

PRODUCCIÓN Y DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE LAVADO DE UN  
DETERGENTE ECOLÓGICO A PARTIR DE JABÓN Y ACEITES ESENCIALES  
DE AGUACATE(*Persea americana*) Y COCO(*Cocos nucifera*).

MARÍA FERNANDA RINCÓN RIVERO

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA  
INGENIERÍA QUÍMICA  
PAMPLONA  
2019

MARÍA FERNANDA RINCÓN RIVERO

TRABAJO DE GRADO

Asesor  
FABIÁN RICARDO LÓPEZ  
Ingeniero Químico, Msc.

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA  
INGENIERÍA QUÍMICA  
PAMPLONA  
2019

Nota de Aceptación

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

Ciudad y Fecha (día, mes, año) (Fecha de entrega)

Dedico este proyecto de tesis a Dios y a mis padres. A Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, a mis padres, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Es por ellos que soy lo que soy ahora. Los amo con mi vida

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a Dios por haberme guiado por el camino de la felicidad hasta ahora; en segundo lugar, a cada uno de los que son parte de mi familia. por siempre haberme dado su fuerza y apoyo incondicional que me han ayudado y llevado hasta donde estoy ahora. Por último, a mi director de tesis quién nos ayudó en todo momento, Msc. Fabián Ricardo

## CONTENIDO

	Pág.
LISTA DE ECUACIONES .....	13
1.INTRODUCCION .....	14
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	17
3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	17
3.2 JUSTIFICACIÓN .....	18
4. MARCO TEÓRICO .....	19
4.1 GENERALIDADES DE LOS DETERGENTES.....	19
4.2 CLASIFICACIÓN DE LOS DETERGENTES EN FUNCIÓN DE SU AGENTE TENSOACTIVO. ....	19
4.3 TIPOS DE DETERGENTES.....	21
4.4 COMPONENTES TÍPICOS EN DETERGENTES.....	21
4.6 DETERGENTES Y CONTAMINACIÓN EN EL AGUA.....	29
4.7 GENERALIDADES DE LOS JABONES .....	30
4.7.1 REACCIÓN DE SAPONIFICACIÓN .....	31
4.8 ACEITES VEGETALES.....	32
4.9 EXTRACCIÓN DE LOS ACEITES.....	34
4.9.1 EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE COCO .....	35
4.9.2 EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE AGUACATE .....	37
4.11 CARACTERIZACIÓN DE LOS ACEITES. ....	39
4.12 CINÉTICA DEL PROCESO DE LAVADO.....	41
4.13 INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN LA VELOCIDAD DE REACCIÓN ..	43
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	52
5.1 EXTRACCIÓN DE LOS ACEITES ESENCIALES DE AGUACATE Y COCO. ...	52
5.1.1 EXTRACCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE COCO NATURAL .....	52
5.1.2 EXTRACCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE AGUACATE.....	55
5.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS ACEITES ESENCIALES <sup>13,14,39</sup> .....	56
5.3 PROCEDIMIENTO PRODUCCIÓN DEL JABÓN LÍQUIDO ECOLÓGICO.....	56
5.4 ELABORACIÓN DEL DETERGENTE ECOLÓGICO. ....	56
5.6 DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE REACCIÓN O LAVADO .....	56
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	59

6.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS ACEITES DE COCO Y AGUACATE.....	59
6.1.1 CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE DE COCO.....	59
6.2.1 CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE DE AGUACATE.....	62
6.3 JABÓN ECOLÓGICO.....	66
6.4 DETERGENTE ECOLÓGICO .....	56
6.5 PROCESO DE LAVADO .....	57
6.6 CURVA DE CALIBRACIÓN.....	58
6.6.1 CONCENTRACIÓN CRÍTICA MICELAR .....	63
6.7 DETERMINACIÓN DE LA CINÉTICA DE LAVADO.....	64
6.7.1 DETERMINACIÓN DEL ORDEN DE REACCIÓN Y LA CONSTANTE CINÉTICA PARA EL PROCESO DE LAVADO CON DETERGENTES ECOLÓGICOS. ....	66
CONCLUSIONES.....	79
BIBLIOGRAFÍA.....	80

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.A.Formacion micelar .Molécula de detergente <sup>48</sup> .....	21
Figura 2. Reacciones llevadas a cabo en la producción del p-toluensulfonato <sup>14</sup> .....	28
Figura 3.Reacción de saponificación para la producción de jabón <sup>20,48</sup> .....	31
Figura 4.Accion micelar <sup>21</sup> .....	32
Figura 5.Proceso de extracción de aceite de coco. ....	37
Figura 6.Procedimiento de extracción aceite de aguacate. ....	39
Figura 7.Energia de reacción con respecto al avance de la reacción. ....	44
Figura 8.Determiacion de la energía de activación .....	46
Figura 9.Variacion de la constante cinética con respecto a la temperatura. ....	46
Figura 10.Extracción del agua de coco. ....	52
Figura 11.Disminución de tamaño del coco. ....	52
Figura 12.Retiro de la cáscara del coco .....	52
Figura 13.Rallado del coco. ....	52
Figura 14.Licuado del coco rallado. ....	52
Figura 15.Extracción de la leche de coco.....	54
Figura 16. Decantación para la separación del aceite de coco y el agua. ....	54
Figura 17.Aceite de coco decantado del agua después de 24 horas de refrigeración. ....	54
Figura 18.Aceite de coco en forma de mantequilla obtenido de la refrigeración.....	55
Figura 19. Evidencia de la aparición del aceite de coco en el proceso de evaporación del agua.....	55
Figura 20.Aceite de coco extraído.....	55
Figura 21.Extraccion de la pulpa de aguacate. ....	55
Figura 22. Maceración de la pulpa de aguacate.....	55
Figura 23.Calentamiento de la pulpa macerada.....	56
Figura 24.Prensado de la pulpa caliente. ....	56
Figura 25.Aceite de aguacate. ....	56
Figura 26.Mezcla inicial (aceite-cloroformo-ácido acético). ....	57
Figura 27.Desaparición del color debido a la reacción con un tiosulfato de sodio .....	57
Figura 28.Aparición del color azul tenue el cual evidencia el inicio de la reacción de los peróxidos con la mezcla inicial.....	55
Figura 29. Final de la titulación, desaparición del color azul.....	55
Figura 30.Solución inicial (cloroformo-acido aceitico-aceite de aguacate).....	55
Figura 31. Valoración con tiosulfato de sodio, desaparición parcial de la coloración inicial y evidencia de una cloración azul-verdosa tenue .....	55
Figura 32.Final de la valoración. ....	56
Figura 33.Solución inicial (hidróxido de potasio-aceite).....	56
Figura 34.Saponificación de los aceites. ....	56
Figura 35.Aceites saponificados. ....	56
Figura 36.Aceite de coco saponificado. ....	56
Figura 37.Aceite saponificado con fenolftaleína. ....	55
Figura 38.Final de la valoración. ....	55

Figura 39. Aceite de aguacate saponificado. ....	55
Figura 40. Aceite de aguacate saponificado con fenolftaleína. ....	55
Figura 41. Resultado de la valoración. ....	55
Figura 42. Solución inicial (aceite de coco-cloroformo y reactivo de wijs). ....	56
Figura 43. Agitación manual ocasional en oscuridad de la solución inicial. ....	56
Figura 44. Adición del yoduro de potasio. ....	56
Figura 45. Valoración con tiosulfato, desaparición parcial de la coloración inicial. ....	55
Figura 46. Aparición del color rosa evidencia de la presencia de yodo. ....	55
Figura 47. Solución inicial (cloroformo-reactivo de wijs-aceite de aguacate). ....	55
Figura 48. Agitación ocasional en oscuridad. ....	55
Figura 49. Adición del yoduro de potasio. ....	55
Figura 50. Valoración de la solución con tiosulfato de sodio. ....	56
Figura 51. Desaparición parcial de la coloración inicial. ....	56
Figura 52. Evidencia de yodo en la muestra, aparición del color rosa. ....	56
Figura 53. Final de la valoración. ....	56
Figura 54. Reactivos para la elaboración del jabón ecológico. ....	67
Figura 55. Aceite de aguacate en baño maría. ....	67
Figura 56. Aceite de coco en baño maría y solución de KOH con agua. ....	67
Figura 57. Jabón ecológico primer día de elaboración. ....	67
Figura 58. Jabón ecológico día 1 elaboración. ....	56
Figura 59. Jabón líquido ecológico día 5 de elaboración. ....	56
Figura 60. Jabon liquido ecológico terminado. ....	56
Figura 61. Materias primas fabricación del detergente ecológico. ....	56
Figura 62. Detergente liquido ecológico. ....	56
Figura 63. Curva de calibración proceso de lavado a 20°C. ....	60
Figura 64. Curva de calibración del proceso de lavado a 30°C. ....	61
Figura 65. Curva de calibración del proceso de lavado a 40° C. ....	62
Figura 66. Curva de calibración proceso de lavado a 50°C. ....	63
Figura 67. Concentración micelar crítica por el método del descenso crioscópico. ....	64
Figura 68. Variación de la concentración en función del tiempo para el proceso de lavado a las temperaturas 20°C, 30°C, 40°C, 50°C. ....	65
Figura 69. Determinación de los parámetros cinéticos proceso de lavado por ajuste cuadrático método de polinomios a 20°C. ....	67
Figura 70. Determinación de los parámetros cinéticos proceso de lavado por ajuste cuadrático método de polinomios a 30°C. ....	67
Figura 71. Determinación de los parámetros cinéticos proceso de lavado por ajuste cuadrático método de polinomios a 40°C. ....	67
Figura 72. Determinación de los parámetros cinéticos proceso de lavado por ajuste cuadrático método de polinomios a 20°C. ....	67
Figura 73. Determinación de los parámetros cinéticos proceso de lavado por el método de diferencias finitas a 20°C. ....	55
Figura 74. Determinación de los parámetros cinéticos proceso de lavado por el método de diferencias finitas a 30°C. ....	55
Figura 75. Determinación de los parámetros cinéticos proceso de lavado por el método de diferencias finitas a 40°C. ....	55

Figura 76.Determinacion de los parámetros cinéticos proceso de lavado por el método de diferencias finitas a 50°C.....	55
Figura 77.Determinacion de los parámetros cinéticos proceso de lavado por el método integral orden cero a 20°C .....	69
Figura 78 Determinación de los parámetros cinéticos proceso de lavado por el método integral orden 2 a 20°C .....	55
Figura 79.Determinacion de los parámetros cinéticos proceso de lavado por el método integral orden 3 a 20°C .....	55
Figura 80.Determinacion de los parámetros cinéticos proceso de lavado por el método integral orden cero a 30°C .....	70
Figura 81.Determinacion de los parámetros cinéticos proceso de lavado por el método integral orden 1 a 30°C .....	70
Figura 82.Determinacion de los parámetros cinéticos proceso de lavado por el método integral orden 2 a 30°C .....	70
Figura 83.Determinacion de los parámetros cinéticos proceso de lavado por el método integral orden 3 a 30°C .....	70
Figura 84.Determinacion de los parámetros cinéticos proceso de lavado por el método integral orden cero a 40°C .....	72
Figura 85. Determinación de los parámetros cinéticos proceso de lavado por el método integral orden 1 a 40°C .....	72
Figura 86.Determinacion de los parámetros cinéticos proceso de lavado por el método integral orden 2 a 40° .....	72
Figura 87.Determinacion de los parámetros cinéticos proceso de lavado por el método integral orden 3 a 40°C .....	72
Figura 88.Determinacion de los parámetros cinéticos proceso de lavado por el método integral orden cero a 50°C .....	72
Figura 89. Determinación de los parámetros cinéticos proceso de lavado por el método integral orden 1 a 50°C .....	72
Figura 90.Determinacion de los parámetros cinéticos proceso de lavado por el método integral orden 2 a 50°C .....	73
Figura 91.Determinacion de los parámetros cinéticos proceso de lavado por el método integral orden 3 a 50. ....	73
Figura 92.Comportamiento anti-Arrhenius del proceso de lavado con detergente ecológico líquido a las temperaturas estudiadas.....	74
Figura 93.Energia de activación proceso de lavado con detergente natural.....	75

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Formulación típica en detergentes lavavajillas . <sup>8,9</sup> .....	24
Tabla 2. Formulación desarrollada de un detergente lavaplatos <sup>9,8</sup> .....	24
Tabla 3. Principales aceites y grasas usadas en la saponificación de estas para la producción de jabones <sup>24</sup> .....	33
Tabla 4. Constituyentes del aceite de Coco. Ácidos grasos [g] por 100 g de aceite de coco <sup>24</sup> .....	36
Tabla 5. Composición del aceite de aguacate .....	38
Tabla 6. Caracterización del aceite de aguacate <sup>6,34</sup> .....	41
Tabla 7. Caracterización de aceite de coco. ....	41
Tabla 8. Leyes de velocidad .....	42
Tabla 9. Ecuación es método de diferencias finitas .....	51
Tabla 10. Densidad del aceite de coco. ....	59
Tabla 11. Índice de refracción del aceite de coco. ....	59
Tabla 12. Índice de peróxidos aceite de coco. ....	60
Tabla 13. Índice de saponificación aceite de coco. ....	60
Tabla 14. Índice de yodo del aceite de coco. ....	61
Tabla 15. Caracterización aceite de coco. ....	61
Tabla 16. Densidad aceite de aguacate .....	62
Tabla 17. Índice de refracción aceite de aguacate .....	62
Tabla 18. Índice de peróxidos aceite de aguacate. ....	63
Tabla 19. Índice de saponificación aceite de aguacate. ....	63
Tabla 20. Índice de yodo aceite de aguacate. ....	64
Tabla 21. Caracterización aceite de aguacate. ....	64
Tabla 22. Parámetros detergente líquido ecológico. ....	56
Tabla 23. Soluciones patrón para la determinación de la curva de calibración del proceso de lavado a cada temperatura. ....	59
Tabla 24. Curva de calibración del proceso de lavado a 20°C. ....	59
Tabla 25. Datos curva de calibración proceso de lavado a 30°C. ....	60
Tabla 26. Datos curva de calibración del proceso de lavado a 40°C .....	61
Tabla 27. Datos curva de calibración del proceso de lavado a 50°C .....	62
Tabla 28. Datos determinación de la concentración crítica micela. ....	63
Tabla 29. Concentración micelar crítica. ....	64
Tabla 30. Datos concentración de la suciedad en función del tiempo para el proceso de lavado con detergente ecológico a diferentes temperaturas. ....	65
Tabla 31. Eficiencia de lavado con detergente ecológico para cada temperatura estudiada. ....	65
Tabla 32. Parámetros cinéticos para el proceso de lavado con detergentes ecológicos a temperaturas de 20,30,40,50 °C a través de diferentes métodos cinéticos. ....	66
Tabla 33. Parámetros cinéticos proceso de lavado por el método de polinomios a las temperaturas estudiadas .....	67

Tabla 34. Parametros cinéticos proceso de lavado por el método de diferencias finitas a las temperaturas estudiadas. ....	67
Tabla 35. Parametros cinéticos proceso de lavado por el método integral (orden 0,1,2,3,n) a las temperaturas estudiadas. ....	69
Tabla 36. Determinación de los parámetros cinéticos proceso de lavado por el método integral orden n. ....	74
Tabla 37. Capacidad de detergencia de algunos detergentes convencionales. <sup>49</sup> .....	78

## LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Reacción del tratamiento directo con anhídrido sulfúrico.....	25
Ecuación 2. Reacción de sulfonación aromática.....	27
Ecuación 3. Reacción de sulfonación anhídrica V.....	27
Ecuación 4. Reacción de sulfonación anhídrica VI.....	27
Ecuación 5. Ley de velocidad de reacción.....	42
Ecuación 6. Orden global de reacción.....	42
Ecuación 7. Constante de reacción.....	42
Ecuación 8. Ecuación de Arrhenius.....	43
Ecuación 9. Número de moléculas por unidad de volumen.....	43
Ecuación 10. Linealización ley de velocidad.....	46
Ecuación 11. Velocidad de reacción.....	47
Ecuación 12. Ecuación 11 Reorganizada.....	47
Ecuación 13. Ecuación de velocidad integrada para orden 1.....	47
Ecuación 14. Cinética orden 1.....	47
Ecuación 15. Cinética orden 2.....	47
Ecuación 16. Cinética orden 3.....	48
Ecuación 17. Reacción 1.....	48
Ecuación 18. Ley de velocidad.....	48
Ecuación 19. Linealización de la velocidad de reacción por medio del método de velocidades iniciales con B y C constantes.....	49
Ecuación 20. Linealización de la velocidad de reacción por medio del método de velocidades iniciales con A y C constantes.....	49
Ecuación 21. Linealización de la velocidad de reacción por medio del método de velocidades iniciales con A y B constantes.....	49
Ecuación 22. Tiempo medio cinética orden 1.....	49
Ecuación 23. Cinética orden 1 periodo de semireacción.....	49
Ecuación 24. Tiempo medio cinética orden 2.....	49
Ecuación 25. Cinética orden 2 periodo de semireacción.....	50
Ecuación 26. Tiempo medio cinética orden 3.....	50
Ecuación 27. Cinética orden 3 periodo de semireacción.....	50
Ecuación 28. Derivada de la concentración con respecto al tiempo método de polinomios.....	50
Ecuación 29. Linealización ecuación de velocidad.....	50
Ecuación 30. Densidad.....	56
Ecuación 31. Índice de Saponificación.....	55
Ecuación 32. Índice de iodo.....	56
Ecuación 33. Reacción proceso de lavado.....	56
Ecuación 34. Velocidad de remoción del efecto detergente.....	57

Ecuación 35.Velocidad de remoción resultante de las suposiciones. ....	57
Ecuación 36.Reacción de saponificación del aceite de coco y aguacate. ....	67
Ecuación 37..Velocidad de reacción proceso de lavado con detergente ecológico. ....	57
Ecuación 38.Ecuación de Arrhenius. ....	75

## RESUMEN

Los detergentes convencionales, compuestos principalmente de derivados de petróleo, afectan en gran medida el equilibrio ambiental acrecentando las contaminaciones de cuerpos de agua y afectaciones a los organismos presentes en este ecosistema. En esta investigación se estudia la elaboración de detergente líquido ecológico a base de jabón líquido de igual naturaleza como agente tenso activo obtenido de aceites esenciales de coco y aguacate extraídos de manera artesanal.

La influencia de la temperatura en la velocidad y eficiencia de lavado se determina a partir de ensayos de lavado midiendo el cambio en el índice de refracción de la suciedad, presenta una eficiencia de lavado del 58% a temperaturas elevadas ( $T=50^{\circ}\text{C}$ ), en el proceso de lavado con el detergente mencionado la velocidad de reacción disminuye a medida que aumenta la temperatura (comportamiento anti Arrhenius), sin embargo la eficiencia de lavado aumenta al presentarse una elevación de la temperatura aumentando el tiempo de contacto entre el detergente, el agua y la suciedad, las micelas formadas atrapan con mayor eficiencia las partículas de grasa como consecuencia de las altas temperaturas y la agitación mecánica a su vez mejoran el proceso de lavado debido a la mayor facilidad de desprendimiento de la suciedad a la superficie de lavado.

El proceso de lavado con detergentes bio está influenciado por el estado de agregación de los reactivos, el tiempo de lavado y la temperatura a la cual se realiza el proceso de limpieza debido a la afectación causada por la solubilidad entre las fases detergente-agua (micelas) y la suciedad (principalmente ácidos grasos).

**PALABRAS CLAVE:** Detergencia, velocidad de lavado, temperatura, jabón, aguacate, coco.

## 1.INTRODUCCION

Los detergentes convencionales presentan en su composición sustancias derivadas del petróleo como lo son los tensoactivos ,potenciadores ,blanqueadores y abrillantadores ópticos ,componentes tóxicos para el medio ambiente los cuales mejoran el proceso de lavado ,sin embargo estos componentes representan una contaminación significativamente alta en consecuencia a las agua residuales resultantes del proceso debido a la no asimilación de estos componentes por los microorganismos presentes en el ecosistema afectado.

Los productores de detergentes, en vista de la problemática de los residuos en la gestión ambiental, estudiaron la estandarización de una prueba piloto para la caracterización de un residuo toxico generado en la producción de productos de limpieza en busca de un método de purificación y biotratamiento del residuo. <sup>1</sup>

La problemática de los detergentes convencionales no está centrada en la fabricación ,la gran problemática es el uso de estos en los procesos de lavado ,la naturaleza de sus componentes no permite una degradación eficiente de los agentes tóxicos presentes en el detergente, los cuales generan un impacto ambiental considerable disminuyendo la fauna ,flora y afectando el equilibrio del biosistema .El uso de un detergente ecológico disminuye la producción de espuma, la cual se considera como un aspecto positivo de los detergentes y generalmente se relaciona con una limpieza adecuada, en realidad causa problemas de contaminación cuando las aguas residuales del proceso de limpieza son depositadas en cuerpos de agua.

La investigación acerca de la implementación de componentes amigables con el medio ambiente en la fabricación de productos de limpieza presenta un desarrollo considerable. El desarrollo de formulaciones para detergentes ecológicos en estado sólido o líquido ha tomado gran auge, debido a la importancia de las cantidades en la fabricación de un detergente, una de las técnicas estudiadas para determinar esta formulación se conoce como BSF(Baño-Sustrato-Flujo), permite regular las variables hidrodinámicas del proceso, los componentes y variables del proceso (Agitación y temperatura).<sup>2</sup>

El principal objetivo de esta investigación es la elaboración de un detergente ecológico en estado líquido a partir de jabón de la misma naturaleza a base de aceites vegetales como tenso activo del proceso y la evaluación de la cinética del proceso de lavado y la influencia de la temperatura en la eficiencia de remoción de la suciedad, el producto de limpieza obtenido en esta investigación no presenta abrillantadores, potenciadores, emulsificantes debido a la naturaleza no ecológica de estos lo cual afectaría la calidad del producto.

La eficiencia de lavado del detergente se ve afectada por el tipo de suciedad(ácidos grasos),la temperatura, la velocidad de agitación el tiempo de contacto y la concentración critica micelar ,en esta investigación el estudio de la cinética del proceso de lavado teniendo en cuenta la influencia de la temperatura

realizando mediciones de lavado a T ( 20°C,30°C,40°C,50°C)con el objetivo de determinar los parámetros cinéticos del proceso(orden de reacción y constante cinética)para de esta manera determinar cuál es el comportamiento de la velocidad de reacción con respecto a la temperatura del proceso de lavado.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GENERAL

Producir un detergente a partir de jabón natural como tenso activo y aceites esenciales de coco y aguacate, y determinar la velocidad de lavado del producto obtenido.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Extraer y caracterizar aceites esenciales de Aguacate y Coco.

Elaborar el jabón ecológico a partir de los aceites de aguacate y coco.

Elaborar el detergente ecológico a partir del jabón como tenso activo.

Determinar la influencia de la temperatura en la velocidad de lavado.

## 3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Los detergentes son productos químicos de limpieza en los hogares, industrias en general los cuales presentan una alta demanda. Los detergentes convencionales están elaborados a base de compuestos derivados del petróleo como conservantes ,coadyuvantes ,tensoactivos sintéticos o surfactantes que ayudan en la penetración ,remojo ,emulsificación ,dispersión ,solubilización y formación de espuma, los cuales producen una alta contaminación debido a su naturaleza no ecológica, producen espuma y fosfatos que suavizan el agua y evitan que la suciedad regrese a la superficie pero a su vez estos producen eutrofización dificultando la actividad bacteriana y disminuyendo el poder auto depurador del agua.

La mayoría de los detergentes sintéticos son contaminantes persistentes debido a que no son descompuestos fácilmente por la acción bacteriana. A los detergentes que no son ecológicos se les llama detergentes duros y a los degradables, detergentes blandos.<sup>3,4,5</sup>

Al realizar el lavado con un detergente convencional , este cumple su objetivo de detergencia eliminando la suciedad presente en las superficies , se obtiene la superficie limpia y una mezcla de agua-detergente-suciedad la cual al poseer componentes nocivos para el medio ambiente afectan el equilibrio del ecosistema al cual se arrojan estos residuos, especialmente los cuerpos de agua y los ecosistemas presentes en el debido a la presencia de tenso activos, provocan la disminución de la solubilidad del oxígeno disuelto con lo cual se dificulta la vida acuática y la fotosíntesis; a pesar del tratamiento el agua residual ,la eliminación total de los componentes nocivos no es posible y la afectación al medio ambiente, aunque tendrá menor magnitud, de igual manera afectara el equilibrio debido a la acumulación de agua contaminada que puede contacto con la población cercana a el cuerpo de agua y presentar afectaciones de salud.

El tono verdoso de las aguas de los ríos es un indicador de la contaminación por detergentes, debido a que los constituyentes de los detergentes estimulan el crecimiento de las algas, las cuales disminuyen le oxigeno del agua, provocando muerte de los peces y organismos acuáticos. Este proceso de acumulación de materia orgánica y nutrientes como el fosforo se conoce como euforizacion, las aguas euforizadas no son aptas para el consumo humano si no reciben un costoso tratamiento.<sup>6</sup>

### 3.2 JUSTIFICACIÓN

La contaminación a los cuerpos de agua, ocasionada por las aguas residuales del proceso de lavado con detergentes convencionales es principalmente la euforización la cual disminuye la solubilidad de oxígeno en agua debida al aumento de la producción de algas, inhibiendo así la fotosíntesis e impidiendo el crecimiento de la fauna y flora.<sup>6</sup>

Una alternativa a la disminución de la contaminación a cuerpos de agua causada por los detergentes convencionales es la producción de detergentes ecológicos fabricados a partir de materias primas naturales debido a al carácter bioasimilable de sus componentes, en el momento en que el agua resultante del proceso de lavado entra en contacto con una fuente hídrica se produce una acumulación de materia orgánica ,nutrientes y crecimiento de algas afectando severamente el ecosistema a mediano y largo plazo debido a la baja degradación de los detergentes convencionales. Los detergentes ecológicos disminuyen el proceso de eutrofización debido a que los componentes presentes en el agua residual del proceso de lavado facilitan el proceso de degradación por parte de los microorganismos de la fuente hídrica, disminuyendo la acumulación de materias orgánicas y minerales afectando en menor medida el equilibrio del ecosistema .Al estar compuestos de aceites vegetales, sin conservantes, colorantes y tenso activos derivados del petróleo, la solubilidad del oxígeno en el agua no presentara una afectación elevada aumentando las probabilidades de vida de los organismos constituyentes del ecosistema.

La disminución de componentes no ecológicos tales como fosfatos, preservantes, y agentes limpiadores derivados del petróleo ocasionan una afectación positiva a la conservación de los recursos hídricos y los ecosistemas presentes en estos, los detergentes ecológicos afectan en menor medida el equilibrio que los convencionales permitiendo una mayor solubilidad de oxígeno y garantizando el proceso de fotosíntesis y así la producción de energía de la flora y fauna en el biosistema.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1 GENERALIDADES DE LOS DETERGENTES

Los detergentes son sustancias químicas que tienen la capacidad de deshacer o separar la suciedad que está en la superficie de un objeto sin corroerlo ni dañarlo y se les conoce como agentes limpiadores, los cuales deben eliminar tanto la grasa como la suciedad sin afectar a los tejidos. La estructura de las moléculas de detergentes se compone de dos partes: una llamada lipofílica (tiene afinidad con grasas y aceites y se encarga de ubicarlos cuando se aplica un detergente) y la otra, hidrofílica (tiene afinidad con el agua y les da a los detergentes la característica de mantener sus capacidades limpiadoras en el agua). Por lo general se les atribuye a los detergentes la capacidad de modificar la tensión superficial del agua para llevar a cabo el proceso limpiador.

