Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Química e Ingeniería Química
Escuela Profesional de Ingeniería Química

Estudio de la velocidad de reacción de una muestra de aceite de soja en función de la temperatura, la concentración de KOH y la velocidad de agitación de la mezcla de reactantes

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico

AUTORES

Jair Martín Joshue ZAVALA ROJAS

Cristian Abel BACA OCHOA

ASESOR

Mg. Leoncio REYNA MARIÑAS

Lima, Perú

2024



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Zavala, J. & Baca, C. (2024). *Estudio de la velocidad de reacción de una muestra de aceite de soja en función de la temperatura, la concentración de KOH y la velocidad de agitación de la mezcla de reactantes*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Química e Ingeniería Química, Escuela Profesional de Ingeniería Química]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor 1	
Nombres y apellidos	Jair Martín Joshue Zavala Rojas
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	77151724
Datos de autor 2	
Nombres y apellidos	Cristian Abel Baca Ochoa
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	72314080
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Leoncio Reyna Mariñas
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	06020987
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-3700-8703
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Juan Edmundo Estrada Alarcón
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06810008
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Manuel Jesús Luna Hernández
Tipo de documento	DNI

Número de documento de identidad	06897800
Datos de investigación	
Línea de investigación	No aplica.
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: Escuela de Ingeniería de Agroindustrial de la UNMSM País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: San Juan de Lurigancho Calle: Av. Fernando Wiesse 4756 Latitud: -11.966453 Longitud: -77.000781
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Febrero 2024 - agosto 2024 2024
URL de disciplinas OCDE	Química Física https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.04.03

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)
FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA
Central Telefónica: 619-7000

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los suscritos miembros del Jurado Calificador nombrados por el señor Presidente del Comité Ejecutivo del "II Programa Ciclo Taller de Titulación Profesional por la Modalidad de Tesis y Trabajo de Suficiencia Profesional para la Facultad de Química e Ingeniería Química 2024-I", bajo la Presidencia del **Mg. JUAN EDMUNDO ESTRADA ALARCÓN;** el **Mg. MANUEL JESÚS LUNA HERNÁNDEZ Miembro)** y el **Mg. LEONCIO REYNA MARIÑAS (Asesor);** habiendo presentado para tal efecto la **TESIS,** titulada **"Estudio de la velocidad de reacción de una muestra de aceite de soja en función de la temperatura, la concentración de KOH y la velocidad de agitación de la mezcla de reactantes"**después de **SUSTENTADA Y APROBADA** la tesis elaborado por el bachiller en Ingeniería Química: **BACA OCHOA, CRISTIAN ABEL;** para optar el **TÍTULO PROFESIONAL** de **INGENIERO QUÍMICO,** acordaron calificarlo con la **NOTA** de:

DIECISIETE 17
(LETRAS) (NÚMEROS)

Ciudad Universitaria, 17 de agosto del 2024

Mg. JUAN EDMUNDO ESTRADA ALARCÓN
Presidente

Mg. MANUEL JESÚS LUNA HERNÁNDEZ
Miembro

Mg. LEONCIO REYNA MARIÑAS
Asesor

Dr. RUBEN ALFREDO PALOMINO INFANTE
Director de la E.P. de Ingeniería Química

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)
FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA
Central Telefónica: 619-7000

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los suscritos miembros del Jurado Calificador nombrados por el señor Presidente del Comité Ejecutivo del "II Programa Ciclo Taller de Titulación Profesional por la Modalidad de Tesis y Trabajo de Suficiencia Profesional para la Facultad de Química e Ingeniería Química 2024-I", bajo la Presidencia del **Mg. JUAN EDMUNDO ESTRADA ALARCÓN;** el **Mg. MANUEL JESÚS LUNA HERNÁNDEZ Miembro)** y el **Mg. LEONCIO REYNA MARIÑAS (Asesor);** habiendo presentado para tal efecto la **TESIS,** titulada **"Estudio de la velocidad de reacción de una muestra de aceite de soja en función de la temperatura, la concentración de KOH y la velocidad de agitación de la mezcla de reactantes"**después de **SUSTENTADA Y APROBADA** la tesis elaborado por el bachiller en Ingeniería Química: **ZAVALA ROJAS, JAIR MARTÍN JOSHUE;** para optar el **TÍTULO PROFESIONAL** de **INGENIERO QUÍMICO,** acordaron calificarlo con la **NOTA** de:

DIECISIETE (LETRAS) 17 (NÚMEROS)

Ciudad Universitaria, 17 de agosto del 2024

Mg. JUAN EDMUNDO ESTRADA ALARCÓN
Presidente

Mg. MANUEL JESÚS LUNA HERNÁNDEZ
Miembro

Mg. LEONCIO REYNA MARIÑAS
Asesor

Dr. RUBEN ALFREDO PALOMINO INFANTE
Director de la E.P. de Ingeniería Química

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE
SAN MARCOS
Universidad del Perú, Decana de América

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, LEONCIO REYNA MARIÑAS en mi condición de asesora acreditado con la Resolución Decanal N° 000748-2024-D-FQIQ/UNMSM de la tesis, cuyo título es Estudio de la velocidad de reacción de una muestra de aceite de soja en función de la temperatura, la concentración de KOH y la velocidad de agitación de la mezcla de reactantes, presentada por los bachilleres: Baca Ochoa, Cristian Abel y Zavala Rojas, Jair Martín Joshue para optar el título Profesional de Ingeniero Químico.

CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el 11% de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional.**

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del título Profesional de Ingeniero Químico.

Lima, 1 de julio del 2026



Firma del Asesor
Nombres y Apellidos del asesor: LEONCIO REYNA MARIÑAS
DNI: 06020987

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado, en primer lugar, a mi familia, quienes han sido mi fortaleza y apoyo incondicional en los momentos más desafiantes. Agradezco profundamente al Ing. Reyna por su valiosa asesoría y guía a lo largo de esta investigación. Quisiera expresar también mi gratitud a la Escuela de Ingeniería Química, y en especial a la Dra. Miriam Estela Memenza Zegarra, por su constante apoyo en la realización de este proyecto. Finalmente, agradezco a nuestra alma mater, la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, por brindarnos las oportunidades para alcanzar nuestras metas y sueños.

RESUMEN **4**

ABSTRACT **6**

I. INTRODUCCIÓN **7**

I.1 INTRODUCCIÓN 7
I.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 9
Formulación del problema *11*
I.3 OBJETIVOS 11
I.4 IMPORTANCIA Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN 11
I.5 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN 14
II.1 MARCO TEÓRICO 14
1.2 Mecanismo de la Saponificación 15
2. Aceites de Origen Vegetal *16*
2.1 Composición de los Aceites Vegetales 17
2.2 Propiedades Físico-químicas de los Aceites Vegetales 17
3. Cinética de la Reacción de Saponificación *17*
3.1 Ley de la Velocidad de Reacción 18
3.2 Factores que Afectan la Velocidad de Reacción 18
4. Temperatura y su Efecto en la Saponificación *19*
4.1 Teoría del Estado de Transición 19
4.2 Relación entre Temperatura y Constante de Velocidad 19
5. Concentración de KOH y su Efecto en la Saponificación *19*
5.1 Efecto de la Concentración en la Cinética de Reacción 20
5.2 Equilibrio y Efecto de Saturación 20
6.1 Transferencia de Masa y Mezclado 21
6.2 Relación entre Agitación y Homogeneidad 21
7. Propiedades del Jabón Líquido Producido *21*
7.1 Consistencia y Viscosidad 21
7.2 Capacidad de Limpieza y Formación de Espuma 22
7.3 pH y Estabilidad del Jabón Líquido* 22
8.1 Control de la Temperatura 22
8.2 Manejo de la Concentración de KOH 23
8.3 Optimización de la Velocidad de Agitación 23
9. Implicaciones Medioambientales y de Sostenibilidad *23*
9.1 Uso de Aceites Vegetales Reciclados 23
9.2 Impacto Ambiental del KOH 24
9.3 Producción de Jabones Ecológicos 24
10.1 Uso Doméstico y Comercial 24
10.2 Formulaciones Especiales 24
II.2 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO 26
Estudios sobre la saponificación de aceites vegetales *26*
Estudios locales y uso de aceites reciclados. *31*

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES **33**

III.1 HIPÓTESIS 33
Hipótesis general *33*
Hipótesis específica *33*
III.2 VARIABLES 33
III.3 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES 34

IV. MATERIALES Y MÉTODOS **34**

IV.1 ÁREA DE ESTUDIO 34
IV.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN 34
IV.3 POBLACIÓN Y MUESTRA 35
Población. *35*

Muestra *35*
IV.4 PROCEDIMIENTO, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN 35
Procedimiento experimental *35*
V. RESULTADOS 40
ENSAYOS VARIANDO LA CONCENTRACIÓN DE KOH. 44
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS 0
CONCLUSIONES 2
RECOMENDACIONES 2
VIII. REFERENCIAS 4
IX. APENDICE 10
APENDICE A. FICHAS TÉCNICAS Y CERTIFICADOS DE CALIDAD 10
APENDICE B. CERTIFICADOS DE ENSAYO 13
APENDICE C. ESTANDARIZACIÓN DE SOLUCIONES 15
APENDICE D. IMÁGENES DE EQUIPOS PARA EL DESARROLLO EXPERIMENTAL 18

RESUMEN

En este estudio se investigó la influencia de la temperatura, la concentración de KOH y la velocidad de agitación en la velocidad de reacción de una muestra de aceite de soja, con el fin de optimizar el proceso de saponificación. La investigación se llevó a cabo mediante un diseño experimental, donde se establecieron diferentes condiciones de operación para evaluar cómo las variables afectaban la cinética de la reacción. Se realizaron pruebas en un lote homogéneo de aceite de soja comercial, y se analizaron las propiedades fisicoquímicas del aceite mediante un laboratorio certificado por el INACAL. El proceso experimental se llevó a cabo en un sistema de agitación controlada, variando la temperatura (40°C, 50°C, y 60°C), la concentración de KOH (baja, media y alta) y la velocidad de agitación (300, 600 y 750 rpm). Las muestras se tomaron cada 10 minutos durante un máximo de 80 minutos, y se calcularon los valores de conversión a jabón mediante titulación con HCl. Los resultados experimentales indicaron que la velocidad de reacción aumentaba con el incremento de la temperatura y la agitación, mientras que una concentración de KOH mayor también aceleraba la saponificación. El análisis comparativo de los siete casos estudiados mostró que la máxima conversión a jabón se alcanzó en condiciones de 60°C, 750 rpm y alta concentración de KOH, logrando una reacción más rápida y eficiente. Se observó una tendencia a que el KOH reacciona casi completamente en los primeros minutos, lo que ocasionó que los gráficos se volvieran inconsistentes tras ciertos puntos. Esto llevó a analizar solo los primeros 30 a 50 minutos de reacción, dependiendo del caso. Finalmente, los resultados de este estudio son de gran relevancia para la industria de fabricación de jabón líquido, ya que permiten identificar las condiciones óptimas de operación para maximizar la eficiencia de saponificación. Además, los datos obtenidos podrían utilizarse en futuros estudios para modelar y simular este proceso a mayor escala, contribuyendo a una producción más eficiente y sostenible.

Palabras clave:

Saponificación, aceite de soja, cinética de reacción, concentración de KOH, temperatura, agitación, producción de jabón.

