ RACIMO}) * 1000 - (P \text{ PEDUNCULO}))}{P \text{ RACIMO} * 1000} * 100$$

g) Determinación de % Aceite en Racimo (AR)

$$\% \text{ AR} = \frac{\text{FR} * \text{MF} * \text{AMF}}{10000}$$

3.7.5. Características fisicoquímicas del aceite extraído por método soxhlet

Para la determinación de las características fisicoquímicas del aceite extraído se tuvo en cuenta la metodología descrita por Fernández (2011).

a) Contenido de ácidos grasos libre (acidez)

Todos aquellos ácidos grasos que han roto el enlace éster con glicerol y se encuentran libres en el aceite de palma y en el palmiste. El contenido de ácidos grasos libres se reporta como porcentaje y expresa peso (mg) de hidróxido de sodio requerido para neutralizar un gramo de material graso. Para el caso específico de aceite crudo de palma proveniente de materiales *Elaeis guineensis* Jacq, este porcentaje corresponde al ácido palmítico, mientras que para aceite de palmiste se estima sobre el ácido láurico (Fernández 2011).

Para la determinación de la acidez se disuelve la muestra en etanol neutralizado, se calienta y se titula con solución acuosa de hidróxido de sodio. El porcentaje de ácidos libres (AGL) en el aceite de palma se calcula como:

$$\% AGL = \frac{25.6 * V * N}{W}$$

Donde:

V = volumen de solución de hidróxido de sodio, expresado en ml

N = normalidad de la solución de hidróxido de sodio.

W = peso de la muestra de aceite de palma, expresada en gramos.

b) Índice de deterioro a la blanqueabilidad (DOBI)

El índice de deterioro a la blanqueabilidad DOBI, es una medida de calidad del aceite crudo de palma que será sometido al proceso de blanqueo y refinación. Este parámetro mide la relación entre la absorbancia de la muestra de ensayo a 446 nm y a 269 nm. El DOBI se expresa hasta con una cifra decimal, adimensional. (Fernández 2011).

Para la determinación del DOBI es necesario homogenizar la muestra a temperatura de 50 °C máximo, pesa aproximadamente 1 mg, la cual será completada a la marca del solvente. Enjuagar la celda del cuarzo tres veces con la solución de ensayo. Llenar el cuarzo con la solución e ingresar al espectrofotómetro, registrar los datos obtenidos. Los resultados se expresan de la siguiente manera:

$$DOBI = \frac{\text{absorbancia a 446 nm}}{\text{absorbancia a 269 nm}}$$

3.8. Procesamiento de datos

Los resultados fueron analizados mediante el análisis de varianza (ANVA), en algunos casos existió significación por lo que se utilizó la prueba de comparación múltiple de Tukey, al nivel de significación de 0,05 y 95% de confiabilidad a través del programa software estadístico statgraphics.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Clasificación de racimo de fruta fresca según estado de madurez antes de esterilizado

Se clasificó los racimos de fruta fresca en tres estados verde, maduro y sobre maduro, teniendo en cuenta la cantidad de tratamientos y repeticiones como se muestra en el siguiente cuadro 4.

Cuadro 4. Clasificación de racimos de fruta fresca según estado de madurez antes de esterilizado.

Repeticiones	Tratamientos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
R1	Verde	Maduro	SobreMaduro	Verde	Maduro	SobreMaduro
R2	Verde	Maduro	SobreMaduro	Verde	Maduro	SobreMaduro
R3	Verde	Maduro	SobreMaduro	Verde	Maduro	SobreMaduro

4.2. Determinación de características sensoriales y fisicoquímicas del fruto fresco según estado de madurez antes del esterilizado

4.2.1. Determinación de características sensoriales del fruto fresco según estado de madurez antes del esterilizado

Las características sensoriales permiten reconocer el grado de madurez de los frutos de palma aceitera y constituyen un factor importante en la obtención de un aceite de calidad. En el Cuadro 5 se muestran los resultados del análisis sensorial realizado a los frutos de palma aceitera antes del proceso de esterilización, constatar anexo 1 (figura 12 y 13 – cuadro 19).

Cuadro 5. Características sensorial de los frutos frescos de palma antes de esterilizado.

MESOCARPIO DE FRUTO VERDE		MESOCARPIO DE FRUTO MADURO		MESOCARPIO DE FRUTO SOBREMADURO	
Característica	Resultado	Característica	Resultado	Característica	Resultado
Olor	Inoloro	Olor	Aromático - palma	Olor	Fétido
Color	Amarillo pálido	Color	Naranja intenso	Color	Café oscuro
Sabor	Astringente	Sabor	Adiposo o graso	Sabor	Rancio
Textura	Rígido, firme	Textura	Blando húmedo	Textura	Magullado

Observamos que las características sensoriales aceptables fruto de palma antes del esterilizado lo tienen únicamente los frutos maduros, ya que poseen un olor aromático, color naranja intenso o rojizo, sabor adiposo o graso, así como la textura

blando húmedo (Palma de aceite 2018) Estos frutos son los que se encuentran en buenas condiciones para su procesamiento, el cual no se puede apreciar en los otros frutos con estado de madures verde o sobremaduro.

Generalmente se espera que la calificación del porcentaje de racimos maduros sea de mínimo del 90% del total de racimos evaluados. Generalmente los racimos maduros desprenden naturalmente frutos (desprendimiento inferior al 50% en su primera capa), pero a veces, cuando pasa el cortador, el racimo no ha soltado frutos, por tanto él procede a tocarlo levemente, para comprobar el desprendimiento. Mientras que los frutos sobremaduros son de color amarillo rojizo que han desprendido más del 50 % de los frutos externos en forma natural. Se espera que la cantidad de racimos sobremaduros encontrados no exceda el 10% del total de los RFF en la tolva (Palma de aceite 2018).

La evaluación de las características de calidad de los RFF que llegan a la tolva en la planta de beneficio constituye una etapa muy importante en la extracción de aceite, dado que determina algunas condiciones del proceso, y puede definir la calidad del fruto de un proveedor y a su vez permite inferir el comportamiento en la eficiencia de extracción. El control de la materia prima o RFF se debe realizar desde la recepción en la plataforma, antes de ser almacenados en las tolvas; este control se realiza de manera manual y se deben tener en cuenta características físicas tales como textura, olor y color, madurez, tamaño y formación (Yokohama y Fernández 2016)

4.2.2. Determinación de característica fisicoquímica del aceite de los frutos frescos según estado de madurez antes del esterilizado

- **Determinación de % de ácidos grasos libres (acidez) del aceite de los frutos antes del esterilizado:** En el Cuadro 6 observamos el resultado de la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey para el contenido de Ácidos Grasos Libres (Acidez) de los frutos de palma, constatar anexo 1 (cuadro20).

Cuadro 6. Comparación múltiple de medias de Tukey para el contenido de Ácidos Grasos Libres (Acidez) de los frutos por estado de madurez.

Madurez del fruto	Recuento	Promedio ¹
Maduro	6	2.182 ± 0.547 ^a
Verde	6	3.075 ± 0.561 ^b
Sobre maduro	6	3.503 ± 0.0.168 ^c

¹ Los valores corresponden a la media ± SD, para n=6.

Observamos la diferencia significativa en el % ácidos grasos libres (acidez) para cada estado de madurez de los frutos de palma. Los frutos maduros presentaron menor acidez; mientras que los frutos sobremaduros fueron los que presentaron mayor acidez.

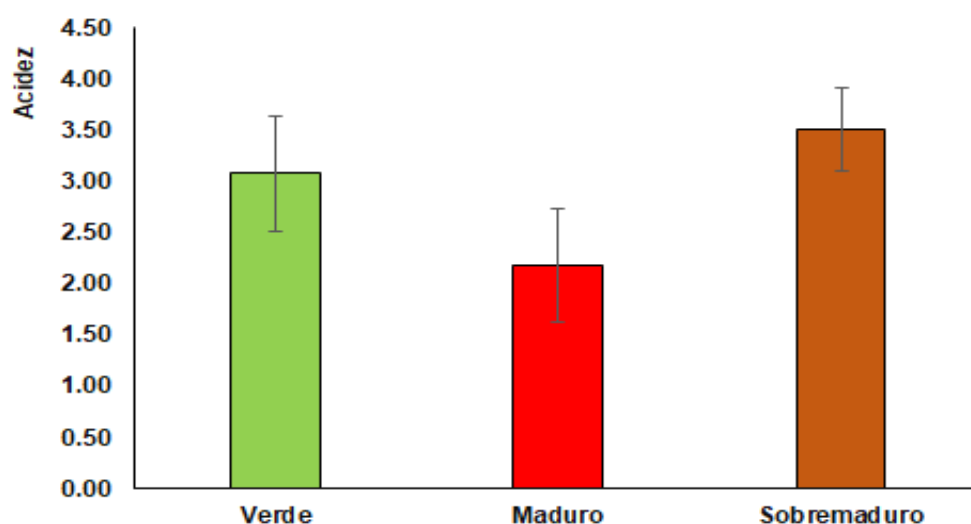


Figura 3. Variación del contenido de Ácidos Grasos Libres (Acidez) de los frutos frescos de palma según madurez.

La acidez es un factor importante que afecta la calidad de aceite, esta es producida por la acción de la enzima lipasa (Hartley, citado por Montoya *et al.* 2013). Un fruto suelto, recién caído del racimo de la palma tiene un 2% de acidez, en el racimo cortado el proceso de acidificación se acelera considerablemente, también influyendo el manejo de los racimos, el número de golpes dados antes de su procesamiento; entre otras causas (Montoya *et al.* 2013). El rango de ácidos grasos libres en el aceite de palma es de 2.3 – 6.7% (Tan *et al.* citado por Muñoz 2016).

4.3. Proceso de esterilización de los frutos

Durante el proceso de esterilización se evaluó tres picos de presión a dos tiempos, primer proceso de esterilizado fue a 30/10/40 psi a 60 min, segundo proceso de esterilizado fue a 30/10/45 psi a 80 min, de acuerdo a la clasificación de los racimos de fruta de palma según estado de madurez, posteriormente se procedió a analizar en el laboratorio dichos racimos de fruta para la determinación de la influencia del esterilizado en el rendimiento y calidad de aceite extraído.

4.3.1. Características sensoriales del fruto después del esterilizado

En el Cuadro 7 se muestra las características sensoriales de los frutos luego del proceso de esterilización (Picos de esterilización) al que fueron sometidos los racimos de frutos de palma, según los resultados de nuestros panelistas, constatar anexo 1 (figura 12 y 13 – cuadro 19).

Cuadro 7. Características sensoriales de los frutos de palma después del proceso de esterilización.

MESOCARPIO DE FRUTO VERDE			
Pico de esterilización 30/10/40 Psi - 60 min		Pico de esterilización 30/10/45 Psi - 80 min	
Característica	Resultado	Característica	Resultado
Olor	Aromático - Palma	Olor	Inoloro
Color	Café pálido	Color	Café pálido
Sabor	Astringente	Sabor	Astringente
Textura	Blando seco	Textura	Blando seco
MESOCARPIO DE FRUTO MADURO			
Pico de esterilización 30/10/40 Psi - 60 min		Pico de esterilización 30/10/45 Psi - 80 min	
Característica	Resultado	Característica	Resultado
Olor	Aromático - Palma	Olor	Aromático – Palma
Color	Rojo intenso	Color	Rojo intenso
Sabor	Adiposo o graso	Sabor	Adiposo o graso
Textura	Blando húmedo	Textura	Blando húmedo
MESOCARPIO DE FRUTO SOBREMADURO			
Pico de esterilización 30/10/40 Psi - 60 min		Pico de esterilización 30/10/45 Psi - 80 min	
Característica	Resultado	Característica	Resultado
Olor	Fétido - Palma	Olor	Fétido – Palma
Color	Café oscuro	Color	Café oscuro
Sabor	Rancio	Sabor	Rancio
Textura	Magullado	Textura	Magullado

Los frutos maduros son los que presentan mejor característica sensorial. La falta de uniformidad en la madurez de los frutos, en especial la presencia de frutos verdes y sobremaduros, las demoras en el transporte, almacenamiento, grado de magulladura, entre otros; es perjudicial para el productor de aceite de palma (Franco, citado por Montoya *et al.* 2013).

Por ello, los racimos de fruta recién cosechados deben ser procesados en la planta de extracción inmediatamente para minimizar el aumento de ácidos grasos libres, los cuales determinan la calidad del aceite de palma (Lai *et al.* citado por Muñoz 2016).

4.4. Rendimiento de extracción de aceite crudo de palma mediante el método Soxhlet

En el Cuadro 8 se muestra el análisis de varianza para la cantidad de aceite extraído por racimo mediante el método Soxhlet teniendo en cuenta los factores: estado de madurez de los frutos y pico de esterilización, a los cuales fueron sometidos los frutos durante el proceso de esterilización, constatar anexo 1 (cuadro 24,25, 26, 28, 29, 30).

Cuadro 8. Análisis de varianza para evaluar el efecto de los factores en la cantidad de aceite en racimo.

Fuente	S.C.	g.l.	C.M.	Fc	Pv
Madurez	660.919	2	330.460	201.550	0.0000
Pico de esterilización	57.531	1	57.531	35.090	0.0001
Madurez x Pico de esterilización	1.029	2	0.515	0.310	0.7375
Repetición – Bloque	1.287	2	0.644	0.390	0.6853
Residuo	16.396	10	1.640		
Total	737.162	17			

Se puede observar que el estado de Madurez de los frutos influye de un modo altamente significativo ($Pv < 0.01$) en el rendimiento de extracción de aceite mediante el método Soxhlet. Del mismo modo el factor Pico de esterilización ejerce un efecto altamente significativo ($Pv < 0.01$) en el rendimiento del aceite.

En el Cuadro 9 se muestra la comparación múltiple de medias de Tukey, para determinar el estado de Madurez con mejores resultados en el rendimiento de aceite.

Cuadro 9. Comparación múltiple de Tukey de la cantidad de aceite en racimo, por madurez.

Madurez	Recuento	Media ¹
Fruto verde	6	14.838 ± 0.523 ^a
Fruto sobremaduro	6	25.312 ± 0.523 ^b
Fruto maduro	6	29.183 ± 0.523 ^c

¹ Los valores corresponden a la media ± SD, para n = 6.

Valores con letras diferentes indican diferencia significativa.

El rendimiento de aceite es mayor cuando los frutos son maduros, seguido de los frutos sobremaduros y mucho menor es el rendimiento de aceite cuando los frutos son verdes. El rendimiento del aceite de palma depende de una serie de componentes, el estado de madurez y la calidad de la fruta (Basyuni *et al.* 2017). La formación de un nuevo racimo comienza con la generación de carbohidratos y la posterior síntesis de ácidos grasos (litogénesis), esto ocurre cuando el racimo está próximo a su estado de madurez, si la fruta se cosecha antes del momento que ésta alcance su máximo contenido de aceite, no tendrá la cantidad que se requiere. Si se cosecha pasado el punto óptimo de madurez se corre el riesgo de que se deteriore la calidad del aceite (hidrólisis del aceite) (Montoya 2011). El máximo contenido de aceite se logra cuando los frutos internos del racimo alcanzan la madurez fisiológica, por otro lado con el aplazamiento de la cosecha (frutos sobremaduros) se logra disminuir la producción de aceite por racimo (Ochoa *et al.* 2013).

Esto se reafirma con la Figura 4, donde para cada Pico de esterilización a la cual fue sometido los frutos de palma los frutos maduros presentan mayor rendimiento en aceite.

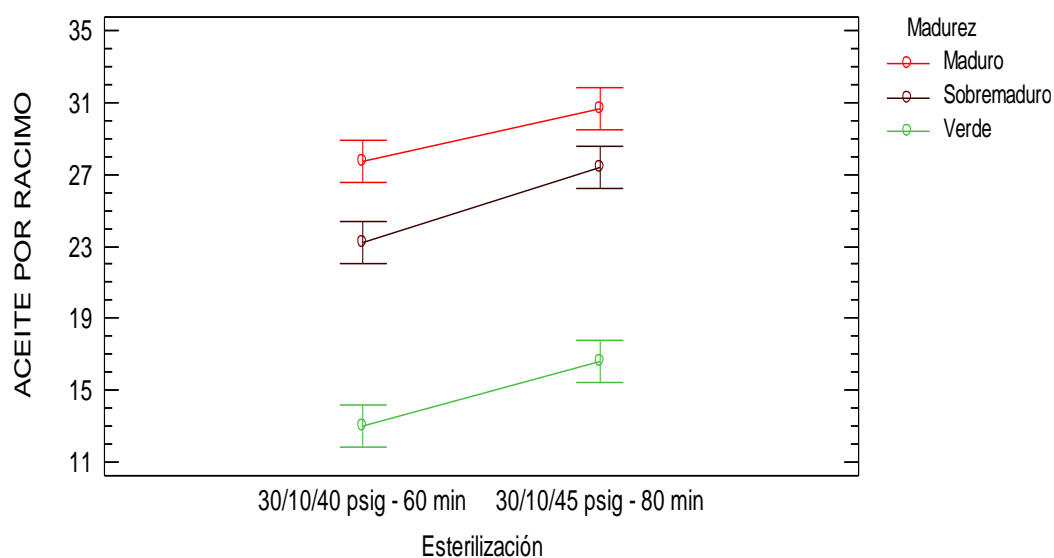


Figura 4. Interacción de Madurez – Pico de esterilización por contenido de aceite por racimo aplicado a los frutos de palma, para el contenido de aceite.

En el Cuadro 10 se muestra la comparación múltiple de medias de Tukey, para determinar el estado de Madurez con mejores resultados en el rendimiento de aceite.

Cuadro 10. Comparación múltiple de Tukey de la cantidad de aceite en racimo, por pico de esterilización.

Pico de esterilización	Recuento	Media ¹
30/10/40 psi – 60 min	9	21.323 ± 0.427 ^a
30/10/45 psi – 80 min	9	24.899 ± 0.427 ^b

¹ Los valores corresponden a la media ± SD, para n = 9.
Valores con letras diferentes indican diferencia significativa.

Se observa que el rendimiento de aceite es mayor (24.899%) cuando durante el proceso de esterilización los frutos son sometidos a un Pico de esterilización: 30/10/45 psig – 80 min; mientras que los frutos sometidos a un Pico de esterilización: 30/10/40 psig – 60 min tuvieron un menor es el rendimiento de aceite. Esto se consolida en la Figura 8, donde se observa para cada estado de Madurez el rendimiento de aceite es mayor cuando el Pico de esterilización es 30/10/45 psig – 80 min.

La Figura 5 reafirma los resultados del Cuadro 10. Para cada estado de madurez de los frutos de palma existe diferencia significativa en el contenido de aceite por racimo según el Pico de esterilización aplicado.

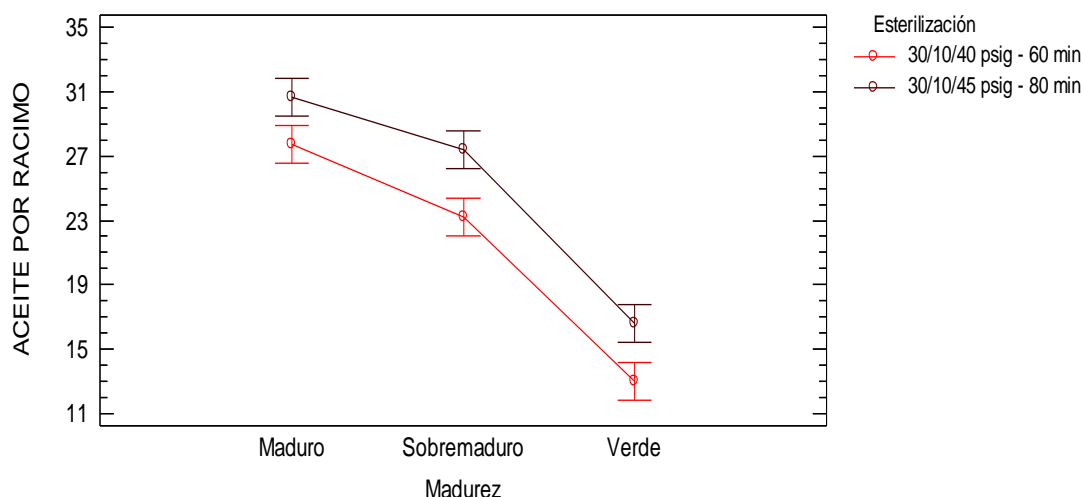


Figura 5. Interacción de los factores Madurez – Pico de esterilización por estado de madurez de los frutos de palma. para el contenido de aceite.

Se observa que para ambas aplicaciones de esterilización el comportamiento es el mismo considerando el estado de madurez de los frutos de palma. También se puede diferenciar que el rendimiento del aceite es mayor cuando el pico de esterilización fue de 30/10/45 psig – 80 min para todos los estados de madurez.

Durante la esterilización hay una preparación del pericarpio y destrucción de las paredes de las celdas cargadas de aceite preparando el fruto para el proceso de digestión. Durante la esterilización el calor penetra en el pericarpio y si la temperatura es suficientemente elevada, los elementos almido-gelatinosos del pericarpio y del tallo se modifican de tal forma, que cuando el fruto es digerido y prensado, permiten un desalojo fácil a los aceites desde las partes sólidas. Esto se presenta tanto en el prensado de las fibras, como en el posterior proceso de clarificación. Dependiendo de la temperatura y tiempo del esterilización, los almidones y carbohidratos se hidrolizan en un mayor o menor grado (Ojeda, 1991).

4.5. Características fisicoquímicas del aceite extraído

4.5.1. Ácidos grasos libres (acidez)

a) Determinación de % de ácidos grasos libres (acidez) del aceite de los frutos verdes después del esterilizado

En el Cuadro 11 se muestra el análisis de varianza para realizado para evaluar el efecto del proceso de esterilización (Picos de esterilización) en el contenido de Ácidos Grasos Libres (Acidez) de los frutos verdes, constatar anexo 1 (cuadro 31, 32, 33).

Cuadro 11. Análisis de varianza para evaluar el efecto del proceso de esterilización en el contenido de Ácidos Grasos Libres (Acidez) de los frutos verdes.

Fuente	S.C.	g.l.	C.M.	Fc	Pv
Proceso de esterilización	2.616	2	1.308	5.520	0.0272
Residuos	2.132	9	0.237		
Total	4.748	11			

Se puede observar que el proceso de esterilización al que fueron sometidos los frutos verdes influye significativamente ($Pv < 0.05$) en la acidez.

Cuadro 12. Comparación múltiple de Tukey para el contenido de Ácidos Grasos Libres (Acidez) de los frutos verdes, según proceso de esterilización.

Frutos verdes	Casos	Media ¹
Después de la esterilización 30/10/40 psig – 60 min	3	1.940 ± 0.465 ^a
Después de la esterilización 30/10/45 psig – 80 min	3	2.830 ± 0.249 ^{a, b}
Antes del proceso de esterilización	6	3.075 ± 0.561 ^c

¹ Los valores corresponden a la media ± SD, para n = 3 o 6 (Casos). Valores con letras diferentes indican diferencia significativa.

Podemos observar que hay diferencia significativa en la acidez (AGL) para los frutos verdes de palma aceitera según el proceso de esterilización (Pico de esterilización) al cual fue tratado.

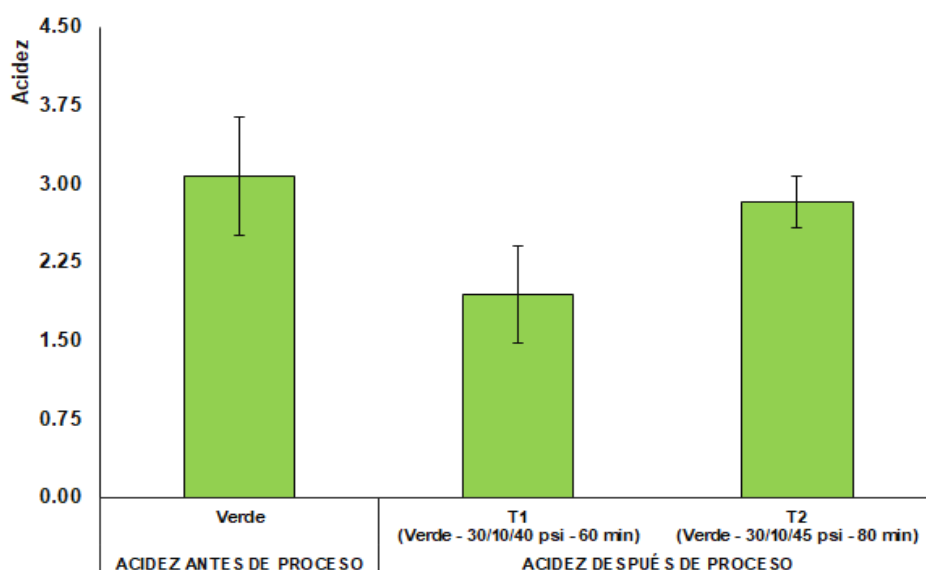


Figura 6. Variación del contenido de Ácidos Grasos Libres (Acidez) para los frutos verdes según picos de esterilización.