Los detergentes convencionales presentan una generación significativa de contaminantes tanto en la elaboración como después del proceso de lavado. Los detergentes convencionales comprenden una amplia gama de compuestos químicos, productos farmacéuticos, productos de cuidado personal, agentes tensoactivos, plastificantes y aditivos industriales, que no están incluidos en el monitoreo actual de programas de tratamiento de aguas; también incluyen la síntesis de nuevos compuestos químicos o cambios en el uso y disposición de los productos químicos ya existentes, los cuales debido a su composición química no se degradan fácilmente.<sup>4</sup>

Debido a estas afectaciones al medio ambiente, la alternativa de detergentes y productos de aseo con naturaleza ecológica ha tomado gran importancia, Los detergentes ecológicos son aquellos que contienen surfactantes que se descomponen o se degradan en un corto tiempo de manera natural al ser consumidos por los microorganismos presentes en los ecosistemas, evitando la contaminación del agua y la acumulación en ríos o vertederos.<sup>4</sup>

### 4.2 CLASIFICACIÓN DE LOS DETERGENTES EN FUNCIÓN DE SU AGENTE TENSOACTIVO.

Los agentes activos y de mayor importancia en los detergentes son los agentes tensoactivos, responsables de la detergencia del producto de limpieza, se pueden clasificar en cuatro grandes grupos, atendiendo a sus propiedades:

- Aniónicos (contienen carga negativa en solución acuosa (jabones, alquilbenceno sulfonatos lineales, alfa olefín sulfonatos, dialquil sulfonatos, etc).
- Catiónicos: contienen carga positiva en solución acuosa (aminas grasas y sales, sales de amonio cuaternarias, etc.).

- No iónicos: carecen de carga (alquilfenoles polietoxilados, alcoholes grasos polietoxilados, etc.).
- Anfóteros: dependiendo del pH se comportan como aniónicos o catiónicos (aminoácidos, las betaínas o los fosfolípidos).<sup>5</sup>

Este componente puede ser de origen natural (Jabón a base de aceites esenciales) o sintético (surfactantes derivados del petróleo). Los detergentes líquidos ecológicos presentan composiciones generales basadas en agua, aceites esenciales, bicarbonato de sodio y agentes tensoactivos. Los aceites bases para la fabricación del detergente pueden ser de origen vegetal o animal(residuos), la fabricación de detergente a partir de aceites de fritura usados es una alternativa al aprovechamiento de residuos industriales para producir un compuesto amigable con el medio ambiente.<sup>6</sup>

Los detergentes suelen incluir agentes espumantes(tensoactivos), aditivos o fosfatos que potencializan su capacidad limpiadora. De esta manera con la apuesta por productos con surfactantes ecológicos se respetan en mayor medida los ecosistemas la biodiversidad. La forma en la que trabajan los detergentes para llevar a cabo su acción limpiadora se define en cuatro pasos principales:

- Humectación: se refiere a la ruptura de la tensión superficial del agua para que una sola gota de esta sea capaz de mojar una mayor superficie. Si no se rompe la tensión, el agua se concentra en forma de gota y solo abarca una superficie muy pequeña.
- Penetración: una vez que la gota de agua pudo abarcar más superficie, comienza a penetrar por los poros de la superficie y entra en contacto con las zonas porosas donde se concentra la suciedad.
- Emulsión: en este paso se forman partículas finas de uno o más líquidos en otro líquido.
- Desprendimiento: esta es la parte en la que la suciedad se separa de la superficie en forma de gotas en solución.

Cuando la suciedad forma las gotas en solución ya no se puede volver a depositar en la superficie, debido a la formación de micelas, las cuales se deben al alcance de la concentración micelar mínima, y estas atrapan la suciedad en el interior. Pues bien, la parte sódica de la molécula de detergente tiene características polares, es decir, tiene afinidad por el agua (que también es polar), mientras que la "cola" corresponde al resto de la cadena carbonada que es apolar y se disuelve en las grasas y aceites.<sup>7</sup>

Al lavar un tejido el cual contiene una adhesión de grasa, las colas (cadena azul en la figura 1) de las moléculas del detergente se adhieren a las partículas de grasa mientras que la "cabeza"(cadena roja en la figura 1) está adherida al agua. Cuando la cantidad de colas de moléculas que han rodeado a la partícula de

grasa es suficiente, estas son capaces de removerlas del tejido y llevarla consigo arrastrada por el agua de lavado. Se ha formado una micela (ver figura 1).<sup>7</sup>Las soluciones acuosas de los tensoactivos pueden presentar cambios en sus propiedades físicas a través de una gama muy reducida de concentración de surfactante.

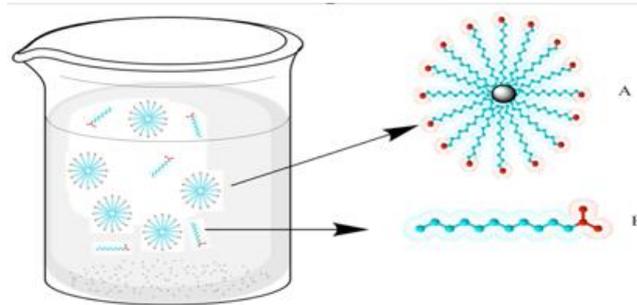


Figura 1.A.Formacion micelar .Molécula de detergente.<sup>48</sup>

#### 4.3 TIPOS DE DETERGENTES

Los detergentes más comunes y conocidos son los utilizados en la limpieza del hogar y cuidado personal. Estos productos se pueden agrupar en dos categorías generales:

Detergentes para ropa y ayudantes de lavandería. Estos incluyen detergentes en polvo, líquido, tabletas, gel, y en forma de barras, así como una gran variedad de productos de especialidad como pre-tratadores (como barras, geles, aerosoles), remojadores (líquidos, polvos), y blanqueadores (líquidos, polvos). La mayoría de los detergentes de lavandería típicos están formulados para proporcionar una limpieza general, que incluye la eliminación de la suciedad y las manchas, así como la capacidad para mantener la blancura.

#### 4.4 COMPONENTES TÍPICOS EN DETERGENTES

Los detergentes modernos pueden contener 20 o más componentes en función de los beneficios que el detergente está destinado a ofrecer. Entre los principales se encuentran:

##### **Surfactantes**

Los surfactantes son sin duda el ingrediente más común de las formulaciones de detergentes. Su función principal es modificar la interfase entre dos o más fases, con el fin de promover la dispersión de una fase a otra. En formulaciones de limpieza, por ejemplo, los tensoactivos sirven para reducir la tensión interfacial entre la suciedad y el agua, de tal manera que la suciedad se elimina de la

superficie a limpiar y se dispersa en la fase acuosa. La capacidad de los agentes tensioactivos para concentrarse en las interfases se deriva de su carácter anfífilos, es decir la combinación de fracciones hidrofílicas e hidrofóbicas dentro de la misma molécula<sup>8,10</sup>

En general, los tensioactivos se clasifican de acuerdo a sus componentes hidrofílicos como no iónicos, catiónicos, aniónicos, o anfóteros. Los surfactantes no iónicos tienen un componente hidrófilo que no se ioniza. Los típicos grupos no iónicos consisten en polioxietileno, poli-oxipropileno, alcanolamidas, o ésteres de azúcar. Como su nombre lo indica, el componente hidrofílico de los tensioactivos aniónicos comprende un grupo aniónico, por lo general un sulfato, sulfonato ó carboxilato. Del mismo modo, los tensioactivos catiónicos forman moléculas que contienen un grupo de carga positiva como una amina cuaternaria. Los tensioactivos anfóteros son quizás los más singulares ya que conforman un grupo hidrófilo, que contienen tanto carácter aniónico y catiónico, tales como los aminoácidos.

Los hidrófobos típicos de tensioactivos son las cadenas alquílicas entre C<sub>10</sub> y C<sub>20</sub>. Hasta la década de 1940 se han formulado detergentes principalmente, a las sales de sodio o de potasio de ácidos grasos de longitud de cadena C<sub>12</sub>-C<sub>18</sub>. Hoy en día, los sulfonatos de alquil benceno lineal, sulfatos de alquilo, sulfatos de alquilo etoxi, y etoxilatos de alquil éter son los tensioactivos que se prefieren para la mayoría de las formulaciones detergentes. Poliglucósidos, glucosamidas alquilo, y sulfonatos de ésteres metílicos son también ampliamente utilizados.<sup>8,9</sup>

### **Polímeros dispersantes:**

La suspensión de la suciedad después de ser eliminada de la superficie es importante en aplicaciones de limpieza, ya que se desea evitar la redeposición de la misma de nuevo en la superficie limpia. A fin de mantener estable la fase dispersa es importante adsorber los activos funcionales en estas superficies para evitar la agregación. Esta es una de las funciones críticas de los tensioactivos. Sin embargo, otra clase de compuestos activos han sido desarrollados para ayudar en la suspensión de partículas, estos son los polímeros dispersantes.<sup>8,9</sup>

### **Los constructores y quelantes:**

El control de los iones metálicos es una necesidad común en muchas formulaciones de detergentes. Por ejemplo, en aplicaciones de limpieza, la presencia de Ca<sup>2+</sup> en el agua puede conducir a la precipitación de los surfactantes aniónicos, por lo que se podría reducir la concentración de efectivos disponibles para la limpieza.

Los constructores y quelantes son un término genérico usado para referirse a cualquier material cuya función principal sea la eliminación de iones de Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup> de soluciones acuosas, y son ampliamente utilizados en la formulación de diferentes detergentes. El Tripolifosfato de sodio (STPP) es el compuesto de este tipo más ampliamente conocido y utilizado en la formulación de detergentes.

Sin embargo, las preocupaciones ambientales asociadas con la gran liberación de fosfato y de sulfatos en el medio ambiente conducen al desarrollo de un número de suplentes. El ácido cítrico y nitrilotriacetato de sodio son constructores más ecológicos. Otros quelantes de uso común incluyen ácido etilendiaminotetraacético (EDTA).<sup>8,9</sup>

### **Disolventes:**

La selección de disolventes para su uso en la formulación de detergentes depende de la naturaleza de los activos que se formulan, la aplicación prevista del detergente y el aspecto económico. El agua es el disolvente dominante en la mayoría de los hogares y formulaciones de limpieza industrial. En términos generales, los detergentes a base de agua son menos tóxicos, más amigables con el medio ambiente, más económicos, más compatibles y fáciles de manejar que los solventes a base de petróleo. Sin embargo, muchos detergentes comunes tienen una solubilidad limitada en la formulación de agua que requiere de un co-solvente y/o hidrótopo.

### **Reforzadores de espuma.**

En algunas aplicaciones, sobre todo en lavaplatos, es deseable para la formulación del detergente generar un gran volumen de espuma estable. Mientras que la mayoría de los surfactantes son capaces de generar y mantener la espuma en la ausencia de grasas, estas espumas rápidamente colapsan en la presencia de suciedad, sobre todo de partículas grasas. En aplicaciones donde la espuma debe ser mantenida durante todo el curso del uso del detergente, se pueden añadir refuerzos específicos. Las alcanolamidas, especialmente mono y dietanolamidas, son estabilizadores efectivos de espuma utilizada en lavavajillas líquidos y champús.<sup>9</sup>

### **Otros aditivos**

Además de los componentes mencionados anteriormente, los detergentes también presentan en cantidades menores algunos aditivos tales como:

**Conservantes:** mantienen la estabilidad evitando la contaminación bacteriana del detergente.

**Colorantes-esencias:** se utilizan para darle una terminación agradable al producto y disminuir posibles malos olores de los tensioactivo o algún otro componente.

**Espesante:** aumenta la viscosidad del detergente y mejora su apariencia generando una sensación de mayor calidad, por lo general, se puede utilizar glicerol, carbopol o laurilsulfato de sodio.

**Aditivos en la piel:** contrarrestan la acción nociva de los tensioactivos sobre la piel, es importante en los productos de calidad y seguros para su uso. Algunos ejemplos serian glicerina, colágeno, aloe vero, ti-etanol amina, entre otros.

**Nacarones - opacificantes:** Tienen como finalidad dar un aspecto opaco o perlado al detergente, su uso es opcional, un ejemplo sería el estearato de poli etilenglicol.

**Regulador de pH:** con el fin de obtener un detergente neutro, el pH debe arrojar un valor entre 6 o 7. Si se desea aumentarlo se utilizan álcalis, como ejemplo el hidróxido de sodio, y para disminuir el pH se utilizan ácidos, como el ácido cítrico, bórico, o clorhídrico.

#### 4.4 FORMULACIONES TÍPICAS EN DETERGENTES LAVAVAJILLAS

En la tabla 1 se presenta los ingredientes típicos de un detergente lavavajillas y sus porcentajes máxicos, mientras que en la tabla se presenta un ejemplo de una formulación ya desarrollada de un detergente lavavajillas.

<b>Ingrediente</b>	<b>% peso</b>
<b>Surfactantes</b>	<b>10-50%</b>
<b>Estabilizadores de espuma</b>	<b>0-5%</b>
<b>Hidrótropos</b>	<b>0-10%</b>
<b>Sales</b>	<b>&lt; 3%</b>
<b>Preservativos</b>	<b>0.1%</b>
<b>Fragancias</b>	<b>0.1-1%</b>
<b>Colorantes</b>	<b>&lt;0.1 %</b>
<b>Otros aditivos</b>	<b>0-5%</b>
<b>Agua</b>	<b>Balance</b>

Tabla 1. Formulación típica en detergentes lavavajillas .<sup>8,9</sup>

<b>Componente</b>	<b>% peso</b>
<b>C<sub>12</sub>-C<sub>13</sub> Alquilo etoxi sulfato</b>	<b>33%</b>
<b>C<sub>12</sub>-C<sub>14</sub> Polihidroxiamida de ácido graso</b>	<b>4%</b>
<b>C<sub>14</sub>óxido de amina</b>	<b>5%</b>
<b>C<sub>11</sub>etoxilato alcohol</b>	<b>1%</b>
<b>MgCl<sub>2</sub></b>	<b>0.7%</b>
<b>Citrato de calcio</b>	<b>0.4 %</b>
<b>Reforzador de espuma</b>	<b>0.5%</b>
<b>Etanol</b>	<b>1%</b>
<b>Sulfonato cumeno de sodio</b>	<b>0.5%</b>
<b>Componentes menores y agua</b>	<b>Balance</b>

Tabla 2. Formulación desarrollada de un detergente lavaplatos<sup>9,8</sup>

## 4.5 SULFONACIÓN

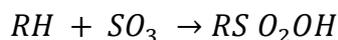
La palabra sulfonación se refiere a todo procedimiento, por medio del cual el grupo sulfónico ( $\text{SO}_2\text{OH}$ ) se une a un átomo de carbono o algunas veces a un átomo de nitrógeno. El resultado es la obtención del ácido sulfónico correspondiente se distingue cuatro tipos de agentes sulfonados: alifáticos y alicíclicos, aromáticos, heterocíclicos y n-sulfonados. Las tres primeras categorías son semejantes conteniendo un grupo ( $-\text{SO}_2\text{OH}$ ) unido a un átomo de carbono cuya sola naturaleza determina la clasificación.

Es una reacción de adición electrofílica aromática, que constituye una vía útil en la adición de grupos funcionales dentro de un anillo aromático. En la cual un grupo de ácido sulfónico,  $\text{SO}_3\text{H}$ , es introducido en la estructura de una molécula o un ion en lugar de un átomo de hidrógeno, se utiliza a nivel industrial, sobretodo en el campo de los detergentes. Su origen se remonta a los años 1930. En Alemania, así como en los Estados Unidos en donde un alquil benceno fue producido por la monoclорinación de fracciones de Kogasin y una reacción subsecuente de Friedel - Crafts.<sup>8,11</sup>

Los principales procedimientos de sulfonación pueden ser clasificados del modo siguiente: tratamiento directo con anhídrido sulfúrico o un compuesto de éste, procedimientos oxidantes, reacciones de sulfitos y métodos de condensación. El término directo e indirecto indica si el procedimiento de sulfonación comprende una o varias etapas.

En este caso el método de estudio será por tratamiento directo. Tratamiento directo con anhídrido sulfúrico o un compuesto de éste: Es un procedimiento mucho más aplicable que los demás, y se emplea en la preparación de los cuatro tipos químicos de sulfonados y en el tratamiento de aceites fijos y fracciones de petróleo, Aquí se cita como sulfonación directa.

El anhídrido sulfúrico es teóricamente el agente más eficaz y directo de este tipo, puesto que sólo entraña la adición directa:



Ecuación 1. Reacción del tratamiento directo con anhídrido sulfúrico.

Por otra parte, el empleo de cualquiera de los compuestos del anhídrido sulfúrico es siempre complicado por la liberación concomitante del otro componente (agua, ácido clorhídrico, piridina), lo cual hace a tales agentes menos eficaces que el anhídrido sulfúrico, aunque tienen otras ventajas. El ácido sulfúrico y el anhídrido sulfúrico libre tienen propiedades opuestas como agentes de sulfonación.<sup>12</sup>

El ácido sulfúrico, el óleum, son empleados en exceso, con lo que además obran como disolventes económicos, de baja viscosidad. El anhídrido sulfúrico puede

emplearse directamente en forma líquida comercial o es fácilmente evaporado (p. eb. 44.8°C) y tal vez diluido como un gas inerte antes de la introducción en el reactor. El anhídrido sulfuroso líquido es un excelente disolvente de sulfonación para emplearlo con el anhídrido sulfúrico, el ácido clorosulfónico o el óleum. El agente electrofílico se generará por la autoprotólisis del ácido sulfúrico y posterior descomposición de esta especie protonada:

Etapa 1: El átomo de azufre ataca al anillo aromático. Formándose un catión intermediario que se estabiliza por resonancia.

Etapa 2: La remoción del protón. En este punto el  $\text{HSO}_4$ (base) ataca a el hidrogeno unido al carbono donde se adicione el electrófilo

Etapa 3: El medio ácido de la reacción proporciona el protón.

Se puede observar que la reacción de sulfonación es fácilmente reversible; se puede realizar hacia delante o hacia atrás, dependiendo de las condiciones de reacción. La sulfonación se ve favorecida con ácido concentrado, pero cuando se utiliza el ácido acuoso diluido en caliente ocurre la desulfonación.<sup>8,13</sup>

Los productos resultantes de la sulfonación dependen de múltiples factores y que estos no afectan solo al grado, sino también el curso de la misma. Algunos de estos factores son:

- Concentración de agente de sulfonación
- Temperatura de reacción
- Tiempo de reacción
- Catalizadores y coadyuvantes

Influencia de la concentración de  $\text{SO}_3$  en la sulfonación: cuando se emplea el ácido sulfúrico la reacción se detiene cuando se alcanzan concentraciones de  $\text{SO}_3$  determinadas (bajas). Para continuar la reacción se debe incorporar mayor cantidad de  $\text{SO}_3$  o extraer agua.

**Influencia de la temperatura en la reacción:** al aumentar la temperatura se aumenta la velocidad y el grado de sulfonación, un gran aumento de esta provocaría una polisulfonación.

**Influencia del tiempo de reacción:** si se utiliza más tiempo de lo necesario se forman impurezas que pueden ser difíciles de separar del producto final.

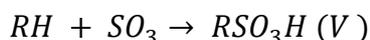
**Influencia de catalizadores y coadyuvantes:** existe una serie de sustancias que pueden ejercer una influencia en la orientación, como los compuestos de mercurio o bien acelerar la reacción sin influir sobre las posiciones que ocupan los grupos sulfónicos, como ocurre en los compuestos de vanadio.<sup>8,14</sup>

Como la sulfonación de los compuestos aromáticos, en general, especialmente de los hidrocarburos, es de interés extraordinario, tanto en la industria como en los laboratorios, consideremos los aspectos más fundamentales de esta reacción. Una característica predominante de la reacción de sulfonación aromática es su reversibilidad en presencia de agua:



Ecuación 2. Reacción de sulfonación aromática

Esto significa que, si se emplea el ácido sulfúrico, el agua debe ser separada para completar la sulfonación. Ordinariamente se realiza esto en la práctica por métodos físicos. Las sulfonaciones anhidras llegan a completarse:



Ecuación 3. Reacción de sulfonación anhidra V



Ecuación 4. Reacción de sulfonación anhidra VI.

La posición que va a ocupar un grupo sulfónico en un hidrocarburo aromático es fuertemente influenciada por la temperatura. Este hecho, cuando se considera a la luz de la naturaleza reversible de la reacción, significa que los isómeros obtenidos dependerán, no de cuál posición en el anillo es más fácilmente sulfonada, si no de cuál isómero es el más estable a la temperatura empleada, supuesto el tiempo suficiente para llegar al equilibrio.

La facilidad de la sulfonación de los hidrocarburos aumenta con la creciente metilación del anillo del benceno y con el aumento en el número de anillos. Los isómeros varían en este respecto, y el factor determinante es la tendencia de un grupo sulfónico entrante a esquivar una posición adyacente a otro grupo. Los sistemas policíclicos, como el antraceno y el fenantreno, se sulfonan tan fácilmente que se forman compuestos polisulfónicos aun en condiciones tan suaves que algo del hidrocarburo queda sin sulfonar.

Por esta razón tales sulfonaciones se han estudiado muy poco. La introducción de un grupo hidroxilo en un hidrocarburo facilita la sulfonación, en tanto que la sulfonación se hace más difícil por la presencia de halógenos, grupos nitro o carboxilos. Las reacciones secundarias principales en la sulfonación de los compuestos aromáticos son: formación de sulfonas, polisulfonación, oxidación, desalquilación y reagrupamiento. Las tres últimas reacciones secundarias ocurren frecuentemente juntas, sobre todo durante la transposición de Jacobsen de los hidrocarburos bencénicos tetra- y pentaalquilados.<sup>8,14</sup>

El p-toluensulfonato sódico un compuesto aromático, derivado del benceno tratado con ácido sulfúrico, que es neutralizado para luego ser transformado en su sal de sodio. Es utilizado como un agente antibloqueo en los productos tipo polvos, como detergente. Para aumentar los productos sólidos durante el proceso de secado de líquidos o mejorar la propiedad del detergente en el lavado. Como solvente, agentes de conexión y proceso de asistencia en la fabricación de detergentes y otros procesos industriales.

Es capaz de convertir sistemas de dos fases en mezclas homogéneas, disminución de la temperatura de cristalización de los ingredientes y reducir la viscosidad del líquido y la formulación compleja. La sulfonación como proceso para la producción de p-toluensulfonato sódico se muestra a continuación; cuyo mecanismo ya ha sido explicado previamente.

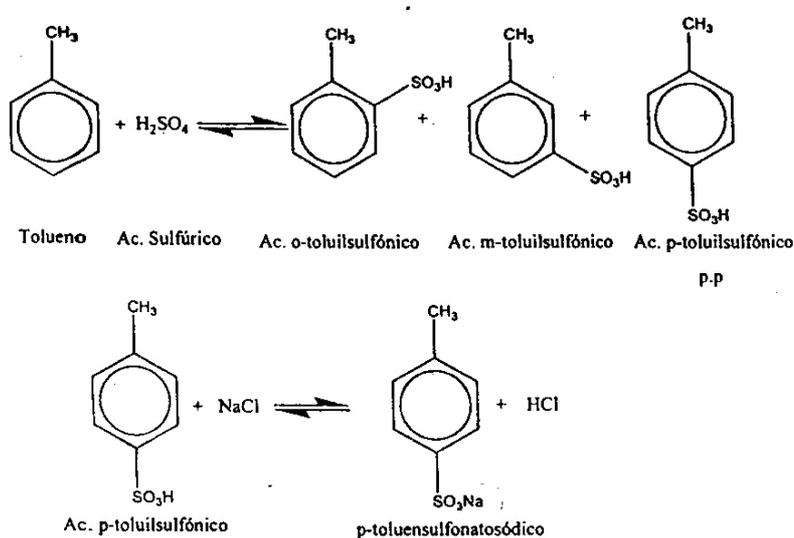


Figura 2. Reacciones llevadas a cabo en la producción del p-toluensulfonato<sup>14</sup>

#### 4.6 DETERGENTES Y CONTAMINACIÓN EN EL AGUA

El principal problema del uso de detergentes en el proceso de lavado, es el contenido de aditivos en busca de una eficiencia de lavado mayor las cuales convierten este producto de limpieza en un contaminante del agua. Entre los principales aditivos están pequeñas cantidades de perfumes, blanqueadores, abrillantadores ópticos, estos últimos son tinturas que le dan a la ropa un aspecto de limpieza; y los agentes espumantes; es importante recalcar que la producción de espuma de un detergente está determinada por el tipo de surfactante que éste contenga, así de este modo, los surfactantes aniónicos producen abundante espuma, los surfactantes catiónicos producen una cantidad muy limitada de espuma y los surfactantes no iónicos casi no producen espuma, además de que la formación de espuma es ayudada por ciertos aditivos espumantes que se agregan a la fórmula, generalmente se asocia la cantidad de espuma con la calidad de limpieza de un detergente contrario a esto la cantidad de espuma no está directamente relacionada con la calidad del detergente.<sup>15</sup>

Los detergentes antibacteriales, los cuales contienen agentes bactericidas, esto en parte es bueno, pero si se usa este detergente en exceso, entonces el agente bactericida llega a los cuerpos de agua y causando un descenso de los microorganismos presentes en éste, disminuyendo la capacidad de los microorganismos para degradar al detergente. Entre otros aditivos importantes se encuentran los enzimas, los cuales por lo general son sustancias de naturaleza proteínica, que se encargan de catalizar las reacciones en los seres vivos.