ABSTRACT

This study investigated the influence of temperature, KOH concentration, and agitation speed on the reaction rate of a soybean oil sample, with the aim of optimizing the saponification process. The research was conducted through an experimental design, where different operating conditions were established to evaluate how these variables affected the reaction kinetics. Tests were performed on a homogeneous batch of commercial soybean oil, and the physicochemical properties of the oil were analyzed by an INACAL-certified laboratory. The experimental process was carried out in a controlled agitation system, varying the temperature (40°C, 50°C, and 60°C), KOH concentration (low, medium, and high), and agitation speed (300, 600, and 750 rpm). Samples were taken every 10 minutes for up to 80 minutes, and soap conversion values were calculated by titration with HCl. The experimental results indicated that the reaction rate increased with higher temperature and agitation speed, while a higher concentration of KOH also accelerated saponification. Comparative analysis of the seven cases studied showed that the maximum soap conversion was achieved under conditions of 60°C, 750 rpm, and high KOH concentration, resulting in a faster and more efficient reaction. A trend was observed where KOH reacted almost completely within the first few minutes, causing the graphs to become inconsistent after certain points. This led to analyzing only the first 30 to 50 minutes of the reaction, depending on the case. Finally, the results of this study are highly relevant to the liquid soap manufacturing industry, as they help identify the optimal operating conditions to maximize saponification efficiency. Additionally, the data obtained could be used in future studies to model and simulate this process on a larger scale, contributing to more efficient and sustainable production.

Keywords:

Saponification, soybean oil, reaction kinetics, KOH concentration, temperature, agitation, soap production.

I. INTRODUCCIÓN

I.1 Introducción

El proceso de saponificación es fundamental en las industrias oleoquímicas ya que los productos de la reacción se utilizan ampliamente como materias primas en las industrias alimentaria, cosmética y farmacéutica (Serri et al., 2008) y la producción de productos como jabones líquidos, detergentes sintéticos, grasas, cosméticos y varios otros productos (Pinto & Lanças, 2006). Las grasas o aceites, en presencia de una base fuerte como el hidróxido de potasio (KOH), reaccionan para formar ácidos carboxílicos y alcohol (McMurry, 2011).

Con respecto al aceite de soja que a pesar de que su producción mundial el año 2022-2023 disminuyó, sigue siendo uno de los aceites más abundantes y económicos a nivel global (Ferrari & Terré, 2023). El aceite de soya es una opción versátil en diversas aplicaciones, como su amplio uso en la cocina, la producción de biodiesel mediante transesterificación, la elaboración de jabones a través de la saponificación, y como base para tintas de impresión y pinturas al óleo (Jackson et al, 2002). Esto se debe no solo a sus propiedades químicas, sino también a su contribución a la sostenibilidad, al ser un recurso renovable y biodegradable. Su perfil medioambiental y funcional lo convierte en un ingrediente clave en la industria sostenible. (Pohl et al., 2012).

Para poder entender el proceso de saponificación del aceite de soja es importante la determinación de la velocidad de reacción y conocer la forma en que la velocidad cambia con los parámetros de operación, estando entre los más importantes la temperatura, y la composición de la mezcla reaccionante, también es importante mencionar que se pueden emplear pruebas con agitación, para estudiar el nivel de agitación requerido para una mezcla completa (Smith, 1991).

A pesar de que la saponificación ha sido estudiada ampliamente, existen pocos estudios que investiguen de manera exhaustiva la influencia conjunta de estos tres factores

sobre la velocidad de reacción, especialmente en el caso del aceite de soja (Pohl et al., 2012).

Este trabajo busca contribuir al entendimiento del proceso de saponificación del aceite de soja, mostrando cuanto influyen la temperatura, la concentración y la velocidad de agitación proporcionando datos experimentales que contribuyan a una mejor comprensión de la reacción de saponificación bajo condiciones controladas. Los resultados de esta investigación podrán servir como base para mejorar la eficiencia y calidad del proceso de producción de jabón a base de aceite de soja, a futuras optimizaciones en la producción a escala industrial o para el diseño de reactores químicos (Smith, 1991).

I.2 Planteamiento del problema

Determinación del problema

La saponificación es un proceso químico que, a pesar de ser conocido desde hace siglos, continúa siendo de gran importancia en la industria moderna, especialmente en la producción de jabones y detergentes (McMurry, 2011). La eficiencia del proceso de saponificación no solo depende de la naturaleza de los aceites o grasas utilizadas, sino también de las condiciones experimentales, como la temperatura, la concentración de la base (en este caso, hidróxido de potasio, KOH) y la agitación. Estas variables tienen un impacto directo en la cinética de la reacción, la calidad del producto final y la viabilidad económica del proceso (Kurniawati & Paramita, 2022).

En particular, el aceite de soja es uno de los aceites vegetales más utilizados debido a su alto contenido de ácidos grasos insaturados, lo que lo hace adecuado para la producción de jabones líquidos con propiedades emolientes y una alta capacidad de limpieza (Baba, Jakada, & Musa, 2017). Sin embargo, la saponificación de aceites de origen vegetal como el aceite de soja presenta desafíos específicos. Estos desafíos incluyen la necesidad de un control preciso de las condiciones de reacción, ya que el descontrol de las reacciones químicas ocurre bajos condiciones anormales por ejemplo por un mal control de la temperatura (Núñez y Cabrera, 2011) para evitar problemas como la separación de fases, la formación de un jabón de baja calidad o la ineficiencia en la conversión de triglicéridos a sales de ácidos grasos.

Estudios previos han demostrado que la variabilidad en los resultados de la saponificación puede atribuirse a diferencias en las condiciones experimentales. Por ejemplo, un estudio realizado por Leyva Arévalo y Torres Gómez (2016) sobre

la saponificación de aceites reciclados subraya la importancia de controlar la concentración de KOH y la temperatura para garantizar un producto homogéneo y de alta calidad. De manera similar, investigaciones como las de Mostacero Risco (2018) sobre la saponificación de aceites de cocina usados han mostrado que las condiciones de agitación pueden influir significativamente en la tasa de reacción y en la uniformidad del jabón producido.

A pesar de la importancia de estos estudios, la literatura sobre la velocidad de reacción del aceite de soja bajo condiciones específicas de temperatura, concentración de KOH y velocidad de agitación es limitada. Esta falta de información detallada y específica limita la capacidad de optimizar procesos como el de la producción de jabón líquido a partir de aceite de soja en contextos industriales y artesanales. Ya que el estudio cinético nos ayudará a conocer parámetros que sirven para predecir valores a cualquier tiempo de reacción en condiciones particulares de operación (Aranda Alarcón, 2003). Además, la falta de estándares claros para estas condiciones de proceso puede resultar en inconsistencias en la calidad del producto final, afectando tanto la aceptación del mercado como la sostenibilidad del proceso

Por lo tanto, es crucial investigar cómo las variables de temperatura, concentración de KOH y velocidad de agitación influyen en la velocidad de saponificación del aceite de soja. Este conocimiento permitirá desarrollar procesos de producción más eficientes y estandarizados.

Formulación del problema

¿De qué manera influye la temperatura, la concentración de KOH y la velocidad de agitación en la velocidad de reacción del aceite de soja?

I.3 Objetivos

Objetivo General

Desarrollar el estudio para determinar la influencia de la temperatura, la concentración de KOH y la velocidad de agitación en la velocidad de reacción del aceite de soja.

Objetivos Específicos

- Determinar la Influencia de la Temperatura en la Velocidad de Reacción de una muestra de aceite de soja.
- Evaluar la Influencia de la Concentración de KOH en la velocidad de reacción de una muestra de aceite de soja.
- Investigar el efecto de la velocidad de agitación en la velocidad de la reacción de una muestra de aceite de soja.

I.4 Importancia y alcance de la investigación

La presente investigación tiene una relevancia significativa en el ámbito de la producción de jabones, ya que busca conocer parámetros que sirven para predecir valores a cualquier tiempo de reacción en condiciones particulares de operación. Este enfoque ayudaría a mejorar la eficiencia y la calidad del proceso de producción de jabón líquido a partir de aceite de soja, un recurso renovable y económicamente accesible. También se puede comparar los resultados obtenidos con los resultados

obtenidos a través de simulaciones lo que permitirá validar modelos teóricos, además se puede considerar para la solución de otras reacciones químicas.

El aceite de soja, que es uno de los aceites vegetales más producidos y utilizados a nivel mundial, posee una composición rica en ácidos grasos insaturados, lo que lo convierte en un candidato ideal para la fabricación de jabones con propiedades emolientes y detergentes (Lafont, Durango, & Aramendiz, 2014). Sin embargo, la optimización del proceso de saponificación de este aceite específico requiere un entendimiento profundo de cómo las variables de proceso, temperatura, concentración de KOH, y velocidad de agitación, afectan la velocidad de reacción y las características del producto final.

Además, el estudio se alinea con tendencias actuales hacia el uso sostenible y responsable de recursos naturales. La utilización del aceite de soja no solo promueve prácticas más ecológicas al reducir el desperdicio alimentario, sino que también ofrece una alternativa viable frente a productos sintéticos que pueden ser perjudiciales para el medio ambiente y la salud humana (Arias Rodríguez & Ibarra-Mojica, 2018).

En conclusión, esta investigación no solo tiene el potencial de mejorar los procesos industriales relacionados con la producción de jabones, sino que también puede servir como base para futuras investigaciones sobre otros aceites vegetales.

ECONÓMICO

En el contexto industrial, la producción de jabón es una actividad económica significativa que emplea a miles de personas en todo el mundo. Según datos de la Asociación Internacional de Jabones, Detergentes y Productos de Mantenimiento (A.I.S.E.), la industria global de jabón y detergentes genera ingresos de miles de millones de dólares anualmente y juega un papel crucial en la higiene y la salud

pública (A.I.S.E., 2020). Mejorar la eficiencia del proceso de saponificación no solo tiene implicaciones económicas, al reducir costos de producción y optimizar el uso de materias primas, sino también ambientales, al disminuir el desperdicio de recursos y la generación de residuos.

AMBIENTAL

La saponificación de aceites vegetales, como el aceite de soja, también presenta una ventaja ambiental importante, ya que estos aceites son biodegradables y, cuando se gestionan adecuadamente, tienen un impacto ambiental significativamente menor que los productos derivados del petróleo. Y en particular, el uso de aceite de soja reciclado en la producción de jabón líquido contribuye a la reducción de desechos y a la promoción de prácticas sostenibles, alineadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU, específicamente en lo relacionado con la producción y consumo responsable (ONU, 2015).

CIENTÍFICO

Desde una perspectiva científica, esta investigación contribuye al cuerpo de conocimiento sobre la cinética de la saponificación, un área de estudio que, aunque bien establecida, sigue siendo de interés debido a las complejidades asociadas con diferentes materias primas y condiciones de proceso (Myers, 2012). Comprender cómo la temperatura, la concentración de KOH y la velocidad de agitación afectan la reacción de saponificación del aceite de soja permitirá desarrollar modelos predictivos más precisos y, por ende, mejorar el control del proceso en aplicaciones tanto a pequeña como a gran escala (House, 2007). En particular, el estudio de Almilly (2014) sobre la cinética de la saponificación utilizando mezclas de grasas de oleína y estearina proporciona información valiosa sobre cómo las variaciones en los parámetros

operativos impactan la eficiencia del proceso. Este trabajo no solo demuestra que el uso de un exceso de solución de NaOH puede asegurar una reacción irreversible, sino que también revela cómo factores como el porcentaje de exceso de NaOH, la temperatura y la velocidad de agitación afectan la conversión de triglicéridos en jabones.

Además, esta investigación proporciona datos relevantes que pueden ser utilizados para optimizar no solo la producción de jabón, sino también otros procesos industriales que involucran reacciones químicas complejas. La comprensión profunda de cómo las variables del proceso afectan la saponificación del aceite de soja permitirá mejorar el control del proceso en aplicaciones tanto a pequeña como a gran escala

I.5 Limitaciones de la investigación

Alcance del estudio: La investigación se limita a la velocidad de saponificación del aceite de soja y no se extiende a otros tipos de aceites vegetales ni a otro tipo de reacciones.

Condiciones controladas: Los experimentos se llevarán a cabo en condiciones de laboratorio, lo que puede no reflejar completamente las condiciones de producción a escala industrial.