En forma general, la acidez disminuyó luego del tratamiento térmico, siendo menor la acidez (1.940 ± 0.465) para los frutos tratados con el proceso de esterilización: 30/10/40 psig – 60 min; mientras que para los frutos tratados con el proceso de esterilización: 30/10/45 psig – 80 min el valor de la acidez fue mayor (2.830 ± 0.249). Sin embargo, el valor de la acidez para los frutos verdes tratados térmicamente (para ambos procesos de esterilización) no presenta diferencia significativa. También, la acidez de los frutos verdes evaluados antes del proceso de esterilización no presenta diferencia con los valores de acidez de los frutos tratados con el proceso de esterilización: 30/10/45 psig – 80 min.

b) Determinación de % de ácidos grasos libres (acidez) del aceite de los frutos maduro después del esterilizado

En el Cuadro 13 se muestra el análisis de varianza para realizado para evaluar el efecto del proceso de esterilización (Picos de esterilización) en la acidez de los frutos maduros, constatar anexo 1 (cuadro 34, 35, 36).

Cuadro 13. Análisis de varianza para evaluar el efecto del proceso de esterilización en la acidez de los frutos maduros.

Fuente	S.C.	g.l.	C.M.	Fc	Pv
Proceso de esterilización	1.046	2	0.523	2.760	0.1164
Residuos	1.707	9	0.190		
Total	2.753	11			

Se puede observar que el proceso de esterilización al que fueron sometidos los frutos maduros no influye significativamente ($P_v > 0.05$) en la acidez.

Cuadro 14. Comparación múltiple de Tukey para la acidez de los frutos maduros, según proceso de esterilización.

Frutos maduros	Casos	Media ¹
Después de la esterilización 30/10/40 psig – 60 min	3	1.460 ± 0.303 ^a
Después de la esterilización 30/10/45 psig – 80 min	3	1.897 ± 0.112 ^a
Antes del proceso de esterilización	6	2.182 ± 0.547 ^a

¹ Los valores corresponden a la media ± SD, para n = 3 ó 6 (Casos).
Valores con letras diferentes indican diferencia significativa.

La comparación múltiple de medias de Tukey corrobora el resultado del análisis de varianza realizado. Los valores de la acidez no presentan diferencia significativa antes ni después del proceso de esterilización de los frutos maduros.

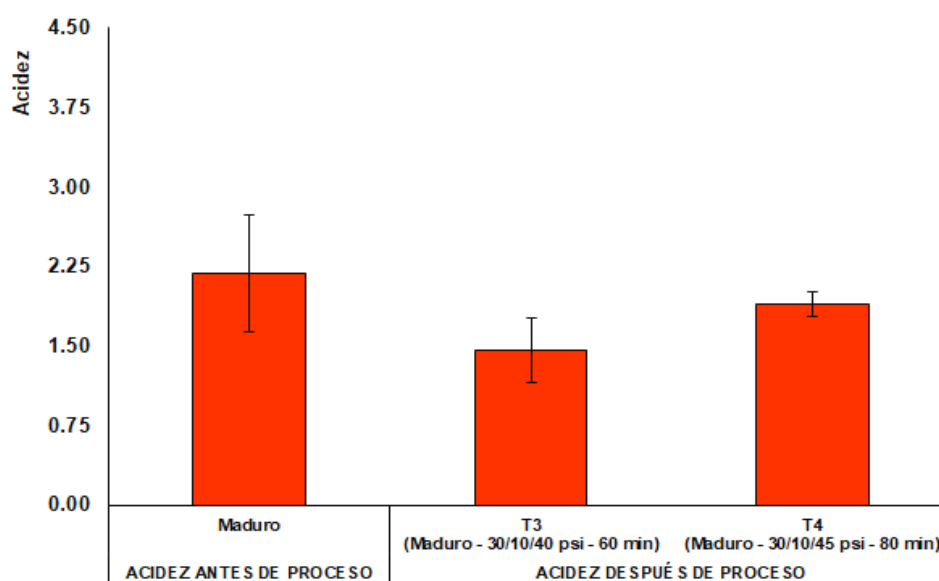


Figura 7. Variación de la acidez para los frutos maduros según picos de esterilización.

c) Determinación de % de ácidos grasos libres (acidez) del aceite de los frutos sobre maduro después del esterilizado

En el Cuadro 15 se muestra el análisis de varianza para realizado para evaluar el efecto del proceso de esterilización (Picos de esterilización) en la acidez de los frutos sobre maduros. Se puede observar que el proceso de esterilización al que fueron sometidos los frutos sobre maduros influye significativamente ($P_v < 0.05$) en la acidez, constatar anexo 1 (cuadro 37, 38, 39).

Cuadro 15. Análisis de varianza para evaluar el efecto del proceso de esterilización en la acidez de los frutos sobremaduros.

Fuente	S.C.	g.l.	C.M.	Fc	Pv
Proceso de esterilización	0.874	2	0.437	4.640	0.041
Residuos	0.847	9	0.094		2
Total	1.721	11			

Al resultar significativo el análisis de varianza se procedió con la prueba de comparación múltiple de medias, cuyo resultado se muestra en el Cuadro 16.

Cuadro 16. Comparación múltiple de Tukey para la acidez de los frutos sobremaduros, según proceso de esterilización.

Frutos sobre maduros	Casos	Media ¹
Después de la esterilización 30/10/40 psig – 60 min	3	2.887 ± 0.031 ^a
Después de la esterilización 30/10/45 psig – 80 min	3	3.073 ± 0.061 ^{a, b}
Antes del proceso de esterilización	6	3.503 ± 0.409 ^c

¹ Los valores corresponden a la media ± SD, para n = 3 ó 6 (Casos).
Valores con letras diferentes indican diferencia significativa.

Se observa que hay diferencia significativa en la acidez (AGL) para los frutos sobre maduros de palma aceitera según el proceso de esterilización (Pico de esterilización) al cual fue tratado.

En forma general, la acidez de los frutos sobremaduros disminuyó luego del tratamiento térmico, siendo menor la acidez (2.887 ± 0.031) para los frutos tratados con el proceso de esterilización: 30/10/40 psig – 60 min; mientras que para los frutos sobremaduros tratados con el proceso de esterilización: 30/10/45 psig – 80 min el valor de la acidez fue mayor (3.073 ± 0.061). Sin embargo, el valor de la acidez para los frutos sobremaduros tratados térmicamente (para ambos procesos de esterilización) no presenta diferencia significativa.

También, la acidez de los frutos sobremaduros evaluados antes del proceso de esterilización no presenta diferencia con los valores de acidez de los frutos sobremaduros tratados con el proceso de esterilización: 30/10/45 psig – 80 min.

En la Figura 8 se muestra la variación de la acidez para los frutos sobremaduros que fueron sometidos a diferentes picos de esterilización.

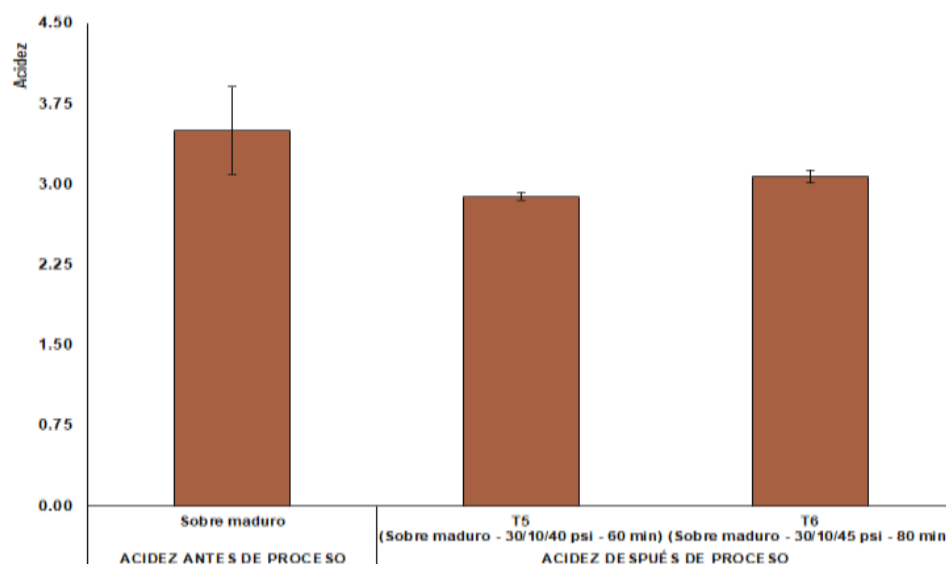


Figura 8. Variación de la acidez para los frutos sobre maduros según picos de esterilización.

El principal factor que influye en la calidad, es el elevado nivel de oxidación (reacción que se produce entre los enlaces dobles de las grasas insaturadas y el oxígeno del medio) en la cual se dan compuestos oxidados como aldehídos o cetonas y ácidos grasos libres de cadena corta, que conducen a la alteración de las características sensoriales del producto y formación de rancidez en el aceite (Kader, citado por Montoya *et al.* 2013)

La acidez en la agroindustria de la palma de aceite está entre las variables de mayor relevancia, la que se encuentra ligada directamente con la calidad del aceite (Cadena; Rueda, citado por Montoya *et al.* 2013).

Los AGL se forman con la maduración fisiológica y su contenido se eleva por la acción de varios factores tales como: sobre maduración, demoras en el transporte, almacenamiento, grado de magulladura, entre otros; lo que es perjudicial para el productor cuando su cosecha no puede llegar a tiempo a la planta de procesamiento (Franco, citado por Montoya *et al.* 2013).

La generación de ácidos grasos libres se por la presencia de la enzima lipasa. La inactivación de esta enzima se obtiene con la esterilización (Vuncent, Shamsudin y Baharudin, citado por Muñoz 2016).

4.5.2. Índice de deterioro de blanqueabilidad - DOBI

En el Cuadro 17 se muestra el Análisis de Varianza (ANVA) para evaluar el efecto de la madurez de los frutos de palma y del proceso de esterilización (Pico de esterilización) en el índice de blanqueamiento (DOBI) del aceite, ver anexo 1 (cuadro43).

Cuadro 17. Análisis de varianza para evaluar el efecto de los factores en el índice de blanqueamiento (DOBI) del aceite.

Fuente	S.C.	g.l.	C.M.	Fc	Pv
Madurez	0.005	2	0.0024	0.010	0.9892
Pico de esterilización	0.151	1	0.1512	0.700	0.4238
Madurez x Pico de esterilización	0.001	2	0.0007	0.000	0.9967
Repetición - Bloque	0.907}	2	0.4537	2.090	0.1750
Residuo	2.175	10	0.217		
Total	3.240	17			

Se puede observar que el factor de estudio: Estado de madurez de los frutos, no afecta ($P_v > 0.05$) el valor del índice de blanqueamiento del aceite luego del proceso de esterilización. Del mismo modo el segundo factor de estudio: Picos de esterilización no ejerce un efecto significativo ($P_v > 0.05$).

El proceso de esterilización es de mucha importancia en el proceso de extracción de aceite de palma. Si se esteriliza adecuada o inadecuadamente los racimos, teniendo en cuenta su tamaño y su grado de maduración, nos dará así mismo una mayor o menor calidad en cada paso de nuestro proceso de extracción: desfrutamiento, digestión, prensado, clarificación, desfibrado y extracción de almendra (Ojeda, 1991).

Los valores de DOBI se ven afectados significativamente por la frescura de los racimos; un almacenamiento de racimos de palma aceitera durante cuatro días muestra una reducción significativa en los valores de DOBI. También, las frutas magulladas, las frutas poco maduras y demasiado maduras también afectan los valores de DOBI (Azian *et al.* 2006). En la Figura 9 se muestra la variación en el

DOBI según la madurez del fruto y el proceso de esterilización (Pico de esterilización) al que fueron sometidos los frutos.

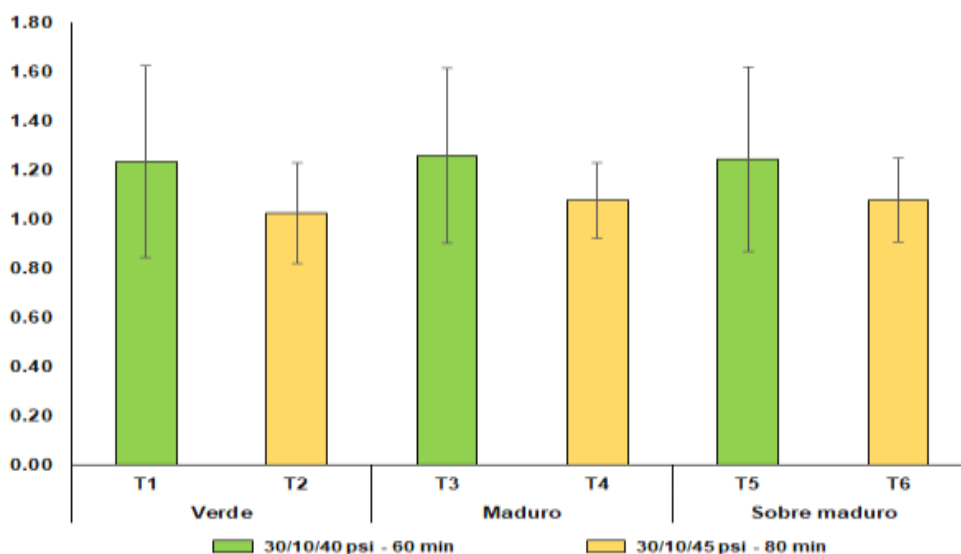


Figura 9. Variación del DOBI por madurez del fruto y picos de esterilización.

Se observa que, luego del proceso de esterilización los valores del DOBI son bajos, probablemente debido al tiempo transcurrido desde la obtención de la muestra del esterilizador hasta la evaluación en el laboratorio, considerando el tamaño de muestra. Además, hay relativamente una demora desde que los frutos son cosechados hasta la entrega de frutos a la planta y el ingreso a proceso. La razón principal de tener un valor DOBI bajo probablemente se debe a los productos de oxidación secundaria muy altos que podrían existir en las frutas sueltas, debido a su condición física que se desprendió naturalmente de su racimo (Junaidah, Norizzah y Zaliha 2013). La calidad de los racimos, los criterios de maduración, el tiempo entre la cosecha y el procesamiento afectan la calidad del aceite; por ello el proceso de esterilización es de gran importancia y está dentro del control de la planta (Urueta 2007).

Por otro lado, una alta presencia de carotenos es sinónimo de fresca y de un estado óptimo de madurez del fruto de palma. Una alta presencia de compuestos carbonílicos es señal de un aceite de palma muy deteriorado por oxidación (Urueta 2007). La lectura del índice de deterioro de la capacidad de blanqueo (DOBI) es uno de los parámetros de calidad obligatorios utilizados para medir el nivel de oxidación (Junaidah, Norizzah y Zaliha 2013).

En la Figura 10 se muestra el comportamiento del DOBI durante el proceso de extracción de aceite crudo de palma considerando los picos de esterilización y el

estado de madurez de los frutos. Por lo general, en temporadas de baja producción de fruto, el abastecimiento de materia prima a la planta de extracción es con frutos verdes en mayor proporción (70%). Mientras que en temporadas de alta producción el abastecimiento de materia prima es con frutos maduros en mayor porcentaje (70%).

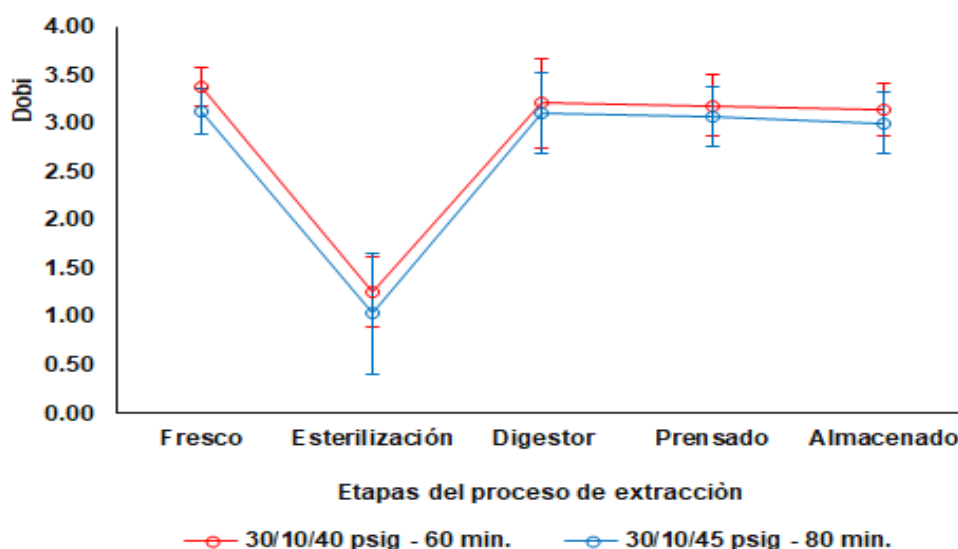


Figura 10. Variación del DOBI durante el proceso de extracción de aceite considerando los picos de esterilización.

Observamos que el valor del DOBI sufre una disminución en el proceso de esterilización; sin embargo, durante la digestión se logra mejora el índice de blanqueamiento, disminuyendo levemente en los posteriores procesos. Este comportamiento es similar para ambos picos de esterilización, pero es necesario mencionar que el tratamiento de esterilización: 30/10/40 psi – 60 min, se evaluaron durante la temporada de alta producción, donde hay mayor incidencia de frutos maduros; mientras que el tratamiento: 30/10/45 psi – 80 min, se evaluaron durante la temporada de baja producción, donde hay mayor incidencia de frutos verdes.

La aplicación del tratamiento de esterilización: 30/10/45 psi – 80 min durante el proceso de extracción a los frutos que en mayor porcentaje son verdes se realizó porque los frutos son demasiado rígidos y la humedad de los frutos se incrementa durante la maduración. El contenido de humedad influye en los valores DOBI. DOBI tiene una correlación directa y fuerte con los niveles de caroteno. DOBI está muy influenciado por la madurez y el tiempo de procesamiento de la fruta, así como por las etapas de procesamiento en la planta causadas por el sobrecalentamiento y la contaminación (Hasibuan 2018). En el

Cuadro se muestra la calificación del parámetro Dobi para establecer el nivel de calidad del aceite crudo de palma.

Cuadro 18. Calificación del parámetro DOBI.

Valor DOBI	Grado
< 1.68	Palma ácida
1.69 – 2.30	Pobre
2.31 – 2.98	Regular
2.99 – 3.24	Bueno
> 3.24	Excelente

FUENTE: Urueta (2007)

Los resultados de los tratamientos de esterilización (picos de esterilización) aplicados a los frutos de palma en temporada de alta y de baja producción permitieron obtener un aceite crudo de palma con aceptable calidad ($2.99 < \text{DOBI} < 3.24$), teniendo en cuenta el valor del Dobi al final de todo el proceso de extracción. Por lo tanto, se debe tener cuidado para mejorar la calidad del aceite crudo de palma, poniendo atención a la madurez de los frutos frescos y en el proceso de esterilización (Junaidah, Norizzah y Zaliha 2013).

Es esencial para cualquier fábrica de aceite de palma extraer aceite crudo de palma con excelente calidad y estabilidad, particularmente en la oxidación. La oxidación de los lípidos en el aceite crudo de palma es un proceso mediante el cual los ácidos grasos insaturados presentes en el aceite reaccionan con el oxígeno del aire, lo que resulta en rancidez que puede conducir a una deficiente capacidad de blanqueo y almacenamiento. Como resultado, los sabores y la vida útil de los productos alimenticios finales se degradarán. Dicha degradación puede ser fácilmente detectada por el paladar incluso a concentraciones muy bajas. Por tanto, el índice de deterioro de la capacidad de blanqueo (DOBI) es uno de los parámetros de calidad obligatorios utilizados para medir el nivel de oxidación (Onwuka y Akaerue, citado por Junaidah, Norizzah y Zaliha 2013).

V. CONCLUSIONES

5.1. Características sensoriales y fisicoquímicas del fruto fresco según estado de madurez

Las características sensoriales del fruto maduro son mejores comparando con las características sensoriales de los frutos verdes y sobremaduros. La coloración naranja intenso es un indicador de la presencia de carotenoides. Además, al ser la textura blanda y húmeda facilita el proceso de esterilización, en tanto la recepción de RFF en la empresa OLAMSA debe tener estas características óptimas para un mejor rendimiento de extracción y calidad del aceite.

Según los resultados de la investigación, la acidez de los frutos es menor (2.182) cuando el fruto está maduro; mientras que la acidez de los frutos verdes y sobremaduros es mayor. La acidez es una característica muy importante porque incide en la calidad del aceite crudo de palma; por lo tanto, la empresa OLAMSA debe procesar fruto maduro para garantizar la calidad de aceite en su característica principal la acidez.

5.2. Proceso de esterilización de los frutos

De acuerdo a las pruebas realizadas se concluye que el mejor proceso de esterilización es el de 30/10/45 psi a 80 min, según clasificación de racimo de fruta madura, ya que las características de rendimiento y calidad son óptimas, generando menor pérdida en condensados de esterilizados, y por ende mayor rentabilidad. Ante ello la empresa OLAMSA debe tomar estas condiciones de esterilización para garantizar mayor rendimiento de extracción.

5.2.1. Características sensoriales de frutos esterilizado.

Las características sensoriales del fruto maduro luego de someter al proceso de esterilización (30/10/45 psi a 80 min) son óptimas comparando con las características sensoriales de los frutos verdes y sobremaduros. Hay predominio de la coloración naranja, del sabor a grasa y textura húmeda, características que permitirán obtener un aceite crudo de palma de buena calidad y óptimo rendimiento de extracción.

5.3. Rendimiento de extracción de aceite mediante el método Soxhlet

La madurez y el proceso de esterilización (picos de esterilización) son factores que afectan el rendimiento en aceite. Los frutos maduros son los que presentan mayor contenido de aceite; mientras que los frutos verdes presentaron menor contenido de aceite, esto porque los frutos no llegaron a su madurez completa.

Durante el proceso de esterilización el tratamiento que permitió mejor rendimiento de aceite se obtuvo cuando el pico de esterilización fue 30/10/45 psi – 80 min., debido a que se logra mayor ablandamiento de los frutos que mejoran la extracción llegando a 24% de tasa de extracción de aceite, el cual comprueba la optimización del tiempo y picos de esterilizado en frutos frescos maduros.

5.4. Características fisicoquímicas del aceite extraído

5.4.1. Ácidos grasos libres (acidez)

La determinación de los ácidos grasos libres concluye que, a mejor condición de esterilizado en tiempo y presión, teniendo en cuenta el estado de madurez del fruto será menor por ende mejora la calidad del aceite. Ya que con el proceso de esterilización (30/10/45 psi a 80 min) para los frutos con distinto estado de madurez. La disminución en el porcentaje se debe a que la hidratación es mayor en los frutos maduros; Además, se confirma que durante el proceso de esterilización se inactiva la acción de las lipasas que son causantes del incremento de la acidez del aceite, se tiene en cuenta que el factor tiempo es y presión es determinante para obtener estos resultados.

5.4.2. Índice de deterioro de blanqueabilidad – DOBI

Según los resultados tanto el factor madurez del fruto y el proceso de esterilización (Pico de esterilización) no presentan diferencia. En todos los casos hubo una disminución del índice de blanqueamiento debido a que al ser sometido a temperaturas mayor al 200°C que representa el pico más alto de esterilización 45 psi por tiempos prolongados el índice de deterioro de blanqueabilidad es 0, sin embargo, durante las etapas posteriores de la extracción el índice de blanqueamiento mejora, como se muestra en los anexos y cuadros de resultados, considerando el criterio que a menor madurez de los frutos la esterilización debe tener mayor tiempo (10/30/45 psi – 80 min); mientras que a mayor madurez menor tiempo de esterilización (10/30/40 psi – 60 min).

VI. RECOMENDACIONES

- a) Para el proceso de extracción de aceite crudo de palma la empresa oleaginosas amazónicas S.A. en lo posible debe clasificar los racimos de fruta de palma según su estado de madures en la recepción, de ser efectiva solo recepcionar racimos maduros, ya que presentan mejores condiciones para la extracción de aceite después del proceso de esterilizado, incrementado el potencial de aceite y rendimiento de la planta extractora, esta condición de maduración presentan mejor característica sensorial y fisicoquímicas (acidez), ya que es un factor importante para obtener aceite de calidad.
- b) La empresa debe establecer los picos de esterilización según la madurez de los frutos, teniendo en cuenta los parámetros de presión y tiempo de cocinado, para los frutos verde durante la esterilización se debe aplicar el pico de esterilización: 10/30/45 psi – 80 min; para los frutos maduros y sobre maduros se debe aplicar el pico de esterilización: 10/30/40 psi – 60 min., estos parámetros (presión y tiempo) de control en esterilización son de gran importancia para determinar la tasa de extracción de aceite, así mismo clasificar el fruto para la esterilización ayudara a mejorar el rendimiento de planta por que se programara los equipos a medida del estado de madures para su funcionamiento.
- c) La empresa debe implementar políticas de capacitación para cosechar racimos de palma en el estado correcto de madurez; debido a que se demostró que esta condiciones de madurez es importante para obtener mejor rendimiento en la tasa de extracción y calidad del aceite; además, se debe reducir el tiempo de transporte desde la cosecha y el ingreso de los frutos a proceso en la planta; ya que son factores que determinan las condiciones el estado de madures y por ende el tiempo y presión en el esterilizado; el cual si es tratado de manera correcta genera reducción en tiempos muertos y mayor rentabilidad.