La tecnología de enzimas en los detergentes se desarrolló a partir de la década de los años 60, como una herramienta más de éstos para atacar ciertos sustratos (generalmente proteicos) específicos. Las más comunes son las llamadas proteasas, las cuales degradan restos de proteínas; y las lipasas que pueden atacar restos de sustratos lípidos que son los que comúnmente se adhieren a la ropa y a ellas se les adhieren el resto de la suciedad como polvo, restos de otros compuestos orgánicos etcétera. Los detergentes que contienen enzimas se les llaman detergentes biológicos. Por su amplia utilidad los detergentes se usan tanto en la industria como en los hogares, sin embargo, puesto que se emplean en grandes cantidades constituyen una fuente de contaminación del agua. En cuanto a la biodegradabilidad, tanto los detergentes como los jabones son ecológicos, pero la biodegradabilidad se ve limitada si estos compuestos se encuentran en exceso en un cuerpo de agua.<sup>15,16</sup>

Las normas actuales en casi todo el mundo exigen el uso de detergentes ecológicos. El agua marina es capaz de degradar o de acelerar la degradación de los detergentes a causa de diversas propiedades y factores externos incidentes entre los que destacan el tipo de detergente, su concentración, dinámica marina de la zona receptora, salinidad, la luz, temperatura (temperaturas elevadas aceleran la degradación), microorganismos presentes y el sustrato (arenas pueden facilitar la degradación). Se debe tener en cuenta que el medio marino tiene una capacidad de acogida de cargas contaminantes limitada y según sean las contaminantes y su concentración y las características del medio receptor, bajo la influencia de factores internos e internos permite que se lleguen a daños invisibles, sub letales, visibles y letales según sea la gravedad de la contaminación.<sup>15,17</sup>

De esta forma, para contrarrestar los efectos de los detergentes en el medio ambiente se han tomado medidas de control para evitar que estos hechos de contaminación aumenten. Los detergentes están constituidos de sustancias tóxicas para el medio ambiente como los fosfatos y nutrientes, la vida marina necesita nutrientes para la supervivencia, sin embargo un exceso de nutrientes resulta en una eutrofización.<sup>15,18</sup> Algunas de las medidas para reducir este problema de contaminación en las aguas han sido prohibir o establecer los límites bajos de fosfatos para los detergentes, y en el caso en que estos ya estén en el agua se procura descontaminar el agua durante una limpieza ecológica para eliminar nitratos y fosfatos perjudiciales, pero en la mayoría de casos estos fosfatos crecen en abundancia donde es realmente complicado intervenir y de alguna forma no se pueden eliminar en su totalidad lo cual sigue generando y aumentando esta contaminación.

#### 4.7 GENERALIDADES DE LOS JABONES

La palabra jabón proviene del latín tardío "sapo, -ónix", y este a su vez del germánico "saipôn". Se trata de un agente limpiador o detergente que se fabrica utilizando grasas animales y/o aceites vegetales<sup>5</sup>. El jabón es soluble en agua y, por sus propiedades detergentes, se usa comúnmente en productos destinados a la higiene personal y para lavar determinados objetos o tejidos.

Normalmente se presenta en forma de pastilla, en polvo, en crema o en líquido, aunque es sólido en estado natural a temperatura ambiente. En realidad, la forma sólida es el compuesto "seco" o sin el agua que está involucrada durante la reacción química para fabricar el jabón, y la forma líquida es el jabón "disuelto" en agua, en este caso su consistencia puede ser muy viscosa o muy fluida. Químicamente, el jabón es la sal sódica o potásica de un ácido graso, que se obtiene por hidrólisis alcalina de los ésteres contenidos en los materiales grasos. Si se escinde una grasa con un álcali, en lugar de con agua, se obtienen glicerina y una sal o jabón del metal alcalino con el ácido graso. Esta reacción se llama saponificación y es la base de la industria del jabón.<sup>19</sup>

Los álcalis más usados en la saponificación son el hidróxido de sodio (sosa caústica) y el de potasio (potasa caústica), por lo que el término B, en la ecuación 1, corresponde a los elementos Na o K, y obtendremos así los correspondientes jabones de sodio o de potasio. El ácido graso puede ser de origen vegetal o animal, sólido o líquido, por ejemplo, sebo, manteca de cerdo, aceite de coco, de oliva, etc. Los jabones son agentes tensioactivos o surfactantes. Se trata de sustancias que disminuyen la tensión superficial de un líquido o que actúan sobre la superficie de contacto entre dos fases, por ejemplo, dos líquidos inmiscibles.

Los jabones son tensioactivos aniónicos. Éstos comprenden aquellos compuestos que poseen uno o varios grupos funcionales que se ionizan en disolución acuosa originando iones con carga negativa y que son los responsables de la actividad superficial. Por ello es necesaria la presencia del agua en la reacción de saponificación. Tienen un resto hidrofóbico alquílico y un grupo polar carboxílico. [20]

La elaboración de jabones se realiza por neutralización de ácidos grasos o por saponificación de acilglicérols, y poseen excelentes propiedades para su uso como jabones de tocador o como aditivos en composiciones detergentes. Pese a las ventajas que se han comentado, también tienen algunos inconvenientes: son

inestables en aguas duras y en disoluciones a pH ácido, así como insolubles en presencia de electrolitos. Por ello habrá que tener especial cuidado con el agua que usemos en la mezcla de saponificación de nuestro proceso, ya que debe de estar des ionizada, controlando, además el pH de la mezcla.

#### 4.7.1 REACCIÓN DE SAPONIFICACIÓN

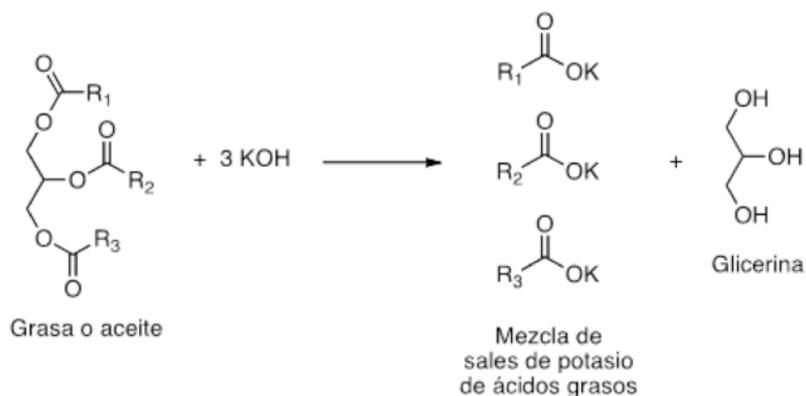


Figura 3. Reacción de saponificación para la producción de jabón <sup>20,48</sup>

La **saponificación** es la hidrólisis básica de un éster (grasa animal o vegetal) donde este reacciona con una base (NaOH(sólidos) o KOH(líquidos)) irreversiblemente, produciendo alcohol o glicerina y carboxilatos de sodio o de potasio.

#### Mecanismo de reacción

Los ésteres poseen un grupo acilo (O=C-R), el cual es susceptible a los ataques nucleofílicos como el OH<sup>-</sup>. Debido a que los átomos de oxígeno "roban" densidad electrónica al átomo de carbono, este se encuentra con una carga parcialmente positiva, aún más en el caso de los ésteres.

En consecuencia, esta carga positiva atrae especies negativas capaces de aportar electrones al átomo de carbono, ocurriendo el ataque nucleofílico (el lado izquierdo de la imagen). Como resultado, se forma un intermediario tetraédrico (la segunda molécula de izquierda a derecha).

La carga negativa en el oxígeno del intermediario tetraédrico es producto de un OH<sup>-</sup> circundante. Luego, esta carga negativa se deslocaliza para originar el grupo carbonilo, "obligando" entonces a que se rompa el enlace C-OR'. Asimismo, esta deslocalización produce un ácido carboxílico RCOOH y un ion alcóxido R'O<sup>-</sup>.<sup>[21]</sup> Finalmente, como el medio de la reacción es básico, el alcóxido desprotona una molécula de agua y el ácido carboxílico reacciona con otro OH<sup>-</sup> del medio, generando los productos de la saponificación.

#### Cinética del proceso de fabricación de jabones

La velocidad de la reacción de saponificación es proporcional a las concentraciones de los reactivos. En otras palabras, aumentando bien sea la concentración del éster (RCOOR') o de la base (NaOH), la reacción transcurrirá a mayor velocidad. La reacción de saponificación presenta un orden uno para el éster y un primer orden para la base por tal razón el orden global de la reacción es dos.

$$\text{Velocidad} = k[\text{RCOOR}'][\text{NaOH}]$$

Donde  $k$  es la constante velocidad, la cual se ve afectada por de la temperatura o presión. En el mecanismo de reacción de la saponificación, la formación del intermediario tetraédrico requiere del ataque nucleofílico, incluyendo tanto a la base como al éster.

### Productos de la reacción de saponificación

La reacción de saponificación produce alcoholes y sales de ácidos carboxílicos. En un medio ácido, se obtienen los respectivos  $\text{RCOOH}$ , obtenidos por la saponificación de las grasas y los aceites, los cuales son conocidos como ácidos grasos. Los jabones son sales de los ácidos grasos producto de la reacción de saponificación. Estas sales son solubles en agua, pero precipita por acción del  $\text{NaCl}$  añadido a la mezcla, el cual deshidrata el jabón y lo separa de la fase acuosa.<sup>22</sup>

### Acción disolvente de los jabones

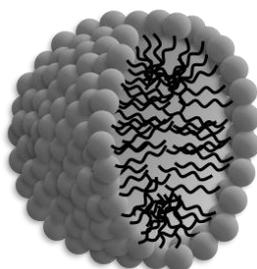


Figura 4. Acción micelar.<sup>21</sup>

Las sales de los ácidos grasos son solubles en agua, pero no del mismo modo como los iones son solvatados; es decir, rodeados de una esfera acuosa. En el caso de los jabones, sus cadenas laterales  $-\text{R}$  les impide en teoría disolverse en agua. Para contrarrestar esta posición forman un núcleo orgánico apolar de manera que las cadenas estén en contacto, mientras que las cabezas polares, el extremo ( $-\text{COO}^- \text{Na}^+$ ), interaccionan con las moléculas de agua y crean una micela, las colas negras representan cadenas hidroibicas y las esferas grises la cabeza  $-\text{COO}^- \text{Na}^+$  hidrofílica (polar)

Tanto la grasa como las cadenas  $-\text{R}$  son hidrofóbicas, por lo que ambas presentan gran afinidad una por la otra. Cuando las micelas encierran las grasas, el agua interactúa con la coraza polar, permitiendo la solubilidad del jabón. Asimismo, las micelas están cargadas negativamente, ocasionando repulsiones entre sí y, por tanto, generando la dispersión de la grasa.

## 4.8 ACEITES VEGETALES

Los aceites esenciales son sustancias aromáticas de base lipídica encontradas prácticamente en todas las plantas, distribuidos en distintas partes: raíces, tallos, hojas, flores, frutos. Son componentes heterogéneos de terpenos, ácidos, ésteres, fenoles y lactosas, separables por métodos químicos o físicos.

El uso de estos aceites en fármacos, alimentos, cosméticos es cada vez más amplia debido a la homogeneidad del aroma y la minimización de la contaminación microbiana. Los aceites esenciales producidos a nivel industrial no son puros, presentan conservantes o la extracción se lleva a cabo con solventes, fluidos supercríticos entre otros. La extracción artesanal presenta ventajas notorias con respecto a la extracción industrial: La materia prima no se modifica, se encuentra al natural en estado de maduración requerido. El disolvente de la extracción es agua. Las desventajas de este proceso es la durabilidad del aceite, por ser un producto 100% natural su durabilidad es de un mes, a menos de que se realice un proceso de criogénico para mantener sus propiedades.<sup>24</sup>

El uso de aceites vegetales para la elaboración de jabones se ve afectado en gran manera por el producto final deseado, debido a las diferentes propiedades presentes en los ácidos grasos como lo son hidratación, humectación, remoción. Los principales aceites vegetales y animales para la elaboración de jabones se presentan en la tabla 3.

<b>Grasa</b>	<b>SAP para KOH</b>	<b>SAP para Na OH</b>
<b>Aceite de aguacate</b>	187,5	133,69
<b>Aceite de almendras</b>	192,5	137,25
<b>Aceite de cacahuate</b>	192,1	136,97
<b>Aceite de coco</b>	257,9	183
<b>Aceite de maíz</b>	192	136,9
<b>Aceite de oliva</b>	189,7	135,26
<b>Aceite de palma</b>	199	141,96
<b>Aceite de ricino</b>	180,3	128,56
<b>Aceite de semilla de algodón</b>	194	138,32
<b>Aceite de girasol</b>	188,7	134,55
<b>Aceite de soja</b>	191	136,19
<b>Lanolina</b>	106	075,58
<b>Manteca de cacao</b>	193,8	138,18
<b>Manteca de cerdo</b>	194,6	138,75
<b>Sebo de vaca</b>	197	140,46
<b>Cera de abeja</b>	0,94	067,0
<b>Aceite de onagra</b>	185	131,9
<b>Mantequilla</b>	224	169
<b>Grasa de Cachalote</b>	143	102
<b>Margarina</b>	190,74	136
<b>Aceite de pezuña de vaca</b>	197,75	141
<b>Sebo de cabra</b>	194,94	139
<b>Ácido mirístico</b>	247	176
<b>Ácido palmítico</b>	215	153,3
<b>Acido esteárico</b>	198	141,17

Tabla 3. Principales aceites y grasas usadas en la saponificación de estas para la producción de jabones.<sup>24</sup>

## 4.9 EXTRACCIÓN DE LOS ACEITES

La extracción de aceites consiste en romper las células vegetales mediante la trituración y aislar la parte grasa de los componentes de semillas o frutas

El tipo de extracción depende del contenido de aceite y el grado de pureza necesario en el producto final, algunas técnicas generan aceites crudos o tortas de prensado la cual retiene contenido de aceite lo cual genera un proceso posterior para una mayor recuperación de aceite.

La extracción de aceites puede presentar una combinación de los métodos generales aumentando el rendimiento del aceite extraído un ejemplo de esta modificación es el estudio realizado a la soja en el cual se realiza un tratamiento enzimático a las semillas para aumentar el rendimiento durante la extracción con hexano.<sup>25</sup>

- Dentro de los procesos de extracción del aceite tenemos:
- Molienda
- Prensado
- Prensado en caliente
- Prensado en frío
- Extracción con disolvente

**Triturado o molienda:** Se lleva a cabo mediante rodillos o muelas, hasta obtener una pasta homogénea.

**Prensado:** Mediante diversos dispositivos mecánicos, se aplica presión a la pasta de semillas o frutos triturados hasta exprimir el aceite que contiene. Puede hacerse en caliente o en frío. El hacerlo en caliente o en frío reviste mucha importancia desde el punto de vista nutritivo.

**Prensado en caliente:** La pasta se calienta antes de ser exprimida. De esta forma se obtiene más aceite, pero se destruye una parte más o menos importante de las vitaminas y fitosteroles que forman parte del aceite.

**Prensado en frío:** La pasta se exprime a temperatura ambiente, con lo cual se obtiene menos cantidad de aceite, pero más rico en sustancias insaponificables. Estas sustancias están constituidas por los componentes no grasos del aceite, como las vitaminas y los fitosteroles, a los que debe su sabor y muchas de sus propiedades medicinales. El aceite obtenido por presión en frío no precisa ser refinado en la misma medida que el obtenido por presión en caliente. Gracias a ello sufre una menor pérdida de vitaminas y fitosteroles; con lo cual resulta más rico en sustancias activas. Por eso los aceites obtenidos en frío son los recomendables desde el punto de vista dietoterápico.

**Extracción con disolvente:** La 'torta' o residuo que queda después de aplicar presión a la pasta, contiene todavía de un 10% a un 20% de aceite, que la industria se resiste a perder. Para aprovechar ese aceite residual, se realizan los siguientes procesos: - Tratamiento de la pasta prensada con disolventes (cloruro de etileno, hexano), que arrastran el aceite residual. - Eliminación de los disolventes: Calentando ese aceite residual, se evaporan los disolventes, y queda el aceite puro. Tanto el cloruro de etileno como el hexano son muy tóxicos, por lo que deben ser

totalmente eliminados del aceite. En teoría el proceso de calentamiento lo logra, pero en la práctica pueden quedar restos de disolventes. Además, el calentamiento destruye las vitaminas y otras sustancias activas que pudieran quedar en el aceite. Los complejos procesos de extracción y refinado, convierten al aceite de oliva en una sustancia grasa purificada, que se conserva muy bien, pero bastante insípida y carente de poder curativo. Por el contrario, el aceite obtenido por prensado en frío y no refinado (aceite de oliva virgen), como el que se extraía mediante este antiguo molino, es un auténtico jugo de semillas o de frutos, que contiene vitaminas, fitosteroles, lecitina y otros principios activos de acción medicinal.

#### 4.9.1 EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE COCO

El coco es el fruto de *Cocos nucifera* (familia *Arecaceae*), un árbol originario de Asia. Como materia prima en diversas industrias (alimentos, cosmética, textil), el coco cumple un importante papel socioeconómico. La pulpa del coco seco o copra contiene más de 60% de aceite que puede ser extraído por diversos métodos. Además de ser rico en ácido láurico, el aceite no sufre degradación a altas temperaturas.

Es una planta que crece en terrenos arenosos y salinos, es tolerante al viento y la sal crece en un promedio de 20 metros de altura y no crecen en climas fríos. El nombre de coco proviene por su similitud que tiene con la cara de un mico llamado (cocus) al momento de pelarlo tiene tres puntos negros de ahí la similitud. El coco es un fruto que tiene muchas propiedades como medicinales, nutricionales y artesanales a continuación se nombran algunas de ellas:

1. Uno de los usos más extendidos del coco es para obtener aceite de cocina o margarina. Las grasas del coco son resistentes a altas temperaturas. Debe consumirse con moderación pues contiene grasas saturadas.

2. La mezcla de nutrientes del agua de coco contiene minerales, vitaminas, proteínas, carbohidratos y antioxidantes-, la convierten en una bebida isotónica o rehidratante que pueden consumir los deportistas. También puede ser fermentada para producir vinagre. muy resistente, por lo que se puede emplear en el tejido de cuerdas y amarres para barcos, tapetes o hasta cepillos. Por otro lado, las hojas de la palmera sirven para tejer cestos, sombreros y para hacer escobas.

3. La madera que se extrae de las palmeras se utiliza como material de construcción. Aunque el aceite de coco es menos rico en polifenoles que aceites como el de oliva, también posee una buena fuente de estos, que disminuirán en función del tipo de aceite de coco que sea. El punto de fusión del aceite de coco es de 24 – 25°C.

A temperaturas menores de esos 24 – 25°C, el aceite se encuentra en forma sólida. Otra particularidad del aceite de coco es su alto punto de humeo (punto de calentamiento en °C), siendo de 180°C, aproximadamente, en aceite de coco virgen, y 230°C. La gran particularidad por la que se conoce el aceite de coco, es por estar formada mayoritariamente de ácidos grasos de cadena media (AGCM).

Estos ácidos grasos contienen entre 6 – 12 átomos de carbono. Con la unión de 3 AGCM + 1 glicerol se forma el TCM (triglicérido cadena media).

En el aceite de coco, el ácido graso de cadena media (AGCM) más presente es el ácido láurico, pero existen otros AGCM importantes, como es el caso del ácido mirístico, ácido cáprico y ácido caprílico.<sup>24</sup>El coco contiene ácido láurico, que al ser procesado sirve para crear jabones, detergentes y shampoos. El aceite de coco también es aprovechado por la industria para elaborar cremas, fragancias y diversos cosméticos.

<b>Componentes</b>	<b>Cantidad por cada 100 g de aceite de coco</b>
<b>Acido caproico C<sub>8</sub></b>	0,6
<b>Ácido caprílico C<sub>8</sub></b>	7,5
<b>Ácido caprico C<sub>10</sub></b>	6
<b>Ácido láurico C<sub>12</sub></b>	44,6
<b>Mirístico C<sub>14</sub></b>	16,8
<b>Palmitico C<sub>16</sub></b>	8,2
<b>Estearico C<sub>18</sub></b>	2,8
<b>Palmitoleico C<sub>16</sub></b>	0
<b>Oleico C<sub>18</sub></b>	5,8
<b>Linoleico C<sub>18</sub> -2</b>	1,8
<b>Linoleico C<sub>18</sub>-3</b>	0
<b>Omega 6</b>	1,8

Tabla 4. Constituyentes del aceite de Coco. Ácidos grasos [g] por 100 g de aceite de coco.<sup>24</sup>

La extracción del aceite de coco se realiza por diferentes métodos como lo son la extracción con solventes, extracción presado en frío, prensando en caliente.

La extracción con solventes se basa principalmente en la adición de un solvente el cual se solubiliza con el aceite de coco facilitando su extracción, unas de las principales desventajas en este método es la adición del solvente, debido a la necesidad de purificar el aceite extraído por diferentes métodos de separación, por lo cual el producto final contiene trazas del disolvente, como lo describe<sup>26</sup>

En la extracción de aceite de coco pro medio de la acción de disolventes como Hexano, Xileno y Acetato de etilo.

La extracción por prensado se usa en la aplicación de fuerzas externas para el aislamiento del aceite, sin embargo, en estos métodos el rendimiento de la extracción se ve afectado por el pretratamiento de la materia prima (diminución de tamaño).

En la figura 5 se muestra el procedimiento para la extracción del aceite de coco por el método de prensado en frío.

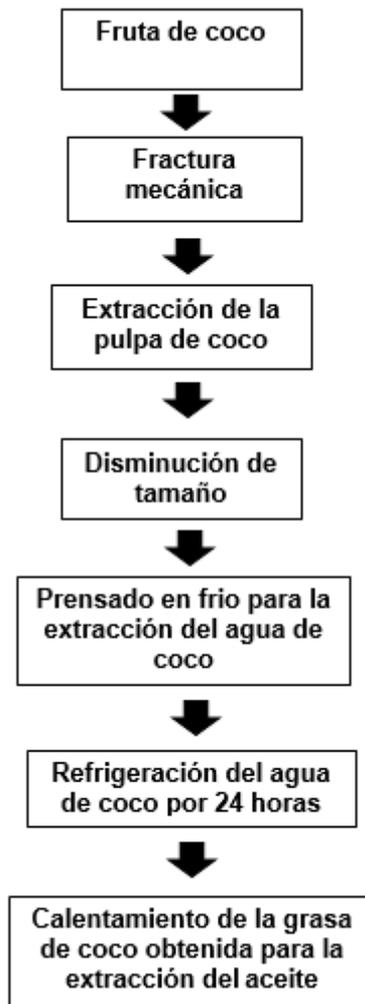


Figura 5. Proceso de extracción de aceite de coco.

#### 4.9.2 EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE AGUACATE

El aguacate es el fruto proveniente del aguacatero (*Persea americana*) nativo de América Central y el cual presenta diversas variedades que difieren entre sí por la estructura del fruto al igual que por la consistencia de su cáscara y su pulpa.<sup>27</sup> En Colombia para el año 2013 se produjeron aproximadamente 250.000 toneladas de aguacate, de las cuales 47.000 correspondieron a la variedad Hass,<sup>28</sup> además esta variedad presenta el mayor contenido de aceite 25,5% (NTC 5209), dentro de las ocho variedades con mayor demanda en el mercado (Hass, Fuerte, Booth 8, Trinidad, Lorena, Trapp, Choquette y Santana).

Existen diferentes métodos para la extracción de aceite de aguacate, entre ellos están; la extracción por solventes, extracción con fluidos súper críticos; extracción por centrifugación y prensado en frío y en caliente.<sup>29</sup>

El aguacate, dependiendo de la variedad y madurez alcanza en la pulpa niveles de hasta 25% de aceite, con valores promedios de 15-19%, lo que permite lograr rendimientos de alrededor de 10% de la fruta fresca. Este aceite, contiene un alto nivel de ácidos insaturados<sup>7</sup>. “El aceite de aguacate se ha utilizado principalmente para uso cosmético, ya que contiene un esteroil llamado fitosterol, que posee las mismas habilidades que la lanolina. Esta particularidad es muy apropiada para la piel y cremas de masajes<sup>8</sup>. El aceite extra virgen de aguacate se obtiene a partir del fruto

sin piel y sin semilla, con un tratamiento de prensado en frío, y luego filtrado y embotellado. El aceite de aguacate se deteriora durante el almacenaje, por lo que la temperatura de almacenaje no debe ser superior a 25°C, y el tipo de envase oscuro, para preservar por más tiempo la calidad del producto.<sup>30,31</sup>

En la tabla 5 se presenta la composición principal del aceite de aguacate. <sup>[30,31]</sup>

<b>Tipo de ácido graso</b>	<b>Aceite adelfa amarilla(%)</b>	<b>Aceite de aguacate has(%)</b>
<b>Palmitico</b>	19,4	19,3
<b>Palmitoleico</b>	0,4	8,4
<b>Estearico</b>	7,9	-
<b>Oleico</b>	43,9	47,9
<b>Vaccenico</b>	0,7	7,0
<b>Alfa-linoleico</b>	20,6	15,9
<b>Alfa-linoleico 3</b>	-	1,5
<b>Araquidico</b>	1,7	-

Tabla 5.Composicion del aceite de aguacate.

La extracción del aceite de aguacate a partir de la pulpa, aplican proceso mecánico de prensado en (molienda, centrifugación y decantación), lo cual permite obtener un producto 100% natural libre de todo agente químico.

El aceite de aguacate es la materia prima para la fabricación de: jabones, cremas humectantes, acondicionadores, shampoo, cosméticos, anti arrugas, tratamientos capilares, etc.

La elaboración de estos productos se da a diferentes características beneficiosas que presenta el aceite de aguacate como son al contenido de “vitamina A, D y E, excelente penetración transepidermica es decir que traspasa y nutre las diferentes capas de la piel, a su alto poder humectante y emoliente, que suaviza y relaja la piel.”

La extracción del aceite de aguacate a nivel industrial como lo estudia L. Martinez <sup>32</sup>. Del experimento utilizando del mismo proceso de extracción de aceite de oliva, con modificaciones puntuales en la fase molienda y en el decantador se puede obtener un buen rendimiento neto en aceite. Los parámetros de calidad son buenos tanto para el aceite virgen como para el decolorado. La optimización del proceso de extracción presenta un auge en busca de mayores rendimientos y una alta calidad.

La extracción del aceite de aguacate se realiza por diferentes métodos como lo son la extracción con solventes, extracción presado en frio, prensando en caliente.

La extracción por prensado se usa en la aplicación de fuerzas externas para el aislamiento del aceite, sin embargo, en estos métodos el rendimiento de la extracción se ve afectado por el pretratamiento de la materia prima (diminución de tamaño).

Buelvas Salgad<sup>33</sup>, realizo una investigación en la cual comparaba la extracción del aceite de aguacate usando complejos enzimáticos realizando los estudios en un estado de maduración avanzado, resultado en un aumento del rendimiento del aceite con un uso de complejos comerciales como pectinex.

En la figura 6 se muestra el procedimiento para la extracción del aceite de aguacate por el método de prensado en caliente.

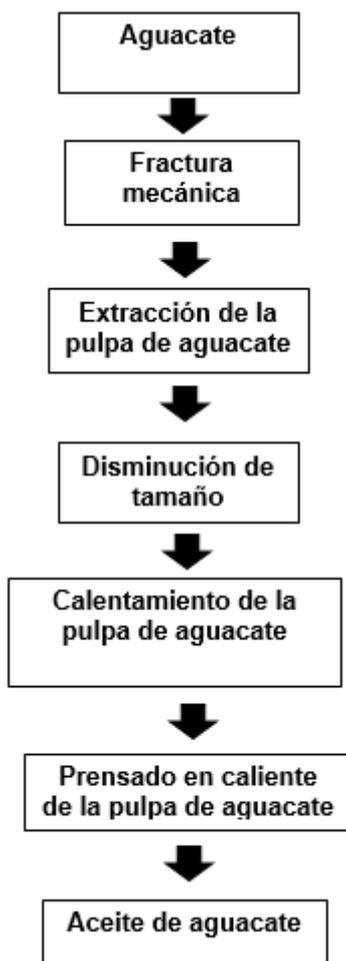


Figura 6. Procedimiento de extracción aceite de aguacate.