Recursos limitados: La disponibilidad de equipos de alta precisión para controlar la temperatura y la velocidad de agitación puede afectar la exactitud de los resultados obtenidos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

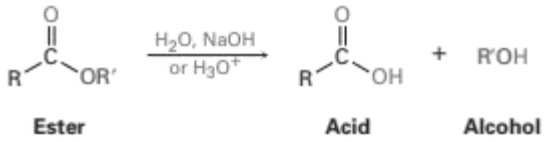
II.1 Marco teórico

1. Saponificación

La hidrólisis de ésteres en solución básica, como el hidróxido de sodio (KOH), se llama saponificación, por la palabra latina sapo, que significa "jabón". Un éster se hidroliza, ya sea por una base acuosa o por un ácido acuoso, para producir un ácido carboxílico más un alcohol:

Figura 1.

Reacción de hidrolización de un ester con una base acuosa



Nota. Adaptado de McMurry (2011)

1.1 Reacción de Saponificación

La reacción de saponificación se puede representar por la siguiente ecuación química general:

$$R\text{-}COO\text{-}R' + KOH \rightarrow R\text{-}COOK + R'\text{-}OH$$

Donde R y R' son grupos alquilo, y R-COOK es la sal de ácido graso que constituye el jabón. Esta reacción es exotérmica y depende de la naturaleza del triglicérido, la concentración de la base, y las condiciones de temperatura (McMurry, 2011).

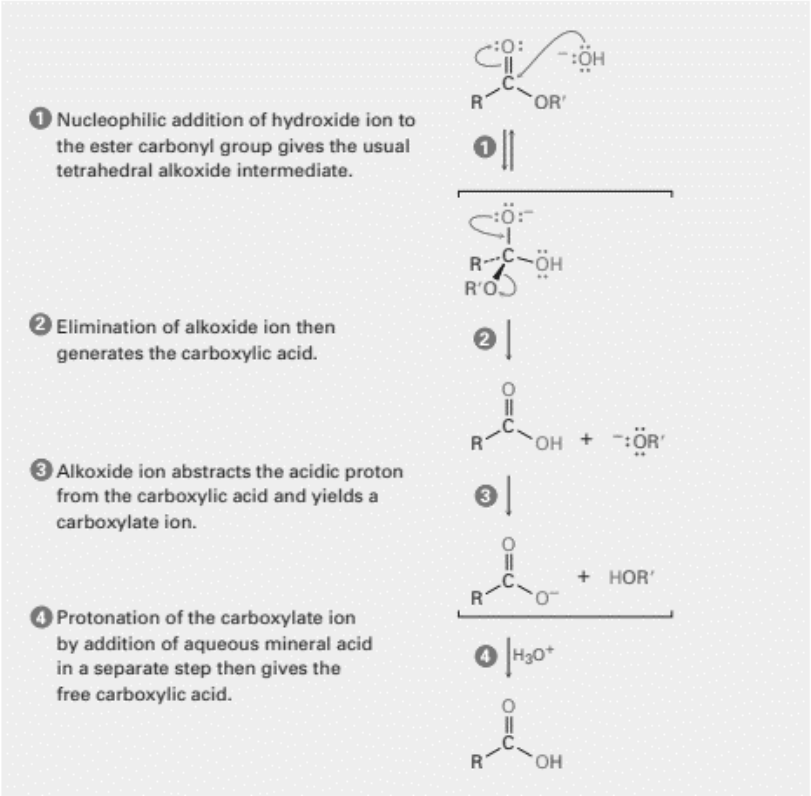
1.2 Mecanismo de la Saponificación

El mecanismo de la saponificación consiste en la hidrólisis del enlace éster presente en los triglicéridos, lo que se sigue de la neutralización del ácido graso liberado para generar la sal correspondiente. Diversos factores, como la temperatura y la concentración de KOH, pueden influir en este proceso, afectando así la velocidad de la reacción (Atkins & de Paula, 2010).

La hidrólisis de ésteres ocurre a través de una vía típica de sustitución de acilo nucleofílica en la que el ion hidróxido es el nucleófilo que se agrega al grupo carbonilo del éster para dar un intermediario tetraédrico.

Figura 2.

Mecanismo de hidrolisis de esteres inducida por bases (saponificación)



Nota. Adaptado de McMurry (2011)

2. Aceites de Origen Vegetal

Los aceites vegetales son triglicéridos de origen vegetal y se utilizan extensamente en la elaboración de jabones gracias a sus características singulares, como su capacidad espumante y sus efectos suavizantes (García & Silva, 2019). Estos aceites se extraen de las semillas, frutos o nueces de varias plantas, y cada tipo de aceite presenta una composición específica de ácidos

grasos que influye en sus propiedades y en su desempeño durante la saponificación.

2.1 Composición de los Aceites Vegetales

La mayor parte de la composición de un aceite vegetal está compuesta por triglicéridos, que son ésteres formados por glicerol y ácidos grasos. Los ácidos grasos en los aceites vegetales pueden ser saturados o insaturados, lo que influye en la textura del jabón resultante y en la rapidez de la reacción de saponificación (Frost & Pearson, 2013).

2.2 Propiedades Físico-químicas de los Aceites Vegetales

Las características como el índice de saponificación, la viscosidad y el punto de fusión difieren entre los distintos aceites vegetales. Estos aspectos son fundamentales para establecer las condiciones óptimas de saponificación y la calidad del producto final. Por ejemplo, el aceite de coco presenta un alto índice de saponificación, lo que lo convierte en una excelente opción para fabricar jabones que produzcan espuma fácilmente (Harrison, 2018).

3. Cinética de la Reacción de Saponificación

La cinética química se ocupa de analizar la rapidez con la que se desarrollan las reacciones químicas y los elementos que pueden alterar esta rapidez. En el caso de la saponificación, la velocidad de la reacción está afectada por factores como la temperatura, la concentración de KOH y la intensidad de agitación, entre otros (Chang, 2010).

3.1 Ley de la Velocidad de Reacción

La velocidad de una reacción de saponificación se puede describir mediante una ley de velocidad, que es una ecuación que relaciona la velocidad de reacción con las concentraciones de los reactivos y las constantes de velocidad. La ley de velocidad para la saponificación de un triglicérido puede expresarse como:

$$\text{Velocidad} = k[\text{Trigliceride}]^m[\text{KOH}]^n$$

Donde k es la constante de velocidad, m y n son los órdenes de reacción respecto al triglicérido y al KOH, respectivamente (Atkins & de Paula, 2010).

3.2 Factores que Afectan la Velocidad de Reacción

- Temperatura: La temperatura es un factor crítico que afecta la energía cinética de las moléculas reactantes, aumentando la velocidad de la reacción al incrementar la frecuencia de colisiones efectivas (Smith & Lee, 2012).

- Concentración de KOH: Un aumento en la concentración de KOH generalmente acelera la reacción de saponificación al incrementar la cantidad de iones OH- disponibles para reaccionar con los triglicéridos (Jones et al., 2016).

- Velocidad de Agitación: La agitación afecta la homogeneidad de la mezcla reactiva y la transferencia de masa, lo que puede influir en la velocidad global de la reacción (Frost & Pearson, 2013).

4. Temperatura y su Efecto en la Saponificación

La temperatura es uno de los factores más determinantes en la cinética de las reacciones químicas. En el proceso de saponificación, elevar la temperatura no solo acelera la reacción, sino que también modifica la viscosidad de la mezcla, lo que favorece la interacción entre los reactivos (Chang, 2010).

4.1 Teoría del Estado de Transición

De acuerdo con la teoría del estado de transición, al aumentar la temperatura, un mayor número de moléculas logra alcanzar la energía requerida para superar la barrera de activación, lo que resulta en un aumento de la velocidad de la reacción (Atkins & de Paula, 2010).

4.2 Relación entre Temperatura y Constante de Velocidad

La relación entre la temperatura y la constante de velocidad de una reacción se describe a menudo mediante la ecuación de Arrhenius:

$$k=Ae^{-Ea/RT}$$

Donde k es la constante de velocidad, A es el factor de frecuencia, E_a es la energía de activación, R es la constante de los gases y T es la temperatura en Kelvin (Atkins & de Paula, 2010).

5. Concentración de KOH y su Efecto en la Saponificación

El hidróxido de potasio (KOH) es una base fuerte que, al disociarse en solución, produce iones OH- que son esenciales para la reacción de

saponificación. La concentración de KOH influye en la cantidad de estos iones disponibles y, en consecuencia, en la rapidez de la reacción (McMurry, 2011).

5.1 Efecto de la Concentración en la Cinética de Reacción

Un incremento en la concentración de KOH suele conducir a una mayor velocidad de reacción, ya que aumenta la probabilidad de colisiones efectivas entre los reactivos (Chang, 2010). No obstante, una concentración demasiado alta de KOH puede ocasionar problemas, como la producción de jabones más duros o incluso la desnaturalización del aceite.

5.2 Equilibrio y Efecto de Saturación

En ciertas situaciones, cuando la concentración de KOH se eleva a niveles altos, la reacción puede alcanzar un estado de saturación en el que la velocidad no incrementa proporcionalmente con la concentración, debido a limitaciones en la difusión o en la capacidad de los triglicéridos para reaccionar (Frost & Pearson, 2013).

6. Velocidad de Agitación y su Efecto en la Saponificación

La agitación es un elemento fundamental en el proceso de saponificación, ya que garantiza la uniformidad de la mezcla de reactivos y optimiza la transferencia de calor y masa dentro del sistema. Una velocidad de agitación apropiada puede acelerar la reacción al incrementar la superficie de contacto entre los reactivos (Jones et al., 2016).

6.1 Transferencia de Masa y Mezclado

El proceso de agitación mejora la transferencia de masa al romper las capas límite alrededor de las gotas de aceite, facilitando un contacto más eficaz entre el KOH disuelto y los triglicéridos (Harrison, 2018). Una agitación inadecuada puede derivar en una saponificación incompleta o desigual.

6.2 Relación entre Agitación y Homogeneidad

La velocidad de agitación también afecta la homogeneidad del jabón producido. Una agitación excesiva puede causar problemas como la incorporación de burbujas de aire, mientras que una agitación insuficiente puede resultar en una mezcla heterogénea (Smith & Lee, 2012).

7. Propiedades del Jabón Líquido Producido

El jabón líquido obtenido a partir de aceites vegetales a través de la saponificación presenta varias propiedades importantes que son afectadas por las condiciones de la reacción, tales como la textura, la eficacia de limpieza y la estabilidad (McMurry, 2011).

7.1 Consistencia y Viscosidad

La textura de un jabón líquido está influenciada por la longitud de las cadenas de ácidos grasos presentes en el aceite, así como por la concentración de la solución. Los jabones elaborados con aceites vegetales suelen tener una textura más suave en comparación con aquellos producidos a partir de grasas animales (McMurry, 2011). La viscosidad del jabón es otro aspecto crucial, ya que afecta su fluidez y facilidad de aplicación. Esta propiedad se ve influenciada por la concentración de KOH y la cantidad de agua en la formulación del jabón líquido. A

medida que aumenta la concentración de KOH, la viscosidad tiende a incrementarse hasta alcanzar un punto óptimo, después del cual puede disminuir debido a la formación de estructuras micelares más pequeñas (Harrison, 2018).

7.2 Capacidad de Limpieza y Formación de Espuma

La capacidad de limpieza de un jabón líquido está directamente relacionada con su capacidad para emulsificar aceites y grasas, permitiendo su remoción durante el lavado. Esta propiedad se ve influenciada por la naturaleza de los ácidos grasos presentes en el aceite vegetal utilizado. Por ejemplo, los aceites ricos en ácidos grasos saturados tienden a formar jabones con una mayor capacidad de limpieza pero menor producción de espuma en comparación con los aceites ricos en ácidos grasos insaturados (García & Silva, 2019).

7.3 pH y Estabilidad del Jabón Líquido*

El pH del jabón líquido es un factor crucial, ya que afecta tanto la estabilidad como la suavidad del producto final. Un pH ligeramente alcalino, que generalmente oscila entre 8 y 10, es ideal para optimizar la capacidad de limpieza sin resultar demasiado agresivo para la piel. La estabilidad del jabón, en cuanto a su textura y apariencia con el tiempo, también está relacionada con el pH, así como con la calidad de los reactivos y la pureza del agua utilizada (Smith & Lee, 2012).