VII. BIBLIOGRAFIA

- Alfaro, M; Ortiz, E. 2006. Proceso de producción del aceite de palma. MAG. Consultado 23 Oct 2017, disponible en <http://www.galeon.com/subproductospalma/proceso1.pdf>
- Ariffin, AA. 2016. Ripeness Standard, Zero USB, 5% oil in Fiber (odm) and Concept Management for High oer. *Pertemuan Teknis Kelapa Sawit, Vision 35-26 Palm Oil Industry Indonesia, Batam*, 4 – 6 Oct. 2016.
- Azian, MN; Abd, AM; Mohd, ZR. 2006. Process design in degumming and bleaching of palm oil. Centre of Lipids Engineering and Applied Research. Universiti Teknologi Malaysia. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.132.353&rep=rep1&type=pdf>
- Basyuni, M; Amri, N; Pancawaraswati, PL; Syahputra, I; Arifiyanto, D. 2017. Characteristics of fresh fruit bunch yield and the physicochemical qualities of palma oil during storage in North Sumatra. *Indonensia. Indones. J. Chem*, 17(12): 182 – 190.
- Cela, RA; Lorenzo, M. del Carmen Casais 2016, *Técnicas de Separación en Química Analítica*, Ed. Síntesis, Madrid.
- Cenipalma (Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite). 2011. Manual de procedimiento de laboratorio en plantas de beneficio, Bogotá-Colombia
- Coapalmaecara 2014. Proceso de extracción de palma. Consultado 20 Mayo 2018. Disponible en <http://coapalmaecara.com/index.php/manejo-de-palma-africana/86-coapalmaecara/procesamiento>
- Díaz, O; García, J; Prada, R. 2007. Evaluación a escala piloto de ciclos de esterilización con racimos de fruto palma desespigados. *Ceniavances # 145*.
- Echevarría, G; Jordi Graell, J; López, L; Lara, I. 2008, *Grupo de Aromas y Calidad Sensorial, Área de Poscosecha UdL-IRTA Lleida, España*.
- Fedepalma. 1998. *Revista Palmas, Vol. 12, número especial 1998- Bogotá*.
- Fernández, C. 2011. *Calidad del aceite/manual de laboratorio, Cenipalma. Colombia p18-29*
- Guoron, A. 2015. Cultivo de palma africana. Consultado 11 Agost 2017. Disponible en <http://cultivodepalmaafricana.blogspot.com/2011/11/descripcion-botanica.html>
- Hernández, E. 2005. *Evaluación sensorial. Universidad Nacional Abierta y Adistancia – UNAD. Bogotá D.C.*

- Hasibuan, HA. 2018. Deterioration of bleachability index pada crude palm oil: bahan review dan Usulan UntuK SNI 01-2901-2006. *Jurnal Standardisasi*, 18(1), 25. doi:10.31153/js.v18i1.694
- InfoAgro. 2010. Cultivo de palma africana, revisada el 06 de septiembre del 2017 mediante el link http://www.infoagro.com/herbaceos/oleaginosas/palma_africana_aceitera_coroto_de_guinea_aabora.htm.
- Junaidah, MJ; Norizzah, AR; Zaliha, O. 2013. Effect of Sterilization Process on Deterioration of Bleachability Index (DOBI) of Crude Palm Oil (CPO) Extracted from Different Degree of Oil Palm Ripeness. *International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics*, 3(4): 322 – 327.
- Lowe, G. 2013. La industria de la palma aceitera de Tailandia. *Asia Focus, Negocios, Bangkok Post*.
- Martínez, L. 2009. Evaluación de alternativas para incrementar la eficiencia en la etapa de esterilización y desfrutado en el beneficio de la fruta de palma de aceite. Tesis – Universidad América.
- Mat Jusoh, J; Abd Rashid, N; Omar, Z. 2013. Effect of sterilization process on deterioration of bleachability Index (DOBI) of crude palm oil (CPO) extracted from different degree of oil palm ripeness. *International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics*, 3(4): 322 – 327. Doi: 10.7763/IJBBB.2013.V3.223
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego) 2016 – 2025. Plan nacional de desarrollo sostenible en el Perú. Consultado 25 Sept 2017. Disponible en <http://www.minagri.gob.pe/portal/palma-aceitera>.
- Montoya, PLK. 2011. Determinación del nivel óptimo de madurez para criterios de cosecha mediante un estudio de lipogénesis en palma alto oleico (*Elaeis oleífera* x *Elaeis guineensis*) en la plantación Palmas del Mira en Tumaco-Nariño. Trabajo presentado para optar el título de Ingeniera Agroindustrial. Facultad de Ingeniería Agroindustrial. Universidad de Nariño.
- Montoya, PLK; Osorio, MO; Cerón, CA. 2013. Cambios fisicoquímicos postcosecha que afectan la calidad de racimos de palma *Elaeis oleífera* (Kunth) Cortés x *Elaeis guineensis* Jacq. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 30(2): 84 - 93.
- Muñoz, PGE. 2016. Optimización del proceso de extracción de aceite rojo de palma africana en la empresa “Hermanos Muñoz”. Tesis para la obtención del título de Ingeniero Químico. Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria. Escuela Politécnica Nacional. Consultado julio 20 de 2019. Disponible en <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/15056>

- Ninahuanca, AC. 2014. Oportunidad de la palma en Perú. Consulado 10 Oct 2017. Disponible en <https://larepublica.pe/economia/767985-peru-tiene-600-mil-hectareas-para-cultivar-palma-aceitera>.
- Ochoa, CI; Suárez, MA; Cayón, SD. 2013. Desarrollo y maduración de frutos en palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) e híbridos OxG (*E. oleífera* x *E. guineensis*) de Unipalma S.A. Palmas. 34(Nº Especial, Tomo I): 326 – 336.
- Ojeda, J. 1991. Esterilización en proceso de extracción, Fedepalma, Colombia, consultado 19 Sept 2017, disponible en <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas>
- OXFAM. 2016. Hacia una Ecología Política de la Palma Aceitera en el Perú, consultado 30 Sept 2017. Disponible en https://peru.oxfam.org/policy_paper/hacia-una-ecolog%C3%ADa-pol%C3%ADtica-de-la-palma-aceitera-en-el-per%C3%BA
- Palma de aceite. 2018. Caracterización y calidad de las materias primas en plantas extractoras. Procesos extractivos, gestión de la producción de biomasa energética. Universidad Autónoma de Bucaramanga. Pág. 70-76. Citado mayo 05 de 2019. Disponible en <https://palma.webcindario.com/index.html>
- Rajanaidu, N; Wood, BJ; Singh, S. 1987. Ripeness standarts and harvesting criteria for oil palm bunches. In: International OilPalm-Palm Oil Conference. Proceedings. Kuala Lumpur, Malaysia. T20.
- Rojas, PO. 2010. Hexano reactivo químico Perú.
- Sandoval-García, AM; Altamirano-Cárdenas, J; Aguilar-ÁVILA, J; García-Muñiz, JG. 2016. Caracterización química del aceite obtenido por métodos artesanales de tres variedades de palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Rev. Fitotec. Mex.* 39(3): 317 – 322.
- Sivasothy, K. 2006. Estado actual de la comercialización del proceso de esterilización continúa. XV Conferencia Internacional sobre Palma de Aceite.
- Urueta, UJC. 2007. Implementación del DOBI como parámetro de calidad en extractoras de aceite de palma. *Palmas*, 28(Número especial, Tomo 1): 143 – 148.
- Velayuthan, A. 1999. Procesamiento y control del aceite de palma. Palmas 19-33. Consultado 05 Mar 2018. Disponible en <http://www.unipalma.com/aceite-de-palma>.
- Yokohama, R; Fernández, CA. 2016. Experiencia en el procesamiento de racimos de fruta fresca de palma de aceite híbrida. Denpasa, Brasil. Palmas, 37(Especial Tomo II), 39-46.

FORMATO PARA PRUEBA DE ANÁLISIS SENSORIAL	
NOMBRE Y APELLIDO:	<u>LEANN RAFAEL LOPEZ</u> FECHA: <u>24/11/18</u>
NOMBRE DEL PRODUCTO:	<u>REF</u>
FRENTE A LISTED HAY UNA MUESTRA DE FRUTO DE PALMA AFRICANA SEGÚN ESTADO DE MADUREZ, USTED DEBE PROBARLA Y EVALUARLA DE ACUERDO A CADA UN DE LOS ATRIBUTOS MENCIONADOS.	
ESTADO DE MADURES DE FRUTO DE PALMA: <u>MAJURO</u>	
COLOCLE UN ASPA O CHECK SEGÚN EL GRADO DE INTENSIDAD DEL PRODUCTO	
OLOR	
AROMÁTICO <input checked="" type="checkbox"/>	FRAGANTE <input type="checkbox"/> REPULSIVO <input type="checkbox"/> PÉTIDO <input type="checkbox"/>
INOLORO <input type="checkbox"/>	OTROS: <u>CARACTERÍSTICO DE PALMA</u>
SABOR	
DULCE <input type="checkbox"/>	ACIDO <input type="checkbox"/> ACIDO <input type="checkbox"/> ASTRINGENTE <input type="checkbox"/>
ADIPOSO O GRASO <input checked="" type="checkbox"/>	NATURAL, DESEABLE <input type="checkbox"/> RANCO <input type="checkbox"/>
COLOR	
DEFINIR SEGÚN CRITERIO: <u>NARANJA</u>	
INTENSO <input checked="" type="checkbox"/>	OPACO <input type="checkbox"/> OTROS: _____
TEXTURA	
BLANDO, HÚMEDO <input checked="" type="checkbox"/>	BLANDO, SECO <input type="checkbox"/> MALLADO <input type="checkbox"/>
BLANDO, FIRME <input type="checkbox"/>	
COMENTARIOS:	
<hr/> <hr/> <hr/> <hr/>	

Figura 12. Análisis Sensorial realizado por el panelista 1

FORMATO PARA PRUEBA DE ANÁLISIS SENSORIAL	
NOMBRE Y APELLIDO:	<u>Susi Rentería Porceda</u> FECHA: <u>20/11/18</u>
NOMBRE DEL PRODUCTO:	<u>RF</u>
FRENTE A USTED HAY UNA MUESTRA DE FRUTO DE PALMA AFRICANA SEGÚN ESTADO DE MADUREZ, USTED DEBE PROBARLA Y EVALUARLA DE ACUERDO A CADA UN DE LOS ATRIBUTOS MENCIONADOS.	
ESTADO DE MADUREZ DE FRUTO DE PALMA: <u>Sobre Maduro</u>	
CÓDOLJE UN ASPA O CHECK SEGÚN EL GRADO DE INTENSIDAD DEL PRODUCTO	
OLOR	
AROMÁTICO	<input type="checkbox"/> FRAGRANTE <input type="checkbox"/> REPULSIVO <input type="checkbox"/> FETIDO <input checked="" type="checkbox"/>
INOLORO	<input type="checkbox"/> OTROS: <u>concentrado</u>
SABOR	
DULCE	<input type="checkbox"/> ACIDO <input type="checkbox"/> ACIDO <input type="checkbox"/> ASTRINGENTE <input type="checkbox"/>
ATROZ/O GRASO	<input type="checkbox"/> NATURAL, DESEABLE <input type="checkbox"/> RANCO <input checked="" type="checkbox"/>
COLOR	
DEFINIR SEGÚN CRITERIO: <u>Cafe oscuro</u>	
INTENSO	<input type="checkbox"/> GRASO <input type="checkbox"/> OTROS: _____
TEXTURA	
BLANDO, HUMEDO	<input type="checkbox"/> BLANDO, SECO <input type="checkbox"/> MALLADO <input checked="" type="checkbox"/>
RIGIDO, FIRME	<input type="checkbox"/>
COMENTARIOS:	
<hr/> <hr/> <hr/> <hr/>	

Figura 13. Análisis Sensorial realizado por el panelista 2.

Cuadro 19. Resultado del análisis sensorial de los frutos frescos de palma, por panelista.

Panelista	Verde		Maduro		Sobre maduro	
	Característica	Resultado	Característica	Resultado	Característica	Resultado
Panelista 1	Olor	Inoloro	Olor	Aromático - palma	Olor	Fétido
	Color	Amarillo palido	Color	Naranja intenso	Color	Café oscuro
	Sabor	Astringente	Sabor	Adiposo o graso	Sabor	Rancio
	Textura	Rígido, firme	Textura	Blando húmedo	Textura	Magullado
Panelista 2	Característica	Resultado	Característica	Resultado	Característica	Resultado
	Olor	Inoloro	Olor	Aromático - palma	Olor	Fétido
	Color	Amarillo palido	Color	Naranja intenso	Color	Café oscuro
	Sabor	Astringente	Sabor	Adiposo o graso	Sabor	Rancio
Panelista 3	Característica	Resultado	Característica	Resultado	Característica	Resultado
	Olor	Inoloro	Olor	Aromático - palma	Olor	Fétido
	Color	Amarillo palido	Color	Naranja intenso	Color	Café oscuro
	Sabor	Astringente	Sabor	Adiposo o graso	Sabor	Rancio
Panelista 4	Característica	Resultado	Característica	Resultado	Característica	Resultado
	Olor	Inoloro	Olor	Aromático - palma	Olor	Fétido
	Color	Amarillo palido	Color	Naranja intenso	Color	Café oscuro
	Sabor	Astringente	Sabor	Adiposo o graso	Sabor	Rancio
Panelista 5	Característica	Resultado	Característica	Resultado	Característica	Resultado
	Olor	Inoloro	Olor	Aromático - palma	Olor	Fétido
	Color	Amarillo palido	Color	Naranja intenso	Color	Café oscuro
	Sabor	Astringente	Sabor	Adiposo o graso	Sabor	Rancio
Panelista 6	Característica	Resultado	Característica	Resultado	Característica	Resultado
	Olor	Inoloro	Olor	Aromático - palma	Olor	Fétido
	Color	Amarillo palido	Color	Naranja intenso	Color	Café oscuro
	Sabor	Astringente	Sabor	Adiposo o graso	Sabor	Rancio
	Textura	Rígido, firme	Textura	Blando húmedo	Textura	Magullado

Cuadro 20. Resultado de la evaluación fisicoquímicas (acidez) para los frutos frescos, por estado de madurez antes del esterilizado.

Tratamiento	Verde	Maduro	Sobre maduro
T1	2.24	1.22	3.04
T2	3.53	2.52	3.10
T3	2.56	1.89	3.27
T4	3.14	2.31	3.86
T5	3.66	2.73	3.91
T6	3.32	2.42	3.84

Cuadro 21. Resultado de la evaluación fisicoquímica (DOBI) para los frutos frescos, por estado de madurez antes del esterilizado.

Tratamiento	Verde	Maduro	Sobre maduro
T1	3.00	3.56	3.12
T2	2.96	3.42	3.00
T3	3.08	3.59	3.16
T4	3.26	3.03	3.16
T5	3.45	3.49	3.53
T6	2.96	3.17	3.09

Cuadro 22. Resultado de la evaluación fisicoquímica (Acidez) para los frutos esterilizados, por tratamiento y repetición.

Repetición	30/10/40 psig - 60 min			30/10/45 psig - 80 min		
	Verde	Maduro	Sobre maduro.	Verde	Maduro	Sobre maduro.
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Repetición 1	1.83	1.11	2.86	2.61	1.94	3.02
Repetición 2	2.45	1.64	2.92	3.10	1.98	3.06
Repetición 3	1.54	1.63	2.88	2.78	1.77	3.14

Cuadro 23. Resultado de la evaluación fisicoquímica (DOBI) para el aceite de los frutos de palma esterilizados, por tratamiento y repetición.

Repetición	30/10/40 psig - 60 min			30/10/45 psig - 80 min		
	Verde	Maduro	Sobre maduro.	Verde	Maduro	Sobre maduro.
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Repetición 1	1.98	1.93	1.96	0.93	0.97	1.02
Repetición 2	0.67	0.72	0.69	1.42	1.38	1.40
Repetición 3	1.05	1.12	1.08	1.08	0.88	0.82

Cuadro 24. Datos utilizados para determinar el potencial de aceite en racimo de palma, primera repetición.

30/10/40 psig - 60 min							
ITEM	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
Variedad	SIRAD	SIRAD	SIRAD	SIRAD	SIRAD	SIRAD	
Generales	Numero de fruto	1	12	25	0	10	18
	suelos						
	Peso racimo	7.3	15.1	8.8	14.2	15.1	8.9
	Peso pedúnculo	0	0	0	0	0	0
Composición de racimo	Peso raquis	3.58	4.45	2.84	5.64	4.03	2.66
	Peso pepa desfrutada	3.72	10.65	5.96	8.56	11.07	6.24
Composición de fruto	Peso mesocarpio fresco	418.94	421.65	456.31	404.34	418.93	419.65
	Peso nuez fresca	138.72	132.4	98.4	214.56	99.82	162.46
	Peso cápsula	229.95	229.39	216.26	300.45	229.95	229.39
	Peso cápsula + nuez seca	294.99	271.49	311.22	295.58	294.99	271.49
	Peso cuesco seco	141.7	124.24	158.26	163.2	141.48	81.332
Aceite en mesocarpio	Peso cápsula	50.1943	55.845	52.2564	48.7457	52.7634	49.8276
	Peso mesocarpio fresco	17.5284	19.8552	15.6411	17.4674	16.2204	17.8898
	Peso cápsula + mesocarpio seco	64.8816	69.9484	64.9766	63.4149	66.6469	64.7126
	Peso papel	1.0716	1.0659	0.9394	1.0481	1.0716	1.0659
	Peso mesocarpio seco	14.687	14.103	12.720	14.669	13.884	14.885
	Peso papel + mesocarpio seco	9.3106	9.0762	7.8618	7.2986	6.5742	5.84916
	Peso balón	117.3418	125.1709	124.3331	122.0264	117.0602	125.1866

Cuadro 25. Datos utilizados para determinar el potencial de aceite en racimo de palma, segunda repetición.

30/10/40 psig - 60 min							
ITEM	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
	SIRAD	SIRAD	SIRAD	SIRAD	SIRAD	SIRAD	SIRAD
Variedad							
Generales							
Numero de fruto sueltos	0	9	14	1	12	24	
Peso racimo	7.75	14.7	9.6	16.3	15.4	10.9	
Peso pedúnculo	0	0	0	0	0	0	
Composición de racimo							
Peso raquis	3.61	4.55	3.5	7.16	4.3	3.21	
Peso pepa desfrutada	4.14	10.15	6.1	9.14	11.1	7.69	
Peso mesocarpio fresco	453.31	404.37	424.94	451.65	456.31	404.44	
Peso nuez fresca	134.22	212.36	145.36	156.4	99.45	176.06	
Composición de fruto							
Peso cápsula	216.26	300.45	229.95	229.39	216.26	300.45	
Peso cápsula + nuez seca	311.22	295.58	294.99	271.49	311.22	295.58	
Peso cuesco seco	91.184	101.036	110.888	120.74	130.592	140.444	
Peso cápsula	52.7645	49.8536	48.7557	52.2664	55.855	50.2043	
Peso mesocarpio fresco	17.5674	16.2563	17.8172	19.8626	17.5483	17.8893	
Peso cápsula + mesocarpio seco	66.8816	61.9484	63.5766	67.4149	69.6469	64.7126	
Aceite en mesocarpio							
Peso papel	0.9394	1.0481	1.0716	1.0659	0.9394	1.0481	
Peso mesocarpio seco	14.117	12.095	14.821	15.149	13.792	14.508	
Peso papel + mesocarpio seco	5.12412	4.39908	3.67404	2.949	2.22396	1.49892	
Peso balón	126.9899	127.4886	124.2826	126.1538	124.3564	117.0723	

Cuadro 26. Datos utilizados para determinar el potencial de aceite en racimo de palma, tercera repetición.

30/10/40 psig - 60 min							
ITEM		T1	T2	T3	T4	T5	T6
	Variedad	SIRAD	SIRAD	SIRAD	SIRAD	SIRAD	SIRAD
Generales	Numero de fruto sueltos	0	16	22	1	11	24
	Peso racimo	8.6	15.2	9.34	15.23	14.62	10.16
	Peso pedúnculo	0	0	0	0	0	0
Composición de racimo	Peso raquis	4.27	4.79	3.09	6.51	4.35	3.34
	Peso pepa desfrutada	4.33	10.41	6.25	8.72	10.27	6.82
	Peso mesocarpio fresco	418.44	421.74	456.26	404.54	418.74	421.37
Composición de fruto	Peso nuez fresca	119.82	89.78	81.46	184.22	106.436	23.4
	Peso cápsula	229.95	229.39	216.26	300.45	256.26	186.45
	Peso cápsula + nuez seca	294.99	271.49	311.22	295.58	294.99	271.49
Aceite en mesocarpio	Peso cuesco seco	150.296	160.148	170	179.852	186.704	199.556
	Peso cápsula	55.836	52.2546	48.7469	52.7632	50.1944	49.8276
	Peso mesocarpio fresco	16.2306	17.4801	15.6842	17.5448	19.5825	17.6447
	Peso cápsula + mesocarpio seco	68.9796	65.9484	61.9766	66.4149	66.6469	63.8126
	Peso papel	1.0716	1.0659	0.9394	1.0481	1.0716	1.0659
	Peso mesocarpio seco	13.144	13.694	13.230	13.652	16.453	13.985
	Peso papel + mesocarpio seco	0.77388	0.04884	0.6762	1.40124	2.12628	2.85132
	Peso balón	134.98607	125.1866	117.0842	122.1345	124.331	125.7512

Cuadro 27. Resultados del potencial de aceite en racimo de palma, primera repetición.

ITEM	30/10/40 psig - 60 min			30/10/45 psig - 80 min		
	Verde	Maduro	Sobre maduro	Verde	Maduro	Sobre maduro
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Determinación de aceite en mesocarpio seco	109.41	117.92	118.01	116.05	111.44	120.51
Determinación del aceite a mesocarpio fresco	70.44	92.06	87.88	61.07	102.50	99.17
Determinación del % de humedad de mesocarpio	16.21	28.97	18.67	16.02	14.41	16.80
Determinación del % aceite mesocarpio fresco por formula	66.97	54.85	64.63	67.15	68.68	66.41
Determinación mesocarpio en fruto	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Determinación de másica de frutos en el racimo	103.91	239.33	209.86	151.77	274.69	234.59
Determinación de aceite por racimo	11.37	28.22	24.77	17.61	30.61	28.27

Cuadro 28. Resultados del potencial de aceite en racimo de palma, segunda repetición.

ITEM	30/10/40 psig - 60 min			30/10/45 psig - 80 min		
	Verde	Maduro	Sobre maduro	Verde	Maduro	Sobre maduro
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Determinación de aceite en mesocarpio seco	122.95	124.04	121.33	123.82	122.57	115.79
Determinación del aceite a mesocarpio fresco	110.62	108.14	92.55	74.85	109.63	102.56
Determinación del % de humedad de mesocarpio	19.64	25.60	16.82	23.73	21.41	18.90
Determinación del % aceite mesocarpio fresco por formula	63.71	58.05	66.39	59.82	62.03	64.42
Determinación mesocarpio en fruto	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Determinación de másica de frutos en el racimo	114.68	223.08	174.29	127.65	258.14	239.56
Determinación de aceite por racimo	14.10	27.67	21.15	15.81	31.64	27.74

Cuadro 29. Resultados del potencial de aceite en racimo de palma, tercera repetición.

ITEM	30/10/40 psig - 60 min			30/10/45 psig - 80 min		
	Verde	Maduro	Sobre maduro	Verde	Maduro	Sobre maduro
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Determinación de aceite en mesocarpio seco	134.41	125.15	117.66	123.28	126.04	128.02
Determinación del aceite a mesocarpio fresco	98.49	109.10	93.30	79.67	101.14	104.60
Determinación del % de humedad de mesocarpio	19.02	21.66	15.65	22.19	15.98	20.74
Determinación del % aceite mesocarpio fresco por formula	64.30	61.79	67.50	61.29	67.19	62.67
Determinación mesocarpio en fruto	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Determinación de másica de frutos en el racimo	101.41	217.33	202.27	133.95	236.09	204.19
Determinación de aceite por racimo	13.63	27.20	23.80	16.51	29.76	26.14

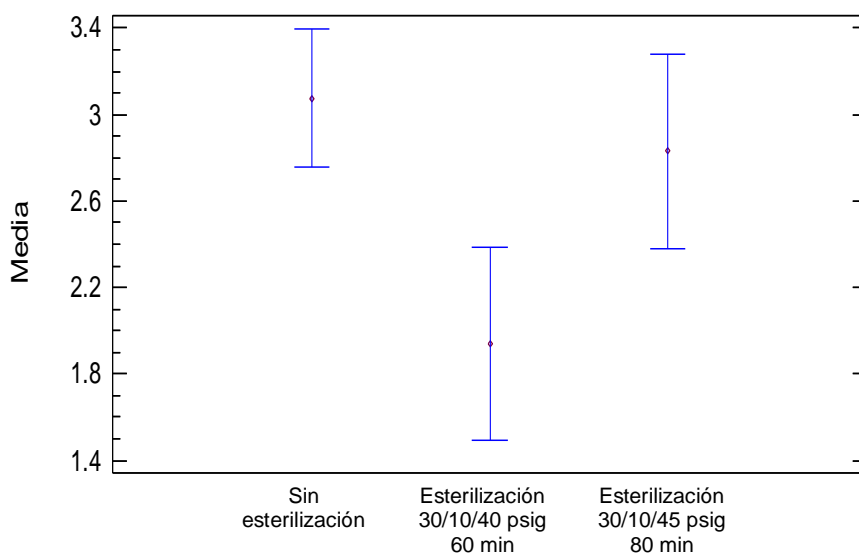


Figura 14. Comportamiento de la acidez de los frutos verdes según el tipo de esterilización.