#### 4.11 CARACTERIZACIÓN DE LOS ACEITES.

La caracterización de los aceites es uno de los puntos con mayor relevancia en el proceso de pre y post extracción, debido a la estequiometría de las reacciones (producción de jabón y cosméticos) y la cuantificación de la calidad del producto obtenido.

##### **Densidad**

La densidad se determina por medio de un picnómetro, un picnómetro es un recipiente calibrado, con el que se puede pesar un volumen de líquido con mucha precisión. Por comparación entre la masa del picnómetro lleno de agua destilada -de la que se conoce con gran precisión su densidad a la temperatura de la experiencia- y la masa del picnómetro lleno con un líquido problema se puede calcular la densidad de éste último.

## **Humedad**

El método de Karl-Fischer para la determinación del contenido de agua es uno de los métodos de valoración usados con mayor frecuencia.

La determinación del contenido de agua mediante el método Karl Fischer se realiza hoy en día por medio de dos técnicas distintas:

La valoración volumétrica Karl Fischer, en la que se añade una solución que contiene yodo utilizando una bureta con pistón motorizado. El análisis coulométrico Karl Fischer, en el que el yodo se genera mediante la oxidación electroquímica producida en la célula.

### **Índice de refracción:**

Se define como  $\frac{\text{sen } r}{\text{sen } i}$  = Donde:  $i$  = ángulo de incidencia  $r$  = ángulo de refracción. Es un dato útil para la identificación.

Su determinación debe llevarse a cabo a una temperatura la cual el producto esté fundido

### **Índice de saponificación: (Índice de Koettstorfer)**

Es una medida aproximada del peso molecular promedio de los ácidos grasos. Se define como el "número de mg de KOH necesarios para saponificar 1 g de grasa". No es exacto para apreciar dicho peso molecular, ya que se incluyen los ácidos grasos libres junto con los glicéridos.

### **Índice de yodo (método de Hanus)**

El índice de yodo es una medida del grado de insaturación (números de dobles enlaces) de las grasas. Define como los gramos de yodo absorbidos por 10 g de grasa. Para su determinación la AOCS recomienda el método de Wijs.

### **Índice de peróxido.**

Indica en que extensión a experimentado el aceite la rancidez oxidativa. Se define como miliequivalente de peróxido por Kg de grasa.

La caracterización de los aceites de coco y aguacate ha sido estudiada en diferencias investigaciones, en condiciones de extracción variadas.

María Elena Jiménez <sup>34</sup>, determino las propiedades fisicoquímicas del aceite de aguacate el cual se extrajo por deshidratación obteniendo los resultados de la tabla 6.

<b>Caracterización del aceite de aguacate</b>	
	Valor teórico
<b>Densidad(g/ml)</b>	0,91050
<b>Índice de refracción</b>	1,4688
<b>Índice de peróxido</b>	38,10
<b>Índice de saponificación</b>	217
<b>Índice de yodo</b>	83,35

Tabla 6. Caracterización del aceite de aguacate<sup>6,34</sup>

Okene<sup>35</sup>, Oti<sup>36</sup>, Akon<sup>37</sup>. Determinaron las propiedades fisicoquímicas del aceite de coco en condiciones similares los resultados se presentan en la tabla 7.

<b>Caracterización del aceite de coco</b>	
	Valor teórico[4]
<b>Densidad(g/ml) a 40 °C</b>	0,906
<b>Índice de refracción</b>	1,450
<b>Índice de peróxido(mg O<sub>2</sub>/Kg grasa)</b>	0,42
<b>Índice de saponificación</b>	254
<b>Índice de yodo(mg I/100 g gasa)</b>	9,3

Tabla 7. Caracterización de aceite de coco.

#### 4.12 CINÉTICA DEL PROCESO DE LAVADO<sup>38</sup>

La cinética química abarca el estudio de las velocidades de reacción en los procesos que involucran una reacción química, los factores de mayor impacto en el desarrollo de una reacción son las concentración, solubilidad y naturaleza de los reactivos, temperatura y presión del proceso, catalizadores. La velocidad de reacción se denomina como el cambio presentado por un reactivo o producto con respecto al tiempo en función de la concentración de cada una de las sustancias que influyen en la reacción, esta velocidad se determina experimentalmente debido a la imposibilidad de deducción mediante Ecuación estequiometrias (los coeficientes estequiometricos de la reacción química no necesariamente son los valores que representan los cambios en la velocidad de reacción).

La relación de la velocidad de reacción con respecto a las concentraciones de los reactivos o productos es la constante de velocidad(k), la cual, multiplicada por la

concentración de varias especies elevadas a un exponente, llamados órdenes de reacción con respecto a cada componente modelan correctamente la reacción. Cualquier estudio cinético incluye la determinación de la concentración de una o más de las especies involucradas en la reacción en un momento dado y a una temperatura determinada.

Una de las formas generales más comunes de esta dependencia es el modelo de ley de potencia. Aquí, la ley de velocidad es el producto de las concentraciones de las especies individuales reaccionantes, cada una de ellas elevada a una potencia.

$$-ra = ka * Ca^\alpha * Cb^\beta$$

Ecuación 5. Ley de velocidad de reacción

Los valores de  $\alpha$  y  $\beta$  representan las potencias a las cuales se elevan las concentraciones de la ley de velocidad con respecto al reactivo A y al reactivo B. El orden total de la reacción se conoce como la suma de las potencias respecto a cada reactivo

$$N = \alpha + \beta$$

Ecuación 6. Orden global de reacción.

La velocidad de reacción presenta unidades de concentración con respecto al tiempo las cuales varían con respecto al orden de reacción

$$K = \frac{\text{Concentracion}^{1-n}}{\text{tiempo}}$$

Ecuación 7. Constante de reacción.

Consideremos una reacción que involucre un solo reactivo, las leyes de velocidad que corresponden a reacciones de orden cero, de primer orden, de segundo orden y de tercer orden, así como las unidades típicas para las constantes de velocidad correspondientes, son:

Orden	Ecuación	Unidades
0	$-ra = ka$	$\frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$
1	$-ra = ka * Ca$	$\frac{1}{s}$
2	$-ra = ka * Ca^2$	$\frac{\text{dm}^3}{\text{mol} * s}$

Tabla 8. Leyes de velocidad

Cuando se produce una reacción química, las concentraciones de cada uno de los reactivos y productos va variando con el tiempo, hasta que se produce el equilibrio químico, en el cual las concentraciones de todas las sustancias permanecen constantes.

La velocidad de una reacción es la derivada de la concentración de un reactivo o producto con respecto al tiempo tomada siempre como valor positivo.  
Es decir, es el cociente de la variación de la concentración de algún reactivo o producto por unidad de tiempo cuando los intervalos de tiempo tienden a 0.

#### 4.13 INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN LA VELOCIDAD DE REACCIÓN

La influencia de la temperatura en la velocidad de reacción se determina por medio de la constante de velocidad la cual generalmente depende fuertemente de la temperatura Y de que esté presente un catalizador o no, y en reacciones en fase gas puede estar en función de la presión total. En sistemas líquidos también llega a estar en función de parámetros como la fuerza iónica y la elección de disolvente. Estas otras variables normalmente exhiben un efecto mucho menor sobre la velocidad de reacción específica que la temperatura, con excepción de los disolventes supercríticos, como el agua supercrítica.

Fue el gran químico sueco Arrhenius quien primero sugirió que la dependencia de la velocidad de reacción específica  $k_A$  respecto de la temperatura, podría correlacionarse por una correlación del tipo:

$$K = A * e^{-\frac{Ea}{RT}}$$

Ecuación 8. Ecuación de Arrhenius

$A$  = factor pre exponencial o factor frecuencia

$E$  = energía de activación,  $\frac{J}{mol}$  o  $\frac{cal}{mol}$

$R$  = constante de los gases =  $8.314 \frac{J}{mol \cdot K} = 1.987 \frac{cal}{mol \cdot K}$

$T$  = temperatura absoluta,  $K$

La ecuación anterior, conocida como la ecuación de Arrhenius, ha sido verificada empíricamente para dar el comportamiento de temperatura de la mayoría de las constantes de, velocidad de reacción con exactitud experimental en intervalos amplios de temperatura, algunas excepciones presenten cinéticas anti Arrhenius en las cuales la velocidad de reacción disminuye con respecto a la temperatura o no presentar influencia de la temperatura.

#### Energía de activación

La energía de las moléculas cumple una distribución de Maxwell-Boltzman.

El número de moléculas por unidad de volumen con una energía  $E_a$  (energía de activación) viene dado por la expresión:

$$v = A * n_0 * \exp\left(-\frac{Ea}{RT}\right)$$

$$n_i = n_0 * \exp\left(-\frac{Ea}{RT}\right)$$

Ecuación 9. Número de moléculas por unidad de volumen.

Si los reactivos son radicales libres que esencialmente reaccionan de inmediato al chocar, hay usualmente energía de activación. Sin embargo, para la mayoría de los átomos y las moléculas que experimentan una reacción, hay una energía de activación. Dos razones son las siguientes, para reaccionar:

1. Las moléculas requieren energía para distorsionar o estirar sus enlaces de modo que puedan romperse para formar otros nuevos.
2. Las fuerzas de repulsión estérica y electrónica deben ser vencidas para que las moléculas reaccionantes se acerquen.

La energía de activación puede considerarse como una barrera para la transferencia de energía (de energía cinética a energía potencial) entre moléculas reactivas y debe ser vencida. Una manera de considerar tal barrera para las reacciones es a través del uso de coordenadas de reacción. Dichas coordenadas denotan la energía potencial del sistema en, función del progreso a lo largo de la trayectoria de reacción, al ir desde reactivos hasta un producto intermedio y después hacia el producto final. Para la reacción

La ecuación de velocidad de reacción expresa la dependencia de la velocidad de reacción con las concentraciones de los reactivos.

Sin embargo, la velocidad de una reacción varía ampliamente con la temperatura, ya que para un proceso típico al aumentar ésta 10 °C la velocidad se duplica o incluso triplica. Las concentraciones y los órdenes parciales de reacción 0,1,2,3, no son sensibles a los cambios de temperatura; en cambio, la constante de velocidad  $k$  sí que varía con  $T$ .

El concepto de energía de activación es sencillo para una reacción elemental del tipo  $A+B \rightarrow C+D$ . En efecto, esta reacción transcurre a través de un estado intermedio (complejo activado) de energía superior a reactivos y productos. Una representación gráfica de energía frente a coordenada de reacción sería del tipo

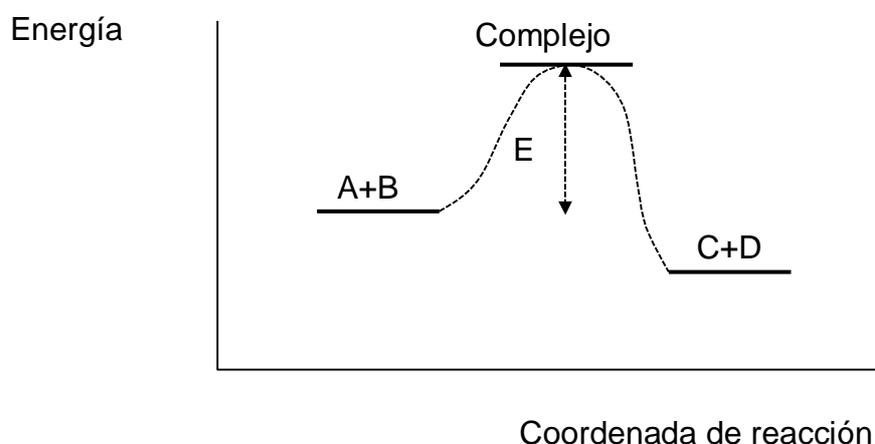


Figura 7. Energía de reacción con respecto al avance de la reacción.

Como puede apreciarse en la figura 7 las moléculas A y B deben adquirir la energía  $E_a$  para poder formar el complejo activado y, por tanto, los productos C

y D. La energía de activación es, en definitiva, la mínima energía que deben adquirir A y B para poder transformarse en los productos C y D. Si para una misma reacción medimos la constante de velocidad  $k$  a diferentes valores de la temperatura, permite obtener la energía de activación de la siguiente manera:

Una representación gráfica de  $\ln k$  frente a  $1/T$  dará una recta, a partir de cuya pendiente se obtiene la energía de activación. Asimismo, la ordenada en el origen nos dará la constante  $A$ .

Si hacemos logaritmos neperianos tenemos:

$$\ln(K) = \ln(A) - \frac{Ea}{RT}$$

Ecuación 10. Linealización ley de velocidad.

Si representamos esta expresión obtenemos una recta con ordenada  $\ln(A)$  y de pendiente la energía de activación.

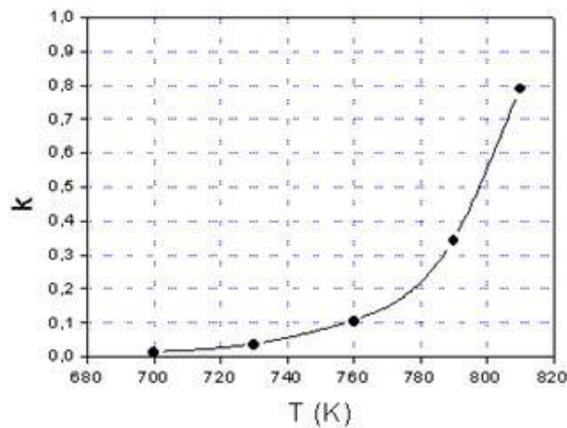


Figura 8. Determinación de la energía de activación

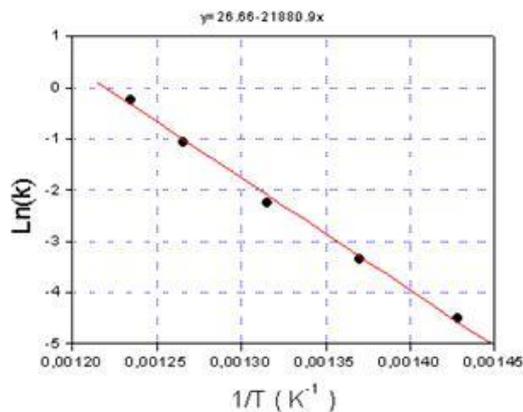


Figura 9. Variación de la constante cinética con respecto a la temperatura.

Los parámetros cinéticos de la ecuación de velocidad pueden obtenerse a partir de diferentes métodos dependiendo de la reacción reactor en el cual se realizan las determinaciones de la concentración contra el tiempo con el objetivo de determinar velocidades de reacción es un reactor batch.

- La temperatura es constante en cada ensayo.
- Se usa para determinar velocidades de reacción.
- Necesita agitación constante.
- Proceso en discontinuo.

los principales métodos para la determinación de los parámetros cinéticos son el método de velocidades iniciales, método integral método de tiempo de vida media, método de diferencias finitas, método de ajuste por polinomios

### MÉTODO INTEGRAL

Reacciones de primer orden. ( $n = 1$ ) Supongamos la reacción  $A \rightarrow \text{productos}$

La variación de A con la temperatura es:

$$V_{\text{reaccion}} = -\frac{d[A]}{dt} = k[A]$$

Ecuación 11. Velocidad de reacción

$$-\frac{d[A]}{[A]} = dt$$

Ecuación 12. Ecuación 11 Reorganizada.

$$\ln(A) = -Kt + \ln(A_0)$$

Ecuación 13. Ecuación de velocidad integrada para orden 1.

Las Ecuación es integradas de velocidad son:

$$\ln(A) = -Kt + \ln(A_0)$$

Ecuación 14. Cinética orden 1.

$$\frac{1}{A} = kt + \frac{1}{A_0}$$

Ecuación 15. Cinética orden 2.

$$\frac{1}{A^2} = 2kt + \frac{1}{A_0^2}$$

Ecuación 16. Cinética orden 3.

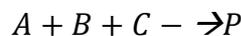
Ecuación es 13,14,15. Ecuación es de velocidad integrada para orden 1,2,3 respectivamente.

- a) Si la representación de:  $\ln(A)$  vs  $t$  Es una línea recta Cinética de primer orden
- b) Si la representación de:  $\frac{1}{A}$  vs  $t$  Es una línea recta Cinética de segundo orden
- c) Si la representación de:  $\frac{1}{A^2}$  vs  $t$  Es una línea recta Cinética de tercer orden

### Métodos diferenciales.

#### Método de velocidades iniciales

Se supone la reacción 1



Ecuación 17. Reacción 1

. Reacción 1

$$\begin{cases} v = v_0 \\ A = A_0 \\ B = B_0 \\ C = C_0 \end{cases}$$

$$v_0 = k A_0^{n_1} B_0^{n_2} C_0^{n_3}$$

Ecuación 18. Ley de velocidad.

Si  $x$  es pequeño o  $(a - x) < 0.1$

- a) Si  $b$  y  $c$  permanecen constantes y se varía  $a$   $v_0 = k \cdot A_0^{n_1}$  donde  $k' = k B_0^{n_2} C_0^{n_3}$
- b) Si  $a$  y  $c$  permanecen constantes y se varía  $b$   $v_0 = k'' B_0^{n_2}$  donde  $k' = k A_0^{n_1} C_0^{n_3}$
- c) Si  $a$  y  $b$  permanecen constantes y se varía  $c$   $v_0 = k''' C_0^{n_3}$  donde  $k'' = k A_0^{n_1} B_0^{n_2}$

Si se hacen logaritmos neperianos sobre las Ecuación es de velocidad, tenemos:

$$\ln(v_0) = \ln(k') + n_2 \ln(A_0)$$

Ecuación 19. Linealización de la velocidad de reacción por medio del método de velocidades iniciales con B y C constantes.

$$\ln(v_0) = \ln(k'') + n_1 \ln(B_0)$$

Ecuación 20. Linealización de la velocidad de reacción por medio del método de velocidades iniciales con A y C constantes.

$$\ln(v_0) = \ln(k''') + n_1 \ln(C_0)$$

Ecuación 21.. Linealización de la velocidad de reacción por medio del método de velocidades iniciales con A y B constantes

Linealización de la velocidad de reacción por medio del método de velocidades iniciales con A y B constantes.

Si representamos  $\ln(v_0)$  en función de los neperianos de las concentraciones iniciales de la ordenada se obtiene las constantes y de las pendientes los órdenes parciales de la reacción.

### C) Periodo de semirreacción.

Es el tiempo necesario para consumir la mitad de la sustancia original

#### Cinética de 1er Orden

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$$

Ecuación 22. Tiempo medio cinética orden 1

Tiempo medio cinética orden 1

$$\ln\left(\frac{A_0}{2}\right) = -kt_{1/2} + \ln(A)$$

Ecuación 23. Cinética orden 1 periodo de semireaccion.

Cinética orden 1 periodo de semireaccion.

#### Cinética de 2 do Orden

$$t_{1/2} = \frac{1}{kA_0}$$

Ecuación 24. Tiempo medio cinética orden 2

$$\frac{2}{A_0} = kt + \frac{1}{A_0}$$

Ecuación 25. Cinética orden 2 periodo de semireaccion.

Cinética orden 2 periodo de semireaccion.

### Cinética de 3er Orden

$$t_{1/2} = \frac{3}{2kA_0^2}$$

Ecuación 26. Tiempo medio cinética orden 3.

$$\frac{4}{A_0^2} = 2kt + \frac{1}{A_0^2}$$

Ecuación 27. Cinética orden 3 periodo de semireaccion.

## MÉTODO DE AJUSTE DE POLINOMIOS

Otra técnica para diferenciar los datos es ajustar primero los datos de concentración-tiempo a un polinomio de orden n:

Así, en cualquier instante t se conocen tanto la concentración como la velocidad de cambio de la concentración. Debemos tener cuidado al escoger el orden del polinomio. Si el orden es demasiado bajo, el ajuste del polinomio no capturará las tendencias de los datos y no pasará por muchos de los puntos. Si se elige un orden demasiado alto, la curva ajustada puede presentar crestas y valles al pasar por la mayoría de los datos, produciendo así errores significativos cuando se generen las derivadas  $dCa/dt$ , en diversos puntos

$$Ca + a_0 + a_1t + a_2t^2 + \dots + a_n t^n - 1 = dca/dt$$

Ecuación 28. Derivada de la concentración con respecto al tiempo método de polinomios.

En el método de polinomios primero se realiza un grafica de la concentración del reactivo en estudio con respecto al tiempo, seguidamente se ajusta la curva a un polinomio en el cual no se presenten valles y el ajuste determinado modele correctamente los datos. Posteriormente se realiza la derivada con respecto al tiempo del ajuste obtenido, evaluando el tiempo en ajuste obtenido determina la derivada con respecto al tiempo para el avance de la reacción, la tendencia lineal del logaritmo natural de la derivada con respecto al tiempo en función del  $\ln Ca$  representa un modelado correcto del proceso de reacción.

$$\ln \left[ \frac{-dCa}{dt} \right] = \ln ka + \alpha \ln Ca$$

Ecuación 29. Liberalización ecuación de velocidad

## Método de diferencias finitas

El método de diferencias finitas para la determinación de los parámetros cinéticos se basa en la determinación de la derivada de la concentración con respecto al tiempo por medio del método numérico de diferencias finitas, basado en las Ecuación es de la tabla 9.

Ecuación es método de diferencias finitas	
Tiempo	Derivada
0	$-\frac{3cA0 + 4Ca1 - Ca2}{2\Delta t}$
50	$\frac{cA2 - Ca0}{2\Delta t}$
100	$\frac{cA3 - Ca1}{2\Delta t}$
150	$\frac{cA4 - Ca2}{2\Delta t}$
200	$\frac{cA5 - Ca3}{2\Delta t}$

Tabla 9. Ecuación es método de diferencias finitas

La tendencia lineal del logaritmo natural de la derivada con respecto al tiempo en función del  $\ln Ca$  representa un modelado correcto del proceso de reacción, en el cual como se presenta en la figura x en base a la tendencia lineal se obtiene la constante cinética y el orden de la reacción.

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 EXTRACCIÓN DE LOS ACEITES ESENCIALES DE AGUACATE Y COCO.

#### 5.1.1 EXTRACCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE COCO NATURAL.<sup>3</sup>

La extracción del aceite de coco se realizó por decantación en frío.

1.El agua de coco se extrajo cuidadosamente realizando un agujero en la cáscara de este.



Figura 10.Extracción del agua de coco.

2.La cáscara se retira por medio de golpes para des adherirla de la pulpa.



Figura 11.Disminución de tamaño del coco.



Figura 12.Retiro de la cáscara del coco

3.Se remojó el coco por media hora.

4.La disminución de tamaño se llevó acabo por medio de rallado y licuado del coco, para asegurar un tamaño de partícula pequeño.



Figura 13.Rallado del coco.



Figura 14.Licuado del coco rallado.

5. Se dejó reposar la mezcla de leche de coco con pulpa mezclando constantemente.

6. La leche de coco se extrajo por medio de una lona filtrante y presión.



Figura 15. Extracción de la leche de coco.

7. La leche de coco obtenida se refrigeró por dos (24) horas.



Figura 16. Decantación para la separación del aceite de coco y el agua.

8. Pasado el tiempo de refrigeración, el agua se separa del aceite el cual se forma en la parte superior en forma de mantequilla la cual es retirada cuidadosamente.



Figura 17. Aceite de coco decantado del agua después de 24 horas de refrigeración.

9. La mantequilla obtenida se fríe hasta obtener una coloración marrón y presencia del aceite.



Figura 18. Aceite de coco en forma de mantequilla obtenido de la refrigeración..



Figura 19. Evidencia de la aparición del aceite de coco en el proceso de evaporación del agua.



Figura 20. Aceite de coco extraído.

10. El aceite de coco se filtró y envasó en un recipiente de vidrio y refrigerado.

### 5.1.2 EXTRACCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE AGUACATE. <sup>12</sup>

1. Se retira la cáscara del aguacate cuidadosamente y se extrae la pulpa.



Figura 21. Extracción de la pulpa de aguacate.

2. La pulpa del aguacate se macera hasta obtener una mezcla homogénea.



Figura 22. Maceración de la pulpa de aguacate.

3.La pulpa macerada es sometida a fuego lento hasta evaporar el agua contenida en la mezcla y esta tome un color café y se evidencia la presencia de aceite.



Figura 23.Calentamiento de la pulpa macerada.

4.La pasta formada anteriormente se lleva a una lona filtrante en la cual bajo presión se extrae el aceite de aguacate.



Figura 24.Prensado de la pulpa caliente.

5.el aceite obtenido se envasa en un recipiente de vidrio y se refrigera.



Figura 25.Aceite de aguacate.

## 5.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS ACEITES ESENCIALES<sup>13,14,39</sup>

Las propiedades del material a caracterizar son: Densidad, Índice de refracción, humedad, Índice de peróxido, Índice de saponificación, Índice de iodo.

### **Densidad**<sup>13</sup>

Se determina el peso del picnómetro, se adiciona un volumen conocido de aceite esencial. Se pesa de nuevo picnómetro y se realiza la determinación por triplicado (para el aceite de coco se realiza la determinación a 40 °C).La densidad se determina de acuerdo a la ecuación 20

$$Densidad = \frac{masa}{volumen}$$

Ecuación 30.Densidad.

### **Índice de refracción.** <sup>13</sup>

Se calibra el refractómetro con agua destilada seguidamente, se adiciona una gota de aceite esencial en el refractómetro después, se lee el índice de refracción y se realiza la determinación por triplicado.

### **Humedad** <sup>10</sup>

La determinación de la humedad en los aceites esenciales se realiza por el método de Karl Fisher.

### **Índice de peróxido** <sup>11</sup>

Índice de peróxidos aceite de coco.

Para la determinación del índice de peróxidos se agrega la solución de cloroformo-ácido acético con una cantidad de aceite y yoduro de potasio, se agitan vigorosamente, tomando un color característico de cada aceite, en el caso del aceite de coco es blanco.

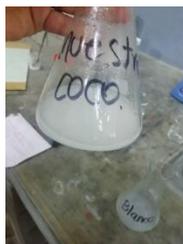


Figura 26. Mezcla inicial (aceite-cloroformo-ácido acético).

Se tituló con tiosulfato hasta desaparecer el color blanco.



Figura 27. Desaparición del color debido a la reacción con un tiosulfato de sodio

Se agrega el indicador (almidón al 1%), el cual torna la solución de un color blanco lechoso, y se titula con tiosulfato, al avanzar en la titulación se forma un color azul leve el cual indica la oxidación de los ácidos grasos, se continua con la valoración hasta que el calor azul desaparece y la solución se torna blanca.



Figura 28. Aparición del color azul tenue el cual evidencia el inicio de la reacción de los peróxidos con la mezcla inicial.



Figura 29. Final de la titulación, desaparición del color azul.

### Índice de peróxidos aceite de aguacate.

Para la determinación del índice de peróxido se agrega la solución de cloroformo-ácido acético con una cantidad de aceite y yoduro de potasio, se agitan vigorosamente, tomando un color característico de cada aceite, en el caso del aceite de aguacate es verde



Figura 30. Solución inicial (cloroformo-acido acético-aceite de aguacate).