8. Factores Experimentales en la Saponificación

8.1 Control de la Temperatura

El control exacto de la temperatura es fundamental en los experimentos de saponificación. Las fluctuaciones en la temperatura pueden provocar alteraciones en la velocidad de la reacción y en las características físicas del jabón. Es

importante emplear un sistema de calefacción con un termostato preciso para garantizar que la temperatura se mantenga constante a lo largo del proceso de saponificación (Atkins & de Paula, 2010).

8.2 Manejo de la Concentración de KOH

La concentración de KOH debe ser medida y ajustada con precisión de acuerdo con las necesidades de la reacción. Es fundamental tener en cuenta que la pureza del KOH puede fluctuar, lo que impacta la concentración efectiva de la solución que se prepara. Los investigadores deben comprobar la concentración de KOH a través de titulación antes de utilizarla en el proceso de saponificación (McMurry, 2011).

8.3 Optimización de la Velocidad de Agitación

Es necesario optimizar la velocidad de agitación para asegurar una mezcla uniforme sin provocar la inclusión de burbujas de aire o una espuma excesiva. La selección de la velocidad de agitación está determinada por el volumen de la mezcla y las características físicas de los reactivos. Se recomienda utilizar equipos como agitadores magnéticos o mecánicos con control de velocidad para mantener una agitación constante y reproducible (Harrison, 2018).

9. Implicaciones Medioambientales y de Sostenibilidad

9.1 Uso de Aceites Vegetales Reciclados

La utilización de aceites vegetales reciclados en la fabricación de jabones líquidos no solo representa una opción económica, sino que también favorece la sostenibilidad ambiental. Al reutilizar aceites que de otro modo se desecharían, se disminuye la contaminación y se fomenta una economía circular (García & Silva, 2019). No obstante, es fundamental llevar a cabo un tratamiento previo adecuado

del aceite reciclado para eliminar impurezas que puedan perjudicar la calidad del jabón.

9.2 Impacto Ambiental del KOH

El hidróxido de potasio es un compuesto químico que, en cantidades excesivas, puede tener efectos perjudiciales en el medio ambiente, especialmente en cuerpos de agua, donde puede modificar el pH natural. Es crucial gestionar adecuadamente los desechos de KOH y aplicar técnicas de neutralización antes de su eliminación final para reducir su impacto ambiental (Jones et al., 2016).

9.3 Producción de Jabones Ecológicos

La creación de jabones líquidos ecológicos requiere elegir aceites vegetales que sean sostenibles y que provengan de fuentes que no contribuyan a la deforestación ni a la pérdida de biodiversidad. Asimismo, la formulación debe prescindir de aditivos sintéticos que puedan ser perjudiciales para el medio ambiente, como colorantes o fragancias artificiales (Smith & Lee, 2012).

10. Aplicaciones de los Jabones Líquidos

10.1 Uso Doméstico y Comercial

Los jabones líquidos se utilizan extensamente en aplicaciones domésticas y comerciales debido a su practicidad y a la posibilidad de dosificarlos en cantidades exactas. Se emplean principalmente para el lavado de manos, la limpieza de superficies y, en algunos casos, para el lavado de prendas delicadas (McMurry, 2011).

10.2 Formulaciones Especiales

Hay formulaciones específicas de jabones líquidos que están diseñadas para usos particulares, como los jabones antibacterianos, los jabones para pieles sensibles y los jabones industriales empleados en talleres y fábricas. Estas formulaciones pueden incorporar aditivos como humectantes, conservantes

naturales o aceites esenciales para potenciar sus propiedades funcionales y sensoriales (García & Silva, 2019).

II.2 Antecedentes del estudio

La saponificación es un proceso químico fundamental que ha sido empleado desde tiempos antiguos para la producción de jabones y otros productos derivados de aceites y grasas. Este proceso se basa en la reacción de los triglicéridos, que son la forma predominante de grasas en los aceites vegetales, con una base fuerte, como el hidróxido de potasio (KOH) o el hidróxido de sodio (NaOH). Como resultado de esta reacción, se generan jabones y glicerol, componentes esenciales en la formulación de productos de limpieza (McMurry, 2011). Sin embargo, a pesar de su relevancia histórica y práctica, existen pocos estudios que aborden de manera integral la velocidad de reacción de la saponificación del aceite de soja, así como la interacción conjunta de factores como la concentración de KOH, la temperatura y la velocidad de agitación (Pohl et al., 2012). Esta falta de investigación en este aspecto en específico resalta la necesidad de este estudio.

Estudios sobre la saponificación de aceites vegetales

Almilly (2014) presentó un estudio sobre la cinética de la reacción de saponificación utilizando mezclas de grasas de oleína y estearina [en la proporción (3:1)] con solución de NaOH. En esta investigación, se utilizó un exceso de solución de NaOH para asegurar que la reacción fuera irreversible. Se variaron tres parámetros para mostrar sus efectos sobre la velocidad de reacción: el porcentaje de exceso de solución de NaOH (10% - 100%), la temperatura (100-150)°C, y la velocidad de agitación (400-1100) rpm. Se observó que al aumentar el porcentaje de exceso de solución de NaOH, la temperatura y la velocidad de agitación, se mejora la eficiencia del proceso, permitiendo una mayor conversión de triglicéridos en jabones.

Investigaciones han demostrado que la temperatura y la concentración de KOH influyen significativamente en la velocidad de saponificación. Un estudio realizado por Huamachuco (2023) destaca que el aumento de la temperatura de reacción mejora la eficiencia del proceso, permitiendo una mayor conversión de triglicéridos en jabones.

Así mismo Kurniawati et al. (2022), llevaron a cabo un estudio en el que analizaron el impacto de diferentes concentraciones de la combinación de las bases de KOH y NH_4OH en la saponificación del aceite de coco virgen (VCO) y concluyeron que el uso de altas concentraciones de KOH puede disminuir significativamente el tiempo necesario para completar la reacción de saponificación, lo que resulta en una producción más eficiente de jabón líquido.

De acuerdo con Salimon, Abdullah, and Salih (2012), que investigaron la saponificación del aceite de semilla de Jatropha curcas y los efectos de la concentración de KOH etanólico, la temperatura de reacción y el tiempo de reacción en el porcentaje de ácidos grasos libres (FFA). Las condiciones óptimas para el porcentaje máximo de FFA se lograron cuando se utilizó una concentración de KOH etanólico de 1,75 M como catalizador, una temperatura de reacción de 65°C y un tiempo de reacción de 2,0 h. Este estudio mostró que la concentración de KOH etanólico fue una variable significativa para la saponificación del aceite de semilla de J. curcas. En un diseño experimental de 18 puntos, el porcentaje de FFA para la saponificación del aceite de semilla de J. curcas se puede aumentar del 1,89 % al 102,2 %.

Por otro lado, Anggarani et al. (2023) determinaron que la saponificación del aceite de palma, aceite de coco virgen y extracto de flor de ylang con exceso de álcali disminuye el tiempo de reacción, pero los jabones producidos no cumplen con las pruebas estándar de calidad

Sobre la velocidad de agitación en el proceso de saponificación, este juega un papel crucial en la homogeneidad de la mezcla de reactantes, lo que a su vez influye en la eficiencia de la reacción. Una agitación adecuada asegura que los reactivos, en este caso el aceite y la solución de KOH, se distribuyan uniformemente, promoviendo un contacto efectivo entre ellos. Sin embargo, el efecto de la velocidad de agitación puede ser menos significativo en comparación con otros factores como la temperatura y la concentración del catalizador. Investigaciones han demostrado que un aumento en la velocidad de agitación puede mejorar la homogeneidad de la mezcla, pero más allá de un cierto punto, el incremento en la agitación puede no resultar en un aumento proporcional en la velocidad de reacción. Esto se debe a

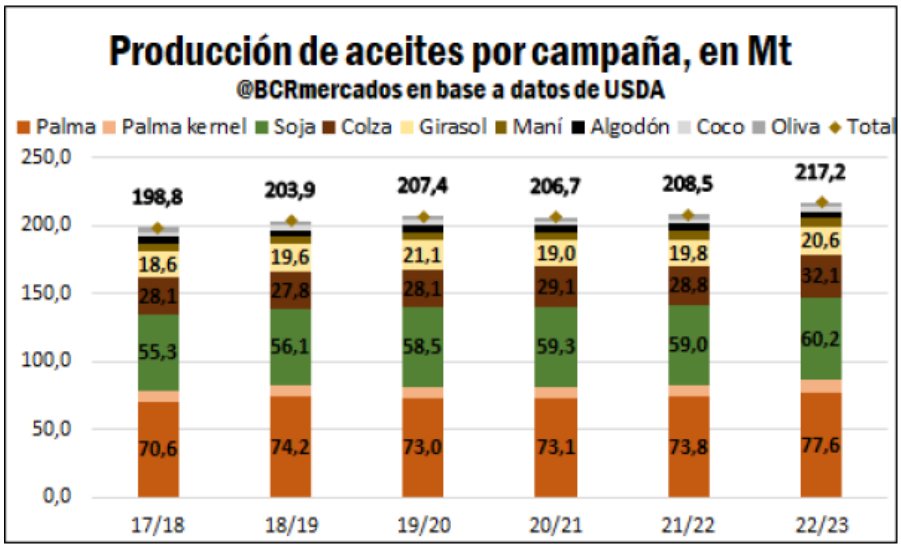
que la agitación excesiva puede generar burbujas de aire y turbulencias que no contribuyen a la mejora de la reacción, y en algunos casos, puede incluso causar la separación de fases (Arias Rodríguez & Ibarra-Mojica, 2018)

Estudios sobre el aceite de soya.

El aceite de soja, obtenido de las semillas de la planta Glycine max, es uno de los aceites más abundantes y económicos a nivel global (Ferrari & Terré, 2023).

Figura 3.

Gráfica de columnas de la producción mundial de aceites en diferentes años



Nota. Adaptado de Ferrari & Terré (2023)

Es uno de los más utilizados como aceite de cocina de amplio consumo y como base para tintas de imprenta y pinturas de óleo (Jackson et al, 2002). Este aceite, es uno de los aceites vegetales más utilizados en la producción de jabones debido a sus propiedades químicas favorables. Su alta proporción de ácidos grasos poliinsaturados, que son esenciales para la formación de jabones de calidad. La saponificación del aceite de soja ha sido objeto de estudio en diversas investigaciones, donde se ha encontrado que el índice de saponificación de este aceite es de aproximadamente 191 mg KOH/g, lo que indica la cantidad de base necesaria para convertir el aceite en jabón (Arias Rodríguez & Ibarra-Mojica, 2018).

Baba, Jakada, & Musa (2017) se centra en la preparación y caracterización de jabones elaborados a partir de mezclas de aceite de soya y aceite de neem. Los investigadores emplearon un proceso de saponificación que se llevó a cabo a temperaturas entre 33°C y 43°C utilizando una solución alcalina, específicamente hidróxido de sodio (NaOH) e hidróxido de potasio (KOH), para producir jabones a partir de estos aceites vegetales.

Se llevaron a cabo diversas pruebas para evaluar las propiedades físico-químicas del jabón resultante, incluyendo el pH, la solubilidad y la estabilidad de la espuma. Los resultados mostraron que los jabones preparados tenían un pH que se encontraba dentro de los límites aceptables establecidos por las normativas, lo que indica que son seguros para el uso en la piel. Además, se observó que el uso de aceite de neem no solo mejoraba las propiedades limpiadoras del jabón, sino que también aportaba beneficios medicinales gracias a sus propiedades antimicrobianas.

Sin embargo, existe una brecha en la literatura científica en cuanto a su comportamiento durante el proceso de saponificación. La composición del aceite de soya está formada principalmente por ácidos grasos poliinsaturados como el ácido linoleico, que representan aproximadamente el 55% de su composición, seguido del ácido oleico y del ácido esteárico en cantidades menores (Rondón-Martínez & Penedo-Medina, 2022). Esta composición única podría implicar diferencias significativas en la reacción de saponificación, lo que resalta la necesidad de estudios específicos que exploren estas particularidades.