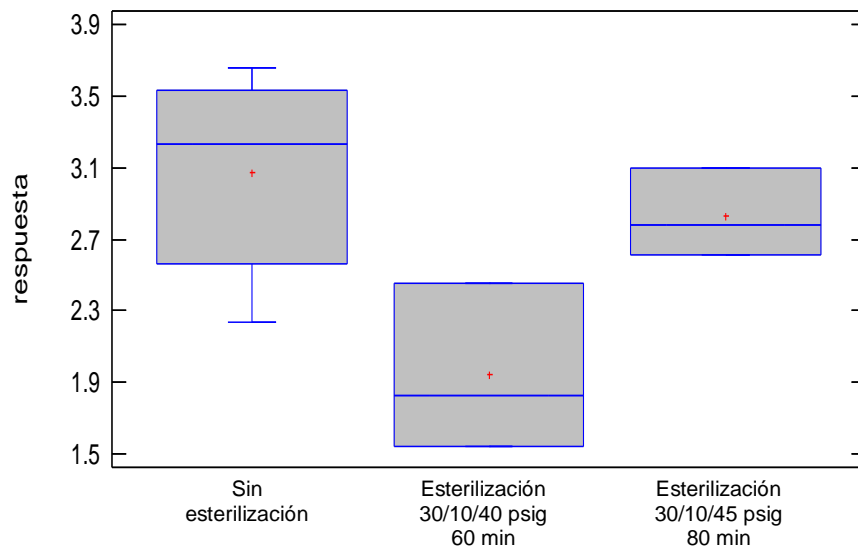


Figura 15. Gráfico de caja y bigotes para la acidez de los frutos verdes según el tipo de esterilización.

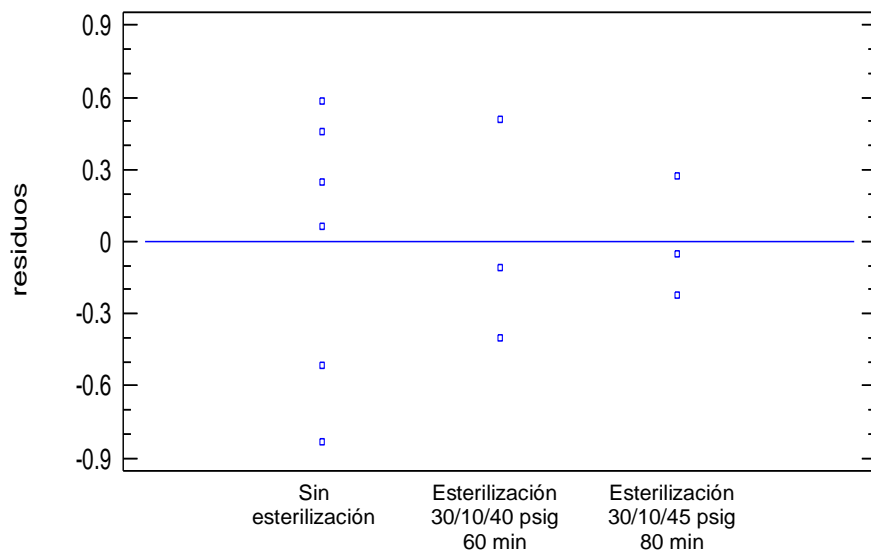


Figura 16. Gráfico de residuos para la acidez de los frutos verdes según el tipo de esterilización.

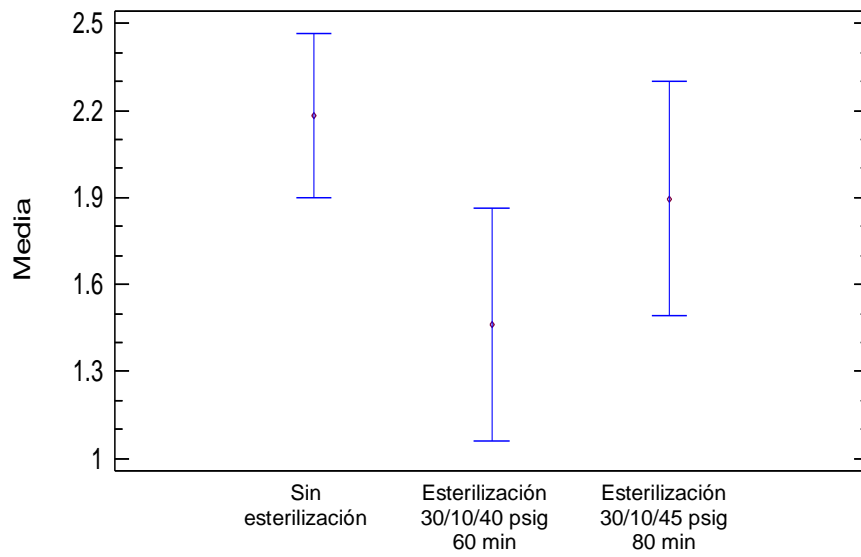


Figura 17. Comportamiento de la acidez de los frutos maduros según el tipo de esterilización.

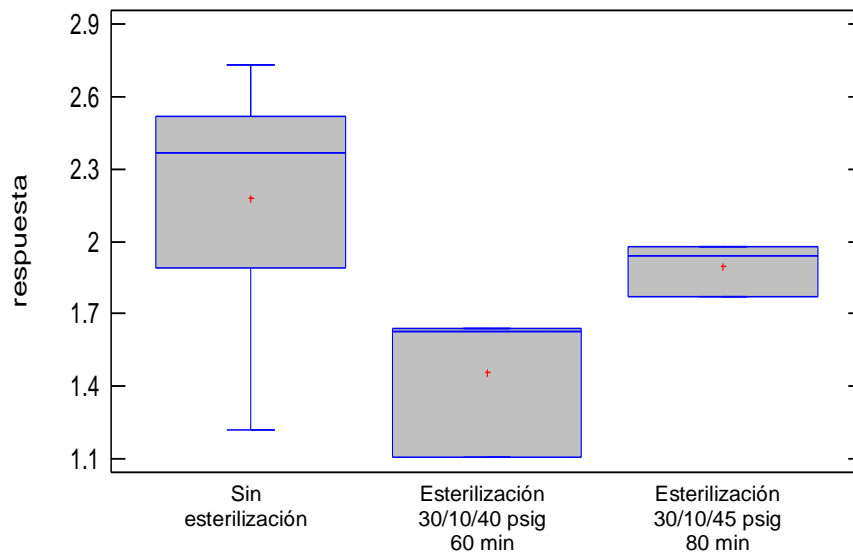


Figura 18. Gráfico de caja y bigotes para la acidez de los frutos maduros según el tipo de esterilización.

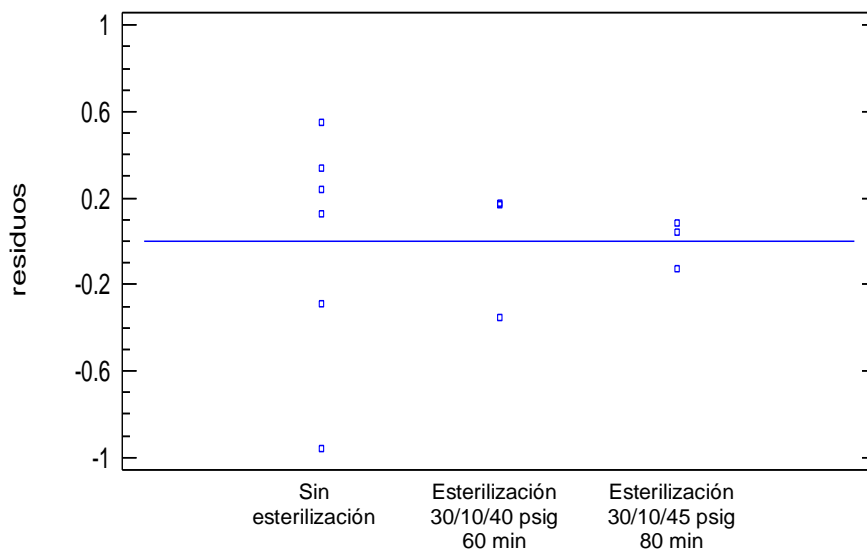


Figura 19. Gráfico de residuos para la acidez de los frutos maduros según el tipo de esterilización.

Cuadro 30. Resumen estadístico para el contenido de Ácidos Grasos Libres (Acidez) de los frutos verdes, antes y después del proceso de esterilización.

Parámetro	Antes del proceso	30/10/40 psig 60 min	30/10/45 psig 80 min	Total
Cantidad	6	3	3	12
Promedio	3.075	1.940	2.830	2.730
Mediana	3.230	1.830	2.780	2.695
Varianza	0.315	0.216	0.062	0.432
Desviación Estándar	0.561	0.465	0.249	0.657
Error Estándar	0.229	0.268	0.144	0.190
Mínimo	2.240	1.540	2.610	1.540
Máximo	3.660	2.450	3.100	3.660

Cuadro 31. Tabla de medias con intervalos de confianza para el contenido de Ácidos Grasos Libres (Acidez) de los frutos verdes, antes y después del proceso de esterilización.

Condición del fruto verde	Casos	Media	Error Estándar	Límite Inferior	Límite Superior
Antes del proceso de esterilización	6	3.075	0.199	2.757	3.393
Después de la esterilización 30/10/40 psig – 60 min	3	1.940	0.281	1.491	2.389
Después de la esterilización 30/10/45 psig – 80 min	3	2.830	0.281	2.381	3.279
Total	12	2.730			

Cuadro 32. Prueba de verificación de varianza para los resultados del contenido de Ácidos Grasos Libres (Acidez) de frutos verdes.

	Prueba	Pv
Levene's	0.748117	0.500542

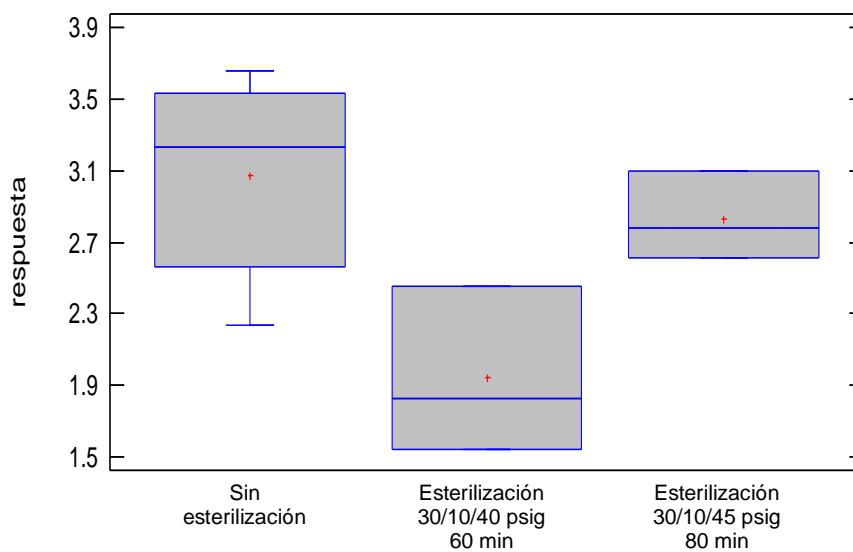


Figura 20. Gráfico de caja y bigotes para la acidez de los frutos verdes según el tipo de esterilización.

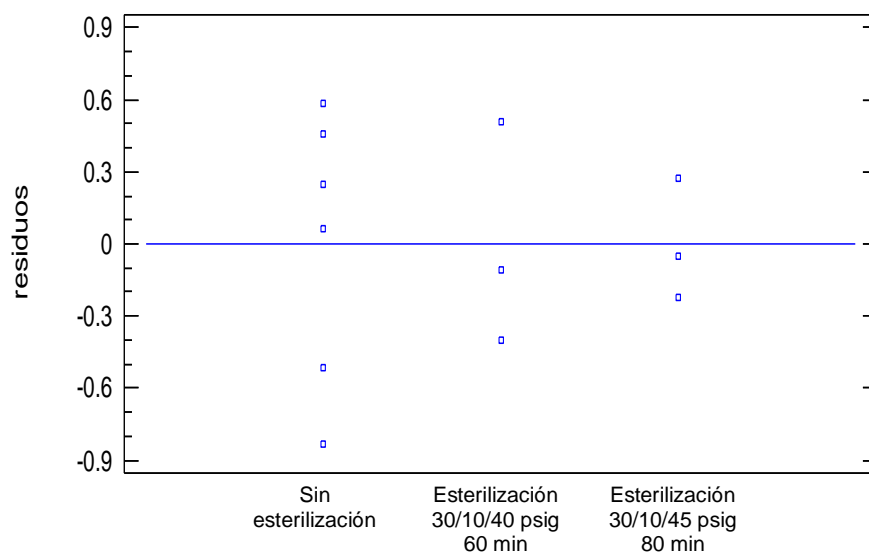


Figura 21. Gráfico de residuos para la acidez de los frutos verdes según el tipo de esterilización.

Cuadro 33. Resumen estadístico para el contenido de Ácidos Grasos Libres (Acidez) de los frutos maduros, antes y después del proceso de esterilización.

Parámetro	Antes del proceso	30/10/40 psig 60 min	30/10/45 psig 80 min	Total
Cantidad	6	3	3	12
Promedio	2.182	1.460	1.897	1.930
Mediana	2.365	1.630	1.940	1.915
Varianza	0.300	0.092	0.012	0.250
Desviación Estándar	0.547	0.303	0.112	0.500
Error Estándar	0.223	0.175	0.064	0.144
Mínimo	1.220	1.110	1.770	1.110
Máximo	2.730	1.640	1.980	2.730

Cuadro 34. Tabla de medias con intervalos de confianza para el contenido de Ácidos Grasos Libres (Acidez) de los frutos maduros, antes y después del proceso de esterilización.

Condición del fruto maduro	Casos	Media	Error Estándar	Límite Inferior	Límite Superior
Antes del proceso de esterilización	6	2.182	0.178	1.897	2.466
Después de la esterilización 30/10/40 psig – 60 min	3	1.460	0.251	1.058	1.862
Después de la esterilización 30/10/45 psig – 80 min	3	1.897	0.251	1.494	2.299
Total	12	1.930			

Cuadro 35. Prueba de verificación de varianza para los resultados del contenido de Ácidos Grasos Libres (Acidez) de frutos maduros.

	Prueba	Pv
Levene's	0.888423	0.444507

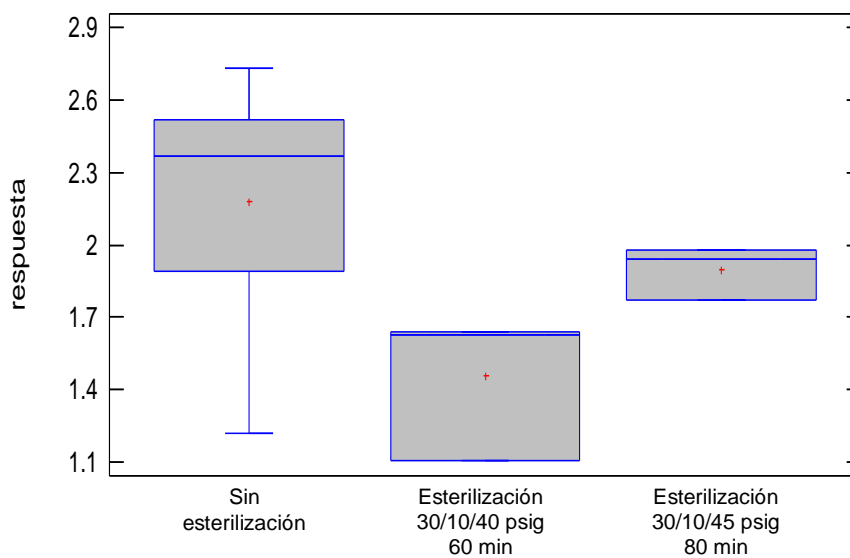


Figura 22. Gráfico de caja y bigotes para la acidez de los frutos maduros según el tipo de esterilización.

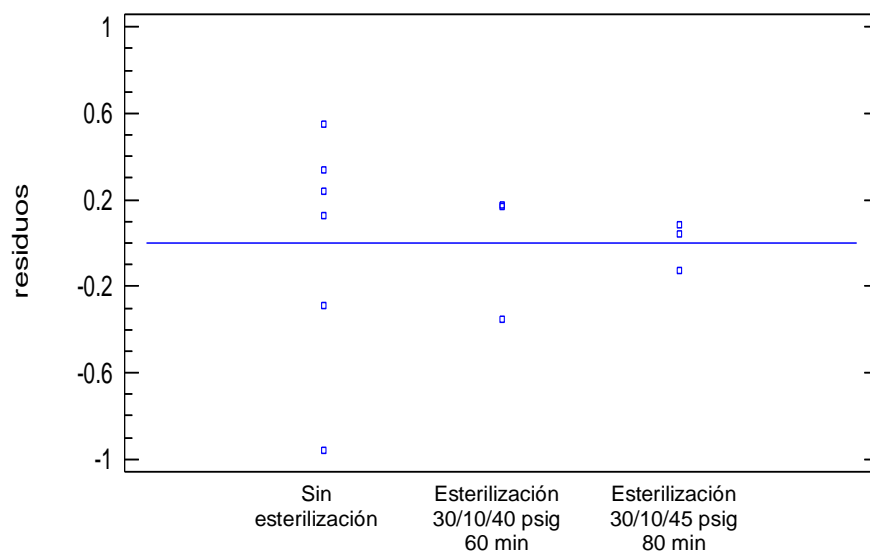


Figura 23. Gráfico de residuos para la acidez de los frutos maduros según el tipo de esterilización.

Cuadro 36. Resumen estadístico para el contenido de Ácidos Grasos Libres (Acidez) de los frutos de sobre maduros, antes y después del proceso de esterilización.

Parámetro	Antes del proceso	30/10/40 psig 60 min	30/10/45 psig 80 min	Total
Cantidad	6	3	3	12
Promedio	3.503	2.887	3.073	3.242
Mediana	3.555	2.880	3.060	3.080
Varianza	0.168	0.001	0.004	0.156
Desviación Estándar	0.409	0.031	0.061	0.396
Error Estándar	0.167	0.018	0.035	0.114
Mínimo	3.040	2.860	3.020	2.860
Máximo	3.910	2.920	3.140	3.910

Cuadro 37. Tabla de medias con intervalos de confianza para el contenido de Ácidos Grasos Libres (Acidez) de los frutos sobre maduros, antes y después del proceso de esterilización.

Condición del fruto sobre maduro	Casos	Media	Error Estándar	Límite Inferior	Límite Superior
Antes del proceso de esterilización	6	3.503	0.125	3.303	3.704
Después de la esterilización 30/10/40 psig – 60 min	3	2.887	0.177	2.603	3.170
Después de la esterilización 30/10/45 psig – 80 min	3	3.073	0.177	2.780	3.357
Total	12	3.242			

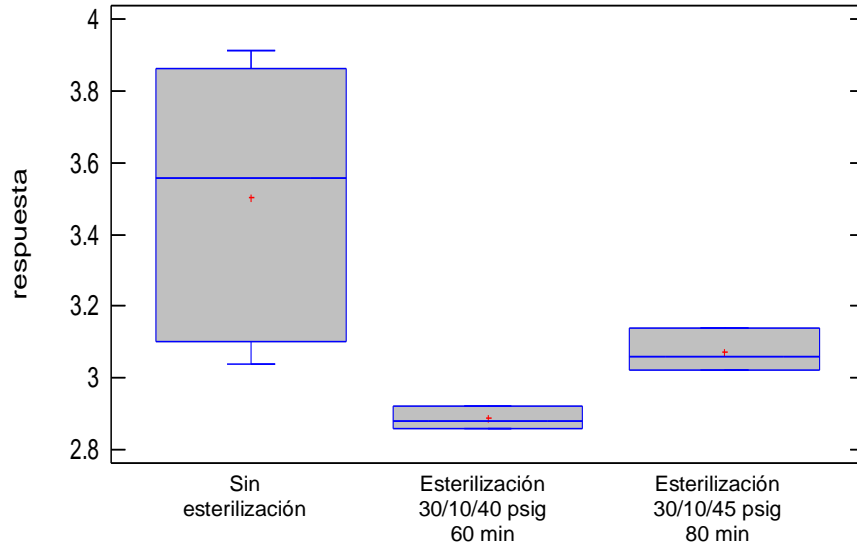


Figura 24. Gráfico de caja y bigotes para la acidez de los frutos sobre maduros según el tipo de esterilización.

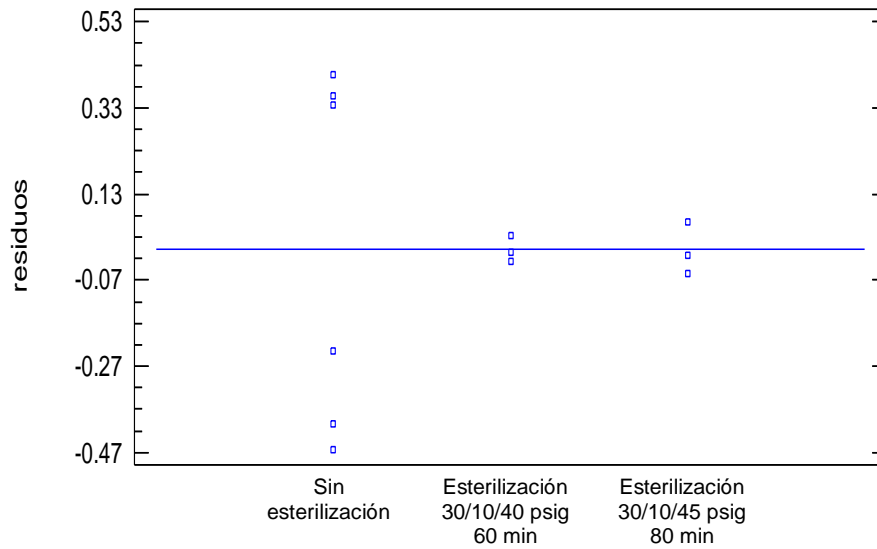


Figura 25. Gráfico de residuos para la acidez de los frutos sobre maduros según el tipo de esterilización.

Cuadro 38. Tabla de medias para el contenido de Ácidos Grasos Libres (Acidez), por madurez y pico de esterilización.

Nivel	Recuento	Media	Error Estándar	Límite Inferior	Límite Superior
Media general	18	2.348	0.052	2.233	2.463
Madurez del fruto					
Verde	6	2.385	0.089	2.186	2.584
Maduro	6	1.678	0.089	1.479	1.878
Sobre maduro	6	2.980	0.089	2.781	3.179
Picos de esterilización					
30/10/40 psig - 60 min	9	2.096	0.073	1.933	2.258
30/10/45 psig - 80 min	9	2.600	0.073	2.437	2.763
Madurez del fruto – Pico de esterilización					
Maduro – 30/10/40 psig - 60 min	3	1.460	0.126	1.178	1.742
Maduro – 30/10/45 psig - 80 min	3	1.897	0.126	1.615	2.178
Sobre maduro – 30/10/40 psig - 60 min	3	2.887	0.126	2.605	3.168
Sobre maduro – 30/10/45 psig - 80 min	3	3.073	0.126	2.792	3.355
Verde – 30/10/40 psig - 60 min	3	1.940	0.126	1.658	2.222
Verde – 30/10/45 psig - 80 min	3	2.830	0.126	2.548	3.112
Repetición - bloque					
Repetición 1	6	2.228	0.089	2.029	2.428
Repetición 2	6	2.525	0.089	2.326	2.724
Repetición 3	6	2.290	0.089	2.091	2.489

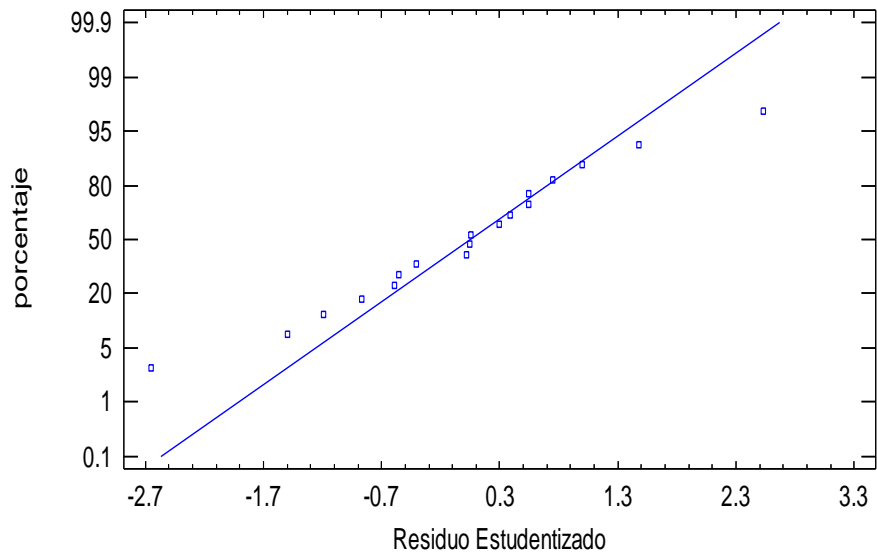


Figura 26. Gráfico de probabilidad normal para la acidez, por madurez y pico de esterilización.