Se titula con tiosulfato hasta desvanecer el color verde y la solución se torna verde claro.



Figura 31. Valoración con tiosulfato de sodio, desaparición parcial de la coloración inicial y evidencia de una coloración azul-verdosa tenue

Se agrega el indicador (almidón al 1%), el cual torna la solución de un color verde claro lechoso, y se titula con tiosulfato, al avanzar en la titulación se forma un color azul leve el cual indica la oxidación de los ácidos grasos, se continúa con la valoración hasta que el calor azul desaparece y la solución se torna verde.



Figura 32. Final de la valoración.

Los cálculos se realizan con la ecuación 1

### Índice de saponificación <sup>39</sup>

#### Índice de saponificación aceite de coco

Para la determinación del índice de saponificación del aceite de coco, se adicione hidróxido de potasio con aceite y se saponifico durante 30 minutos observándose una coloración blanca lechosa y con mayor espesor que la solución inicial al terminar el tiempo de saponificación

Seguidamente se valoró la solución saponificada con ácido clorhídrico y fenolftaleína como indicador hasta que la solución presento un cambio de color de fucsia a transparente.



Figura 33. Solución inicial (hidróxido de potasio-aceite).



Figura 34. Saponificación de los aceites.



Figura 35. Aceites saponificados.



Figura 36. Aceite de coco saponificado.



Figura 37. Aceite saponificado con fenolftaleína.



Figura 38. Final de la valoración.

### Índice de saponificación aceite de aguacate.

Para la determinación del índice de saponificación del aceite de aguacate, se adicione hidróxido de potasio con aceite y se saponifico durante 30 minutos observándose una coloración verde lechosa y más espesa que la solución inicial al terminar el tiempo de saponificación

Seguidamente se valoró la solución saponificada con ácido clorhídrico y fenolftaleína como indicador hasta que la solución presento un cambio de color de fucsia a verde.



Figura 39. Aceite de aguacate saponificado.



Figura 40. Aceite de aguacate saponificado con fenolftaleína.



Figura 41. Resultado de la valoración

Los cálculos se realizaron con la ecuación 31.

$$\text{Índice de saponificación} = \frac{(VB - VM) * N * 56,1}{\text{peso de la muestra}}$$

Ecuación 31. Índice de Saponificación

Donde:  
VB = volumen de HCl 0, 5 N gastado para titular el blanco  
VM = volumen de HCl 0, 5 N gastado para titular la muestra

### Índice de iodo <sup>39</sup>

#### Índice de iodo aceite de coco

Para la determinación del índice de yodo en el aceite de coco se adicionaron aceite, cloroformo y reactivo de wijs los cuales se mezclaron y se sometieron a agitación durante media hora en oscuridad tomando un color amarillo.



Figura 42. solución inicial (aceite de coco-cloroformo y reactivo de wijs).



Figura 43. Agitación manual ocasional en oscuridad de la solución inicial.

Seguidamente se adiciono yoduro de potasio y agua tornando la solución color vino tinto con fondo amarillo, se agito vigorosamente y se tituló con tiosulfato de potasio hasta que el color se desvanecía y se dividía en amarillo-naranja



Figura 44. Adición del yoduro de potasio

En ese momento se agregó el indicador almidón 1% continuando con la titulación esta toma un color rosa el cual desaparece al finalizar la valoración.



Figura 45. Valoración con tiosulfato, desaparición parcial de la coloración inicial.



Figura 46. Aparición del color rosa evidencia de la presencia de yodo.

### Índice de iodo aceite de aguacate.

Para la determinación del índice de iodo en el aceite de aguacate se adicionaron aceite, cloroformo y reactivo de Wijs los cuales se mezclaron y se sometieron a agitación durante media hora en oscuridad tomando un color amarillo verdoso



Figura 47. Solución inicial (cloroformo-reactivo de Wijs-aceite de aguacate).



Figura 48. Agitación ocasional en oscuridad

Seguidamente se adicionó yoduro de potasio y agua tornando la solución color vino tinto con fondo amarillo, se agitó vigorosamente y se tituló con tiosulfato de potasio hasta que el color se desvanecía y se dividía en amarillo-naranja.



Figura 49. Adición del yoduro de potasio.

En ese momento se agregó el indicador almidón 1% continuando con la titulación esta toma un color rosa el cual desaparece al finalizar la valoración.



Figura 50. Valoración de la solución con tiosulfato de sodio.



Figura 51. Desaparición parcial de la coloración inicial.



Figura 52. Evidencia de yodo en la muestra, aparición del color rosa.



Figura 53. Final de la valoración.

Los cálculos se realizaron con la ecuación 32.

$$\text{Índice de iodo} = \frac{(V_B - V_M) * N * 12,67}{\text{peso de la muestra}}$$

Ecuación 32. Índice de iodo.

### 5.3 PROCEDIMIENTO PRODUCCIÓN DEL JABÓN LÍQUIDO ECOLÓGICO. 6-8,10-12,40

Se pesaron 500 g de aceite de aguacate, 800 g de aceite de coco, 10 g de ácido cítrico y se calentaron hasta 50 °C a baño maría (Solución 1). Seguidamente se pesaron 494 g de agua destilada y se calentaron hasta 50 °C añadiendo 299 g de hidróxido de potasio cuidadosamente agitando constantemente (solución 2). Cuando ambas soluciones estuvieron a la misma temperatura se agregó la potasa sobre la solución de aceites poco a poco y removiendo constantemente sin salpicar.

La solución produjo espuma y se midió el pH se colocó en un recipiente más grande en el cual se dejó reposar por 48 horas. La espuma en la solución disminuyó y comenzó la gelificación el pH permanecía constante. Tras haber cocido y diluido el jabón, se debe añadir amortiguadores para bajar el pH hasta que sea neutro: 9-10. Para ello utilizaremos los neutralizantes: ácido cítrico, ácido bórico o bórax o zumo de frutas cítricas (limón), se amortiguó la solución en un 5% agregando ácido cítrico diluido en agua y se dejó reposar por 2 horas resultado una disminución del pH hasta 11, por lo cual se realizó una amortiguación del 25% y otra del 10% con ácido cítrico diluido hasta que el pH estuvo en 8-9.

#### 5.4 ELABORACIÓN DEL DETERGENTE ECOLÓGICO.

Se colocó el jabón en el recipiente y se añadió el agua destilada caliente, se removió y agita hasta que el jabón se hubiera derretido. En otro recipiente mezclar agua destilada el bicarbonato y el cloruro de potasio hasta que se disuelva por completo. Se agrega esta mezcla a la mezcla de jabón y se remueve constantemente.

Se agregó el aromatizante aceite de coco 15 ml, se envasa en un recipiente de plástico o vidrio.

#### 5.5 DETERMINACIÓN CURVA DE CALIBRACIÓN A CADA TEMPERATURA ESTUDIADA.

Primero se prepararon las soluciones patrón de agua-jabón-suciedad a las temperaturas estudiadas (20,30,40,50), se midió el índice de refracción para cada patrón a cada temperatura por triplicado, se halló el promedio entre los índices de refracción y se construyó una curva de calibración para cada temperatura estudiada.

#### 5.6 DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE REACCIÓN O LAVADO. <sup>6,7,38,44</sup>

Para la determinación de la velocidad de reacción determinamos que compuestos o componentes de esta varían con el tiempo



A=Suciedad (aceites grasos)

B=detergente

C=Superficie a lavar

D=Superficie limpia

E=Residuos de jabón

Ecuación 33.Reaccion proceso de lavado.

$$-ra = Ca^{\alpha} * Cb^{\beta} * Cc^{\gamma}$$

Ecuación 34. Velocidad de remoción del efecto detergente.

- La concentración del detergente se mantiene constante.
- La concentración de la superficie se mantiene constante.
- La concentración de suciedad disminuirá con el tiempo.

Dando como resultado una velocidad de lavado de:

$$-ra = Ca^{\alpha}$$

Ecuación 35. Velocidad de remoción resultante de las suposiciones.

### **Procedimiento determinación del índice de refracción.**

Se preparó una solución de 10% agua-90% suciedad (Aceites grasos), se calentó la solución a la temperatura deseada del ensayo, se le agregó detergente líquido ecológico (10 ml) y se dejó actuar por 2 min manteniendo la temperatura constante y la agitación.

Se agrega una gota de la solución anteriormente preparada en el refractómetro y se midió el índice de refracción. Se realizó el procedimiento anterior tomando muestras cada 10 min para cada temperatura del ensayo.

Con los índices de refracción a cada temperatura de ensayo, se procede a determinar la concentración de suciedad por medio de la curva de calibración. Se graficaron los datos de  $C_a$  vs  $t$  (para cada temperatura).

### **Determinación del orden de remoción y la constante cinética para cada ensayo de lavado.** <sup>38</sup>

La determinación del orden de reacción y la constante cinética se llevaron a cabo por medio del método integral, método de polinomios y método de diferencias finitas.

El método de polinomios se basó en el ajuste de los datos del proceso de lavado a un polinomio y la derivación de este por medio de una derivada de la concentración con respecto al tiempo, determinando así la constante cinética y el orden de reacción a cada temperatura.

El método de diferencias finitas se basó en la aplicación de las fórmulas de diferencias finitas para hallar la derivada de la concentración con respecto al tiempo con el objetivo de linealizar el sistema, determinando la constante cinética y el orden de reacción.

El método integral se basó en la suposición del orden de reacción (0,1,2,3, n) y la liberalización de los datos del proceso de lavado para cada orden de reacción, determinando la constante cinética.

En el caso del orden de reacción grado n se basa en la suposición de la constante cinética y el orden de reacción determinando los parámetros por el método de ajuste de mínimos cuadrados con respecto al tiempo.

## 6. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

### 6.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS ACEITES DE COCO Y AGUACATE.

#### 6.1.1 CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE DE COCO.

##### Densidad

Los resultados de la determinación de la densidad para el aceite de coco se muestran en la tabla 10.

<b>Determinación de la densidad del aceite de coco</b>					
	Peso del picnómetro (g)	Peso del picnómetro +aceite de coco(g)	Peso del aceite de coco(g)	Volumen(ml)	Densidad(g/ml)
<b>Ensayo 1</b>	14,0773	23,6826	9,0653	10,0000	0,90653
<b>Ensayo 2</b>	14,1287	23,6513	9,5226	10,0000	0,95226
<b>Ensayo 3</b>	10,1066	19,1319	9,0253	10,0000	0,90253
<b>Promedio</b>	12,7708	22,1552	9,0244	10,0000	0,90244

Densidad el aceite de coco T=40°C.

Tabla 10.Densidad del aceite de coco.

Índice de refracción.

El índice de refracción se determinó en un refractómetro ATM en °Brix con una escala de (0-28), la conversión de °Brix a índice de refracción se realizó con el manual de instrucciones PCE-Oe<sup>50</sup> y los resultados se muestran en la tabla 11.

	<b>°Brix</b>	<b>Índice de refracción</b>
<b>Ensayo 1</b>	66,000	1,456
<b>Ensayo 2</b>	65,500	1,455
<b>Ensayo 3</b>	66,000	1,456

Tabla 11.Índice de refracción del aceite de coco.

Índice de peróxido

Los resultados de la determinación del índice de peróxido se muestran en la tabla 12.

<b>Índice de peróxidos en aceite de coco</b>			
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
<b>Peso de la muestra(g)</b>	4,512	5,415	4,567
<b>Normalidad del tiosulfato</b>	0,100	0,100	0,100
<b>Volumen para el blanco(ml)</b>	10,000	9,900	11,000
<b>Volumen para la muestra(ml)</b>	23,500	18,000	20,000
<b>Volumen total(V)</b>	13,500	8,100	9,000
<b>IP</b>	299,180	149,590	197,040
<b>IPprom</b>	215,270		

Tabla 12. Índice de peróxidos aceite de coco.

### Índice de saponificación.

Los resultados de la determinación del índice de saponificación para el aceite de coco se muestran en la tabla 13.

<b>Índice de saponificación del aceite de coco</b>			
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
<b>Peso de la muestra(g)</b>	2,708	3,159	2,709
<b>Normalidad del HCl</b>	0,500	0,500	0,500
<b>Volumen para el blanco(ml)</b>	27,000	20,000	21,000
<b>Volumen para la muestra(ml)</b>	24,500	19,000	19,200
<b>Volumen total(V)</b>	2,500	1,000	1,500
<b>IS</b>	25,898	8,880	15,532
<b>ISprom</b>	16,773		

Tabla 13. Índice de saponificación aceite de coco.

## Índice de yodo

Los resultados de la determinación del índice de yodo del aceite de coco demuestran en la tabla 14.

<b>Índice de yodo del aceite de coco</b>			
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
<b>Peso de la muestra(g)</b>	0,113	0,100	0,127
<b>Normalidad del tiosulfato</b>	0,500	0,500	0,500
<b>Volumen para el blanco(ml)</b>	16,400	16,700	16,400
<b>Volumen para la muestra(ml)</b>	14,600	14,500	14,400
<b>Volumen total(V)</b>	1,800	2,200	2,000
<b>IY</b>	100,550	138,810	100,000
<b>IYprom</b>	113,122		

Tabla 14. Índice de yodo del aceite de coco.

La caracterización del aceite de coco se muestra en la tabla 15.

<b>Caracterización del aceite de coco</b>			
	Valor experimental	Valor teórico[4]	Porcentaje de error
<b>Densidad(g/ml) a 40 °C</b>	0,904	0,906	0,221
<b>Índice de refracción</b>	1,455	1,450	0,371
<b>Índice de peróxido(mg O<sub>2</sub>/Kg grasa)</b>	0,215	0,420	48,745
<b>Índice de saponificación</b>	16,770	254,000	247,390
<b>Índice de yodo(mg I/100 g gasa)</b>	1,131	9,300	87,840
<b>Humedad(%)</b>	>5	12,000	--

Tabla 15. Caracterización aceite de coco.

## 6.2.1 CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE DE AGUACATE.

### Densidad

La determinación de la densidad del aceite de aguacate se muestra en la tabla 16.

<b>Determinación de la densidad del aceite de coco</b>					
	Peso del picnómetro (g)	Peso del picnómetro +aceite de aguacate(g)	Peso del aceite de aguacate(g)	Volumen(ml)	Densidad((g/ml)
<b>Ensayo 1</b>	10,106	19,579	9,472	10,000	0,947
<b>Ensayo 2</b>	14,128	23,556	9,427	10,000	0,942
<b>Ensayo 3</b>	10,105	19,131	9,026	10,000	0,902
<b>Promedio</b>	11,446	20,755	9,308	10,000	0,938

Densidad el aceite de aguacate a temperatura ambiente T=20°C.

Tabla 16.Densidad aceite de aguacate

### Índice de refracción.

El índice de refracción se determinó en un refractómetro ATM en °Brix con una escala de (40-60), la conversión de Briz a índice de refracción se realizó con el manual de instrucciones PCE-Oe<sup>50</sup>, los resultados se muestran en la tabla 17.

	<b>Brix</b>	<b>Índice de refracción</b>
<b>Ensayo 1</b>	9,000	1.346
<b>Ensayo 2</b>	9,000	1.346
<b>Ensayo 3</b>	9,000	1.346

Tabla 17. Índice de refracción aceite de aguacate

### Índice de peróxido.

La determinación del índice de peróxido del aceite de aguacate se muestra en la tabla 18.

<b>Índice de peróxidos en aceite de aguacate</b>			
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
<b>Peso de la muestra(g)</b>	4,694	5,163	4,561
<b>Normalidad del tiosulfato</b>	0,100	0,100	0,100
<b>Volumen para el blanco(ml)</b>	13,000	12,000	13,000
<b>Volumen para la muestra(ml)</b>	32,000	34,500	33,000
<b>Volumen total(V)</b>	19,000	22,500	20,000
<b>IP</b>	404,763	435,759	429,987
<b>IPprom</b>	423,503		

Tabla 18.. Índice de peróxidos aceite de aguacate.

### Índice de saponificación

La determinación del índice de saponificación para el aceite de aguacate se muestra en la tabla 19.

<b>Índice de saponificación del aceite de aguacate.</b>			
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
<b>Peso de la muestra(g)</b>	2,707	2,816	2,834
<b>Normalidad del HCl</b>	0,500	0,500	0,500
<b>Volumen para el blanco(ml)</b>	27,000	20,000	21,000
<b>Volumen para la muestra(ml)</b>	23,500	17,400	18,500
<b>Volumen total(V)</b>	3,500	2,600	2,500
<b>IS</b>	36,257	25,892	24,739
<b>ISprom</b>	28,963		

Tabla 19.Índice de saponificación aceite de aguacate.

### Índice de yodo

La determinación de Índice de yodo para el aceite de aguacate se muestra en la tabla 20.

<b>Índice de yodo del aceite de aguacate.</b>			
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
<b>Peso de la muestra(g)</b>	0,099	0,114	0,104
<b>Normalidad del tiosulfato</b>	0,500	0,500	0,500
<b>Volumen para el blanco(ml)</b>	16,700	16,600	16,800
<b>Volumen para la muestra(ml)</b>	14,700	14,800	14,200
<b>Volumen total(V)</b>	2,000	1,800	2,600
<b>IY</b>	126,953	100,026	157,617
<b>IYprom</b>	128,198		

Tabla 20. Índice de yodo aceite de aguacate.

La caracterización del aceite de aguacate se muestra en la tabla 21.

<b>Caracterización del aceite de aguacate</b>			
	Valor experimental	Valor teórico	Porcentaje de error
<b>Densidad(g/ml)</b>	0,938	0,910	3,110
<b>Índice de refracción</b>	1,346	1,468	9,093
<b>Índice de peróxido</b>	423,503	38,100	1011,000
<b>Índice de saponificación</b>	28,963	217,000	86,654
<b>Índice de yodo</b>	128,198	83,350	53,806
<b>Humedad(%)</b>	>5	85,900	--

Tabla 21. Caracterización aceite de aguacate.

La densidad el aceite de coco se debe principalmente al peso molecular de los ácidos grasos presentes en este ,principalmente ácido láurico en un 47%,el cual presenta un peso molecular alto al poseer doce carbonos ,ácido mirístico y palmítico lo cual lo hace un aceite denso, la determinación de la densidad se realizó a 40 °C (el aceite de coco extra virgen a temperatura ambiente se solidifica)presentando un porcentaje de error menor al 1%,lo cual permite

asegurar que el aceite extraído de forma natural cumple con la densidad reportada teóricamente.<sup>45</sup>

La densidad del aceite de aguacate se ve afectada por el alto peso moléculas de los ácidos grasos insaturados y saturados, Cerca del 60 % de su composición es de ácidos monoinsaturados, principalmente ácido oleico, mientras que el 20 % son poliinsaturados y el restante 20 % saturado, el ácido oleico el cual presenta 18 carbonos y una insaturación lo cual aumenta su peso molecular, comparado con el valor reportado por María Elena Jiménez 34 el porcentaje de error es del 3,11%.

La humedad del aceite de coco y aguacate extraídos, es mayor al 5% según el método de Karl Fisher en el cual el valor del porcentaje de humedad para este caso no se determina debido a la alta cantidad de agua presente, se toma este dato debido a la degradación de los aceites en el secado en horno. El valor de la humedad reportado por esta investigación es concordante con el valor teórico (tabla 15) para el aceite de coco y tabla 21 para el aceite de aguacate en el cual se reporta un valor de la humedad para el aceite de coco mayor al 5%.

El índice de refracción del aceite de aguacate depende del grado de insaturación y el peso molecular de los ácidos grasos constituyente, al aumentar las insaturaciones disminuye el índice de refracción, el aceite de coco está compuesto principalmente por ácidos grasos saturados como el ácido láurico lo cual deriva un índice de refracción alto debido a la baja cantidad de insaturaciones un 7,6% de su composición total. El aceite de aguacate se constituye en un 60% por ácidos grasos insaturados de los cuales se deriva el bajo índice refracción y el error del 9,0930% con respecto al valor reportado por María Elena Jiménez<sup>34</sup>

El índice de saponificación es la medida de los ácidos grasos presentes en el aceite o la grasa, a mayor longitud de la cadena carbonada menor índice de saponificación por lo que se requiere menor cantidad de potasa será requerida, el aceite de coco está constituido mayoritariamente por un ácido graso de cadena larga el ácido láurico, la presencia de ácidos grasos libres de alto peso molecular, debido a sus cadenas de ácidos medias y largas este aceite presenta una alta saponificación con una baja cantidad de potasa. El aceite de aguacate está constituido mayoritariamente por ácidos grasos insaturados como el oleico con 18 carbonos y por ácidos grasos de cadena media y larga saturados la reacción e saponificación se da a una menor cantidad de potasa saponificando completamente el aceite. Al comparar el índice de saponificación obtenido con el reportado por (María Elena Jiménez 2001)<sup>34</sup> se debe a la diferente naturaleza de la materia prima, el tipo de aguacate del cual se extrae el aceite puede variar dependiendo del lugar de cultivo, el aceite extraído en esta investigación es un cruce entre tipo hall y choquete.

El índice de peróxidos es una estimación del contenido de sustancias que oxidan el yoduro potásico y se expresa en términos de mili equivalentes de oxígeno activo por kg de grasa. Se asocia con la presencia de peróxidos derivados de los ácidos grasos presentes en la muestra, según Ascensión Sanz Tejedor<sup>46</sup>. Cuanto mayor es el número de dobles enlaces más inestable es el aceite al oxígeno del aire. El ataque se produce preferentemente en el grupo metileno adyacente a un doble enlace o entre dos dobles enlaces dando lugar a hidroperóxidos. Estos hidroperóxidos se escinden dando aldehídos y cetonas que comunican el típico sabor y aroma rancios, aunque se encuentren en cantidades muy pequeñas, en el aceite de coco los ácidos insaturados representan el 7,6% y los ácidos saturados el 86,5%, originando menor producción de peróxidos debida a la mayor cantidad de ácidos saturados con ausencia de enlaces dobles por los cuales se da a la reacción de oxidación, acorde a Okene and Evbuomwan<sup>35</sup>, la alta estabilidad oxidativa es posible cuando el valor de peróxido es inferior a 10.00 mg Peróxido / kg, por lo tanto el aceite de coco es resistente a la peroxidación en almacenamiento. En el aceite de aguacate los ácidos insaturados representan el 60% y los ácidos saturados el 20%, originando una mayor producción de peróxidos debida a la mayor cantidad de ácidos grasos insaturados por los cuales se da la reacción de oxidación, el aceite extraído en esta investigación es totalmente virgen, sin conservantes naturales o sintéticos los cuales disminuyen el proceso de oxidación conservando los aceites por más tiempo en consecuencia el índice de peróxidos presenta un error exageradamente alto dado que los datos reportados por María Elena Jiménez<sup>34</sup> son de un aceite comercial (el cual presenta conservantes). Acorde a Okene and Evbuomwan<sup>35</sup>, la alta estabilidad oxidativa es posible cuando el valor de peróxido es inferior a 10.00 mg Peróxido / kg, por lo tanto el aceite de aguacate no es resistente a la peroxidación en almacenamiento.

El índice de yodo evidencia la presencia del grado de insaturación presente en los ácidos grasos constituyentes el aceite de coco, el cual está constituido en un 86,5 % en ácidos grasos saturados principalmente ácido láurico y un 7,6 % de ácidos grasos insaturados, por lo cual el yodo presente en este aceite será bajo, en un valor de 1,1312 mg de I/100 g de aceite presentando un alto error con respecto al reportado por Oti Wilberforce J.O<sup>36</sup>, en la extracción del aceite de coco. Los valores inferiores a 100 confirman que el aceite de coco no se seca Akoh y Nwosu,<sup>37</sup>. El aceite de aguacate debido a su composición presenta un índice de yodo alto, en un valor de 1,28,19 mg de I / g de aceite presentando un alto error con respecto al reportado por María Elena Jiménez<sup>34</sup>.

### 6.3 JABÓN ECOLÓGICO

El jabón ecológico a base de aceites esenciales se elabora a partir de aceite de coco y aguacate, hidróxido de potasio y ácido cítrico como conservante y regulador de pH.



Figura 54. Reactivos para la elaboración del jabón ecológico.

500 g de aceite de aguacate, 800 g aceite de coco, 299 g de KOH, 494 g de agua. Se sometieron a calentamiento el hidróxido de potasio con agua hasta una temperatura de 49-67 °C, y los aceites de coco y aguacate a baño maría.

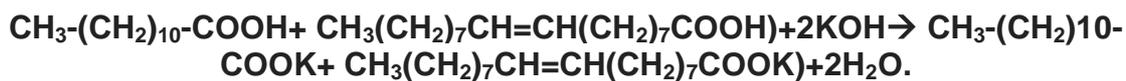


Figura 55. Aceite de aguacate en baño maría.



Figura 56. Aceite de coco en baño maría y solución de KOH con agua.

Se mezclaron los aceites y la solución de hidróxido de potasio –agua a una temperatura de 56°C, agregando poco a poco la solución acuosa y agitando constantemente hasta formar un puré (jabón) siguen la reacción de saponificación.



Ecuación 36. Reacción de saponificación del aceite de coco y aguacate.



Figura 57. Jabón ecológico primer día de elaboración.

El pH registrado para el jabón obtenido es de 12 y un olor característico de la reacción de saponificación, se debe regular este hasta un valor entre 8-9 se dejó reposar por 24 horas, obteniendo una solución en la cual la espuma presentada en la elaboración disminuyó y se formó un gel en la parte superior del jabón

Al jabón se le agrega una amortiguación del 10%, la cual es realizada con 40 g ácido cítrico diluido en 100 ml agua.

Se dejó reposar la mezcla por 72 horas, en las cuales el olor fuerte disminuyó considerablemente, el color del jabón permaneció intacto verde claro en la parte superior(espuma) y café en la parte inferior (fase acuosa) con un pH de 12, seguidamente se agregó una amortiguación del 20% agregando 70 g de ácido cítrico en 100 ml de agua destilada se agitó constantemente y se dejó reposar 24 horas.



Figura 58. Jabón ecológico día 1 elaboración.



Figura 59. Jabón líquido ecológico día 5 de elaboración.

En el día 7 de elaboración el jabón presenta una disminución del pH hasta 11, disminución del olor característico a potasa, color verde oscuro, sin presencia de espuma. Se agregó una amortiguación del 7% ,50 g de ácido cítrico en 100 ml de agua destilada. Al agregarle ácido cítrico diluido en agua la solución se tornó amarilla clara, el pH bajo a 8 espesando instantáneamente.



Figura 60. Jabon liquido ecológico terminado

#### 6.4 DETERGENTE ECOLÓGICO

El detergente liquido ecológico se elaboró a base de jabón de la misma naturaleza, primero se pesan 15 gr de aceite de coco, 150 gr de jabón líquido ecológico y 50 gr de bicarbonato de sodio.

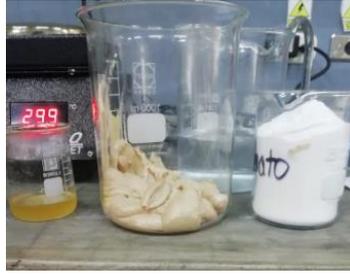


Figura 61. Materias primas fabricación del detergente ecológico.