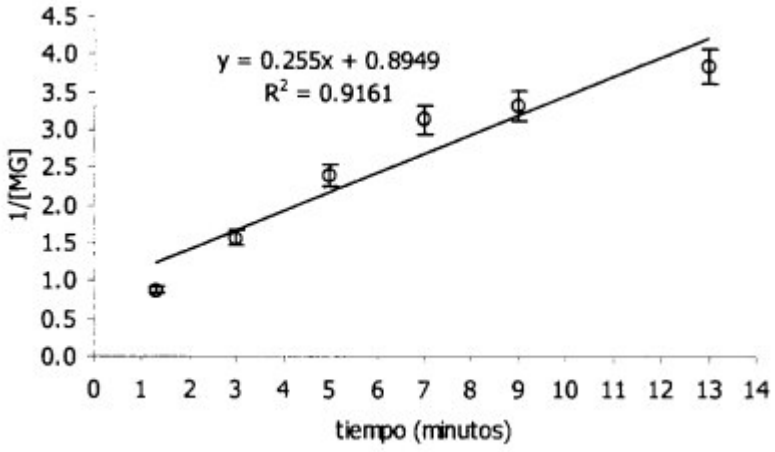
Es importante mencionar, que estudios sobre saponificación de aceites vegetales han demostrado que la composición química de los aceites juega un papel crucial en la eficiencia del proceso. Aceites con altos niveles de ácidos grasos poliinsaturados, como el aceite de soya, el efecto de la temperatura puede ser más complejo debido a la mayor susceptibilidad de estos ácidos grasos a la oxidación térmica (Kurniawati et al.,2022)

Por otro lado, algunos trabajos han explorado el uso de aceite de soja en la producción de biodiésel, estudiando la cinética de la reacción de transesterificación de este aceite lo que

tiene puntos en común con la saponificación en términos de reacciones químicas involucradas. Por ejemplo, Aranda Alarcón (2003) investigó el efecto de la temperatura, la relación molar metanol/aceite y la concentración de catalizador (hidróxido de sodio) sobre la velocidad de reacción. El trabajo consistió en realizar experimentos en un reactor batch a diferentes condiciones de operación. Se tomaron muestras a intervalos regulares de tiempo y se analizó el contenido de ésteres metílicos por cromatografía de gases. Los resultados mostraron que la temperatura y la concentración de catalizador tienen un efecto significativo sobre la velocidad de reacción, mientras que la relación metanol/aceite no tuvo un efecto tan pronunciado en el rango estudiado. La mayor velocidad de reacción se obtuvo a 60°C, con una relación metanol/aceite de 6:1 y 1% de NaOH, alcanzando una conversión del 98% en 60 minutos. Se propuso un modelo cinético de segundo orden para predecir la velocidad de reacción en función de la temperatura y la concentración de catalizador. La energía de activación aparente se calculó utilizando la ecuación de Arrhenius, obteniendo un valor de 36.5 kJ/mol.

Figura 4.

Gráfica del modelo de pseudo segundo orden ajustado a una línea recta del inverso de concentración de monoglicéridos vs tiempo



Nota. Adaptado de Aranda Alarcón (2003)

De hecho, investigaciones más recientes han señalado la falta de estudios centrados en la influencia simultánea de variables como la temperatura, la concentración de KOH y la velocidad de agitación sobre la saponificación de este tipo de aceite (Ramírez, 2019).

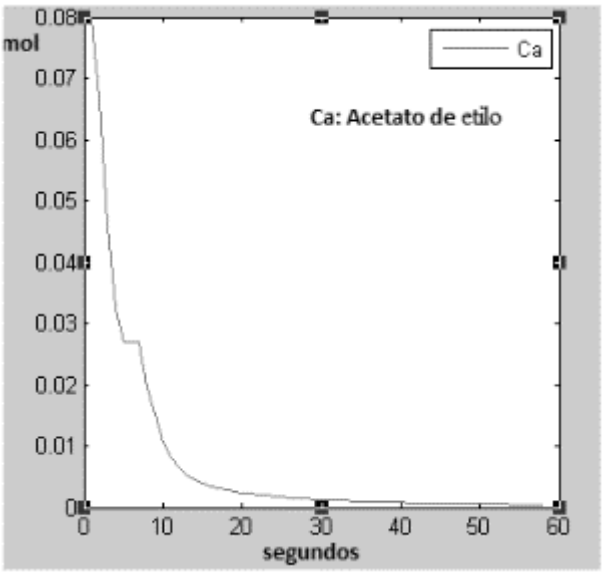
Estudios locales y uso de aceites reciclados.

A nivel local se han llevado a cabo investigaciones sobre la saponificación de aceites reciclados como una medida para promover la sostenibilidad y reducir los desechos. Leyva Arévalo y Torres Gómez (2016) realizaron un estudio en la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana sobre la producción de jabón líquido a partir de aceite vegetal reciclado, destacando los beneficios ambientales de reciclar este recurso. Sin embargo, su estudio no profundizó en el uso del aceite de soya como materia prima. Asimismo, Mostacero Risco (2018) examinó la saponificación de aceite de cocina usado como una forma de mitigar la contaminación en el río Chorobamba, en Pasco, Perú, aunque nuevamente, el aceite de soya no fue el foco principal de la investigación.

Finalmente, se menciona el trabajo realizado por Núñez y Cabrera, en lima, Perú, 2011; donde se trabaja mediante simulaciones computacionales en MATLAB la velocidad de reacción de saponificación para la producción de acetato de sodio elaborados a partir de Acetato de etilo e Hidróxido de sodio en tanques de tipo CSTR; obteniendo resultados coherentes, y además de presentar esquemas que podrían aplicarse a otras reacciones químicas. Sin embargo, los datos obtenidos de la simulación no fueron contrastados con resultados de laboratorio ni a escala piloto. A pesar de que el trabajo de Oscar Núñez y Carlos Cabrera (2011) consideró variables relevantes como la concentración de OH- durante la saponificación, la temperatura(constante) y la agitación de la mezcla (agitación eficiente) del acetato de etilo, el presente estudio se hace sobre la saponificación del aceite de soja. lo que implica diferencias significativas en la naturaleza de los reactantes y las condiciones de operación.

Figura 5.

Concentración del acetato de etilo(mol) vs el tiempo(s)



Fuente: Adaptado de Núñez & Cabrera (2011)

En resumen, aunque existen estudios importantes sobre la saponificación de aceites vegetales en general, la investigación específica sobre el aceite de soja es limitada, lo que subraya la necesidad de un estudio exhaustivo que aborde cómo la temperatura, la concentración de KOH y la velocidad de agitación afectan la saponificación de este aceite.

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

III.1 Hipótesis

Hipótesis general

La velocidad de la reacción de saponificación de una muestra de aceite de soja depende de la temperatura de reacción, de la concentración de KOH y de la velocidad de agitación de la mezcla de reactantes.

Hipótesis específica

- El efecto de la temperatura sobre la velocidad de reacción de saponificación de una muestra de aceite de soja es directamente proporcional.
- El efecto de la concentración de KOH sobre la velocidad de reacción de saponificación de una muestra de aceite de soja es directamente proporcional.
- El efecto de la velocidad de agitación es directamente proporcional a la velocidad de reacción de saponificación de una muestra de aceite de soja es directamente proporcional.

III.2 Variables

En esta sección se plantean las variables de estudio: La variable independiente será manipulada cambiando las condiciones de reacción.

Tabla 1.

Variables Independientes en la reacción:

Variable	Indicador
Concentración de KOH	Normalidad(N)
Temperatura	°C
Velocidad de agitación	Revoluciones por minuto

Tabla 2.

Variables dependientes en la reacción:

Variable	Indicador
Velocidad de reacción de la saponificación del aceite de soja	Mol/(L.min)

III.3 Operacionalización de las variables

Tabla 3.

Variables operativas en la reacción

Variable	Definición Operacional	Indicador	Instrumento de medición
Temperatura	Grado de calor aplicado durante la reacción	°C	Termómetro
Concentración de KOH	Cantidad de KOH presente en la mezcla reactiva	Normalidad(N)	Balanza Bureta
Velocidad de agitación	Frecuencia de movimiento de la mezcla	Revoluciones por minuto (RPM)	Tacómetro
Velocidad de reacción	Cantidad de aceite saponificado	Mol/L/min	Balanza Bureta

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

IV.1 Área de estudio

La investigación es de tipo aplicada.

IV.2 Diseño de investigación

El diseño de la investigación es experimental.

IV.3 Población y muestra

Población

La población representa al lote de aceite de soja que será utilizados en el experimento. El aceite de soja empleado en este estudio será de calidad comercial y provendrá de un lote homogéneo.

Muestra

La muestra consistirá en submuestras tomadas de un galón de aceite de soja comercial. La selección de las submuestras se realizará de manera aleatoria esta selección se ejecutará por el analista a cargo.

IV.4 Procedimiento, Técnicas e instrumentos de recolección de información

Procedimiento experimental

El primer paso en este estudio fue realizar un análisis de laboratorio del aceite de soja que se utilizaría. Se enviaron tres botellas PET, cada una conteniendo 260 ml de aceite de soja del lote AR732024, al laboratorio certificado por el INACAL, donde se analizaron las propiedades fisicoquímicas del aceite. Los parámetros evaluados incluyeron el índice de acidez, el índice de peróxido, el índice de yodo y el índice de saponificación. Estos datos son fundamentales para comprender la calidad del aceite y su comportamiento durante el proceso de saponificación.

Una vez obtenidos los resultados del análisis, se procedió a realizar el experimento en el laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Química e Ingeniería Química de la Universidad Nacional Mayor de

San Marcos. En este experimento, se establecieron condiciones controladas: una agitación máxima de 750 RPM, una temperatura máxima de 60 °C y una concentración máxima de 23 mL de solución etanólica.

El procedimiento experimental consistió en agregar 200 mL del aceite de soja y la solución etanólica en un balón de tres bocas. La mezcla se agitó utilizando un agitador acoplado a un motor con variación, mientras que la velocidad se monitoreó con un tacómetro. La temperatura se mantuvo constante mediante un baño maría equipado con un termómetro digital. Durante el proceso, se tomaron muestras de 1 mL en intervalos aproximados de 10 minutos.

Es importante destacar que la solución etanólica utilizada tenía una normalidad inicial de 0.0051 N. Las muestras extraídas fueron tituladas con una solución de HCl a 0.0067 N, registrando cuidadosamente el volumen gastado de HCl para calcular la conversión durante la reacción.

Técnica: Investigación documental, experimental.

Para llevar a cabo este estudio, se emplearon diversas técnicas e instrumentos que garantizan la precisión y validez en la recolección de datos:

1. Análisis Fisicoquímico: Se utilizó un laboratorio certificado para determinar las propiedades del aceite mediante métodos estandarizados que incluyen titulación para evaluar los índices mencionados (Lafont, Durango, & Aramendiz, 2014).

Tabla 4,

Métodos de ensayo para el aceite de soja

Ensayo	Norma o Referencia
Índice de acidez	NMX-F-101-1987. Alimentos. aceites y grasas vegetales o animales. determinación del índice de acidez.
Índice de Peróxido	AOAC 965.33. 2000. Peroxide Value of Oils and Fats. Titration Method.
Índice de yodo	AOCS Method Cd 1d-92, 7ma Ed. 2017. Revised 2022. Iodine Value of Fats and Oils, Cyclohexane -Acetic Acid Method.
Índice de Saponificación	NMX-F-174-S-1981. Alimentos para humanos. Determinación del Índice de Saponificación en aceites y grasas vegetales o animales

Fuente: Elaboración propia

2. Agitación Controlada: Se utilizó un agitador mecánico con variación para mantener la mezcla homogénea durante el proceso. La velocidad se midió con un tacómetro, asegurando que las condiciones experimentales se mantuvieran dentro del rango establecido (Kurniawati. & Paramita, 2022)

3. Control Térmico: Un baño maría proporcionó un ambiente controlado para mantener la temperatura deseada durante la reacción. Un termómetro digital permitió una medición precisa y continua (Myers, 2012).