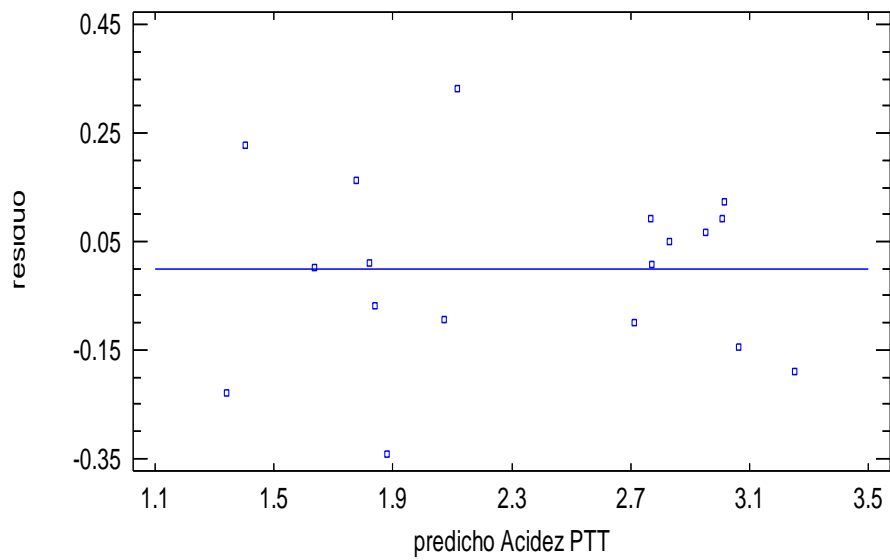


Figura 27. Gráfico de residuos para la acidez, por madurez y pico de esterilización.

Cuadro 39. Tabla de medias para la densidad del aceite, por madurez y pico de esterilización.

Nivel	Recuento	Media	Error Estándar	Límite Inferior	Límite Superior
Media general	18	0.943	0.0008	0.941	0.945
Madurez del fruto					
Verde	6	0.944	0.0014	0.941	0.947
Maduro	6	0.9424	0.0014	0.939	0.945
Sobre maduro	6	0.943	0.0014	0.940	0.946
Picos de esterilización					
30/10/40 psig - 60 min	9	0.944	0.0011	0.941	0.946
30/10/45 psig - 80 min	9	0.942	0.0011	0.940	0.945
Madurez del fruto – Pico de esterilización					
Maduro – 30/10/40 psig - 60 min	3	0.942	0.0019	0.938	0.946
Maduro – 30/10/45 psig - 80 min	3	0.942	0.0019	0.938	0.946
Sobre maduro – 30/10/40 psig - 60 min	3	0.943	0.0019	0.939	0.948
Sobre maduro – 30/10/45 psig - 80 min	3	0.943	0.0019	0.939	0.947
Verde – 30/10/40 psig - 60 min	3	0.946	0.0019	0.942	0.951
Verde – 30/10/45 psig - 80 min	3	0.941	0.0019	0.937	0.945
Repetición - bloque					
Repetición 1	6	0.942	0.0014	0.939	0.945
Repetición 2	6	0.943	0.0014	0.940	0.946
Repetición 3	6	0.943	0.0014	0.940	0.946

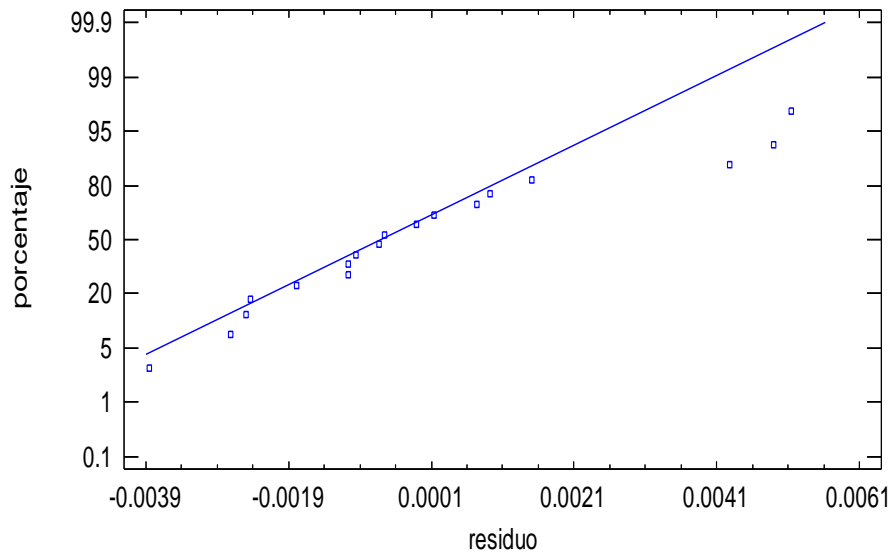


Figura 28. Gráfico de probabilidad normal para la densidad del aceite, por madurez y pico de esterilización.

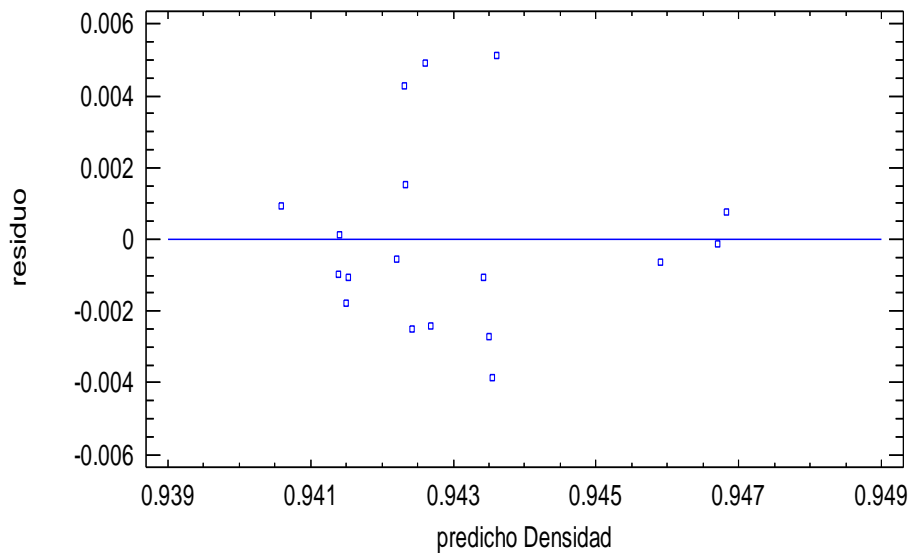


Figura 29. Gráfico de residuos para la densidad del aceite, por madurez y pico de esterilización.

Cuadro 40. Tabla de medias para el índice de blanqueamiento (DOBI) del aceite crudo, por madurez y pico de esterilización.

Nivel	Recuento	Media	Error Estándar	Límite Inferior	Límite Superior
Media general	18	1.153	0.110	0.907829	1.39773
Madurez del fruto					
Verde	6	1.130	0.190	0.706	1.554
Maduro	6	1.167	0.190	0.742	1.591
Sobre maduro	6	1.162	0.190	0.737	1.586
Picos de esterilización					
30/10/40 psig - 60 min	9	1.24444	0.15547	0.898034	1.59085
30/10/45 psig - 80 min	9	1.06111	0.15547	0.714701	1.40752
Madurez del fruto – Pico de esterilización					
Maduro – 30/10/40 psig - 60 min	3	1.257	0.269	0.657	1.857
Maduro – 30/10/45 psig - 80 min	3	1.077	0.269	0.477	1.677
Sobre maduro – 30/10/40 psig - 60 min	3	1.243	0.269	0.6437	1.8437
Sobre maduro – 30/10/45 psig - 80 min	3	1.080	0.269	0.480	1.680
Verde – 30/10/40 psig - 60 min	3	1.237	0.269	0.633	1.833
Verde – 30/10/45 psig - 80 min	3	1.027	0.269	0.427	1.627
Repetición - bloque					
Repetición 1	6	1.465	0.190	1.041	1.889
Repetición 2	6	1.047	0.190	0.622	1.471
Repetición 3	6	0.947	0.190	0.522	1.371

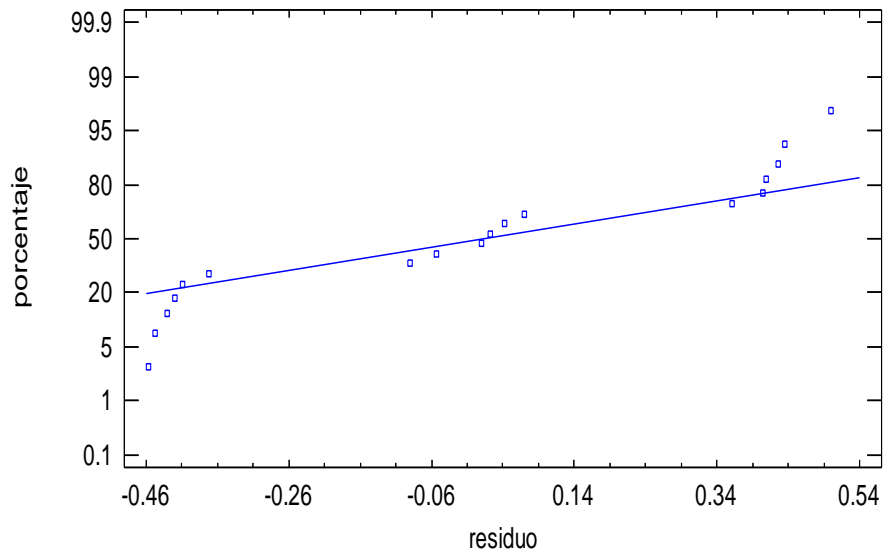


Figura 30. Gráfico de probabilidad normal para el DOBI del aceite crudo, por madurez y pico de esterilización.

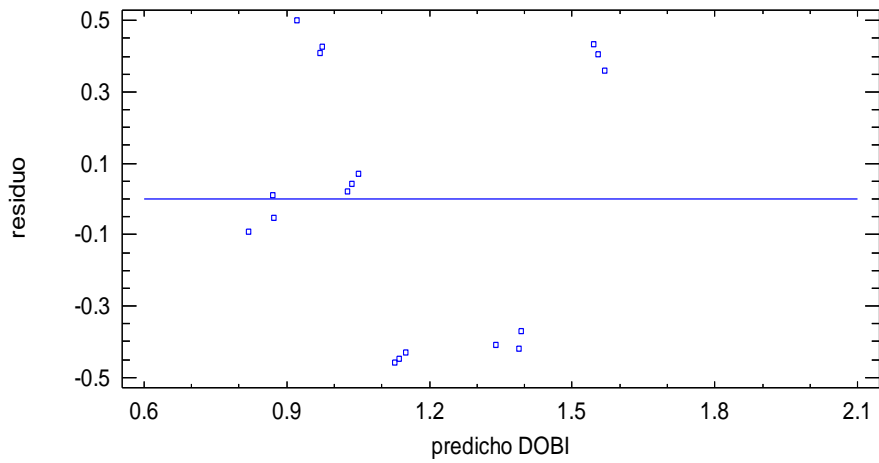


Figura 31. Gráfico de residuos para el DOBI del aceite crudo, por madurez y pico de esterilización.

Cuadro 41. Promedios para el contenido de Ácidos Grasos Libres (Acidez) del aceite crudo, por tratamiento.

Nivel	Casos	Media	Error Estándar	Límite Inferior	Límite Superior
Media general	18	2.348			
Tratamiento					
T1	3	1.940	0.126	1.658	2.222
T2	3	2.830	0.126	2.548	3.112
T3	3	1.460	0.126	1.178	1.742
T4	3	1.897	0.126	1.615	2.178
T5	3	2.887	0.126	2.605	3.168
T6	3	3.073	0.126	2.791	3.355
Repetición - Bloque					
Repetición 1	6	2.228	0.089	2.029	2.428
Repetición 2	6	2.525	0.089	2.326	2.724
Repetición 3	6	2.290	0.089	2.091	2.489

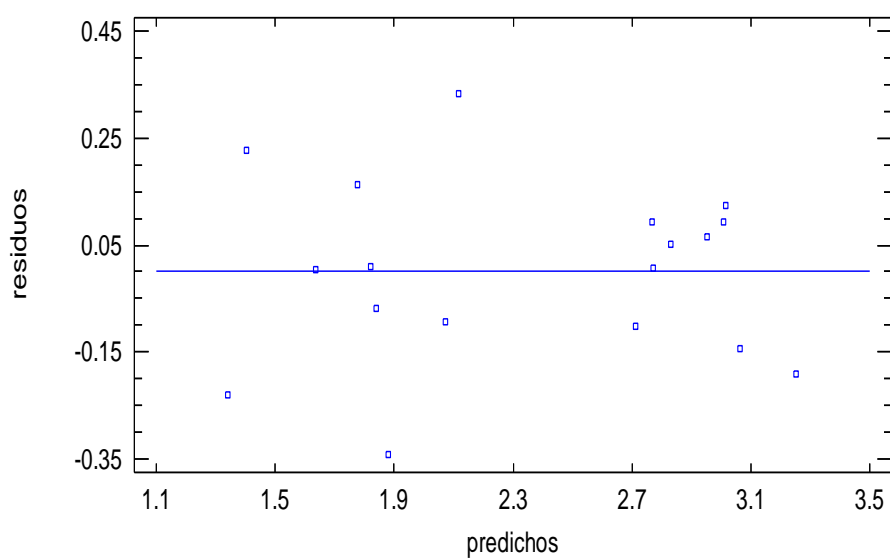


Figura 32. Gráfico de residuos para la acidez del aceite crudo, por tratamiento.

Cuadro 42. Tabla de medias para el contenido de Ácidos Grasos Libres (Acidez) del aceite crudo, por tratamiento.

Nivel	Casos	Media	Error Estándar	Límite Inferior	Límite Superior
Media general	18	0.943			
Tratamiento					
T1	3	1.940	0.126	1.658	2.222
T2	3	2.830	0.126	2.548	3.112
T3	3	1.460	0.126	1.178	1.742
T4	3	1.897	0.126	1.615	2.178
T5	3	2.887	0.126	2.605	3.168
T6	3	3.073	0.126	2.791	3.355
Repetición - Bloque					
Repetición 1	6	0.942	0.0014	0.939	0.945
Repetición 2	6	0.943	0.0014	0.940	0.946
Repetición 3	6	0.943	0.0014	0.940	0.946

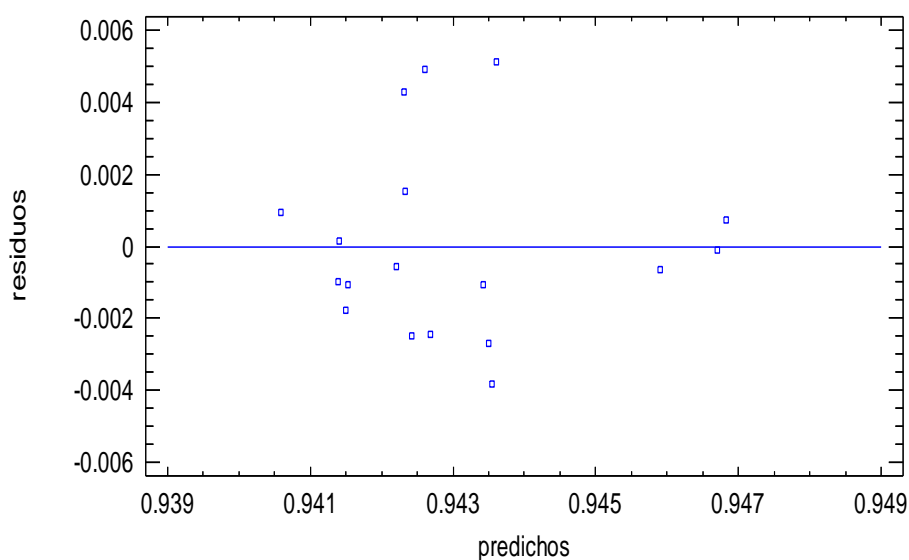


Figura 33. Gráfico de residuos para la densidad del aceite crudo, por tratamiento.

Cuadro 43. Tabla de medias para el DOBI del aceite crudo, por tratamiento.

Nivel	Casos	Media	Error Estándar	Límite Inferior	Límite Superior
Media general	18	1.153			
Tratamiento					
T1	3	1.233	0.269	0.633	1.833
T2	3	1.027	0.269	0.427	1.627
T3	3	1.257	0.269	0.657	1.857
T4	3	1.077	0.269	0.477	1.677
T5	3	1.2437	0.269	0.643	1.843
T6	3	1.080	0.269	0.480	1.680
Repetición - Bloque					
Repetición 1	6	1.465	0.190	1.041	1.889
Repetición 2	6	1.047	0.190	0.622	1.471
Repetición 3	6	0.947	0.190	0.522	1.371

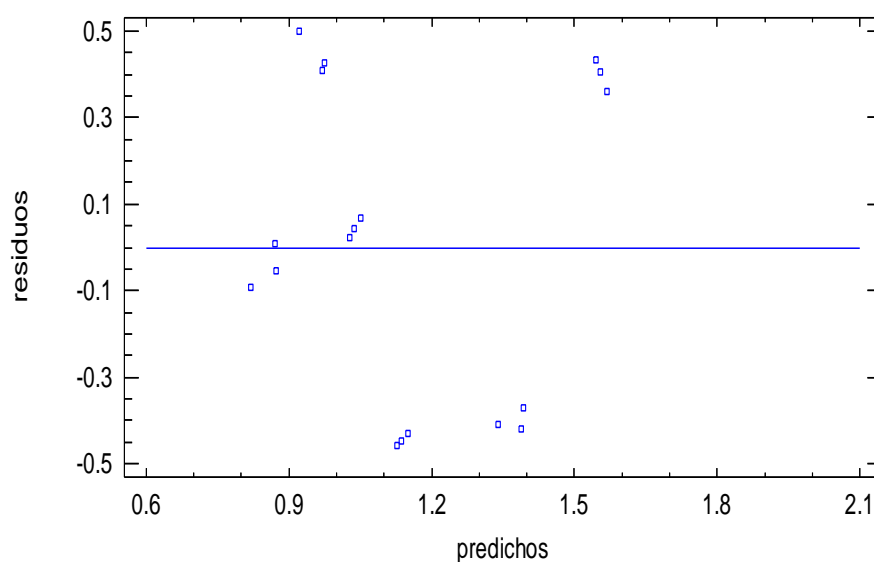


Figura 34. Gráfico de residuos para el DOBI del aceite crudo, por tratamiento.

ANEXO 2. Análisis estadísticos complementarios

Cuadro 44. ANVA para evaluar el efecto de los factores en el contenido de aceite de mesocarpio seco.

Fuente	S.C.	g.l.	C.M.	Fc	Pv
Madurez	6.4268	2	3.2134	0.120	0.8870
Pico de esterilización	0.6272	1	0.6272	0.020	0.8807
Madurez*Pico de esterilización	18.7945	2	9.3973	0.350	0.7097
Repetición - Bloque	317.0910	2	158.5450	5.990	0.0195
Residuo	264.7430	10	26.4743		
Total	607.6830	17			

Cuadro 45. Comparación múltiple de Tukey para el aceite de mesocarpio seco, por madurez.

Madurez	Recuento	Media ¹
Sobre maduro	6	120.220 ± 2.101 ^a
Maduro	6	121.193 ± 2.101 ^a
Verde	6	121.653 ± 2.101 ^a

¹ Los valores corresponden a la media ± SD, para n = 6.
Valores con letras diferentes indican diferencia significativa.

Cuadro 46. Comparaciones múltiples para aceite mesocarpio seco, por pico de esterilización.

Pico de esterilización	Recuento	Media ¹
30/10/45 psig – 80 min	9	120.836 ± 1.715 ^a
30/10/40 psig – 60 min	9	121.209 ± 1.715 ^a

¹ Los valores corresponden a la media ± SD, para n = 9.
Valores con letras diferentes indican diferencia significativa.

Cuadro 47. Tabla de medias para el aceite de mesocarpio seco, por madurez y pico de esterilización.

Nivel	Recuento	Media	Error Estándar	Límite Inferior	Límite Superior
Media general	18	121.022	1.213	118.32	123.724
Madurez					
Maduro	6	121.193	2.101	116.513	125.874
Sobre maduro	6	120.22	2.101	115.54	124.9
Verde	6	121.653	2.101	116.973	126.334
Esterilización					
30/10/40 psig - 60 min	9	121.209	1.715	117.387	125.03
30/10/45 psig - 80 min	9	120.836	1.715	117.014	124.657
Madurez - Esterilización					
Maduro 30/10/40 psig - 60 min	3	122.370	2.971	115.751	128.989
Maduro 30/10/45 psig - 80 min	3	120.017	2.971	113.398	126.636
Sobre maduro 30/10/40 psig - 60 min	3	119.000	2.971	112.381	125.619
Sobre maduro 30/10/45 psig - 80 min	3	121.440	2.971	114.821	128.059
Verde 30/10/40 psig - 60 min	3	122.257	2.971	115.638	128.876
Verde 30/10/45 psig - 80 min	3	121.050	2.971	114.431	127.669
Repetición - Bloque					
Repetición 1	6	115.557	2.101	110.876	120.237
Repetición 2	6	121.750	2.101	117.07	126.43
Repetición 3	6	125.760	2.101	121.08	130.44

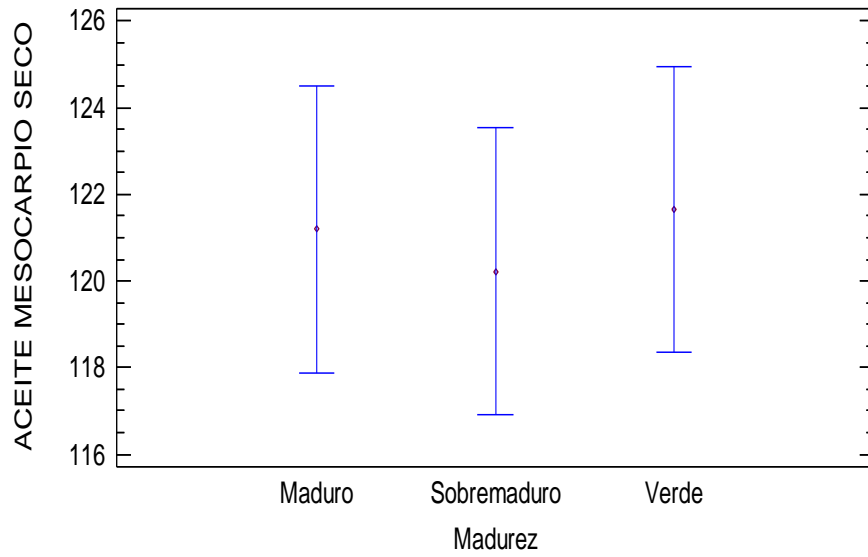


Figura 35. Gráfico de medias para el aceite crudo de mesocarpio seco, según madurez.

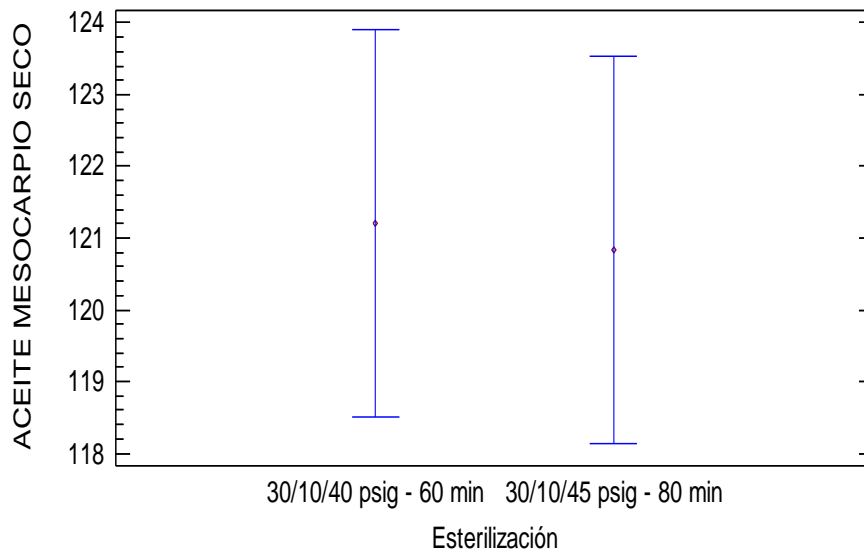


Figura 36. Gráfico de medias para el aceite crudo de mesocarpio seco, según pico de esterilización.