Se mezcla 0,5 L de agua con 50 g de bicarbonato de sodio y se calienta hasta 35 °C para diluir el bicarbonato en el agua.

Se calienta el aceite de coco y el jabón hasta 35°C y se mezclan las dos soluciones con agitación constante hasta obtener una solución homogénea de color claro.



Figura 62. Detergente líquido ecológico.

El color del detergente en el día de elaboración fue rosa carpí en estado líquido con un olor a coco tenue, se dejó reposar por 4 días observando los cambios en el color, olor y consistencia.

el detergente se separó en dos fases una clara, espumosa y otro oscuro color café, al agitar la mezcla se unifica el color a rosa claro. La separación de las fases se debe a la ausencia de agentes coadyuvantes y espesantes los cuales disminuyen la adición entre las partículas aumentando la homogeneidad del producto.

<b>Detergente líquido ecológico</b>	
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>pH</b>	10,000
<b>Color</b>	Rosa claro
<b>Índice de refracción</b>	1,340

Tabla 22. Parametros detergente líquido ecológico.

## 6.5 PROCESO DE LAVADO

La cinética de lavado de un detergen es la velocidad a la cual se retira la suciedad y los ácidos grasos de una superficie por acción del detergente. Esta velocidad de remoción se ve afectada por la temperatura, en consecuencia, se estudian temperaturas mayores a la temperatura ambiente, para de esta manera determinar cómo afecta un aumento de la temperatura en la eficiencia de remoción de la suciedad en el proceso de lavado.

La influencia de la temperatura se estudia a 20°C,30°C,40°Cy 50°C, estas temperaturas se efectuarán debido a las zonas de producción de las materias primas y elaboración del detergente ecológico para una posible ampliación de la investigación.

Para efectuar el proceso de lavado se supone que cuando las micelas formadas en el proceso de lavado retienen la suciedad, esta última no regresara a la superficie, solo se retirara en el proceso de enjuague.

La concentración del detergente es constante, esta mezcla con el agua para disminuir la tensión superficial alcanzar la concentración micela mínima y remueve la suciedad manteniendo su concentración constante.

La concentración de la superficie permanece constante, el detergente limpia sin corroer ni dañar.

Dando como resultado una velocidad de lavado de:

$$-ra = KCa^\alpha$$

Ecuación 37..Velocidad de reacción proceso de lavado con detergente ecológico.

La determinación de la cinética del proceso de lavado con detergentes ecológicos se realiza en un reactor batch debido a que la temperatura es constante en cada ensayo. El reactor batch es usado para la determinación e velocidades de reacción. El proceso de lavado requiere agitación constante y es un proceso en discontinuo.

La reacción presente en el proceso de lavado, entre el detergente y la suciedad, presenta un producto intermedio que son las micelas las cuales se producen debido al contacto del detergente con el agua lo cual reduce la tensión superficial alcanzando la concentración critica micelar. Las moléculas de detergente combinadas con agua forman compuestos que en la "cabeza" tienen características polares, es decir, tiene afinidad por el agua (que también es polar), mientras que la "cola" corresponde al resto de la cadena carbonada que es apolar y se disuelve en las grasas y aceites. Cuando lavamos un tejido con

grasa, las colas de las moléculas del detergente se adhieren a las partículas de grasa mientras que la "cabeza" está adherida al agua. Cuando la cantidad de colas de moléculas que han rodeado a la partícula de grasa es suficiente, estas son capaces de arrancarla del tejido y llevarla consigo arrastrada por el agua de lavado. Se ha formado una micela.<sup>38</sup>

Las soluciones acuosas de los tensoactivos pueden presentar cambios en sus propiedades físicas a través de una gama muy reducida de concentración de surfactante. Por debajo de un cierto mínimo de concentración, la disolución de tensoactivo se comporta como si se tratara de cualquier soluto disuelto en el agua, la reducción del punto de congelación, lo que eleva el punto de ebullición, la reducción de la presión de vapor, y, si se trata de una estructura iónica, aumentando la conductividad del agua.

En el momento donde las moléculas de tensoactivo en solución sean suficientes para disminuir la energía de superficie, se comenzarán a formar internamente estructuras micelares que harán cambiar las propiedades físicas de la solución drásticamente. La conductividad ( $\sigma$ ), viscosidad ( $\eta$ ), el índice de refracción ( $n_o$ ), y la tensión superficial ( $\gamma$ ), son algunos de las características físicas que varían con la formación de micelas. La concentración en la que este cambio radical tiene lugar en las propiedades de la solución se denomina Concentración Micelar Crítica (CMC) para el agente tensoactivo, y es una propiedad fundamental y característica de cada uno de la estructura de los agentes tensoactivos.<sup>47</sup>

Por lo anterior, la variable medible para hallar la concentración de la suciedad a lo largo del tiempo es el índice de refracción, el cual determina la formación de las micelas a medida que el aumenta el tiempo, por el efecto de "disolver" que realizan las micelas uniendo los compuestos no solubles cotidianamente. La formación de micelas da con resultado una disminución de la suciedad, por lo cual se mide la formación de micela con el índice de refracción que sería la concentración de suciedad retirada de la superficie.

Para la determinación de la cinética en el proceso de lavado primero se realiza una curva de calibración a diferentes concentraciones de agua-detergente-suciedad a las temperaturas estudiadas.

## 6.6 CURVA DE CALIBRACIÓN

La curva de calibración se realizó a diferentes concentraciones de agua -detergente-suciedad y temperaturas de 20°C,30°C,40°C y 50°C, midiendo el índice de refracción.

En la tabla 23 se muestran las soluciones patrón usadas en la elaboración de la curva de calibración.

<b>Muestras curva de calibración</b>			
<b>Muestra</b>	<b>Suciedad(aceite)(ml)</b>	<b>Detergente ecológico(ml)</b>	<b>Agua(ml)</b>
<b>1</b>	15,000	0,000	15,000
<b>2</b>	13,500	1,500	15,000
<b>3</b>	12,000	3,000	15,000
<b>4</b>	10,500	4,500	15,000
<b>5</b>	9,000	6,000	15,000
<b>6</b>	7,500	7,500	15,000
<b>7</b>	6,000	9,000	15,000
<b>8</b>	4,500	10,500	15,000
<b>9</b>	3,000	12,000	15,000
<b>10</b>	1,500	13,500	15,000
<b>11</b>	0,000	15,000	15,000

Tabla 23.Soluciones patrón para la determinación de la curva de calibración del proceso de lavado a cada temperatura.

El ajuste de las curvas de calibración se realiza a través de Excel presentando una tendencia lineal en cada temperatura estudiada en las mismas condiciones de soluciones patrón debido a la concordancia entre los datos obtenidos mediante la ejecución de la ecuación proporcionada por el ajuste lineal con los resultados mostrados por el ensayo. En las tablas 24-25 y las figuras (63-66) se muestran los datos y tendencias obtenidas en las curvas de calibración a partir de las soluciones patrón mencionadas en la tabla 23 para el ensayo de lavado a cada temperatura estudiada.

Curva de calibración a 20°C.

<b>Curva de calibración proceso de lavado a 20°C</b>		
<b>Muestra</b>	<b>°Brix</b>	<b>Concentración suciedad</b>
<b>1</b>	-	5,4,E-04
<b>2</b>	1,90	4,9,E-04
<b>3</b>	3,00	4,4,E-04
<b>4</b>	3,80	3,8,E-04
<b>5</b>	4,00	3,3,E-04
<b>6</b>	4,80	2,7,E-04
<b>7</b>	5,70	2,2,E-04
<b>8</b>	6,00	1,6,E-04
<b>9</b>	6,20	1,1,E-04
<b>10</b>	6,00	5,4,E-05
<b>11</b>	8,80	0,0,E+00

Tabla 24.Curva de calibración del proceso de lavado a 20°C.

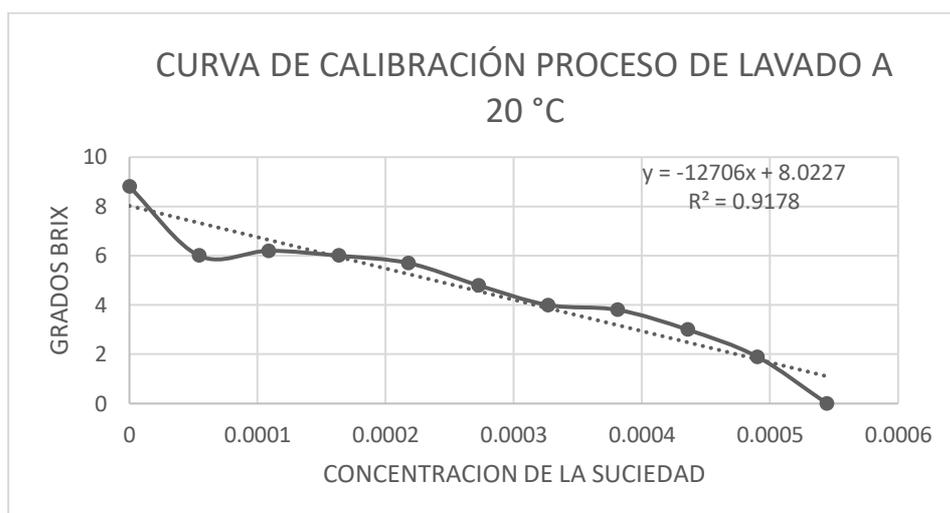


Figura 63. Curva de calibración proceso de lavado a 20°C.

Curva de calibración proceso de lavado a 30°C

<b>Curva de calibración proceso de lavado a 30°C</b>		
Muestra	°Brix	Concentración suciedad
<b>1</b>	-	5,2,E-04
<b>2</b>	1,50	4,6,E-04
<b>3</b>	3,10	4,1,E-04
<b>4</b>	4,00	3,6,E-04
<b>5</b>	4,20	3,1,E-04
<b>6</b>	5,00	2,6,E-04
<b>7</b>	5,80	2,1,E-04
<b>8</b>	6,10	1,5,E-04
<b>9</b>	6,30	1,0,E-04
<b>10</b>	6,70	5,2,E-05
<b>11</b>	8,90	0,0,E+00

Tabla 25. Datos curva de calibración proceso de lavado a 30°C.

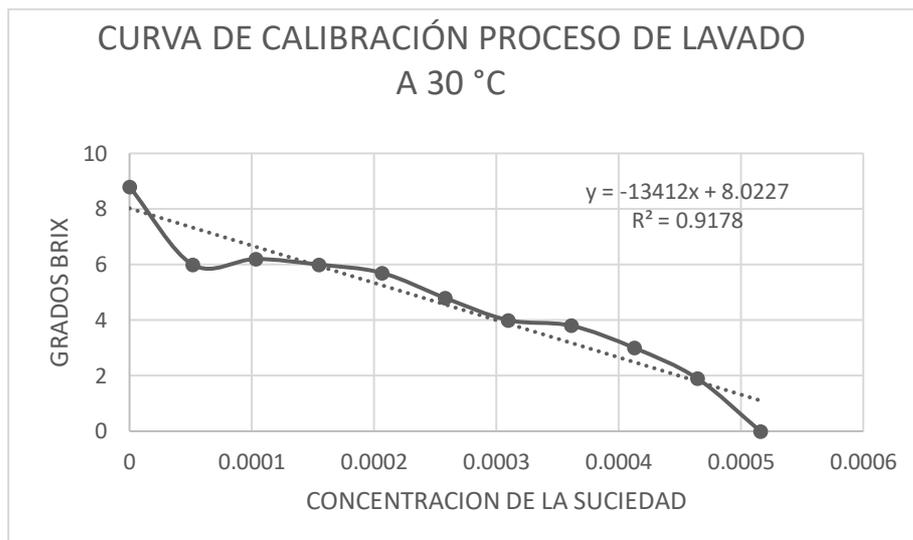


Figura 64. Curva de calibración del proceso de lavado a 30°C

Curva de calibración del proceso de lavado a 40°C

<b>Curva de calibración proceso de lavado a 40°</b>		
<b>Muestra</b>	<b>°Brix</b>	<b>Concentración suciedad</b>
<b>1</b>	-	5,2,E-04
<b>2</b>	1,50	4,6,E-04
<b>3</b>	3,00	4,1,E-04
<b>4</b>	3,90	3,6,E-04
<b>5</b>	4,10	3,1,E-04
<b>6</b>	5,00	2,6,E-04
<b>7</b>	5,90	2,1,E-04
<b>8</b>	6,30	1,5,E-04
<b>9</b>	7,20	1,0,E-04
<b>10</b>	7,00	5,2,E-05
<b>11</b>	8,80	0,0,E+00

Tabla 26. Datos curva de calibración del proceso de lavado a 40°C

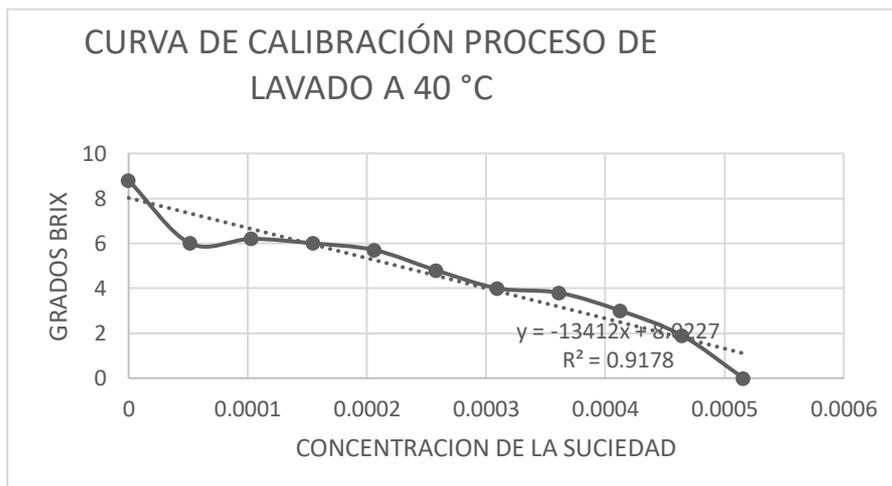


Figura 65. Curva de calibración del proceso de lavado a 40° C

Curva de calibración proceso de lavado a 50°C.

<b>Curva de calibración proceso de lavado a 50°C</b>		
<b>Muestra</b>	<b>°Brix</b>	<b>Concentración suciedad</b>
1	-	5,0,E-04
2	1,00	4,5,E-04
3	2,80	4,0,E-04
4	3,50	3,5,E-04
5	3,90	3,0,E-04
6	4,00	2,5,E-04
7	5,40	2,0,E-04
8	5,90	1,5,E-04
9	8,00	1,0,E-04
10	7,20	5,0,E-05
11	8,40	0,0,E+00

Tabla 27. Datos curva de calibración del proceso de lavado a 50°C

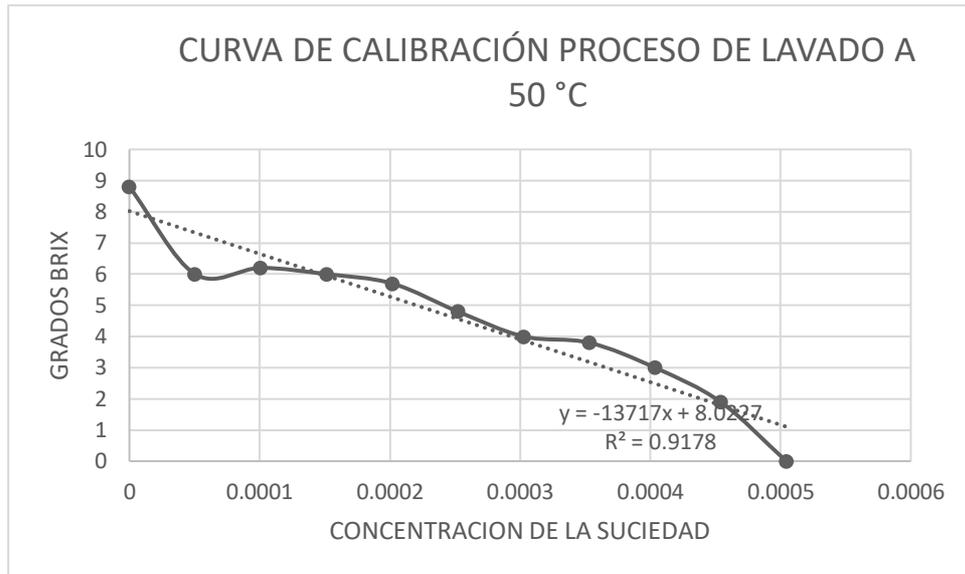


Figura 66. Curva de calibración proceso de lavado a 50°C.

### 6.6.1 CONCENTRACIÓN CRÍTICA MICELAR

La concentración crítica micelar

Temperatura(°C)	Concentración(g/ml)
0,000	0,000
-3,000	0,040
-4,500	0,080
-6,000	0,120
-7,000	0,160
-9,000	0,200
-9,000	0,240
-9,000	0,280
-9,000	0,320
-9,500	0,360

Tabla 28. Datos determinación de la concentración crítica micela.

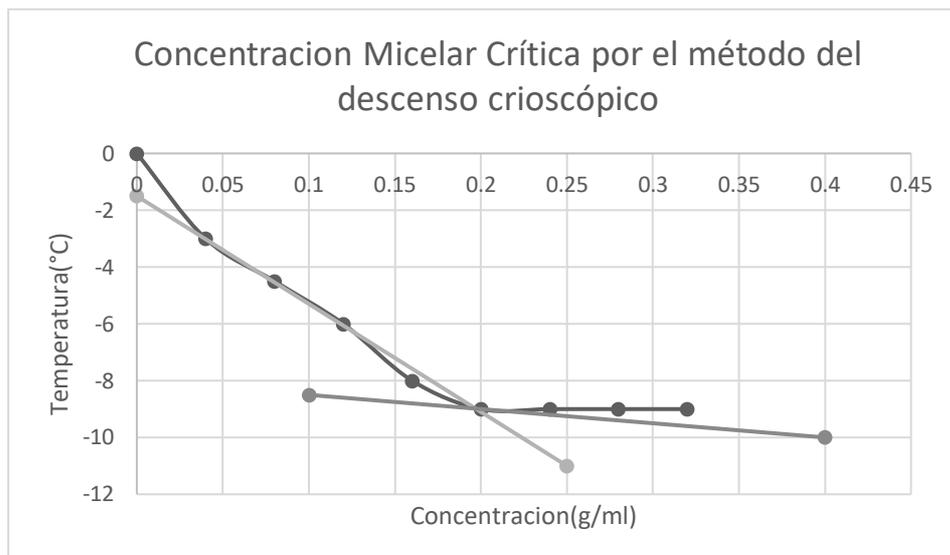


Figura 67. Concentración micelar crítica por el método del descenso crioscópico

Proceso de lavado con detergente líquido ecológico	
Concentración micelar crítica	0,200 g/ml

Tabla 29. Concentración micelar crítica.

La concentración crítica micelar para el proceso de lavado con detergente ecológico es 0,2g/ml. La mínima concentración requerida para la formación de micelas es baja debido al poder de limpieza generado por el detergente, el cual al entrar en contacto con el agua disminuye la tensión superficial permitiendo la formación de aglomerados (micelas) las cuales se agrupan solubilizando el agua en la suciedad (Aceites grasos) permitiendo la remoción. A medida que la formación de micelas aumenta, el punto de congelación de la solución disminuye. Debajo de la CMC las propiedades termodinámicas de la solución (descenso crioscópico) presentan comportamientos ideales, cuando la concentración está por encima de la CMC el comportamiento es altamente no-ideal y casi-constante. Como se puede observar en la figura 67, al aumentar la concentración disminuye la temperatura de congelación de la solución, al alcanzar la concentración crítica micelar el sistema presenta comportamientos casi-constantes debido a la saturación completa de las moléculas y la tensión superficial constante. La concentración crítica micelar no se ve influenciada en gran medida por la temperatura y la presión.

## 6.7 DETERMINACIÓN DE LA CINÉTICA DE LAVADO

La determinación de la cinética de lavado (orden de reacción y constante cinética) se realiza mediante la suposición de un reactor batch, en el cual se determinan las concentraciones en función del tiempo en cada una de las

temperaturas estudiadas. El cambio de la concentración con respecto al tiempo en el proceso de lavado con detergentes se determinó mediante una solución de 30 ml la cual está constituida en un 50% agua -20% detergente-30% suciedad, midiendo el índice de refracción cada 2:30 minutos agitando constantemente.

Concentración suciedad [mol/L]				
Temperaturas	20°C	30°C	40°C	50°C
Tiempo(min)				
0,0	3,8,E-04	3,6,E-04	3,6,E-04	3,5,E-04
5,0	3,7,E-04	3,3,E-04	3,4,E-04	3,3,E-04
10,0	3,6,E-04	3,1,E-04	3,1,E-04	2,9,E-04
15,0	3,5,E-04	3,0,E-04	3,0,E-04	2,5,E-04
20,0	3,4,E-04	2,9,E-04	2,7,E-04	2,4,E-04
25,0	3,3,E-04	2,7,E-04	2,6,E-04	2,1,E-04
30,0	3,2,E-04	2,3,E-04	2,3,E-04	1,9,E-04
35,0	3,2,E-04	2,3,E-04	2,0,E-04	1,5,E-04

Tabla 30. Datos concentración de la suciedad en función del tiempo para el proceso de lavado con detergente ecológico a diferentes temperaturas.

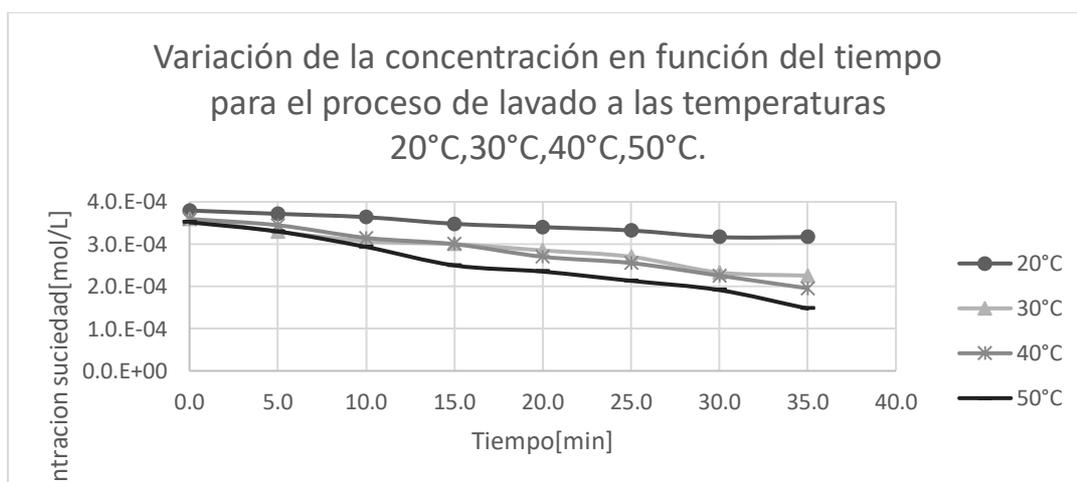


Figura 68. Variación de la concentración en función del tiempo para el proceso de lavado a las temperaturas 20°C, 30°C, 40°C, 50°C.

Eficiencia de lavado	
Temperatura [°C]	Eficiencia de lavado (conversión) [%]
20,000	16,588
30,000	37,323
40,000	45,617
50,000	58,058

Tabla 31. Eficiencia de lavado con detergente ecológico para cada temperatura estudiada.

El proceso de lavado con detergente natural líquido elaborado a partir de jabón presenta un aumento de la remoción de suciedad al aumentar la temperatura del proceso de lavado, debido a la disminución de la viscosidad y la solubilidad en el agua de los ácidos grasos y aceites presentes en la suciedad lo cual favorece la detergencia aumentando la remoción de la suciedad.

### 6.7.1 DETERMINACIÓN DEL ORDEN DE REACCIÓN Y LA CONSTANTE CINÉTICA PARA EL PROCESO DE LAVADO CON DETERGENTES ECOLÓGICOS.

Las determinaciones de los parámetros cinéticos de la velocidad de lavado se determinan por el método integral (orden 0,1,2,3, n), método ajuste de polinomios y método de diferencias finitas ajustando los datos obtenidos en la variación de la concentración de la suciedad con respecto al tiempo a las temperaturas mencionadas.

Método		Parámetro	Temperatura(°C)			
			20	30	40	50
Polinomios		n	1,4,E+00	3,9,E+00	3,2,E+00	3,2,E-01
		k	4,1,E+10	4,2,E+24	4,4,E+17	1,3,E+04
Diferencias finitas		n	1,4,E+01	4,7,E+00	3,1,E+00	2,0,E+00
		k	7,7,E+46	1,7,E+13	1,9,E+07	5,4,E+03
Integral	orden 0	n	0,0	0,0	0,0	0,0
		k	2,00E-06	4,00E-06	5,00E-06	6,00E-06
	orden 1	n	1,0	1,0	1,0	1,0
		k	6,0,E-03	1,3,E-02	1,7,E-02	2,3,E-02
	orden 2	n	2,0	2,0	2,0	2,0
		k	1,7,E+01	4,6,E+01	6,3,E+01	1,0,E+02
	orden 3	n	3,0	3,0	3,0	3,0
		k	9,9,E+04	3,3,E+05	4,8,E+05	9,3,E+05
	orden n	n	1,1,E+00	7,7,E-01	3,9,E-01	2,7,E-01
		k	1,9,E-02	2,5,E-03	2,4,E-04	5,1,E-05

Tabla 32. Parametro cinéticos para el proceso de lavado con detergentes ecológicos a temperaturas de 20,30,40,50 °C atravésó de diferentes métodos cinéticos.

## MÉTODO DE POLINOMIOS

Método	Parámetro	Temperatura(°C)			
		20	30	40	50
Polinomios	n	1,430	3,920	3,210	0,316
	k	4,1,E+10	4,2,E+24	4,4,E+17	1,3,E+04

Tabla 33. Parametros cinéticos proceso de lavado por el método de polinomios a las temperaturas estudiadas

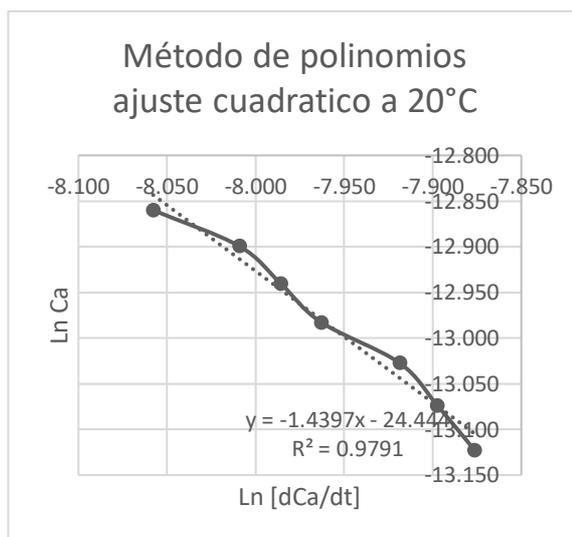


Figura 69. Determinación de los parámetros cinéticos proceso de lavado por ajuste cuadrático método de polinomios a 20°C.