4. Titulación: La técnica de titulación fue fundamental para determinar la cantidad exacta de HCl utilizada en cada muestra extraída. Esto permitió calcular el índice de saponificación y evaluar la conversión del triglicérido a jabón (Almilly, 2023).

5. Muestreo: Se realizó un muestreo sistemático tomando pequeñas cantidades (1 mL) en intervalos regulares (cada 10 minutos) para analizar cómo evolucionaba la reacción a lo largo del tiempo.

Se irá variando las condiciones de operación los cuales generan 7 casos, que se resumen en la tabla 4

Tabla 4

Variación de los parámetros por cada caso de estudio

Caso	Volumen de solución etanólica (mL)	Agitación(rpm)	Temperatura(°C)
1	23	750	60
2	15	750	60
3	8	750	60
4	23	300	60
5	23	300	60
6	23	600	30
7	23	600	30

Para la saponificación del aceite de soja se tienen los siguientes materiales y equipos:

Tabla 5,

Materiales de laboratorio para la reacción de saponificación entre el aceite de soja y el KOH

Número	Material	Cantidad
1	Pinza metálica para fijar balón y motor	4
2	Extensiones para fijar balón y motor	4
3	Fiola de 1 litro	2
4	Pipeta graduad de 10 mL	2
5	Soporte universal	3
5	Bureta 100 mL	1
6	Matraz de 300 mL	10
7	Piseta 500 mL	1
8	Probeta 500 mL	1

9	Bagueta	1
10	Tapones de corcho	10
11	Balón de vidrio para reactivo químico	3
12	Gotero	1
13	Guantes	4
14	Franela	1

Tabla 6.

Equipos de laboratorio para la reacción de saponificación entre el aceite de soja y el KOH

Número	Equipo	Cantidad
1	Balón de tres bocas	1
2	Motor de velocidad variable	1
3	Tacómetro	1
5	Baño María	1
6	Balanza analítica	1
7	Termómetro digital	1

V. RESULTADOS

V.1 Presentación y análisis de los resultados

Para realizar lo cálculos y simplificarlos, tomar en cuenta los siguientes datos:

-Se realiza a presión atmosférica(1 atm) ya que la experiencia se realiza en san juan de Lurigancho

-Cuando se miden los volúmenes en la bureta se hacen con una aproximación de 0.5 mL.

-El volumen total solo variará 1mL por muestra y se considerará invariable durante la reacción.

-Se considerará triglicéridos simples y que estos conforman el 100% del aceite

-La reacción será irreversible.

-El aceite de soja será representado de la siguiente forma:

$$R - COOH - R$$

-Se considera que cada mol de éster reacciona igual en igual cantidad de moles de KOH, entonces:

$$RCOOR + KOH \rightarrow RCOOK + ROH$$

-La reacción será de pseudo segundo orden, de acuerdo a diferentes autores como Kassim (2014) que determinó el orden de reacción de la saponificación de aceites de propiedades similares como aceites de oleína o como Aranda (2003) en la transesterificación del aceite de soja, recomiendan que los ésteres se traten como una reacción de pseudo segundo orden.

Aceite de soya.

De acuerdo con los resultados presentados por el laboratorio, el índice de saponificación del aceite de soja es 192.09 mg KOH/g aceite.

La densidad se calculó a 19 ° C y es 0.9138 Kg/L

Calculando los mili equivalentes de aceite saponificable:

$$mmoles\ \ de\ KOH = \frac{192.09\ x\ 10^{-3} g}{g\ aceite} \times \frac{mol\ KOH}{56.1056\ g/mol} = 3.4237x10^{-3}\ mol\ \frac{KOH}{g\ aceite}$$

$$= 3.4237 \frac{mili\ mol\ de\ KOH}{g\ aceite}$$

Considerando el índice de saponificación, se concluye que la cantidad de aceite saponificable total es de 3.4237 mili moles por cada gramo de aceite.

Para la concentración de KOH en el primer caso se tendrá en cuenta la molaridad de la solución etanólica el cual tiene una normalidad de 0.051N, pero ya que su parámetro es 1, la molaridad tendrá el mismo valor, por lo tanto:

Número de moles

$$23x10^{-3} L \times 0.051 \frac{mol}{L}$$

$$0.001173\ moles$$

Concentración

$$C_B = \frac{0.001173\ moles}{0.223\ L}$$

$$C_B = 5.26 \frac{mmol}{L}$$

Luego para determinar la cantidad de moles que reaccionaron de KOH en un periodo de tiempo. Por ejemplo, en el caso 1 en el primer intervalo de tiempo de 13 minutos, se saca una muestra de 1mL del balón de reacción y se titula con HCl con normalidad de 0.067N y por neutralización se determina la concentración de KOH en ese punto, el volumen gastado de HCl fue 7.6 mL. La concentración se calculará de la siguiente manera.

Se cumple:

$$\#eq - g_{HCl} = \#eq - g_{KOH}$$

$$V_{HCl} \times N_{HCl} = V_{KOH} \times N_{KOH}$$

$$N_{KOH} = \frac{V_{HCl} \times N_{HCl}}{V_{KOH}}$$

$$N_{KOH} = \frac{7.6\ mL \times 0.067 \frac{eq - g}{L}}{1\ mL}$$

$$N_{KOH} = 0.5092N$$

Por ser una reacción de neutralización entre KOH y HCl el parámetro será 1

Por lo tanto

$$M_{KOH} = 0.5092M$$

Este valor será la concentración en el balón que tiene un volumen total de 223mL.

Luego se calculará la cantidad de miliequivalentes de KOH que reaccionan con el aceite

La titulación determina la cantidad de miliequivalente de KOH que no reaccionan con el aceite. Por lo tanto, la diferencia serán los miliequivalentes que reaccionen.

Por ejemplo:

Si

$$N_1 = \ 0.3551 eq/L$$

$$N_2 = 0.2412\ eq/L$$

$$Eq1 = 0.3551 \frac{eq}{L} x 0.222L$$

$$Eq2 = 0.2412 \frac{eq}{L} \times 221L$$

$$Eq1 = 113.0424\ mmeq$$

$$Eq2 = 78.4771\ mmeq$$

$$Eq2 - Eq1 = 113.0424 - 78.4771$$

$$= 34.5653\ mmeq\ de\ KOH$$

Calculando la cantidad de aceite saponificado(g)

$$\frac{34.5653 mili\ mol\ de\ KOH}{3.4237 \frac{mili\ mol\ de\ KOH}{g\ aceite}}$$

$$10.096\ g\ aceite\ saponificado$$

Cálculo de conversión

$$10.096\ g\ aceite \frac{saponificado}{200\ mL\ aceite \times 0.9138 \frac{g}{mL} aceite} \times 100$$

$$= 6.00\ \%$$

Velocidad de saponificación.

$$v = \frac{dC}{dt} = f(C_{KOH}, T, RPMagitación)$$

Concentración del Aceite de soja = C

Velocidad de segundo orden

$$v = \frac{dC}{dt} = -k''[C]$$

Ecuación de segundo orden en términos de conversión

$$\frac{1}{1-x} = 1 + kt$$

Se graficará para determinar la k de cada caso.

Ensayos variando la concentración de KOH.

Caso 1

Tabla 6

Condiciones de operación de la reacción de saponificación

Variables operativas	Valor
C_{KOH} (M)	0.0051
Temperatura (C°)	60
Velocidad de agitación (RPM)	750

Tabla 7

Volumen de soluciones para la reacción de saponificación

Solución	Volumen(mL)
Aceite de soja	200
Volumen de solución etanólica	23

Tabla 8

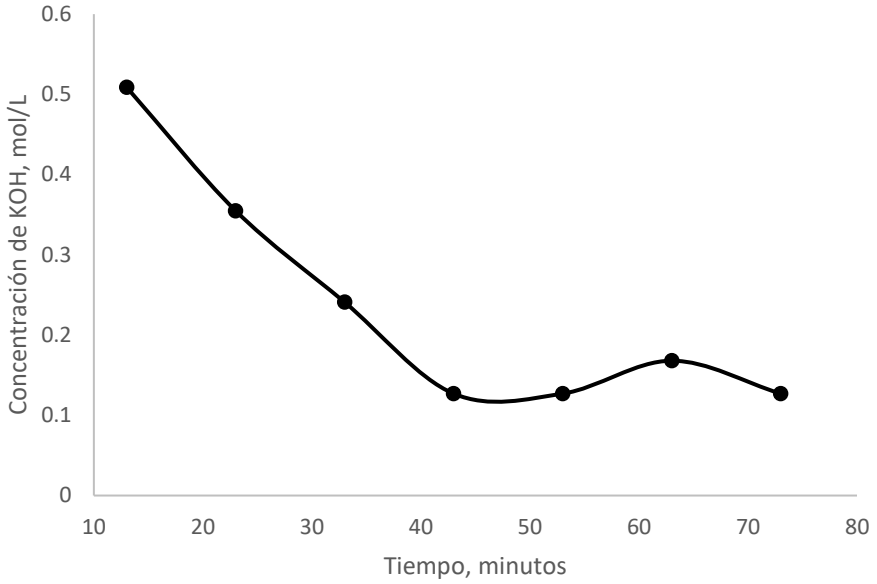
Variación de la concentración de KOH (moles/L) en función del tiempo(minutos)

N de muestra	Hora	t (tiempo en minutos)	Volumen gastado de HCl(mL)	Concentración de KOH en el balón(M)	Tiempo acumulado(min)
1	09:57	13	7.6	0.5092	13
2	10:07	10	5.3	0.3551	23
3	10:17	10	3.6	0.2412	33
4	10:27	10	1.9	0.1273	43
5	10:37	10	1.9	0.1273	53
6	10:47	10	2.5	0.1675	63
7	10:57	10	1.9	0.1273	73

Nota. Se toma 1 mL de solución por cada muestra y se titula con un ácido clorhídrico 0.0067 N.

Figura 7

Variación de la concentración de KOH en función del tiempo, con solución etanólica de 23 mL, temperatura de 60°C y velocidad de agitación de 750 RPM



Nota. Adaptación propia

Tabla 9

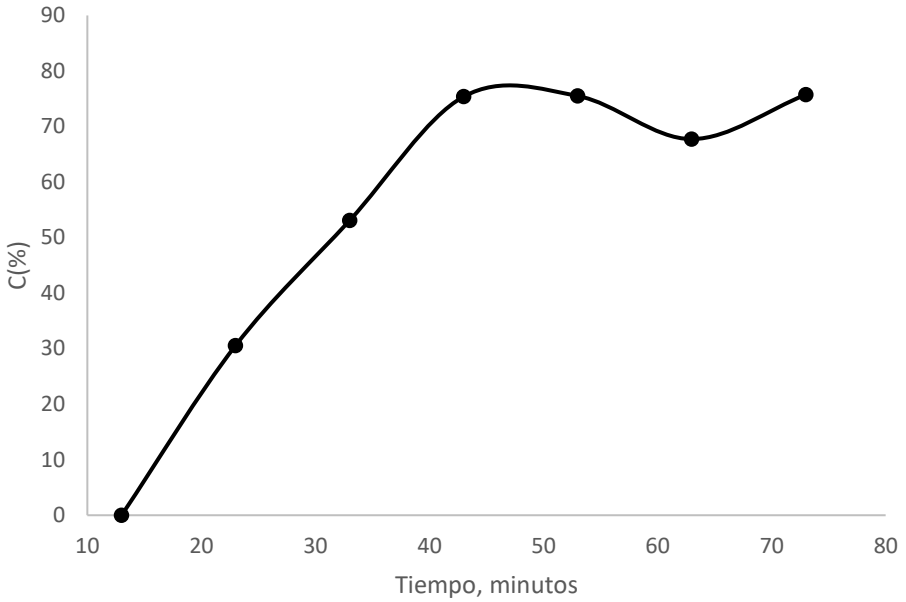
Conversión del KOH (%) en función del tiempo