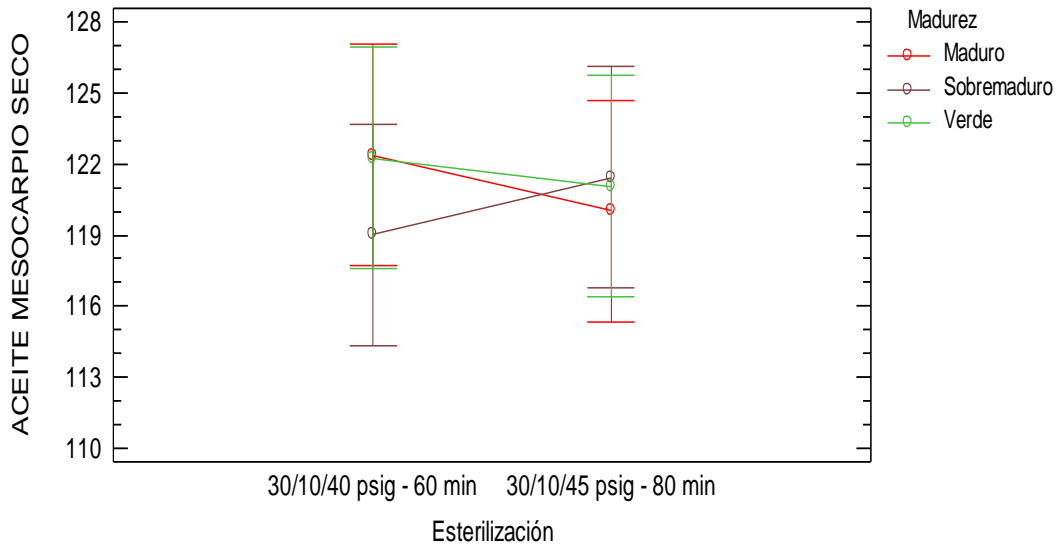


Figura 37. Gráfico de interacción para el aceite crudo de mesocarpio seco, por pico de esterilización según madurez.

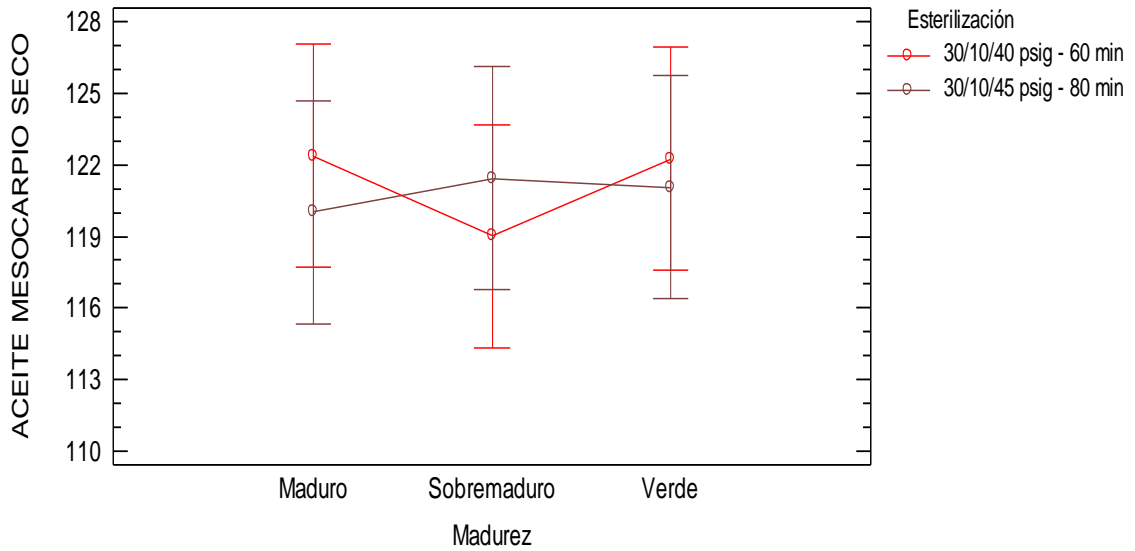


Figura 38. Gráfico de interacción para el aceite crudo de mesocarpio seco, por madurez según pico de esterilización.

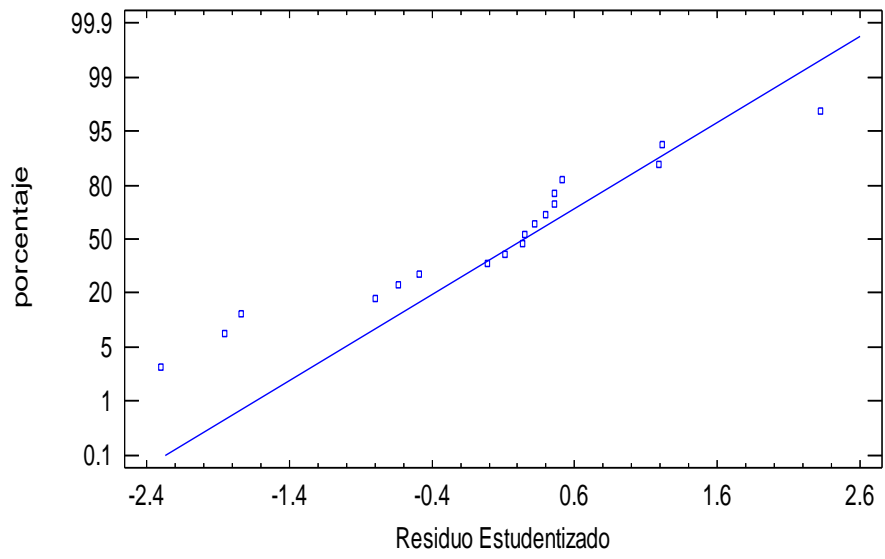


Figura 39. Gráfico de probabilidad normal para el aceite crudo de mesocarpio seco, por madurez y pico de esterilización.

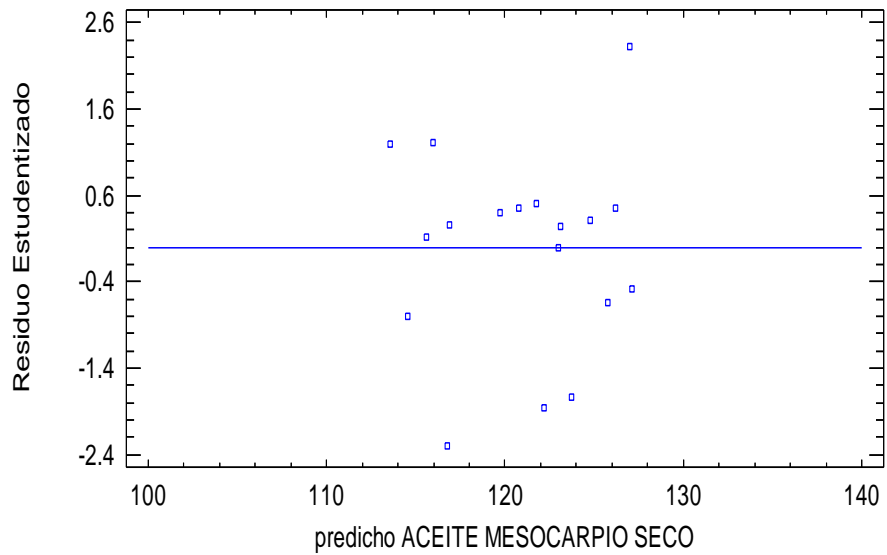


Figura 40. Gráfico de residuos para el aceite crudo de mesocarpio seco, por madurez y pico de esterilización.

Cuadro 48. ANVA para evaluar el efecto de los tratamientos en el contenido de aceite de mesocarpio seco.

Fuente	S.C.	g.l.	C.M.	Fc	Pv
Efectos principales					
Tratamiento	25.849	5	5.170	0.200	0.9573
Repetición - Bloque	317.091	2	158.545	5.990	0.0195
Residuo	264.743	10	26.474		
Total	607.683	17			

Cuadro 49. Tabla de medias para el aceite de mesocarpio seco, por tratamiento.

Nivel	Casos	Media	Error Estándar	Límite Inferior	Límite Superior
Media general	18	121.022			
Tratamiento					
T1 (Verde – 30/10/40 psig 60 min)	3	122.257	2.971	115.638	128.876
T2 (Verde – 30/10/45 psig 80 min)	3	121.050	2.971	114.431	127.669
T3 (Maduro – 30/10/40 psig 60 min)	3	122.370	2.971	115.751	128.989
T4 (Maduro – 30/10/45 psig 80 min)	3	120.017	2.971	113.398	126.636
T5 (Sobre maduro – 30/10/40 psig 60 min)	3	119.000	2.971	112.381	125.619
T6 (Sobre maduro – 30/10/45 psig 80 min)	3	121.440	2.971	114.821	128.059
Repetición - Bloque					
Repetición 1	6	115.557	2.101	110.876	120.237
Repetición 2	6	121.750	2.101	117.070	126.430
Repetición 3	6	125.760	2.101	121.080	130.440

Cuadro 50. Comparación múltiple de Tukey para el aceite de mesocarpio seco, por madurez.

Madurez	Recuento	Media ¹
T5 (Sobre maduro – 30/10/40 psig – 60 min)	3	119.000 ± 2.971 ^a
T4 (Maduro – 30/10/45 psig – 80 min)	3	120.017 ± 2.971 ^a
T2 (Verde – 30/10/45 psig – 80 min)	3	121.050 ± 2.971 ^a
T6 (Sobre maduro – 30/10/45 psig – 80 min)	3	121.440 ± 2.971 ^a
T1 (Verde – 30/10/40 psig – 60 min)	3	122.257 ± 2.971 ^a
T3 (Maduro – 30/10/40 psig – 60 min)	3	122.370 ± 2.971 ^a

¹ Los valores corresponden a la media ± SD, para n = 3.
Valores con letras diferentes indican diferencia significativa.

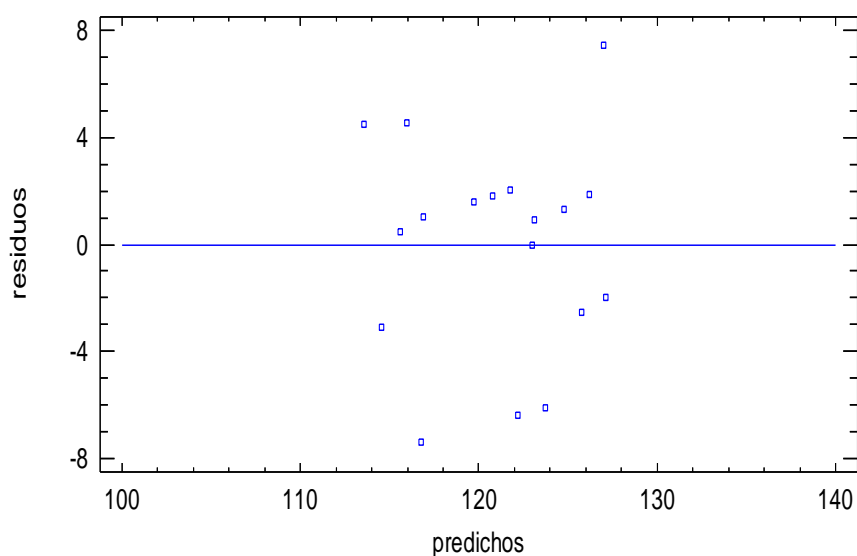


Figura 41. Gráfico de residuos para el aceite de mesocarpio seco, por tratamiento.

Cuadro 51. ANVA para evaluar el efecto de los factores en aceite de mesocarpio fresco.

Fuente	S.C.	g.l.	C.M.	Fc	Pv
Madurez	1403.1600	2	701.5810	12.020	0.0022
Pico de esterilización	41.6784	1	41.6780	0.710	0.4179
Madurez*Pico de esterilización	819.8890	2	409.9440	7.020	0.0124
Repetición - Bloque	709.1480	2	354.574	6.070	0.0188
Residuo	583.8370	10	58.3837		
Total	3557.7100	17			

Cuadro 52. Comparación múltiple de Tukey para el aceite de mesocarpio fresco, por madurez.

Madurez	Recuento	Media ¹
Verde	6	82.523 ± 3.119 ^a
Sobre maduro	6	96.677 ± 3.119 ^b
Maduro	6	103.762 ± 3.119 ^b

¹ Los valores corresponden a la media ± SD, para n = 6.
Valores con letras diferentes indican diferencia significativa.

Cuadro 53. Comparaciones múltiples para aceite mesocarpio fresco, por pico de esterilización.

Pico de esterilización	Recuento	Media ¹
30/10/45 psig – 80 min	9	92.799 ± 2.547 ^a
30/10/40 psig – 60 min	9	95.842 ± 2.547 ^a

¹ Los valores corresponden a la media ± SD, para n = 9.
Valores con letras diferentes indican diferencia significativa.

Cuadro 54. Tabla de medias para el aceite de mesocarpio fresco, por madurez y pico de esterilización.

Nivel	Recuento	Media	Error Estándar	Límite Inferior	Límite Superior
Media general	18	94.321	1.801	90.308	98.333
Madurez					
Maduro	6	103.762	3.119	96.811	110.712
Sobre maduro	6	96.677	3.119	89.726	103.627
Verde	6	82.523	3.119	75.573	89.474
Esterilización					
30/10/40 psig - 60 min	9	95.842	2.547	90.167	101.517
30/10/45 psig - 80 min	9	92.799	2.547	87.124	98.474
Madurez - Esterilización					
Maduro 30/10/40 psig - 60 min	3	103.100	4.411	93.271	112.929
Maduro 30/10/45 psig - 80 min	3	104.423	4.411	94.594	114.253
Sobre maduro 30/10/40 psig - 60 min	3	91.243	4.411	81.414	101.073
Sobre maduro 30/10/45 psig - 80 min	3	102.110	4.411	92.281	111.939
Verde 30/10/40 psig - 60 min	3	93.183	4.411	83.354	103.013
Verde 30/10/45 psig - 80 min	3	71.863	4.411	62.034	81.693
Repetición - Bloque					
Repetición 1	6	85.520	3.119	78.569	92.470
Repetición 2	6	99.725	3.119	92.774	106.675
Repetición 3	6	97.717	3.119	90.766	104.667

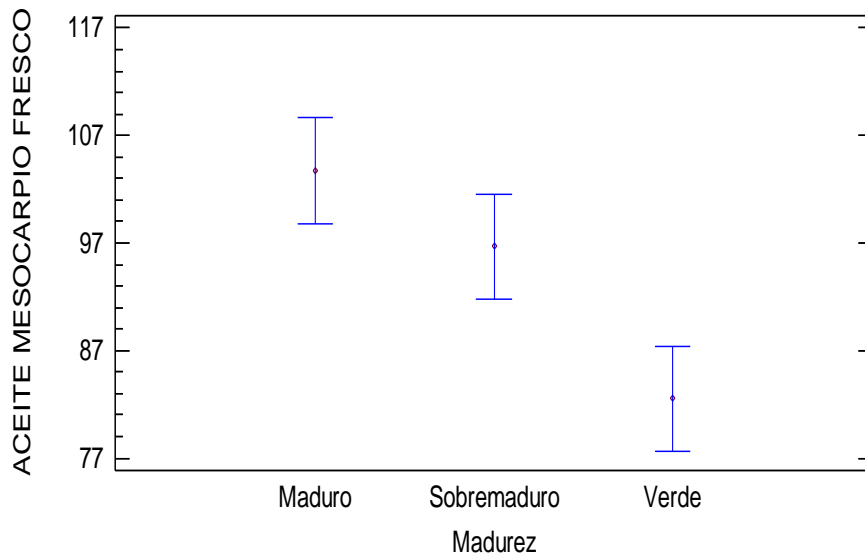


Figura 42. Gráfico de medias para el aceite de mesocarpio fresco, según madurez.

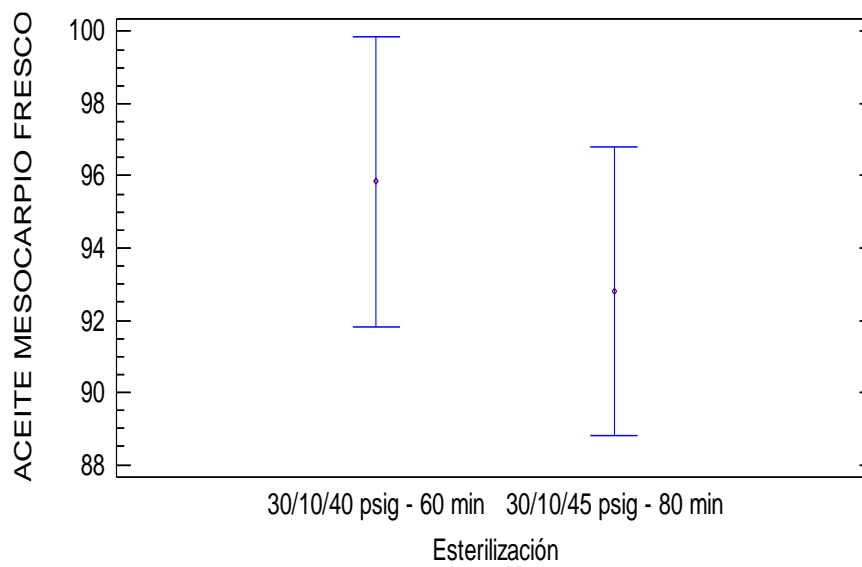


Figura 43. Gráfico de medias para el aceite de mesocarpio fresco, según pico de esterilización.

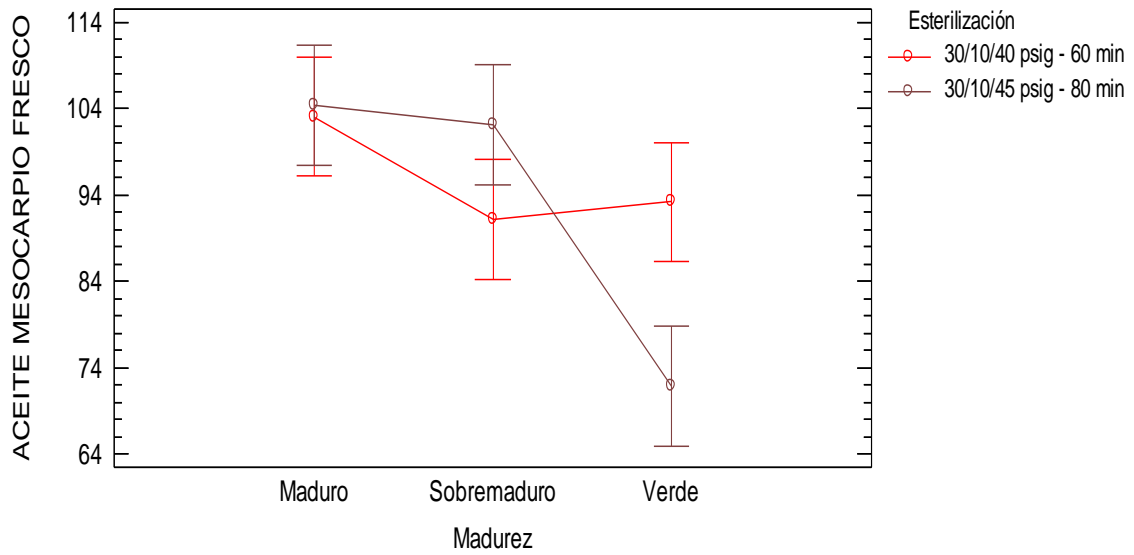


Figura 44. Gráfico de interacción para el aceite crudo de mesocarpio seco, por madurez según pico de esterilización.

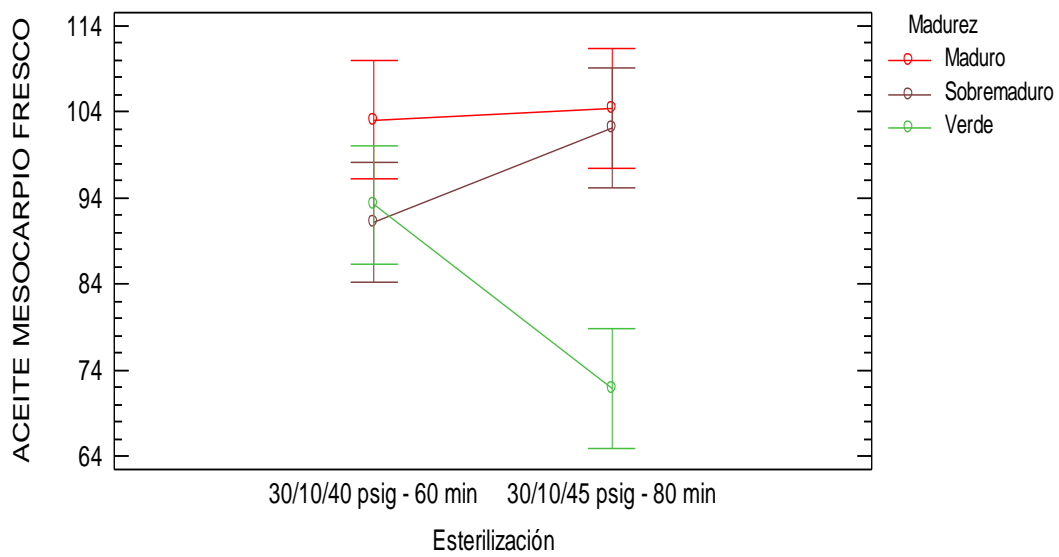


Figura 45. Gráfico de interacción para el aceite crudo de mesocarpio fresco, por pico de esterilización según madurez.

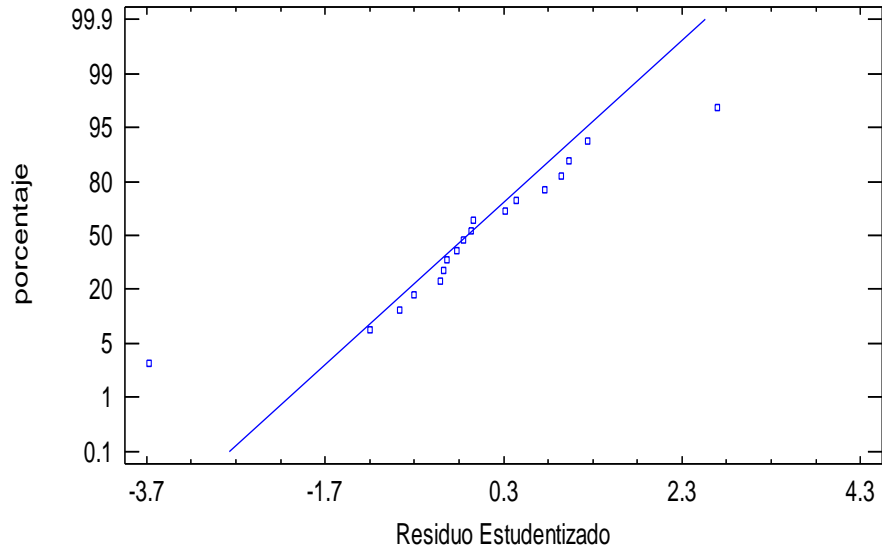


Figura 46. Gráfico de probabilidad normal para el aceite crudo de mesocarpio fresco, por madurez y pico de esterilización.

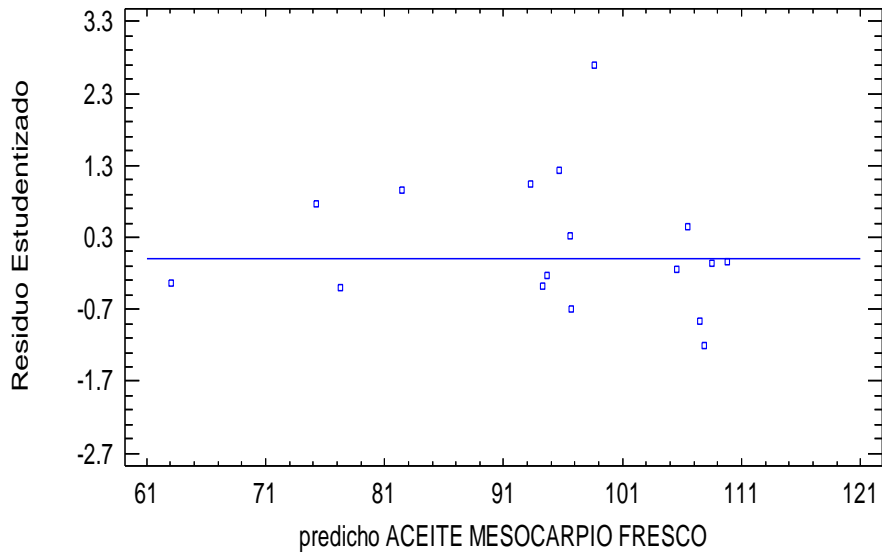


Figura 47. Gráfico de residuos para el aceite crudo de mesocarpio fresco, por madurez y pico de esterilización.

Cuadro 55. ANVA para evaluar el efecto de los tratamientos en el contenido de aceite de mesocarpio fresco.