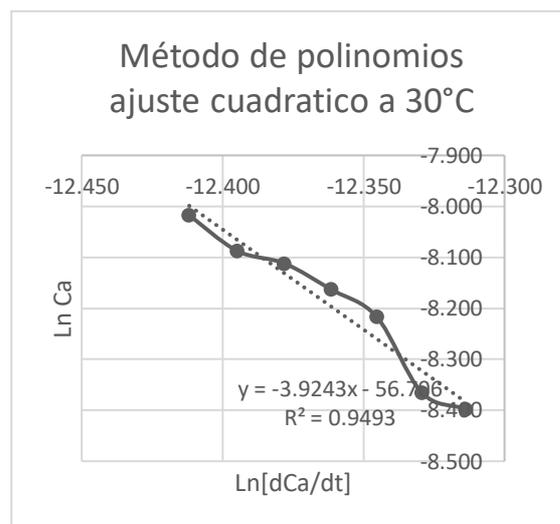


Figura 70. Determinación de los parámetros cinéticos proceso de lavado por ajuste cuadrático método de polinomios a 30°C.

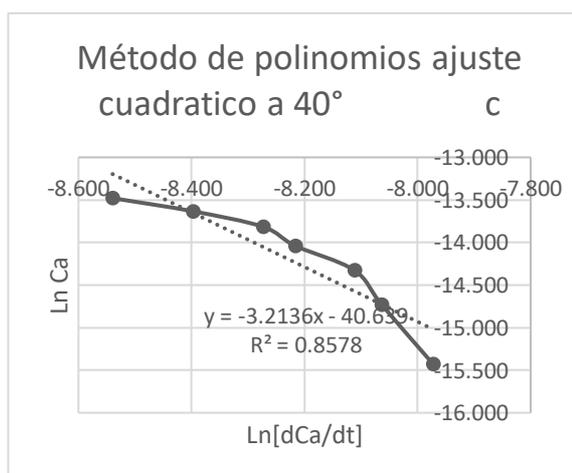


Figura 71. Determinación de los parámetros cinéticos proceso de lavado por ajuste cuadrático método de polinomios a 40°C

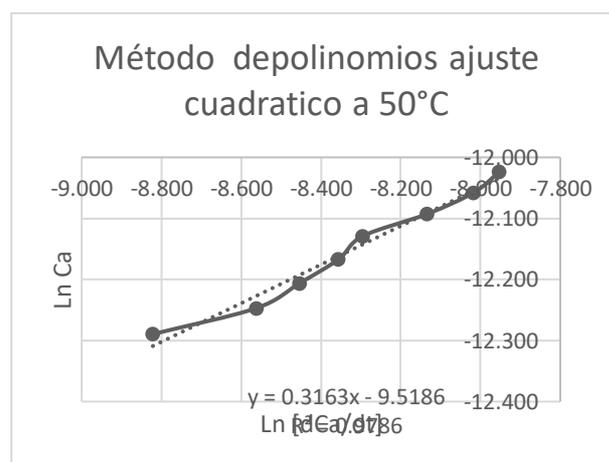


Figura 72. Determinación de los parámetros cinéticos proceso de lavado por ajuste cuadrático método de polinomios a 50°C.

El método polinómico se basa en el ajuste de los datos del proceso de lavado a un polinomio y la linealización de este para determinar los valores de  $n$  y  $k$ , en las figuras 69-72 se observa la linealización de los datos a cada temperatura y en la tabla 33 los parámetros cinéticos determinados por el método de polinomios, la linealización de los datos a la temperatura de 20°C es de un  $R^2=0,9791$ , a 30°C  $R^2=0,9493$ , a 40°C  $R^2=0,8578$  y a 50°C  $R^2=0,987$ , los parámetros cinéticos determinados por un ajuste polinómico no modelan correctamente el proceso de lavado debido a la no concordancia de los datos al presentar crestas y valles al pasar por la mayoría de los datos tanto en el ajuste de los datos a un polinomio como a la Linealización de estos, lo cual representa un error significativo en la determinación de los parámetros al influencia de las derivadas de la concentración con respecto al tiempo y de esta manera el modelado de los datos en una línea recta.

Al aumentar o disminuir el grado del ajuste polinómico para disminuir las crestas y valles generados en busca de la disminución del error en la determinación de las derivadas se encuentran resultados similares al ajuste del polinomio grado dos, por lo anterior se determina que el método de polinomios no modela correctamente el proceso de lavado para la determinación de los parámetros cinéticos.

#### MÉTODO DE DIFERENCIAS FINITAS

Método	Parámetro	Temperatura(°C)			
		20	30	40	50
Diferencias finitas	n	14,159	4,740	3,055	2,045
	k	7,7,E+46	1,7,E+13	1,9,E+07	5,4,E+03

Tabla 34. Parametros cinéticos proceso de lavado por el método de diferencias finitas a las temperaturas estudiadas.

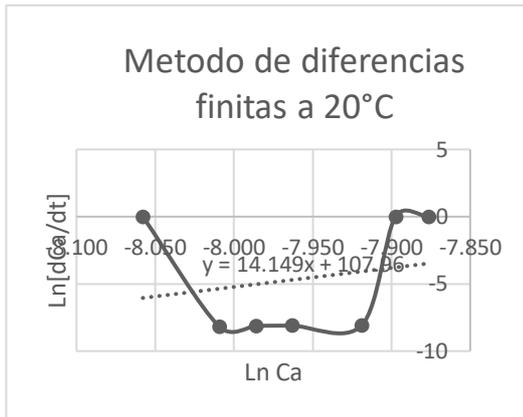


Figura 73. Determinación de los parámetros cinéticos proceso de lavado por el método de diferencias finitas a 20°C

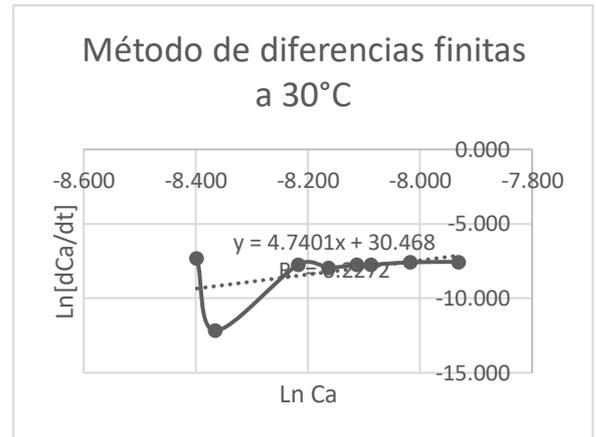


Figura 74. Determinación de los parámetros cinéticos proceso de lavado por el método de diferencias finitas a 30°C

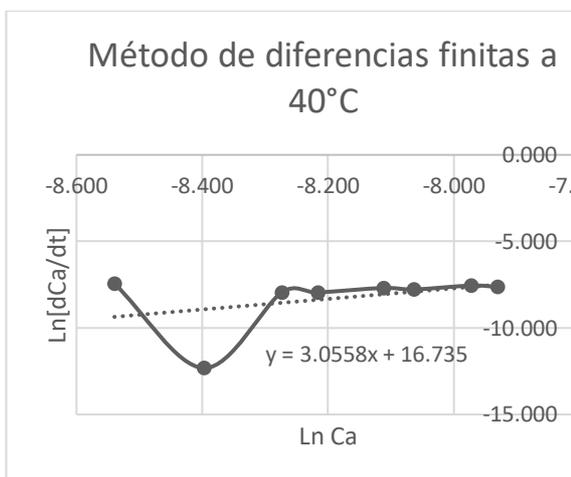


Figura 75. Determinación de los parámetros cinéticos proceso de lavado por el método de diferencias finitas a 40°C

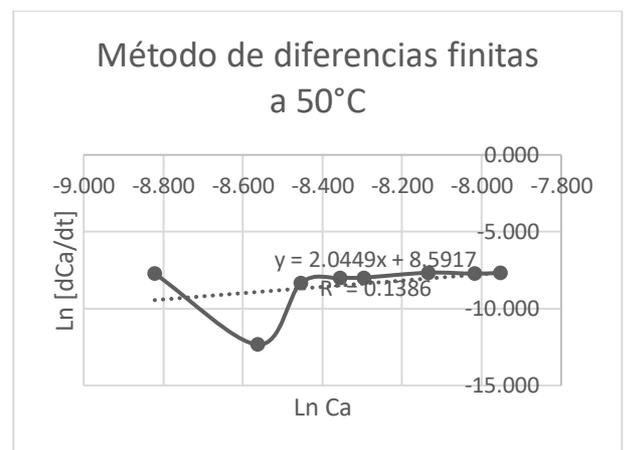


Figura 76. Determinación de los parámetros cinéticos proceso de lavado por el método de diferencias finitas a 50°C

El método de diferencias finitas se basa en la determinación de las derivadas de concentración con respecto al tiempo usando las fórmulas de diferencias finitas, lo cual linealiza los datos modelando correctamente los parámetros cinéticos. En las figuras 73-76 se observa la linealización de los datos a cada temperatura y en la tabla 34 los parámetros cinéticos determinados por el método de diferencias finitas, la linealización de los datos a la temperatura de 20°C es  $R^2=0,0448$ , a 30°C  $R^2=0,2272$ , a 40°C  $R^2=0,154$  y a 50°C  $R^2=0,1386$ , los parámetros cinéticos determinados por el método de diferencias finitas no modelan correctamente el proceso de lavado para la determinación de los

parámetros cinéticos debido a la presencia de crestas y valles en la linealización con  $r^2$  menor al 0,5 los cuales representan errores considerables en el ajuste lineal y por consiguiente en la determinación de los parámetros.

## MÉTODO INTEGRAL

Método		Parámetro	Temperatura(°C)			
			20	30	40	50
Integral	orden 0	n	0,0	0,0	0,0	0,0
		k	2,0,E-06	4,0,E-06	5,0,E-06	6,0,E-06
	orden 1	n	1,00	1,00	1,00	1,00
		k	6,0,E-03	1,3,E-02	1,7,E-02	2,3,E-02
	orden 2	n	2,00	2,00	2,00	2,00
		k	17,141	46,253	63,342	101,500
	orden 3	n	3,00	3,00	3,00	3,00
		k	9,9,E+04	3,3,E+05	4,8,E+05	9,3,E+05
	orden n	n	1,1,E+00	7,7,E-01	3,9,E-01	2,7,E-01
		k	1,9,E-02	2,5,E-03	2,4,E-04	5,1,E-05

Tabla 35. Parametros cinéticos proceso de lavado por el método integral (orden 0,1,2,3,n) a las temperaturas estudiadas.

## MÉTODO INTEGRAL A 20°C

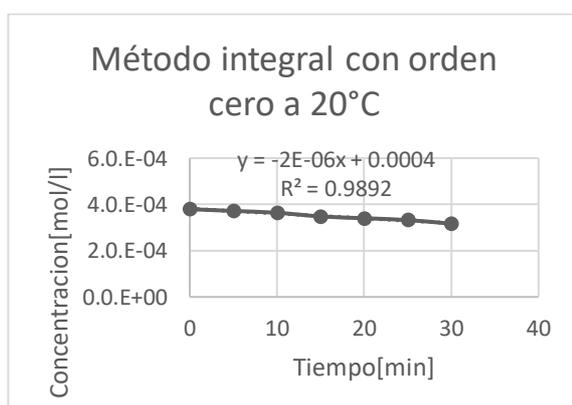


Figura 77. Determinación de los parámetros cinéticos proceso de lavado por el método integral orden cero a 20°C

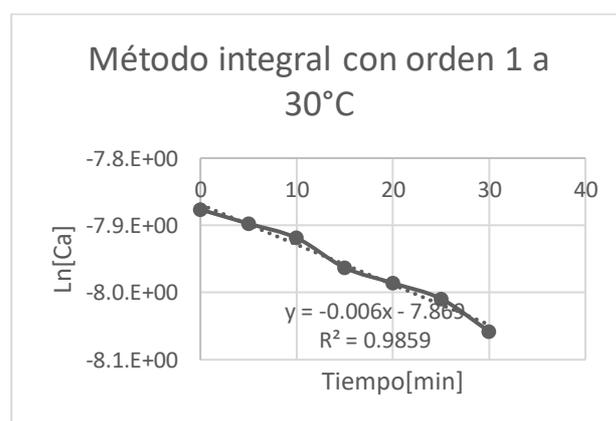


Figura 76. Determinación de los parámetros cinéticos proceso de lavado por el método integral orden 1 a 20°C

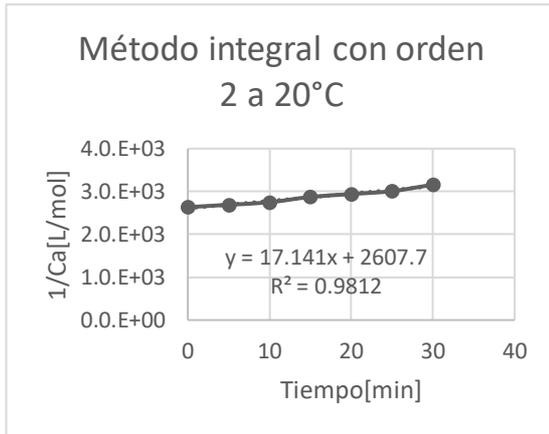


Figura 78 Determinación de los parámetros cinéticos proceso de lavado por el método integral orden 2 a 20°C

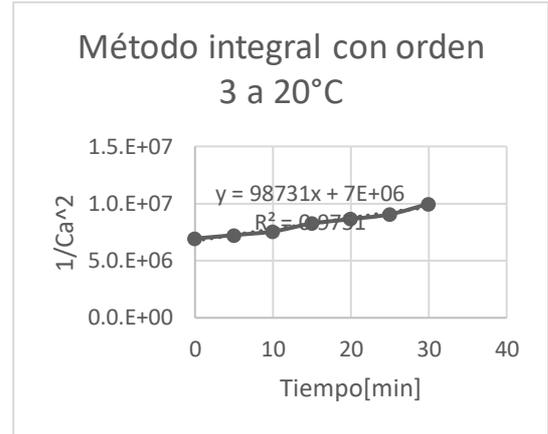


Figura 79. Determinación de los parámetros cinéticos proceso de lavado por el método integral orden 3 a 20°C

La determinación de los parámetros cinéticos por medio del método integral a 20°C suponiendo un orden de reacción (0,1,2,3) y determinando el valor de la constante cinética presenta una linealidad considerablemente alta, en las figuras 77-79 y la tabla 35 se observan las linealizaciones de los datos del proceso y los parámetros cinéticos por el método integral orden (0,1,2,3), el orden 0  $R^2=0,9892$ , orden 1  $R^2=0,9859$ , orden 2  $R^2=0,9812$  y orden 3  $R^2=0,9751$ , la linealidad para los cuatro ordenes de reacción es cercana.

Sin embargo a mayor linealidad menor error en la determinación de los parámetros por esta razón se toman los datos con mayor ajuste lineal para la determinación de los parámetros cinéticos los cuales son orden 0 y orden 1, sin embargo al no presentar una diferencia significativa en la linealidad entre ellos significa que el orden de reacción para el proceso de lavado a 20°C estaría entre el rango de 0 y 1 por lo cual se determina el orden de reacción y la constante cinética por el método integral orden n.

## MÉTODO INTEGRAL A 30°C

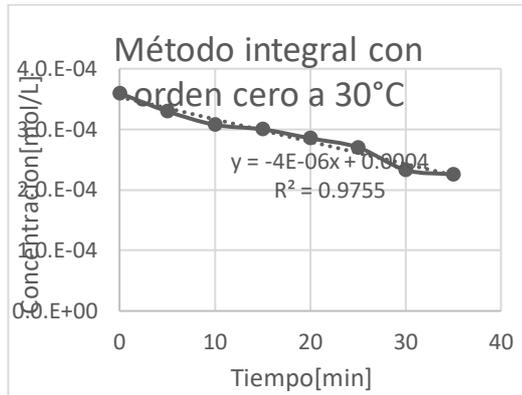


Figura 80. Determinación de los parámetros cinéticos proceso de lavado por el método integral orden cero a 30°C

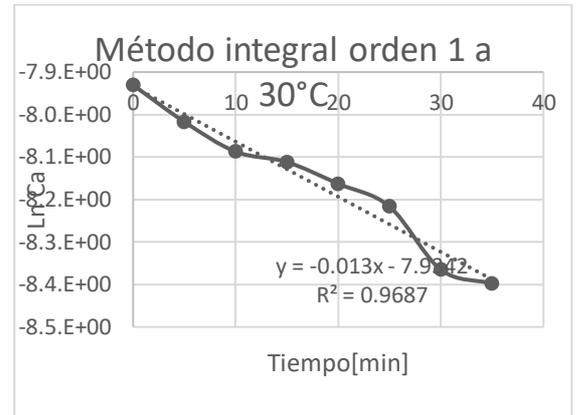


Figura 81. Determinación de los parámetros cinéticos proceso de lavado por el método integral orden 1 a 30°C

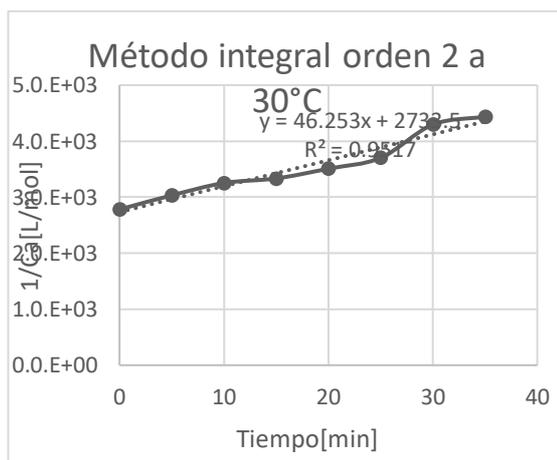


Figura 82. Determinación de los parámetros cinéticos proceso de lavado por el método integral orden 2 a 30°C

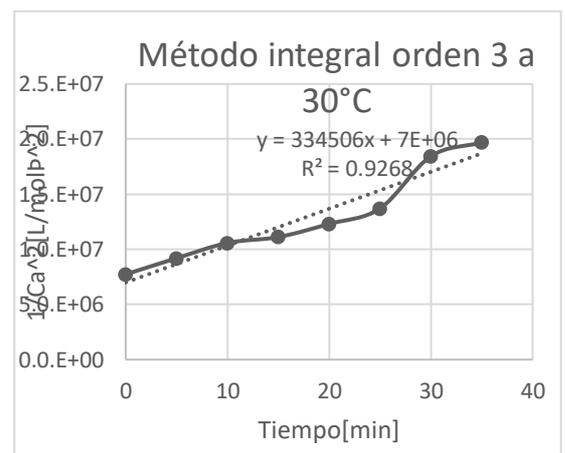


Figura 83. Determinación de los parámetros cinéticos proceso de lavado por el método integral orden 3 a 30°C

La determinación de los parámetros cinéticos por medio del método integral a 30°C suponiendo un orden de reacción (0,1,2,3) y determinando el valor de la constante cinética presenta una linealidad considerablemente alta, en las figuras 80-83 y la tabla 35 se observan las linealizaciones de los datos del proceso y los parámetros cinéticos por el método integral orden (0,1,2,3), el orden 0  $R^2=0,9755$ , orden 1  $R^2=0,9687$ , orden 2  $R^2=0,9617$  y orden 3  $R^2=0,9268$ , la linealidad para los cuatro órdenes de reacción es cercana, sin embargo a mayor linealidad menor error en la determinación de los parámetros por esta razón se

toman los datos con mayor ajuste lineal para la determinación de los parámetros cinéticos los cuales son orden 0 y orden 1, sin embargo al no presentar una diferencia significativa en la linealidad entre ellos significa que el orden de reacción para el proceso de lavado a 30°C estaría entre el rango de 0 y 1 por lo cual se determina el orden de reacción y la constante cinética por el método integral orden n.

### MÉTODO INTEGRAL A 40°C.

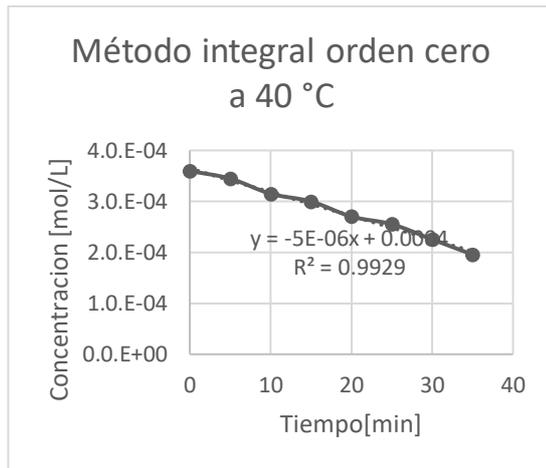


Figura 84. Determinación de los parámetros cinéticos proceso de lavado por el método integral orden cero a 40°C

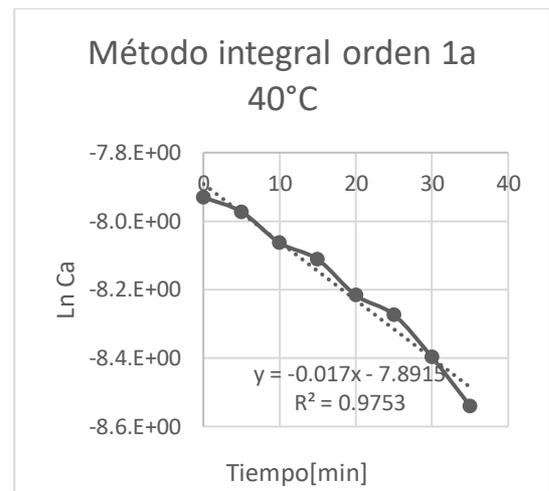


Figura 85. Determinación de los parámetros cinéticos proceso de lavado por el método integral orden 1 a 40°C

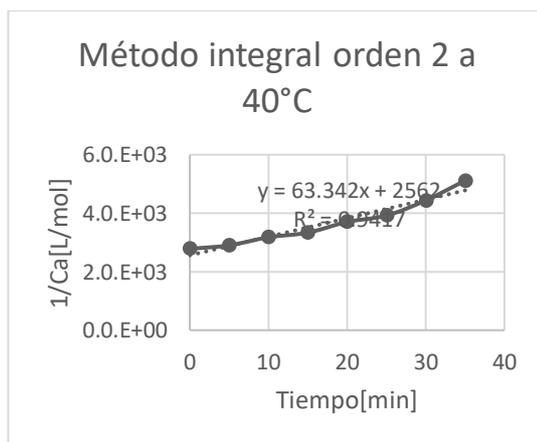


Figura 86. Determinación de los parámetros cinéticos proceso de lavado por el método integral orden 2 a 40°C

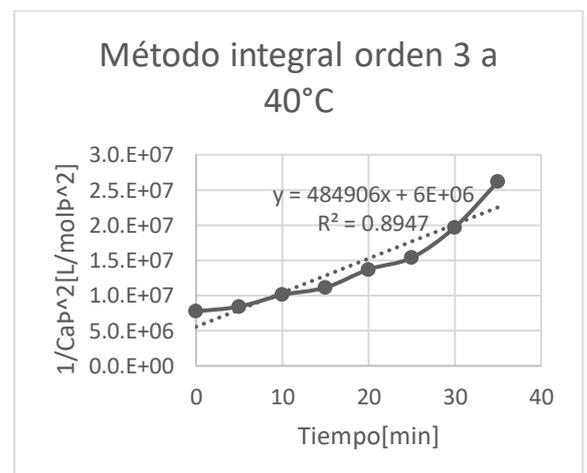


Figura 87. Determinación de los parámetros cinéticos proceso de lavado por el método integral orden 3 a 40°C

La determinación de los parámetros cinéticos por medio del método integral a 40°C suponiendo un orden de reacción(0,1,2,3) y determinando el valor de la constante cinética presenta una linealidad considerablemente alta ,en las figuras 84-87 y la tabla 35 se observan las linealizaciones de los datos del proceso y los parámetros cinéticos por el método integral orden (0,1,2,3) ,el orden 0  $R^2=0,9929$ ,orden 1  $R^2=0,9753$  ,orden 2  $R^2=0,9417$  y orden 3  $R^2=0,8947$ ,la linealidad para los cuatros ordenes de reacción es cercana ,sin embargo a mayor linealidad menor error en la determinación de los parámetros por esta razón se toman los datos con mayor ajuste lineal para la determinación de los parámetros cinéticos los cuales son orden 0 y orden 1,sin embargo al no presentar una diferencia significativa en la linealidad entre ellos significa que el orden de reacción para el proceso de lavado a 40°C estaría entre el rango de 0 y 1 por lo cual se determina el orden de reacción y la constante cinética por el método integral orden n.

#### MÉTODO INTEGRAL A 50 °C

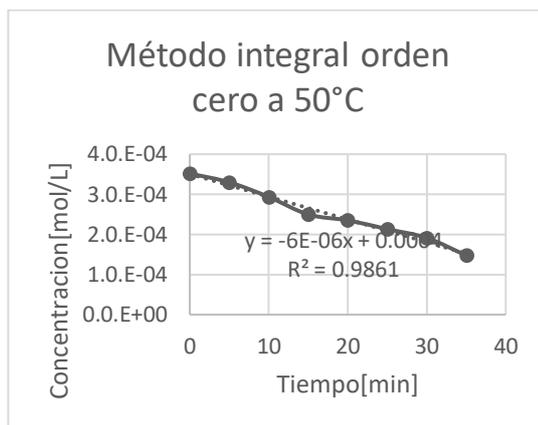


Figura 88. Determinación de los parámetros cinéticos proceso de lavado por el método integral orden cero a 50°C

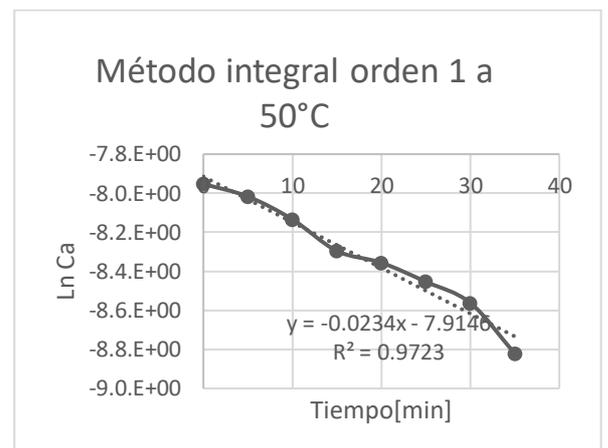


Figura 89. Determinación de los parámetros cinéticos proceso de lavado por el método integral orden 1 a 50°C

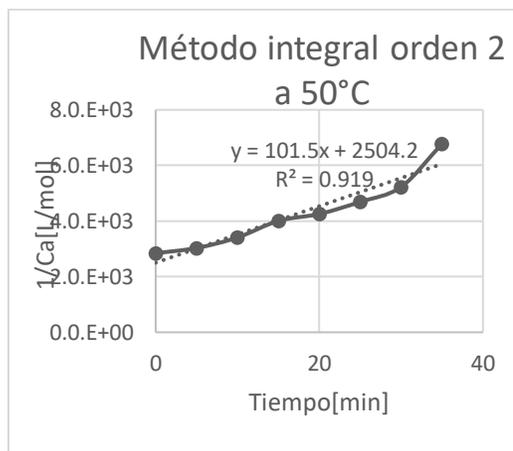


Figura 90. Determinación de los parámetros cinéticos proceso de lavado por el método integral orden 2 a 50°C

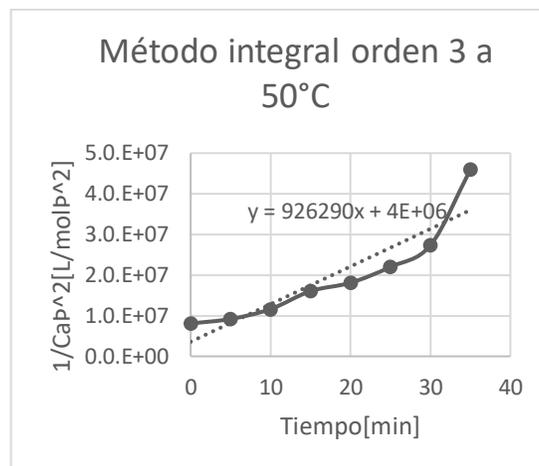


Figura 91. Determinación de los parámetros cinéticos proceso de lavado por el método integral orden 3 a 50.