N de muestra	Tiempo acumulado(min)	Moles de KOH que no reaccionan(mol)	Conversión de KOH (%)
0	0	0.1130	0.00
1	13	0.0785	30.57
2	23	0.0530	53.08
3	33	0.0278	75.39
4	43	0.0277	75.5
5	53	0.0365	67.74

6	63	0.0274	75.72

Figura 8

Conversión del KOH (%) en función del tiempo, con solución etanólica de 23 mL, temperatura de 60°C y velocidad de agitación de 750 RPM



Nota. Adaptación propia

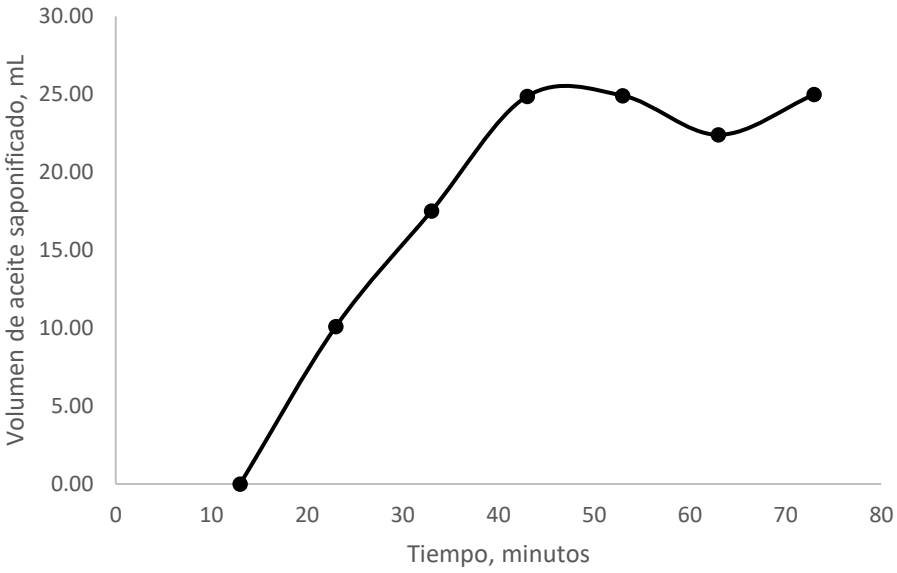
Tabla 10

Variación del volumen de aceite de soja(mL) en función del tiempo(minutos)

N de muestra	Tiempo acumulado(min)	Equivalente gramo de KOH que reaccionan(10^{-3}xmol)	Aceite saponificado (g)	Conversión del aceite de soja (%)
1	13	0.00	0.00	0.00
2	23	34.57	10.10	5.05
3	33	59.98	17.52	8.76
4	43	85.16	24.87	12.44
5	53	85.29	24.91	12.46
6	63	76.69	22.40	11.20
7	73	85.55	24.99	12.49

Figura 9

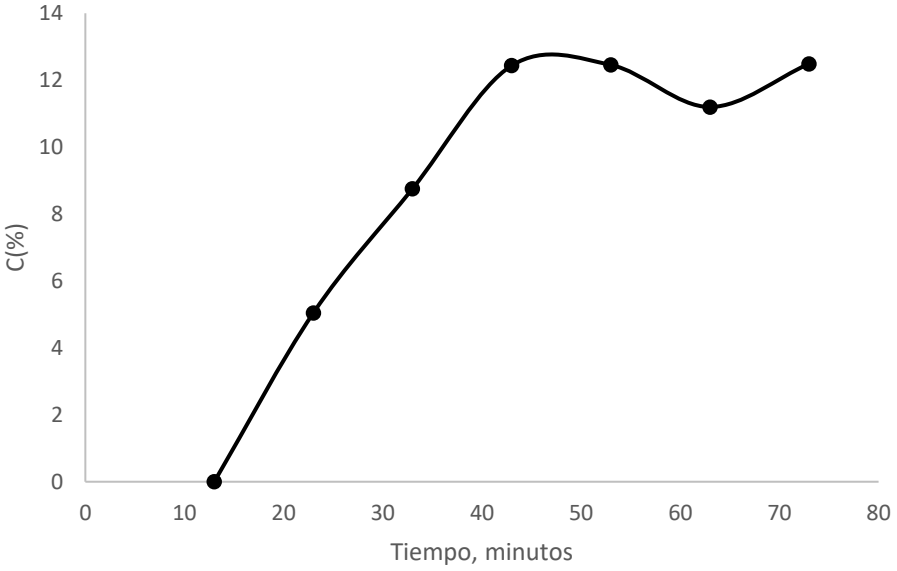
Variación de la saponificación del aceite de soja en función del tiempo, con solución etanólica de 23 mL, temperatura de 60°C y velocidad de agitación de 750 RPM



Nota. Adaptación propia

Figura 10

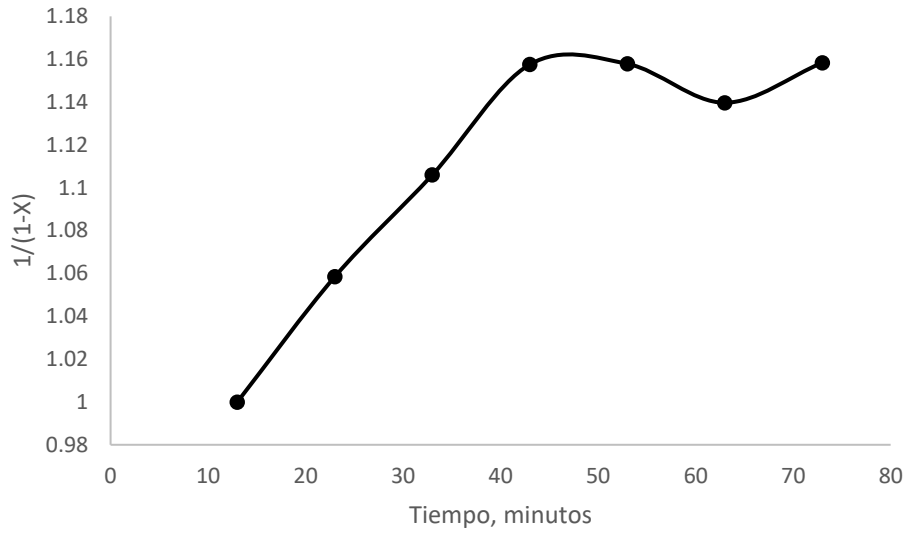
Conversión del aceite de soja (%) en función del tiempo, con solución etanólica de 23 mL, temperatura de 60°C y velocidad de agitación de 750 RPM



Nota. Adaptación propia

Figura 11

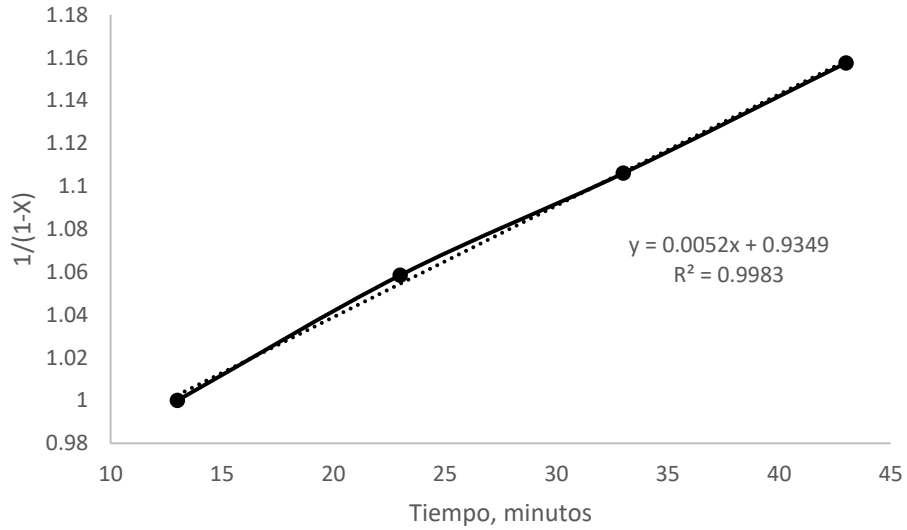
Inverso de las conversiones del aceite de soja vs tiempo



Nota. Adaptación propia

Figura 12

Ajuste de datos al modelo de segundo orden



Nota. Adaptación propia

Caso 2

Tabla 11

Condiciones de operación de la reacción de saponificación

Variables operativas	Valor
C_{KOH} (M)	0.0051
Temperatura (C°)	60
Velocidad de agitación (RPM)	750

Tabla 12

Volumen de soluciones para la reacción de saponificación

Solución	Volumen(mL)
Aceite de soja	200
Volumen de solución etanólica	15

Tabla 13

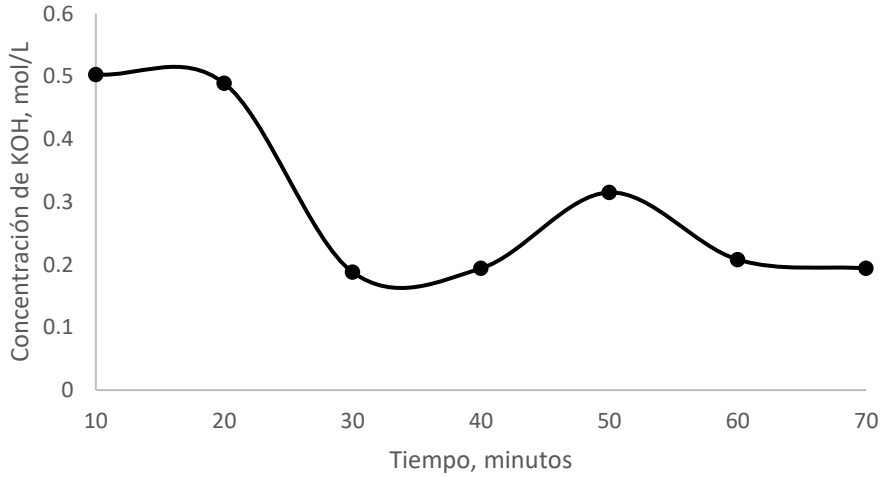
Variación de la concentración de KOH (moles/L) en función del tiempo(minutos)

N de muestra	Hora	t (tiempo en minutos)	Volumen gastado de HCl(mL)	Concentración de KOH en el balón(M)	Tiempo acumulado(min)
1	11:26	10	7.5	0.5025	10
2	11:36	10	7.3	0.4891	20
3	11:46	10	2.8	0.1876	30
4	12:06	20	2.9	0.1943	50
5	12:16	10	4.7	0.3149	60
6	12:26	10	3.1	0.2077	70
7	12:36	10	2.9	0.1943	80

Nota. Se toma 1 mL de solución por cada muestra y se titula con un ácido clorhídrico 0.0067 N.