Fuente	S.C.	g.l.	C.M.	Fc	Pv
Efectos principales					
Tratamiento	2264.730	5	452.946	7.760	0.0032
Repetición - Bloque	709.148	2	354.574	6.070	0.0188
Residuo	583.837	10	58.384		
Total	3557.710	17			

Cuadro 56. Tabla de medias para el aceite de mesocarpio fresco, por tratamiento.

Nivel	Casos	Media	Error Estándar	Límite Inferior	Límite Superior
Media general	18	94.321			
Tratamiento					
T1	3	93.183	4.411	83.354	103.013
T2	3	71.863	4.411	62.034	81.693
T3	3	103.100	4.411	93.271	112.929
T4	3	104.423	4.411	94.594	114.253
T5	3	91.243	4.411	81.414	101.073
T6	3	102.11	4.411	92.281	111.939
Repetición - Bloque					
Repetición 1	6	85.520	3.119	78.569	92.470
Repetición 2	6	99.725	3.119	92.774	106.675
Repetición 3	6	97.717	3.119	90.766	104.667

Cuadro 57. Comparación múltiple de Tukey para el aceite de mesocarpio seco, por madurez.

Madurez	Recuento	Media ¹
T2 (Verde – 30/10/45 psig 80 min)	3	71.863 ± 4.411 ^a
T5 (Sobre maduro – 30/10/40 psig 60 min)	3	91.243 ± 4.411 ^{a, b}
T1 (Verde – 30/10/40 psig 60 min)	3	93.183 ± 4.411 ^{a, b}
T6 (Sobre maduro – 30/10/45 psig 80 min)	3	102.111 ± 4.411 ^b
T3 (Maduro – 30/10/40 psig 60 min)	3	103.100 ± 4.411 ^b
T4 (Maduro – 30/10/45 psig 80 min)	3	104.423 ± 4.411 ^b

¹ Los valores corresponden a la media ± SD, para n = 3.
Valores con letras diferentes indican diferencia significativa.

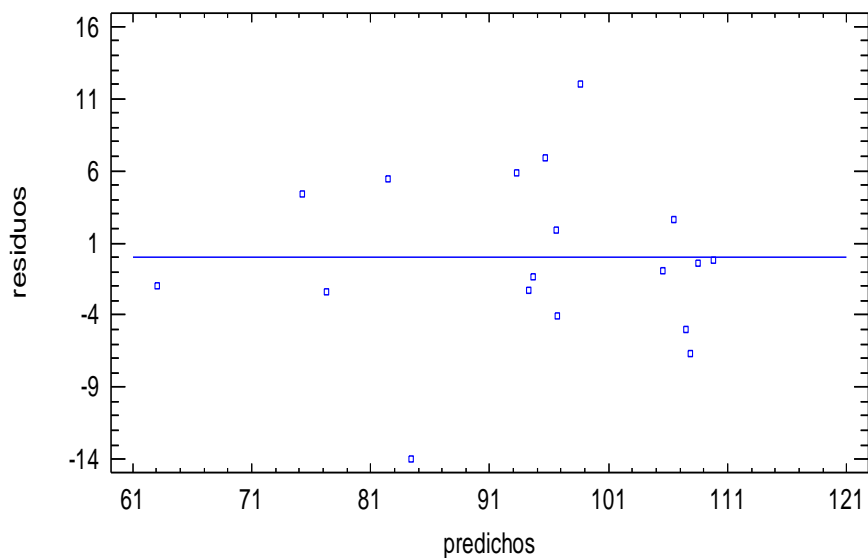


Figura 48. Gráfico de residuos para el aceite de mesocarpio fresco, por tratamiento.

Cuadro 58. ANVA para humedad de mesocarpio.

Fuente	S.C.	g.l.	C.M.	Fc	Pv
Madurez	34.9602	2	17.4801	2.030	0.1820
Pico de esterilización	8.0802	1	8.0802	0.940	0.3555
Madurez*Pico de esterilización	104.4030	2	52.2016	6.060	0.0189
Repetición - Bloque	20.0470	2	10.0235	1.160	0.3511
Residuo	86.0955	10	8.6095		
Total	253.5860	17			

Cuadro 59. Comparación múltiple de Tukey para humedad de mesocarpio, por madurez.

Madurez	Recuento	Media ¹
Sobre maduro	6	17.930 ± 1.198 ^a
Verde	6	19.468 ± 1.198 ^a
Maduro	6	21.338 ± 1.198 ^a

¹ Los valores corresponden a la media ± SD, para n = 6.
Valores con letras diferentes indican diferencia significativa.

Cuadro 60. Comparaciones múltiples para humedad de mesocarpio, por pico de esterilización.

Pico de esterilización	Recuento	Media ¹
30/10/45 psig – 80 min	9	18.909 ± 0.978 ^a
30/10/40 psig – 60 min	9	20.249 ± 0.978 ^a

¹ Los valores corresponden a la media ± SD, para n = 9.
Valores con letras diferentes indican diferencia significativa.

Cuadro 61. Tabla de medias para humedad de mesocarpio, por madurez y pico de esterilización.

Nivel	Recuento	Media	Error Estándar	Límite Inferior	Límite Superior
Media general	18	19.579	0.692	18.038	21.120
Madurez					
Maduro	6	21.338	1.198	18.670	24.007
Sobre maduro	6	17.930	1.198	15.261	20.599
Verde	6	19.468	1.198	16.799	22.137
Esterilización					
30/10/40 psig - 60 min	9	20.249	0.9789	18.070	22.428
30/10/45 psig - 80 min	9	18.909	0.978	16.730	21.088
Madurez - Esterilización					
Maduro 30/10/40 psig - 60 min	3	25.410	1.694	21.635	29.185
Maduro 30/10/45 psig - 80 min	3	17.267	1.694	13.492	21.041
Sobre maduro 30/10/40 psig - 60 min	3	17.047	1.694	13.272	20.821
Sobre maduro 30/10/45 psig - 80 min	3	18.814	1.694	15.039	22.588
Verde 30/10/40 psig - 60 min	3	18.290	1.694	14.5154	22.065
Verde 30/10/45 psig - 80 min	3	20.647	1.694	16.872	24.421
Repetición - Bloque					
Repetición 1	6	18.513	1.19788	15.844	21.182
Repetición 2	6	21.017	1.19788	18.348	23.686
Repetición 3	6	19.207	1.19788	16.538	21.876

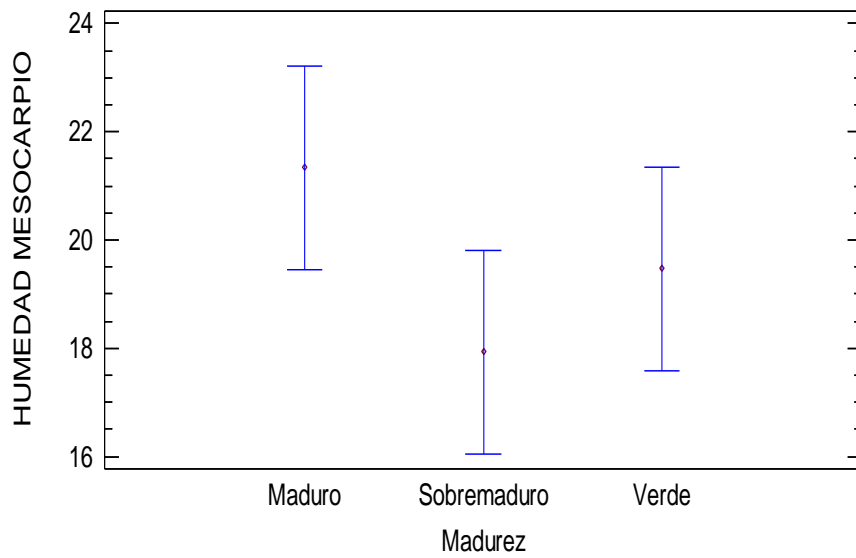


Figura 49. Gráfico de medias para la humedad de mesocarpio, según madurez.

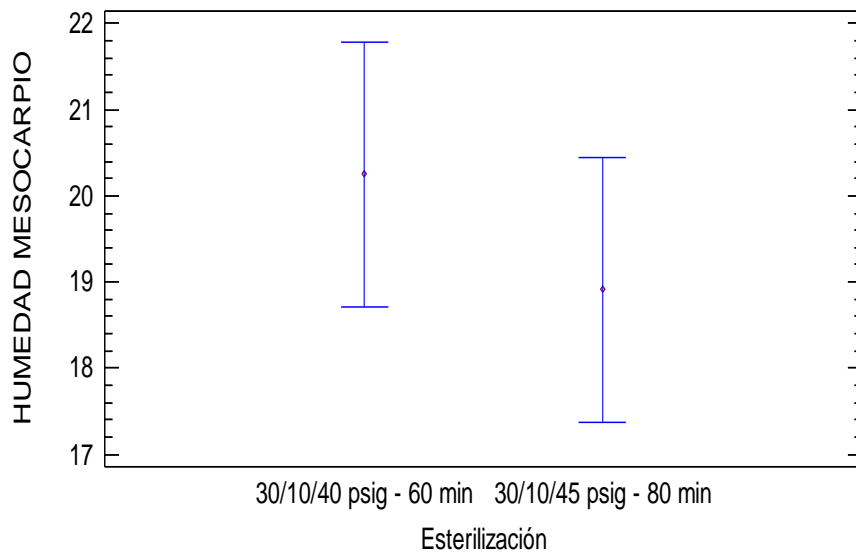


Figura 50. Gráfico de medias para la humedad de mesocarpio, según pico de esterilización.

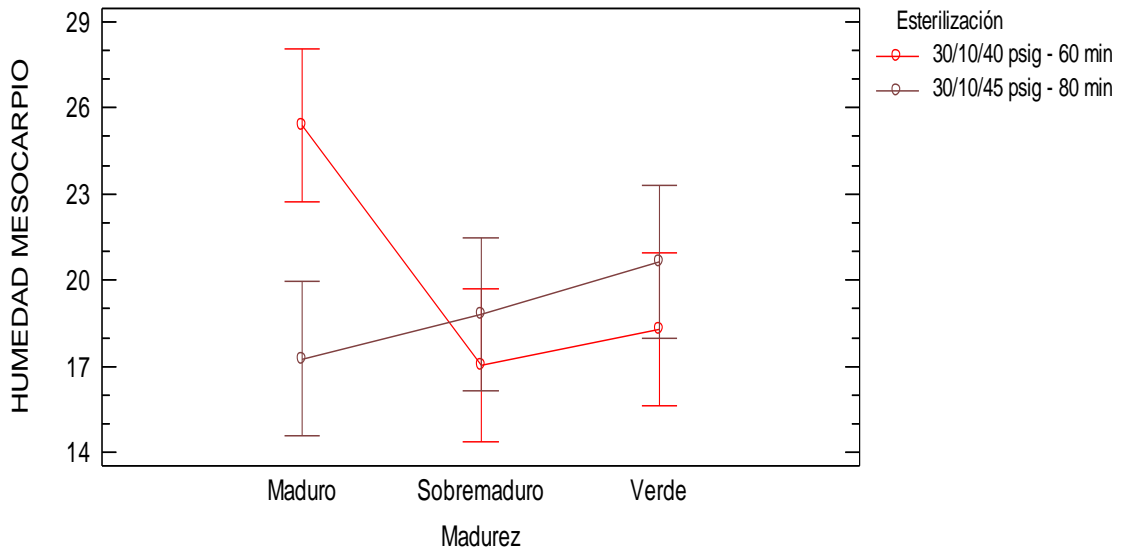


Figura 51. Gráfico de interacción para la humedad de mesocarpio, por madurez según pico de esterilización.

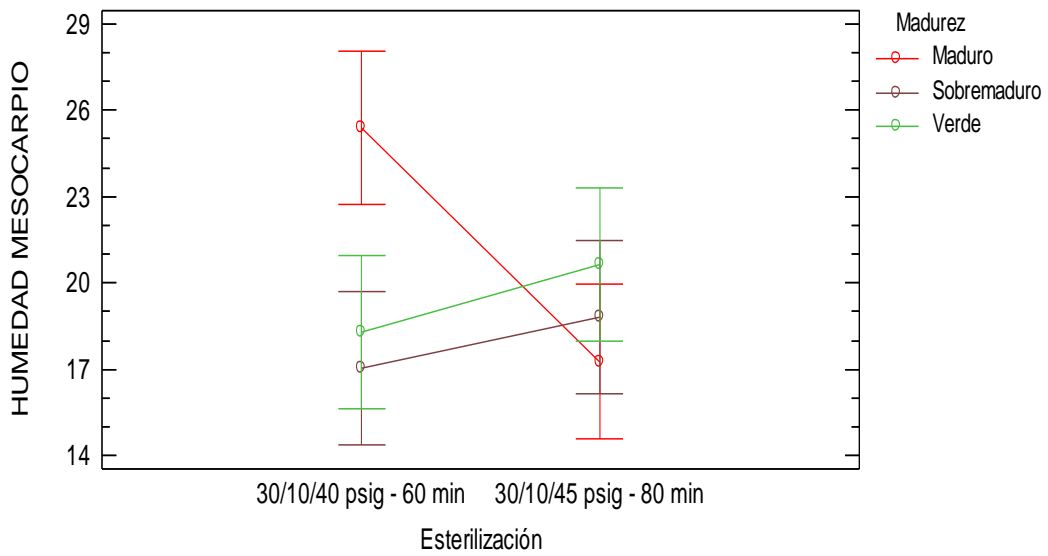


Figura 52. Gráfico de interacción para la humedad de mesocarpio, por pico de esterilización según madurez.

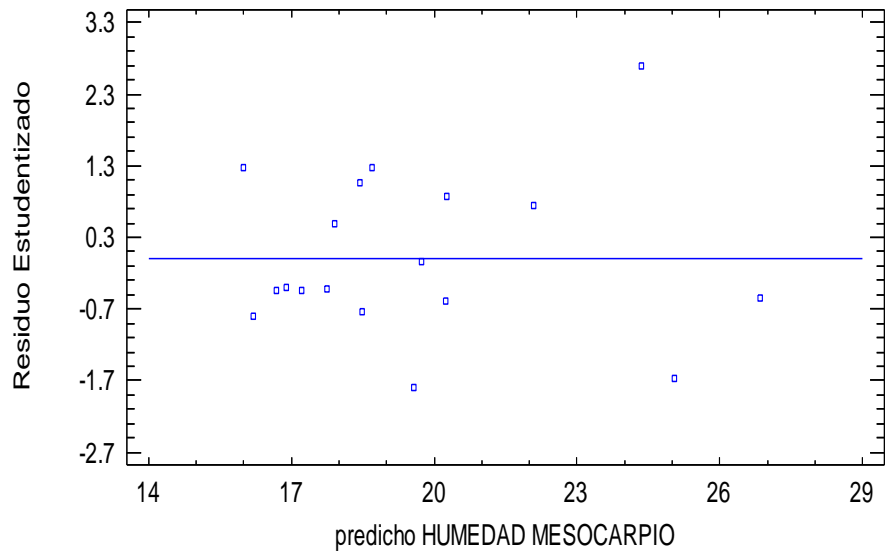


Figura 53. Gráfico de probabilidad normal para la humedad de mesocarpio, por madurez y pico de esterilización.

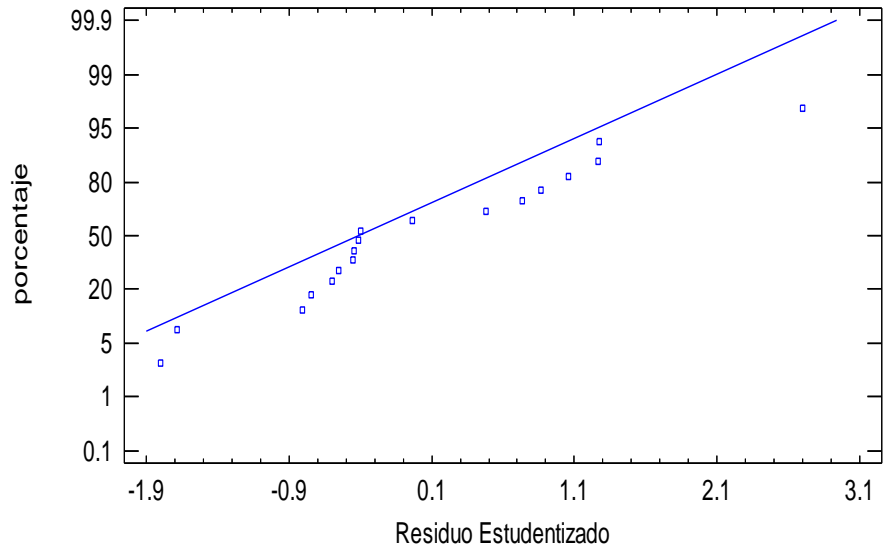


Figura 54. Gráfico de residuos para la humedad de mesocarpio, por madurez y pico de esterilización.

Cuadro 62. ANVA para evaluar el efecto de los tratamientos en el contenido de aceite de mesocarpio fresco.

Fuente	S.C.	g.l.	C.M.	Fc	Pv
Efectos principales					
Tratamiento	147.444	5	29.489	3.430	0.0462
Repetición - Bloque	20.047	2	10.023	1.160	0.3511
Residuo	86.095	10	8.609		
Total	253.586	17			

Cuadro 63. Tabla de medias para la humedad de mesocarpio, por tratamiento.

Nivel	Casos	Media	Error Estándar	Límite Inferior	Límite Superior
Media general	18	19.579			
Tratamiento					
T1	3	18.290	1.694	14.515	22.065
T2	3	20.647	1.694	16.872	24.4215
T3	3	25.410	1.694	21.635	29.185
T4	3	17.267	1.694	13.492	21.0415
T5	3	17.047	1.694	13.272	20.8215
T6	3	18.813	1.694	15.039	22.588
Repetición - Bloque					
Repetición 1	6	18.513	1.198	15.844	21.182
Repetición 2	6	21.017	1.198	18.348	23.686
Repetición 3	6	19.207	1.198	16.538	21.876

Cuadro 64. Comparación múltiple de Tukey para el aceite de mesocarpio seco, por madurez.

Madurez	Recuento	Media ¹
T5 (Sobre maduro – 30/10/40 psig 60 min)	3	17.047 ± 1.694 ^a
T4 (Maduro – 30/10/45 psig 80 min)	3	17.267 ± 1.694 ^{a, b}
T1 (Verde – 30/10/40 psig 60 min)	3	18.290 ± 1.694 ^{a, b}
T6 (Sobre maduro – 30/10/45 psig 80 min)	3	18.813 ± 1.694 ^{a, b}
T2 (Verde – 30/10/45 psig 80 min)	3	20.647 ± 1.694 ^{a, b}
T3 (Maduro – 30/10/40 psig 60 min)	3	25.410 ± 1.694 ^b

¹ Los valores corresponden a la media ± SD, para n = 3.
Valores con letras diferentes indican diferencia significativa.

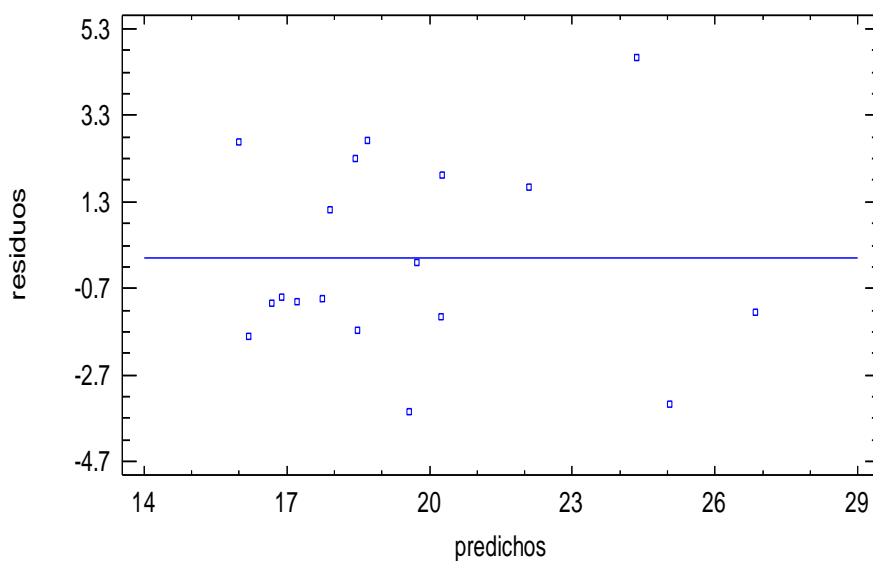


Figura 55. Gráfico de residuos para la humedad de mesocarpio, por tratamiento.

Cuadro 65. ANVA para evaluar el efecto de los factores en la cantidad de aceite en racimo.

Fuente	S.C.	g.l.	C.M.	Fc	Pv
Madurez	660.919	2	330.460	201.550	0.0000
Pico de esterilización	57.531	1	57.531	35.090	0.0001
Madurez*Pico de esterilización	1.029	2	0.515	0.310	0.7375
Repetición - Bloque	1.287	2	0.644	0.390	0.6853
Residuo	16.396	10	1.639		
Total	737.162	17			

Cuadro 66. Comparación múltiple de Tukey para cantidad de aceite en racimo, por madurez.

Madurez	Recuento	Media ¹
Verde	6	14.838 ± 0.523 ^a
Sobre maduro	6	25.312 ± 0.523 ^b
Maduro	6	29.183 ± 0.523 ^c

¹ Los valores corresponden a la media ± SD, para n = 6.
Valores con letras diferentes indican diferencia significativa.

Cuadro 67. Comparaciones múltiples para cantidad de aceite en racimo, por pico de esterilización.

Pico de esterilización	Recuento	Media ¹
30/10/40 psig - 60 min	9	21.323 ± 0.427 ^a
30/10/45 psig – 80 min	9	24.899 ± 0.427 ^b

¹ Los valores corresponden a la media ± SD, para n = 9.
Valores con letras diferentes indican diferencia significativa.

Cuadro 68. Tabla de medias para cantidad de aceite en racimo, por madurez y pico de esterilización.

Nivel	Recuento	Media	Error Estándar	Límite Inferior	Límite Superior
Media general	18	23.111	0.302	22.439	23.784
Madurez					
Maduro	6	29.183	0.523	28.019	30.34
Sobre maduro	6	25.312	0.523	24.147	26.476
Verde	6	14.838	0.523	13.674	16.003
Esterilización					
30/10/40 psig - 60 min	9	21.323	0.427	20.3727	22.2748
30/10/45 psig - 80 min	9	24.899	0.427	23.948	25.850
Madurez - Esterilización					
Maduro 30/10/40 psig - 60 min	3	27.697	0.739	26.049	29.344
Maduro 30/10/45 psig - 80 min	3	30.670	0.739	29.023	32.317
Sobre maduro 30/10/40 psig - 60 min	3	23.240	0.739	21.593	24.887
Sobre maduro 30/10/45 psig - 80 min	3	27.383	0.739	25.736	29.030
Verde 30/10/40 psig - 60 min	3	13.033	0.739	11.386	14.680
Verde 30/10/45 psig - 80 min	3	16.643	0.739	14.996	18.290
Repetición - Bloque					
Repetición 1	6	23.475	0.523	22.310	24.640
Repetición 2	6	23.0183	0.523	21.854	24.183
Repetición 3	6	22.840	0.523	21.675	24.005

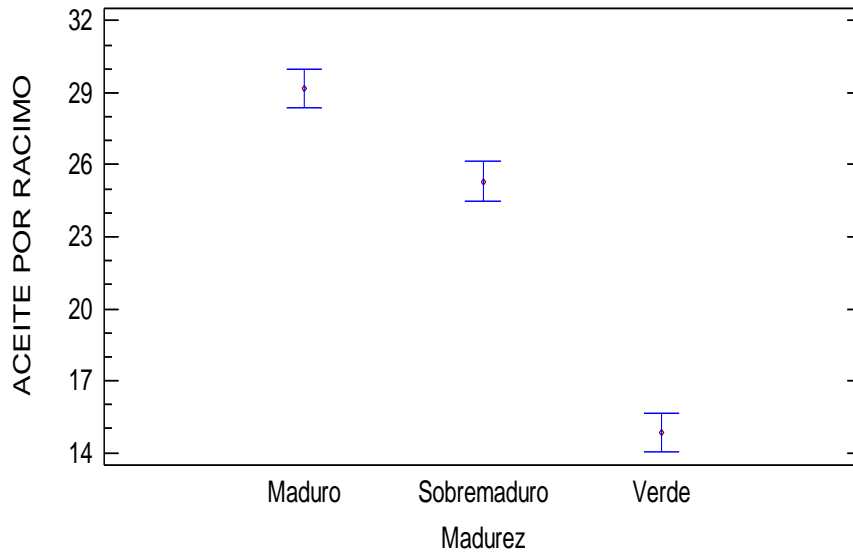


Figura 56. Gráfico de medias para cantidad de aceite en racimo, según madurez.