La determinación de los parámetros cinéticos por medio del método integral a 50°C suponiendo un orden de reacción (0,1,2,3) y determinando el valor de la constante cinética presenta una linealidad considerablemente alta, en las figuras 88-91 y la tabla 35 se observan las realizaciones de los datos del proceso y los parámetros cinéticos por el método integral orden (0,1,2,3), el orden 0  $R^2=0,9929$ , orden 1  $R^2=0,9723$ , orden 2  $R^2=0,919$  y orden 3  $R^2=0,8346$ , la linealidad para los cuatro ordenes de reacción es cercana, sin embargo a mayor linealidad menor error en la determinación de los parámetros por esta razón se toman los datos con mayor ajuste lineal para la determinación de los parámetros cinéticos los cuales son orden 0 y orden 1, sin embargo al no presentar una diferencia significativa en la linealidad entre ellos significa que el orden de reacción para el proceso de lavado a 50°C estaría entre el rango de 0 y 1 por lo cual se determina el orden de reacción y la constante cinética por el método integral orden n.

La determinación de los parámetros cinéticos en el proceso de lavado con detergente natural se realizó suponiendo los valores del orden de reacción y la constante cinética. El orden de reacción se supuso en un valor intermedio entre 0 y 1, la constante cinética se supuso en base a la determinación de esta por el método integral en orden 0 y 1 tomando en cuenta tres valores, el primer valor es una constante cinética cercana a la obtenida para el orden cero, el segundo valor es una constante cinética intermedia entre las obtenidas para orden 0 y 1, el tercero un valor cercano a la constante cinética determinada para el orden 1 y promediando

los valores obtenidos en cada ensayo se determinan los parámetros cinéticos para el proceso de lavado a cada temperatura estudiada referenciados en la tabla 36.

Parámetro	Valor 1	Valor 2	Valor 3	Valor promedio
20				
<b>n</b>	1,2776	0,9875	0,9434	1,0695
<b>k</b>	0,0500	0,0039	0,0035	0,0191
30				
<b>n</b>	0,6321	0,8243	0,8445	0,7669
<b>k</b>	0,0007	0,0032	0,0037	0,0025
40				
<b>n</b>	0,2580	0,3106	0,6098	0,3928
<b>k</b>	3,64,E-05	5,61,E-05	6,42,E-04	2,45,E-04
50				
<b>n</b>	0,2654	0,2599	0,2741	0,2665
<b>k</b>	5,10,E-05	4,86,E-05	5,48,E-05	5,15,E-05

Tabla 36. Determinación de los parámetros cinéticos proceso de lavado por el método integral orden  $n$ .

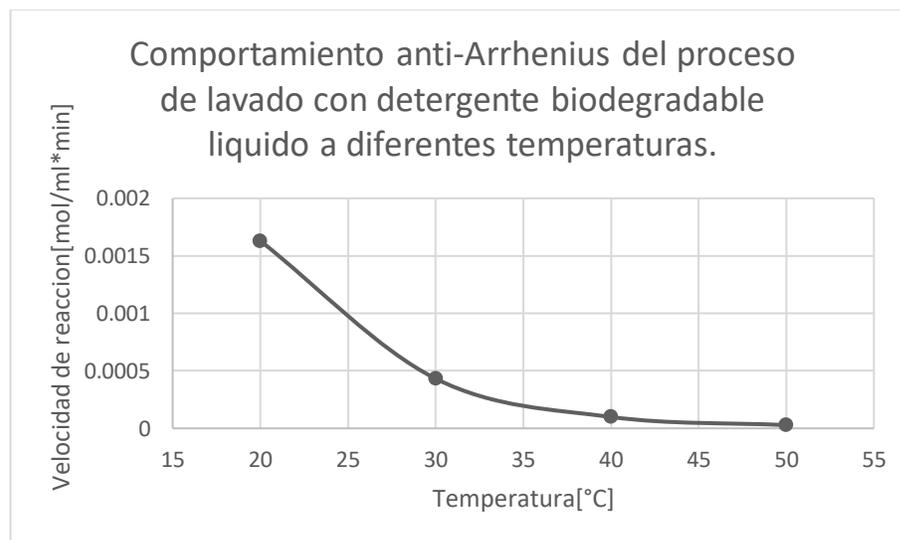


Figura 92. Comportamiento anti-Arrhenius del proceso de lavado con detergente ecológico líquido a las temperaturas estudiadas

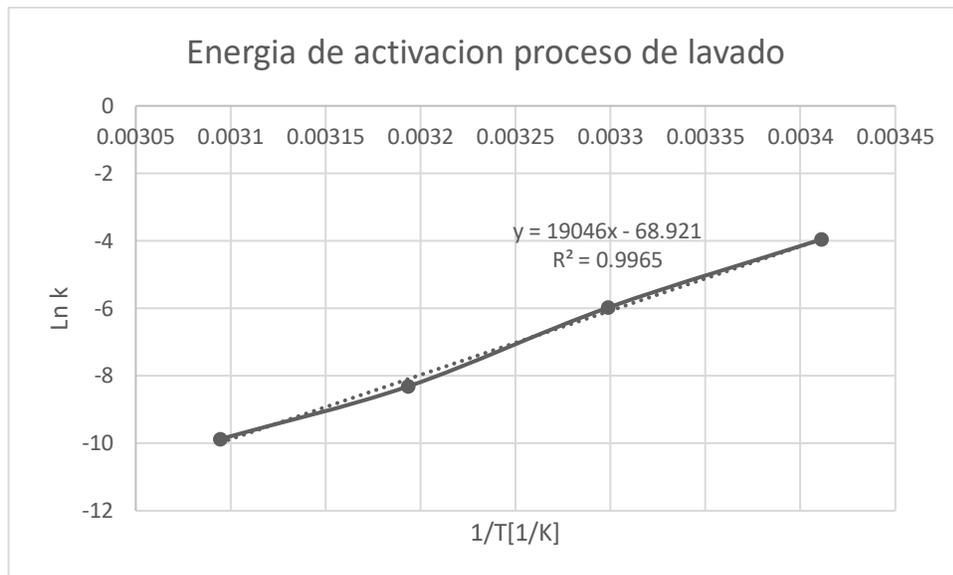


Figura 93. Energía de activación proceso de lavado con detergente natural.

$E_a = 158356,0624 \text{ J/mol}$ .

$A = 1,16947E-30$

$$K = 1,16947E - 30 * e^{\frac{158356.0624}{RT}}$$

Ecuación 38. Ecuación de Arrhenius.

$E_a$  = energía de activación de la reacción (**J/mol**)

R = Constante de los gases: **8,314 J/mol.K**

T = Temperatura (**en K**)

e = Base de los logaritmos naturales

A = Factor de frecuencia (Número que representa el número de colisiones)

La energía de activación del proceso de lavado en las temperaturas estudiadas es 158,356 KJ/mol, el factor de frecuencia es de  $1,16947E-30$  los choques y orientación entre las moléculas es del orden de  $10^{-30}$ , por lo cual el proceso de lavado requiere de una fuerza extra como lo es una adición de calor y agitación constante para aumentar la temperatura de esta manera la solubilidad aumenta, aumentando el contacto entre las fases y permitiendo una mayor interacción entre la suciedad y las micela formadas por el detergente y el agua para aumentar la remoción de la suciedad.

El proceso de lavado con detergente natural a 20°C es presenta un orden de reacción de 1,0695 y una constante cinética de 0,019135 ml/mol\*min, con una eficiencia de remoción del 16,58% (ver tabla 31), al aumentar la temperatura hasta 30°C en el orden de reacción disminuye a 0,7669 con una constante cinética de 0,002528 ml/mol\*min, a 40°C el orden de reacción y la conste cinética disminuyen a 0,3927 y 0,0002447 ml/mol\*min respectivamente ,al disminuir la temperatura hasta 50°C el orden de reacción disminuye hasta 0,2665 y la constante cinética a 5,14972E-05 ml/mol\*min.

la disminución del orden de reacción, disminución de la constante cinética y aumento de la eficiencia de remoción de la suciedad al aumentar la temperatura al aumentar la temperatura las partículas de suciedad son más débiles y la acción detergente del agente limpiador aumenta ,a medida que la temperatura aumenta la facilidad de remoción aumenta lo cual hace que la dependencia de la cinética de lavado sea menor debido a la menor resistencia de la suciedad a ser removida, al aumentar la temperatura la viscosidad de los aceites(suciedad)disminuye lo cual mejora la capacidad de limpieza del detergente ,el proceso de lavado con detergente natural presenta un comportamiento anti-arrenhius debido a que la velocidad de reacción disminuye al aumentar la temperatura como se ilustra en la figura 92.sin embargo la eficiencia de remoción aumenta al aumentar la temperatura.

Al aumentar la temperatura aumenta la solubilidad del aceite en el agua lo cual favorece el proceso de remoción Ignacio regla <sup>48</sup>,si en una reacción actúan reactivos en diferentes fases el área de contacto es menor y su rapidez es menor ,en cambio si el área de contacto es mayor la rapidez es mayor, a medida que aumenta la temperatura en el proceso de lavado la solubilidad aumenta ,el área de contacto aumenta y por tanto se presenta un aumento en la remoción de la suciedad debida a la reducción de la resistencia al transporte ,la constante cinética del proceso disminuye al aumentar la temperatura debido a que al aumentar la temperatura ,aumentar la solubilidad.

El proceso de lavado presenta una variación de la dependencia de la velocidad de reacción con respecto a la concentración, a medida que aumenta la temperatura la dependencia de la concentración disminuye debido al aumento de la solubilidad, al presentar un área de contacto mayor facilita el proceso de remoción.

Al presentar un mayor gradiente de concentración consecuencia de la mezcla heterogénea entre agua-detergente-suciedad, el proceso de remoción se hace más rápido ,al aumentar la temperatura la mezcla se homogeniza lo cual reduce la resistencia de remoción debido a la disminución dela viscosidad y la adhesión de las partículas de suciedad ,facilitando la acción micelar al atrapar mejor la suciedad, al disminuir el gradiente de concentración debido a la mezcla homogénea el proceso de remoción se hace más lento sin embrago aumenta el porcentaje de remoción.

La solubilización de los ácidos grasos en el agua de lavado por acción de los tensoactivos, se debe a la concentración del tensoactivo, esta concentración es mayor a la concentración crítica micelar 0,2 g/ml (ver tabla 29), la concentración crítica micelar representa una disminución en la tensión superficial la cual permite la solubilización de la mezcla, el agua al disminuir la tensión superficial permite la humificación de la superficie a lavar y la formación de micelas las cadenas hidrofóbicas se unen a las partículas de grasa mientras que las cabezas hidrofílicas se proyectan hacia el agua originándose una emulsión de aceite en agua (suspensión de las partículas de aceite en el agua) lo cual permite la liberación de las partículas de suciedad de la superficie (Ignacio Regla)<sup>48</sup>.

En el estudio realizado por Deisi Almaties Vaz<sup>2</sup> sobre la influencia de la temperatura en la formulación de detergentes en la cual comparan diferentes detergentes como el Findert y el Glocon los cuales al presentar un aumento en la temperatura presentan un aumento en la detergencia y una disminución en la constante cinética (efecto anti-Arrhenius).

La capacidad de detergencia del detergente natural producido en esta investigación se debe principalmente a la acción del agente tensoactivo (jabón) el cual al superar la concentración crítica micelar disminuye la tensión superficial del agua permitiendo la solubilización del aceite en el agua, las micelas atrapan las moléculas grasas removiendo la suciedad, un aumento en la temperatura del sistema representa un aumento en la solubilidad de los ácidos grasos en el agua lo cual en conjunto con la agitación constante permite la debilitación de la suciedad en la superficie facilitando el proceso de remoción, los parámetros cinéticos (orden de reacción y constante cinética) disminuyen al aumentar la temperatura presentando una modelación correcta en un comportamiento anti-Arrhenius con respecto a la temperatura. Fogler<sup>38</sup>

La disminución de la constante cinética debida a un aumento de la temperatura en el proceso de lavado, representa un aumento en la detergencia de la suciedad, al aumentar la temperatura la energía cinética aumenta generando un elevación de los choques efectivos en el sistema de lavado (teoría Arrhenius), en un proceso anti-Arrhenius un aumento de la temperatura disminuye la velocidad de reacción lo cual genera una disminución de los choques efectivos aumentando el tiempo de reacción sin afectar de manera directa la eficiencia de detergencia, debido a que la agitación mecánica en el proceso de lavado con detergentes compensa la disminución de la velocidad de reacción, el proceso de limpieza se realiza con mayor tiempo sin embargo las micelas con mayor tiempo para atrapar la suciedad antes de realizar el proceso de aclarado aumentando la eficiencia de limpieza.

La capacidad de limpieza del detergente ecológico elaborado en esta investigación a 50°C con un valor de detergencia del 58% con respecto a detergentes convencionales mencionados en la tabla 37<sup>49</sup> está situada entre los valores de

detergencias de los productos de limpieza Don limpio y Ajax, siendo Cilit Bang el detergente con mayor capacidad de detergencia.

<b>Detergente</b>	<b>Capacidad de detergencia (%)</b>
<b>Cillit Bang</b>	66
<b>Don limpio</b>	59
<b>Ajax</b>	57
<b>Tenn</b>	57
<b>Estrella</b>	36
<b>Vim</b>	36
<b>Brillax</b>	8

Tabla 37.Capacidad de detergencia de algunos detergentes convencionales.<sup>49</sup>

El detergente ecológico presenta una diferencia del 12,1212% con respecto al detergente Cilit Bang, un 1,6949 con respecto al detergente Don limpio y un 1,7544 con respecto al detergente Ajax, en base a lo anterior el detergente ecológico elaborado a partir de aceites de coco y aguacate presenta una capacidad de detergencia satisfactoria en la remoción de la suciedad.

## CONCLUSIONES

El jabón ecológico como tensoactivo aniónico en la elaboración de un detergente líquido natural presenta una efectividad del 58.0500% a 50°C.

El efecto de la temperatura en la velocidad de lavado es modelado por el efecto anti-Arrhenius, en el cual la disminución de la velocidad de reacción y aumento de la eficiencia de remoción es consecuencia del aumento de la temperatura, debido al aumento de la solubilidad del aceite en el agua y la agitación mecánica las cuales debilitan las fuerzas de adhesión de la suciedad (Ácidos grasos principalmente) en la superficie a limpiar.

El jabón ecológico líquido a base de aceites de coco y aguacate es un tensoactivo anionico eficiente, el cual al ser usado para la elaboración de detergentes líquidos naturales presenta eficiencias de lavado mayores al 50% a una temperatura de 50°C.

El detergente ecológico líquido presenta un aumento de la eficiencia de remoción al aumentar la temperatura, sin embargo, la velocidad de reacción disminuye, lo cual representa una disminución en el tiempo de reacción en el cual las micelas limpian a profundidad la superficie.

La concentración crítica micelar del detergente ecológico para el proceso de lavado es de 0,2 g/ml, lo cual permite una cantidad pequeña de producto limpiador usando en la limpieza disminuyendo la afectación al medio ambiente debido a la mayor desaparición del tensoactivo por su baja cantidad en el cuerpo de agua.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Campuzano, Silvia; Camacho, Judith Elena; Álvarez, Alicia Caracterización del desecho tóxico producido en PYMES que fabrican detergentes Gestión y Ambiente, vol. 9, núm. 1, 2006, pp. 77-88 Universidad Nacional de Colombia Medellín. Medellín. APELLIDO, Nombre. Título. Ciudad, año, páginas. Trabajo de grado (título).  
Universidad. Facultad. Departamento.
2. Deisi Altmajer. Formulación de detergentes ecológicos. Pág. (21-80-233).  
Formulación de detergentes ecológicos: Ensayos de lavado. Universidad de Granada. Granada.
3. Contaminación del agua por detergentes (eutrofización). Fondo para la comunicación y la educación ambiental. 8 de nov del 2017. 22 de febrero del 2019. Pág. (2-4). D
4. Miriam Janet Gil. Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. Produccion+limpia. diciembre 2012. Vol7. pág. (57-63) 21 de febrero del 2019.
5. Castiglioni, M. Efecto de un detergente ecológico en el agua en la producción de daphnia magna. Te biólogos(Lima) Vol.8. Enero-junio 2010. Pág. (42-45).
6. Torres Ortega. Bio-Detergente derivado de aceite usado de fritura Bio-Detergent oil derivative used frying Publicaciones e Investigación. Volumen 5. agosto 2011 Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Universidad de La Salle. Bogotá, Colombia.
7. Micelas. Issa Katime. Revista Iberoamericana de Polímeros Volumen 4(2), abril de 2003. Pág (1-15). Estados Unidos.
8. Elaboración de un detergente líquido. José Carrillo. Universidad de los Andes. Venezuela-Merida. 2012
9. Broze, G (1999). "Handbook of detergents. Part D: Formulation". Marcel Dekker Inc. Nueva York, Estados Unidos.
10. Porter, M (2002). "Handbook of surfactants". Blackie Academic & Professional. Londres, Inglaterra.

11. Othmer, Kirk (1963). "Enciclopedia De Tecnología Química, Revestimiento Industriales-Telurio Y Sus Componentes". Editorial Hispano-América. México.
12. Morrinson, R (1998). "Química orgánica", Editorial Pearson. México
13. CAREY, Francis (1999)." Química Orgánica", Editorial Mcgraw-Hill, Madrid, España, 3ra Ed.
14. Ullmann, Fritz (1951)." Enciclopedia de química industrial". Tomo XI. Editorial Gustavo Gili. 2da ed. Barcelona – España.
15. Determinación del perfil del cliente de la eco bola en la ciudad de Bogotá. Lina María Varela Galindo Tatiana Paola Suarez Garces. 2010.Pag 17-18. Pontificia universidad javeriana. Bogotá
16. Impacto ambiental. Jabones y detergentes. Disponible en la Word Wide Web: [http://jabonesydetergentes.tripod.com/Impacto\\_Ambiental.htm](http://jabonesydetergentes.tripod.com/Impacto_Ambiental.htm) Consultado el 27 de septiembre de 2009.
17. Seoanez Clavo, Mariano, Manual de contaminación marina y restauración del litoral, P. 183-184
18. Seoanez Clavo Mariano, Manual de contaminación marina y restauración del litoral, Pág. 141
19. Anne Marie Helmenstine, Ph.D. (03 de octubre de 2017). Saponification Definition and Reaction. Recuperado el 24 de abril de 2018, de: [thoughtco.com](http://thoughtco.com)  
Francis A. Carey. Química Orgánica. Ácidos carboxílicos. (sexta edición., pág 863-866). Mc Graw Hill.
20. Graham Solomons T.W., Craig B. Fryhle. Organic Chemistry. Lipids (10th edition., pag 1056-1058). Wiley Plus.  
Wikipedia. (2018). Saponification. Recuperado el 24 de abril de 2018, de: [en.wikipedia.org](http://en.wikipedia.org)
21. Boyd C. (27 de febrero de 2015). Understand the chemistry and history of soap. Recuperado el 24 de abril de 2018, de: [chemservice.com](http://chemservice.com)  
Luca Laghi. (27 de marzo de 2007). Saponification. Recuperado el 24 de abril de 2018, de: [commons.wikimedia.org](http://commons.wikimedia.org)
22. Amanda Crochet. (12 de mayo de 2015). Micelle (grayscale). Recuperado el 24 de abril de 2018, de: [commons.wikimedia.org](http://commons.wikimedia.org)

23. Carmen E. Guerrero González. Diseño de una planta de fabricación de jabón a partir de aceites vegetales usados. Pág. (17-29). 21 de febrero del 2019. Universidad de Almería
24. Extracción de aceite de Coco (Cocos nuciferas) como estrategias de aprovechamiento de los productos locales de Mitú. Por: Claudia Patricia Dasilva Rodriguez. Vaupés innova · febrero 2017. 83-87.
25. Diseño del proceso: Pretratamiento enzimático para extracción de aceites vegetales en un extractor de columna. Florencia Verónica Grasso Tesis presentada para el grado de DOCTOR en INGENIERÍA Departamento de Ingeniería Química Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de La Plata 2013
26. Rivera Hernández, J. Rosario; Lomelí Soto, Juana María; Román Salinas, Lorena; Vera Figueroa, Francisco Extracción de aceite de coco a partir de la copra por medio de disolventes químicos Conciencia Tecnológica, núm. 17, 2001 Instituto Tecnológico de Aguascalientes Aguascalientes, México.
27. Bartoli, J. A. (2008). Manual técnico del cultivo de Aguacate Hass. Fundación Hondureña de investigación, Honduras.
28. Agronet (2013). Sistema de estadísticas agropecuarias. En línea, en agronet, [[http://www.agronet.gov.co/agronetweb1/Esta\\_d%C3%ADsticas.aspx](http://www.agronet.gov.co/agronetweb1/Esta_d%C3%ADsticas.aspx)], consultado en 2014-02-2.
29. Sandoval Aldana, A., F. Forero Longas, J. García Lozano (2010). Pos cosecha y transformación de aguacate: Agroindustria rural innovadora. Corporación Colombia de investigación agropecuaria, CORPOICA, Colombia
30. extracción de aceite de aguacate variedad has liofilizado por prensado en frio. Angélica M serpa. revista de investigaciones aplicadas ISSN2011-0413. volumen 8 numero 2. pagina 4.
31. Reducción de la metanogénesis ruminal *in vitro* con aceites vegetales de *Thevetia peruviana* y *Persea americana*. Karlos Edmundo Orozco-Durá Ecosistemas y recursos agropecuarios. Vol3 numero 9. 2019. pag 3. Disponible en línea en :[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-90282016000300335](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282016000300335)
- 32 Vol. 43 Fase. 1 (1992) 11 Extracción de aceite de aguacate: Un experimento industrial Por L. Martínez Nieto\* (1), R. Barranco Barranco (2) y M-. V. Moreno Romero (1). (1) Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Granada. Campus Universitario de Fuentenueva s/n. 18071 - GRANADA. (2) Destilaciones García de la Fuente. S.A. (D.G.F.). GRANADA.

33. Buelvas Salgado, G. A.; Patiño Gómez, J. H.; Cano-Salazar, J. A. Evaluación del proceso de extracción de aceite de aguacate hass (*Persea americana* Mill) utilizando tratamiento enzimático *Revista Lasallista de Investigación*, vol. 9, núm. 2, julio-diciembre, 2012, pp. 138-150 Corporación Universitaria Lasallista Antioquia, Colombia *REVISTA Lasallista de investigación - Vol. 9 No. 2 - 2012 - G. A. Buelvas et al - 138•150*
34. Ma. Elena Jiménez. (2001) Propiedades físicas y químicas del aceite de aguacate obtenido de puré deshidratado por microondas. vol 45. *Rev. Soc. Quím. Méx*[online]. 2001, vol.45, n.2, pp.89-92. ISSN 0583-7693.
35. Okene E.O., Evbuomwan, B. O. (2014). Solvent Extraction and Characterization of Oil from Coconut Seed Using Alternative Solvents *International Journal of Engineering and Technical Research*, Vol. 2(12), p 45
36. Oti Wilberforce J.O and Eze – Ilochi Nkechinyere Olivia .(2017). Extraction and Characterization of Oil from Melon and Coconut Seeds. vol 6. pg 9-10.
37. Akoh, C. C. and Nwosu, C.V. (1992). Fatty Acid Composition of Melon Seed Oil Lipids and Phospholipids, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, vol. 69, pp 314-317. Coco.
38. Fogler, H. S. (2008). *Elementos de Ingeniería de las Reacciones Químicas* (4a. ed. , 4a. reimp). México: Pearson Educación.
39. Ciens. Ucv. Análisis de grasas y aceites: índice de refracción, iodo, saponificación y peróxido. Pág (1-6). Disponible en línea en: <http://www.ciens.ucv.ve:8080/generador/sites/mmedina/archivos/Practica.13>.
40. Melinda Coss . El Libro del Jabón Artesanal. Edición 1. Paidotribo. Pág (5-82). 21 de febrero del 2019.
41. José Carrillo. Elaboración de detergente lavaplatos líquido. Pág (22-35). 20 de febrero del 2019. Disponibilidad en línea en : <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/marquezronald/wp-content/uploads/PROYECTO-DETERMER.pdf>.
- 42,[14]. Andrés Sánchez H. 1. Algunas aplicaciones de oleoquímica en jabones y detergentes. *PALMAS - Vol. 25 No. Especial, Tomo I*, 2004.
- 43,[15]. Ecototal Detergentes ecológicos – Detergentes convencionales. Pág(1-6). 21 de febrero del 2019. Disponible en línea en: <https://www.ecototal.com/detergentes-ecologicos/>

44 . UPC. Optimización y síntesis de las condiciones de aplicación de un jabón para eliminar barnices damar y mastique. Pág. (10-40). 2009.  
resultados

45. Physical Properties of fats and Oils.Densidad del aceite de coco.Pag 10  
Disponble en línea en  
:[http://www.dgfett.de/material/physikalische\\_eigenschaften.pdf](http://www.dgfett.de/material/physikalische_eigenschaften.pdf) pag 10.

46.Ascensión Sanz Tejedor..Química industrial.(8 de mayo del 2019).Pag 1-14.Disponible en línea en :<https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-02.php>

47. UPC. Optimización y síntesis de las condiciones de aplicación de un jabón para eliminar barnices damar y mastique. Pág. (10-40). 2009.

48.Ignacion regla. La química el jabón y algunas aplicaciones. 1 de mayo de 2014 vol.15, No.5 1 de mayo de 2014 vol.15, No.5.universidad autónoma de México

49.Limpia hogares domesticos. Unos de los mas caros apenas limpian. EROSKI consumer.1 nov 2017.pag (47-51).

50. Manual de instrucciones PCE-Oe. C/ Mayor, 53 – Bajo 02500 – Tobarra Albacete – España. Disponible en línea en :[info@pce-iberica.es](mailto:info@pce-iberica.es) [www.pce-iberica.es](http://www.pce-iberica.es)