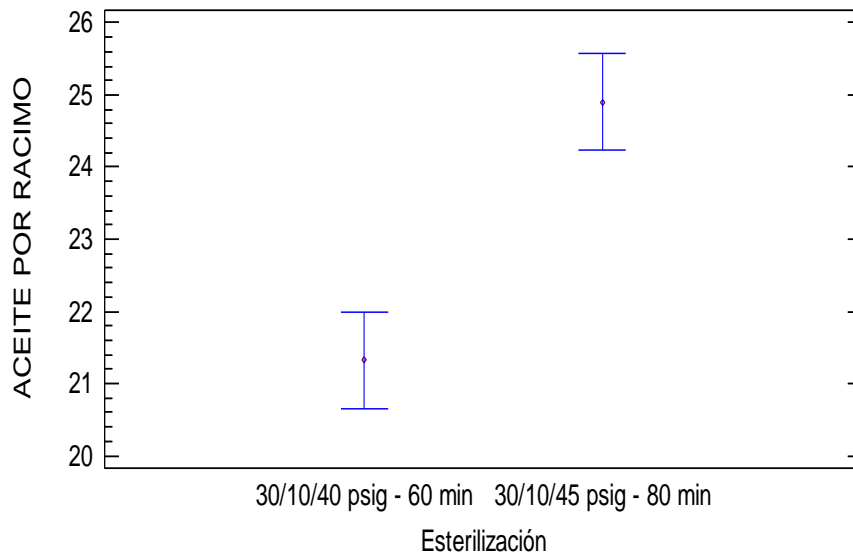


Figura 57. Gráfico de medias para cantidad de aceite en racimo, según pico de esterilización.

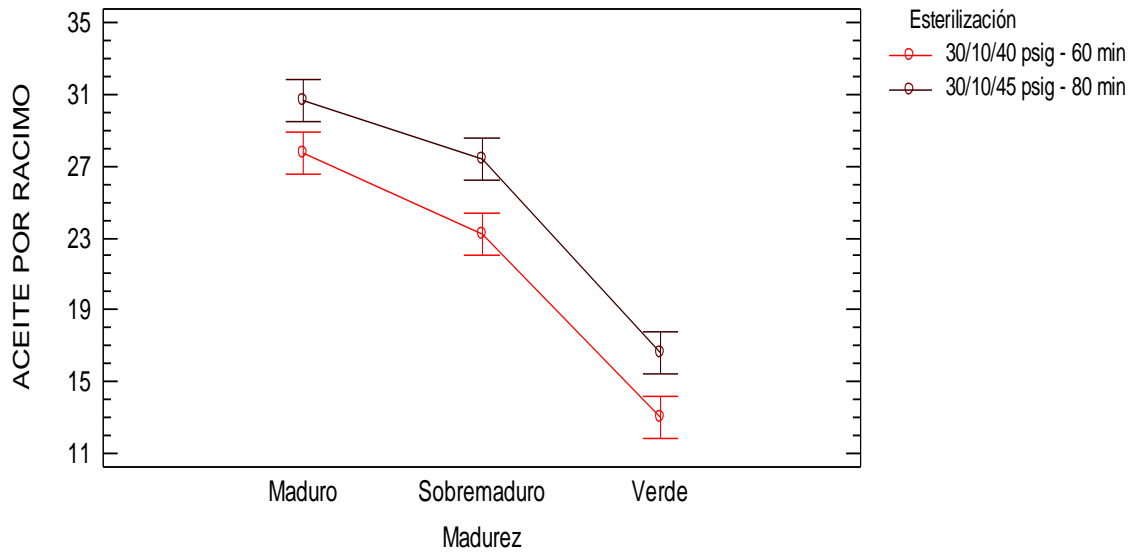


Figura 58. Gráfico de interacción para cantidad de aceite en racimo, por pico de esterilización según madurez.

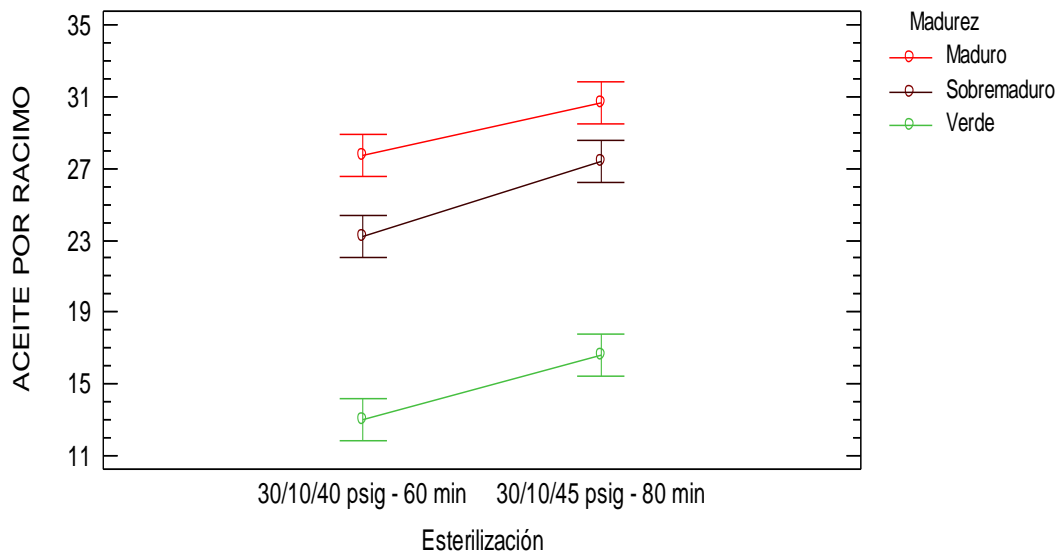


Figura 59. Gráfico de interacción para cantidad de aceite en racimo, por madurez según pico de esterilización.

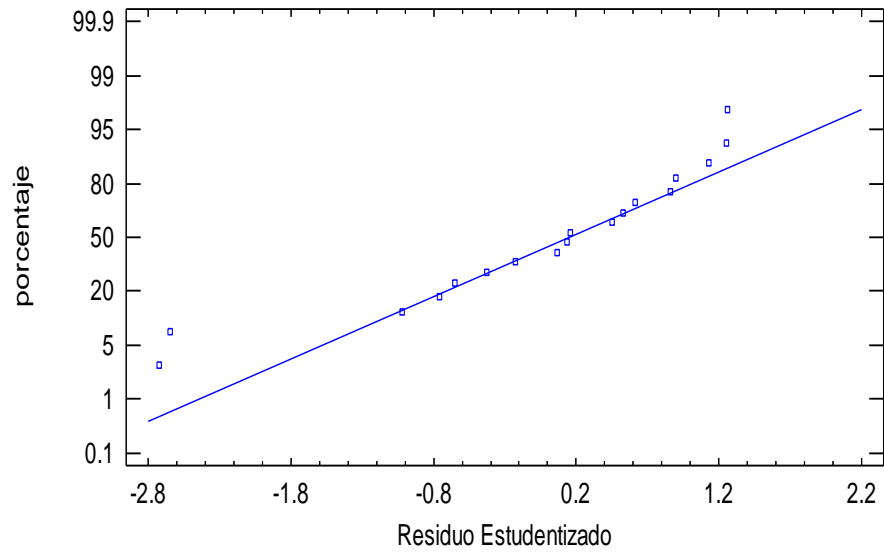


Figura 60. Gráfico de probabilidad normal para cantidad de aceite en racimo, por madurez y pico de esterilización.

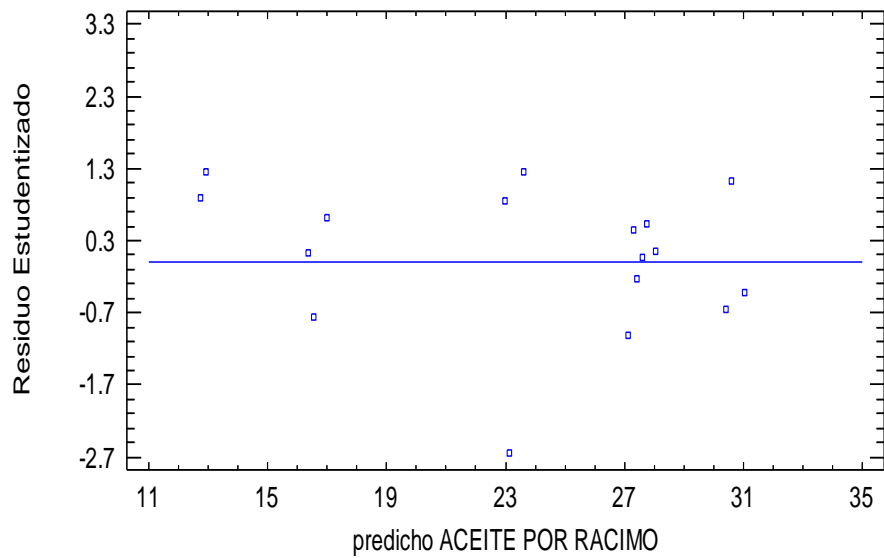


Figura 61. Gráfico de residuos para cantidad de aceite en racimo, por madurez y pico de esterilización.

Cuadro 69. ANVA para evaluar el efecto de los tratamientos en el contenido de aceite en racimo.

Fuente	S.C.	g.l.	C.M.	Fc	Pv
Efectos principales					
Tratamiento	719.479	5	143.896	87.760	0.0000
Repetición - Bloque	1.287	2	0.644	0.390	0.6853
Residuo	16.396	10	1.640		
Total	737.162	17			

Cuadro 70. Tabla de medias para el contenido de aceite en racimo, por tratamiento.

Nivel	Casos	Media	Error Estándar	Límite Inferior	Límite Superior
Media general	18	19.579			
Tratamiento					
T1	3	13.033	0.739	11.386	14.680
T2	3	16.643	0.739	14.996	18.290
T3	3	27.697	0.739	26.049	29.344
T4	3	30.670	0.739	29.023	32.3174
T5	3	23.240	0.739	21.593	24.8874
T6	3	27.383	0.739	25.736	29.0304
Repetición - Bloque					
Repetición 1	6	23.475	0.523	22.3103	24.640
Repetición 2	6	23.0184	0.523	21.854	24.183
Repetición 3	6	22.840	0.523	21.675	24.005

Cuadro 71. Comparación múltiple de Tukey para el contenido de aceite en racimo, por tratamiento.

Madurez	Recuento	Media ¹
T1 (Verde – 30/10/40 psig 60 min)	3	13.033 ± 0.739 ^a
T2 (Verde – 30/10/45 psig 80 min)	3	16.643 ± 0.739 ^a
T5 (Sobre maduro – 30/10/40 psig 60 min)	3	23.240 ± 0.739 ^b
T6 (Sobre maduro – 30/10/45 psig 80 min)	3	27.383 ± 0.739 ^c
T3 (Maduro – 30/10/40 psig 60 min)	3	27.697 ± 0.739 ^c
T4 (Maduro – 30/10/45 psig 80 min)	3	30.670 ± 0.739 ^c

¹ Los valores corresponden a la media ± SD, para n = 3.
Valores con letras diferentes indican diferencia significativa.

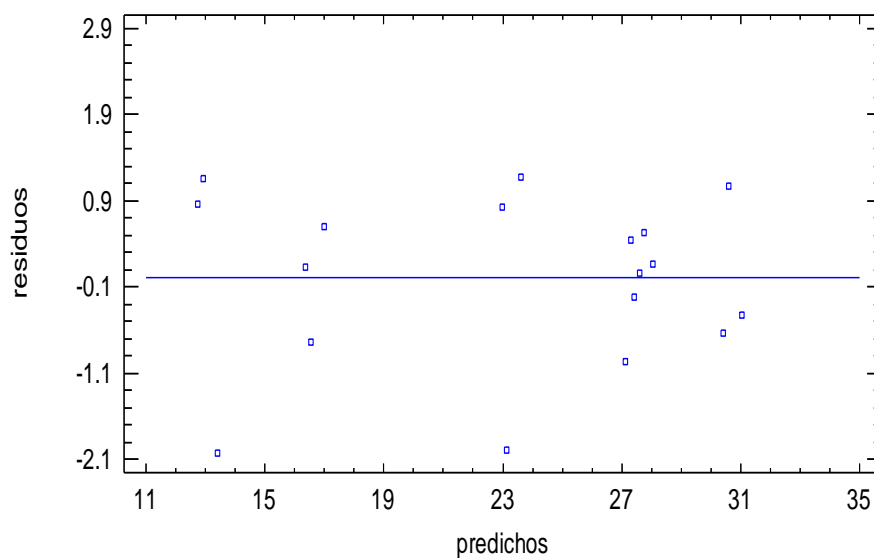


Figura 62. Gráfico de residuos para el contenido de aceite en racimo, por tratamiento.

Cuadro 72. ANVA para evaluar el efecto de los factores en la másica de frutos en racimo.

Fuente	S.C.	g.l.	C.M.	Fc	Pv
Madurez	45990.800	2	22995.400	139.66	0.0000
Pico de esterilización	4185.210	1	4185.210	25.42	0.0005
Madurez*Pico de esterilización	1.509	2	0.755	0.00	0.9954
Repetición - Bloque	1211.530	2	605.767	3.68	0.0635
Residuo	1646.520	10	164.652		
Total	53035.600	17			

Cuadro 73. Comparación múltiple de Tukey para la másica de frutos en racimo, por madurez.

Madurez	Recuento	Media ¹
Verde	6	122.228 ± 5.238 ^a
Sobre maduro	6	210.793 ± 5.238 ^b
Maduro	6	241.443 ± 5.238 ^c

¹ Los valores corresponden a la media ± SD, para n = 6.
Valores con letras diferentes indican diferencia significativa.

Cuadro 74. Comparaciones múltiples para la másica de frutos en racimo, por pico de esterilización.

Pico de esterilización	Recuento	Media ¹
30/10/40 psig - 60 min	9	176.240 ± 4.277 ^a
30/10/45 psig – 80 min	9	206.737 ± 4.277 ^b

¹ Los valores corresponden a la media ± SD, para n = 9.
Valores con letras diferentes indican diferencia significativa.

Cuadro 75. Tabla de medias para la música de frutos en racimo, por madurez y pico de esterilización.

Nivel	Recuento	Media	Error Estándar	Límite Inferior	Límite Superior
Media general	18	191.488	3.024	184.749	198.227
Madurez					
Maduro	6	241.443	5.238	229.771	253.115
Sobre maduro	6	210.793	5.238	199.121	222.465
Verde	6	122.228	5.238	110.556	133.900
Esterilización					
30/10/40 psig - 60 min	9	176.240	4.277	166.710	185.770
30/10/45 psig - 80 min	9	206.737	4.277	197.206	216.267
Madurez - Esterilización					
Maduro 30/10/40 psig - 60 min	3	226.580	7.408	210.073	243.087
Maduro 30/10/45 psig - 80 min	3	256.307	7.408	239.800	272.814
Sobre maduro 30/10/40 psig - 60 min	3	195.473	7.408	178.966	211.980
Sobre maduro 30/10/45 psig - 80 min	3	226.113	7.408	209.606	242.620
Verde 30/10/40 psig - 60 min	3	106.667	7.408	90.160	123.174
Verde 30/10/45 psig - 80 min	3	137.790	7.408	121.283	154.297
Repetición - Bloque					
Repetición 1	6	202.358	5.238	190.686	214.030
Repetición 2	6	189.567	5.238	177.895	201.239
Repetición 3	6	182.540	5.238	170.868	194.212

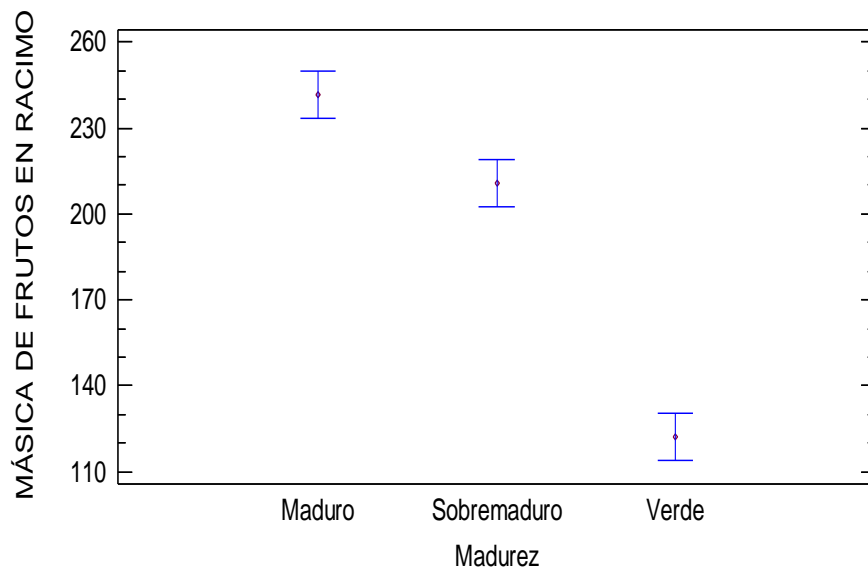


Figura 63. Gráfico de medias para la másica de frutos en racimo, según madurez.

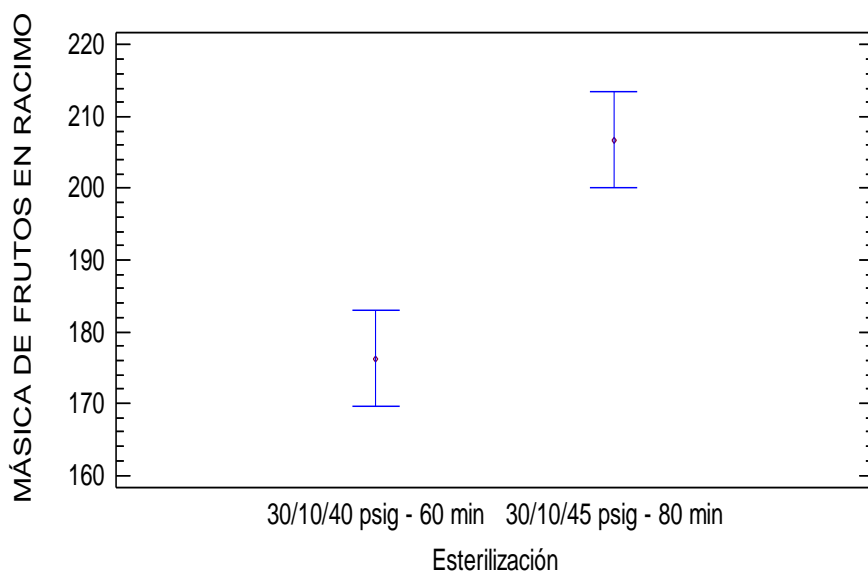


Figura 64. Gráfico de medias para la másica de frutos en racimo, según pico de esterilización.

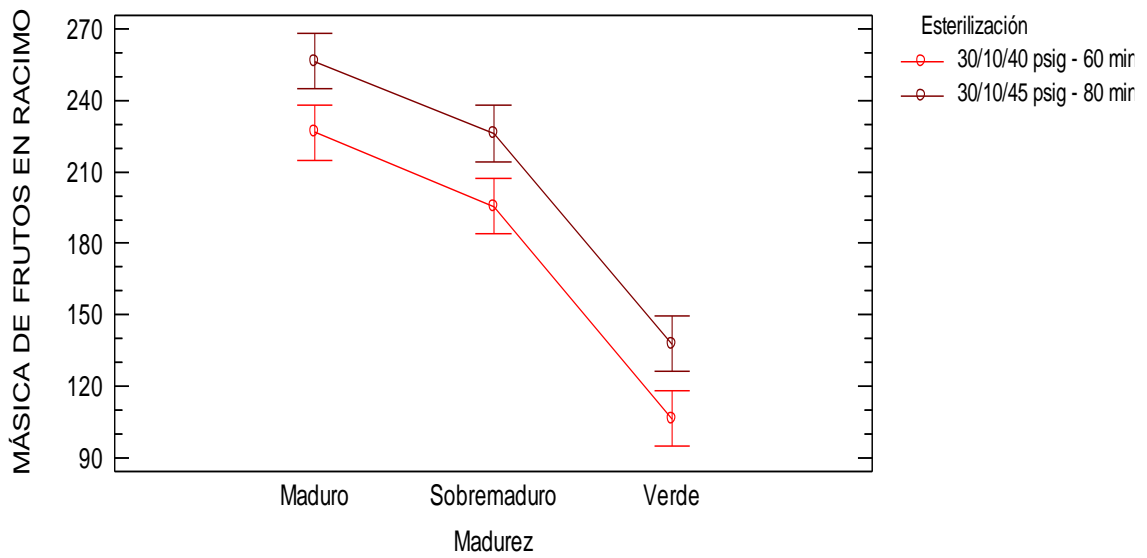


Figura 65. Gráfico de interacción para la másica de frutos en racimo, por pico de esterilización según madurez.

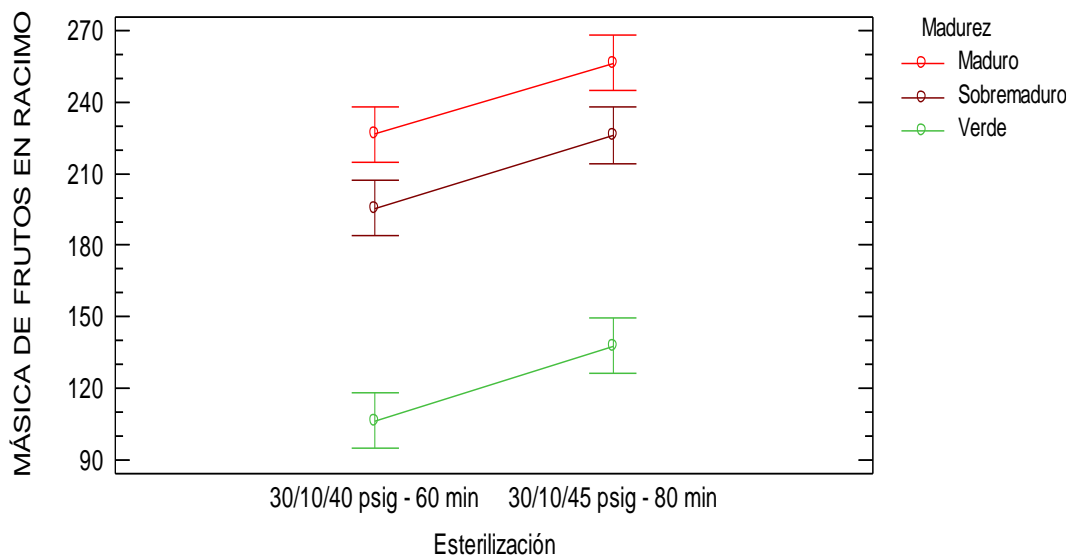


Figura 66. Gráfico de interacción para la másica de frutos en racimo, por madurez según pico de esterilización.

Cuadro 76. Resultado de la evaluación fisicoquímica (densidad) del aceite de palma, por tratamiento y repetición.

Tratamiento		Densidad
Verde - 30/10/40 psig 60 min	T1	0.945258
Verde - 30/10/40 psig 60 min	T1	0.947573
Verde - 30/10/40 psig 60 min	T1	0.946600
Verde - 30/10/45 psig 80 min	T2	0.941513
Verde - 30/10/45 psig 80 min	T2	0.940466
Verde - 30/10/45 psig 80 min	T2	0.941540
Maduro - 30/10/40 psig 60 min	T3	0.939702
Maduro - 30/10/40 psig 60 min	T3	0.939937
Maduro - 30/10/40 psig 60 min	T3	0.946596
Maduro - 30/10/45 psig 80 min	T4	0.940428
Maduro - 30/10/45 psig 80 min	T4	0.943833
Maduro - 30/10/45 psig 80 min	T4	0.941657
Sobre maduro - 30/10/40 psig 60 min	T5	0.940250
Sobre maduro - 30/10/40 psig 60 min	T5	0.948749
Sobre maduro - 30/10/40 psig 60 min	T5	0.940788
Sobre maduro - 30/10/45 psig 80 min	T6	0.947506
Sobre maduro - 30/10/45 psig 80 min	T6	0.939696
Sobre maduro - 30/10/45 psig 80 min	T6	0.942364

ANEXO 3. Registro fotográfico del trabajo de investigación



Figura 67. Selección de los frutos por estados de madurez. **A.** Verde, **B.** Maduro, **C.** Sobremaduro.



Figura 68. Proceso de esterilizado de los frutos.



Figura 69. Frutos después del proceso de esterilizado.



Figura 70. Control de peso de racimos después del esterilizado.



Figura 71. Análisis de potencial de aceite.



Figura 72. Proceso de extracción para evaluar el potencial de aceite.



Figura 73. Muestra de frutos verdes para para análisis sensorial y fisicoquímico antes del esterilizado.



Figura 74. Muestra de frutos maduros para para análisis sensorial y fisicoquímico antes del esterilizado.



Figura 75. Muestra de frutos sobremaduros para para análisis sensorial y fisicoquímico antes del esterilizado.



Figura 76. Muestra de frutos verdes para para análisis sensorial y fisicoquímico después del esterilizado.



Figura 77. Muestra de frutos maduros para para análisis sensorial y fisicoquímico después del esterilizado.



Figura 78. Muestra de frutos sobremaduros para para análisis sensorial y fisicoquímico después del esterilizado.



Figura 79. Extracción de aceite de los frutos de palma aceitera.



Figura 80. Análisis acidez y del DOBI de las muestras de aceite.



Figura 81. Análisis de densidad de las muestras de aceite.