Figura 13

Variación de la concentración de KOH en función del tiempo, con solución etanólica de 15 mL, temperatura de 60°C y velocidad de agitación de 750 RPM



Nota. Adaptación propia

Tabla 14

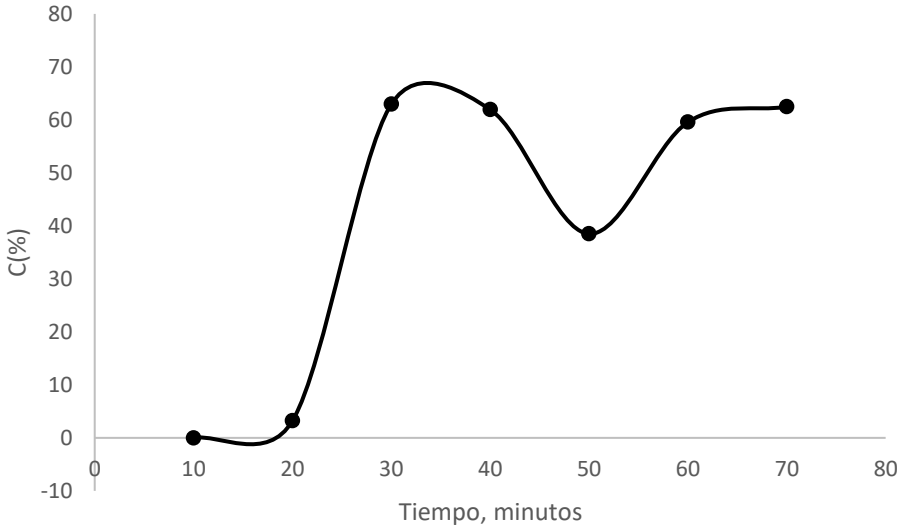
Conversión del KOH (%) en función del tiempo

N de muestra	Tiempo acumulado(min)	Moles de KOH que no reaccionan(mol)	Conversión de KOH (%)
0	0	0.1117	0

1	13	0.1081	56.78
2	23	0.0414	69.86
3	33	0.0425	79.53
4	43	0.0687	89.20
5	53	0.0451	89.20
6	63	0.0419	85.79
7	73	0.1117	89.20

Figura 14

Conversión del KOH (%) en función del tiempo, con solución etanólica de 15 mL, temperatura de 60°C y velocidad de agitación de 750 RPM



Nota. Adaptación propia

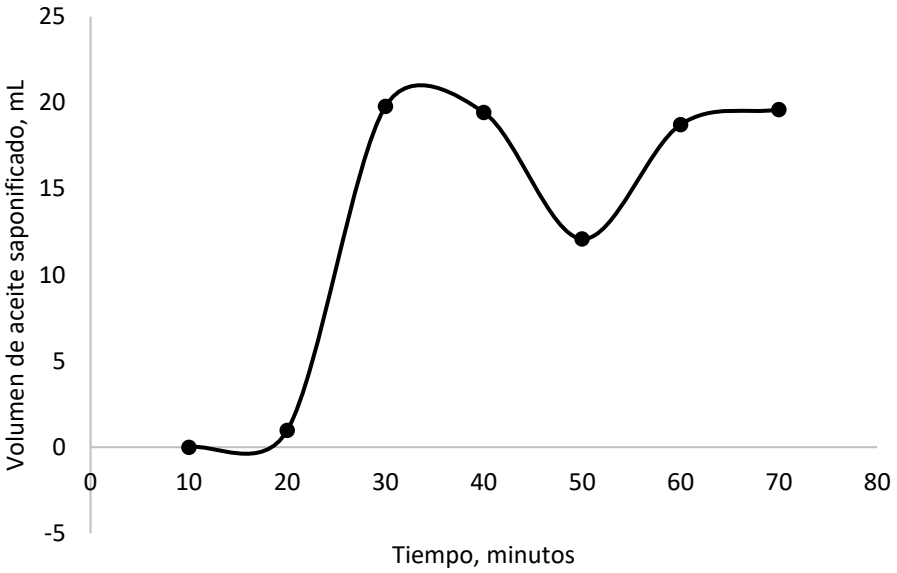
Tabla 15

Variación del volumen de aceite de soja(mL) en función del tiempo(minutos)

N de muestra	Tiempo acumulado(min)	Equivalente gramo de KOH que reacciona(10^{-3}xmol)	Aceite saponificado (mL))	Conversión del aceite de soja (%)
1	13	3.36	0.98	0.49
2	23	67.76	19.79	9.9
3	33	66.54	19.43	9.72
4	43	41.41	12.09	6.05
5	53	64.13	18.73	9.36
6	63	67.12	19.60	9.8

Figura 15

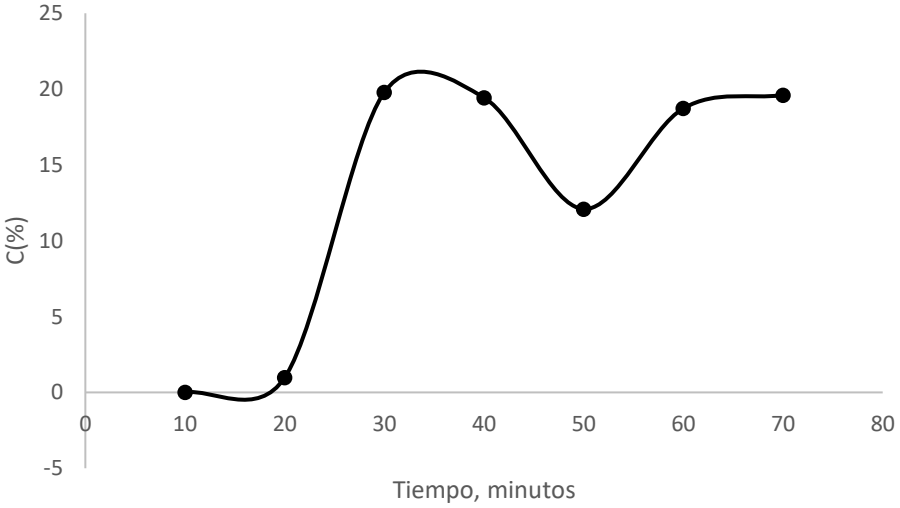
Variación de la saponificación del aceite de soja en función del tiempo, con solución etanólica de 15 mL, temperatura de 60°C y velocidad de agitación de 750 RPM



Nota. Adaptación propia

Figura 16

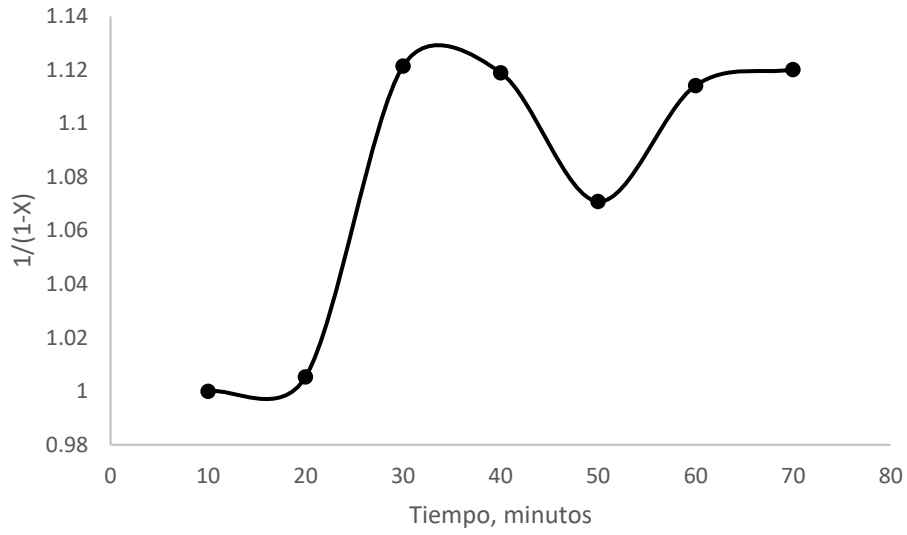
Conversión del aceite de soja (%) en función del tiempo, con solución etanólica de 15 mL, temperatura de 60°C y velocidad de agitación de 750 RPM



Nota. Adaptación propia

Figura 17

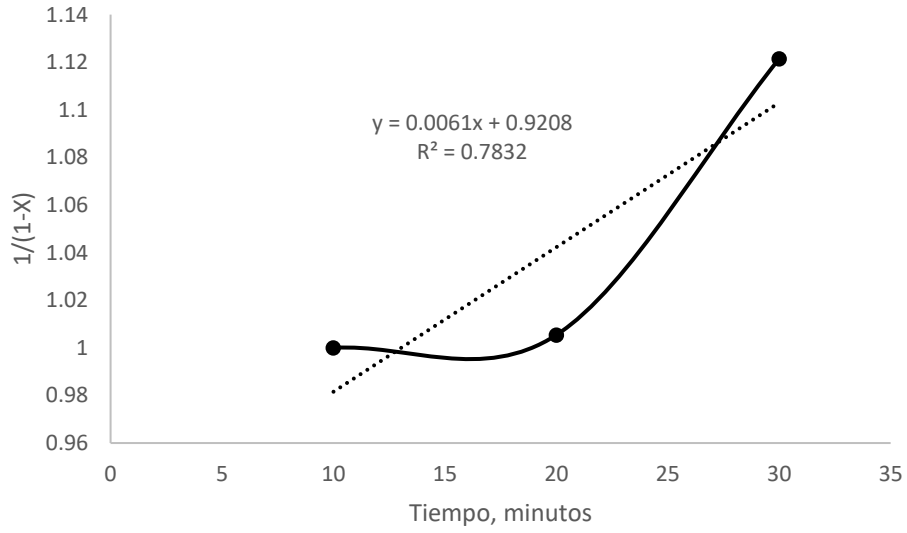
Inverso de las conversiones del aceite de soja vs tiempo



Nota. Adaptación propia

Figura 18

Ajuste de datos al modelo de segundo orden



Nota. Adaptación propia

Caso 3

Tabla 16

Condiciones de operación de la reacción de saponificación

Variables operativas	Valor
C_{KOH} (M)	0.0051
Temperatura (C°)	60
Velocidad de agitación (RPM)	750

Tabla 17

Volumen de soluciones para la reacción de saponificación

Solución	Volumen(mL)
Aceite de soja	200
Volumen de solución etanólica	8

Tabla 18

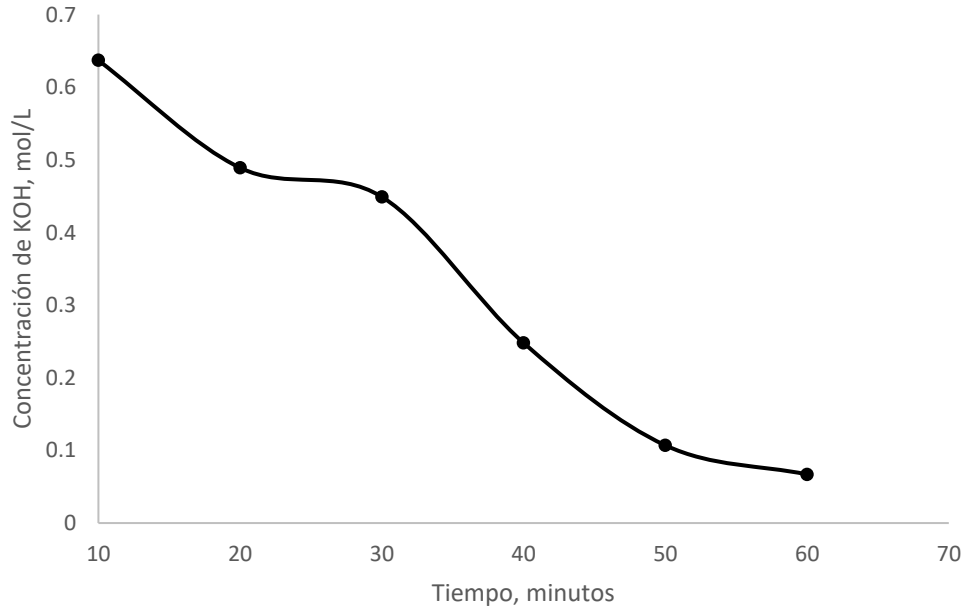
Variación de la concentración de KOH (moles/L) en función del tiempo(minutos)

N de muestra	Hora	t (tiempo en minutos)	Volumen gastado de HCl(mL)	Concentración de KOH en el balón(M)	Tiempo acumulado(min)
1	13:00	10	9.5	0.637	10
2	13:10	10	7.3	0.489	20
3	13:20	10	6.7	0.449	30
4	13:30	10	3.7	0.248	40
5	13:40	10	1.6	0.107	50
6	13:50	10	1.0	0.067	60

Nota. Se toma 1 mL de solución por cada muestra y se titula con un ácido clorhídrico 0.0067 N.

Figura 19

Variación de la concentración de KOH en función del tiempo, con solución etanólica de 8 mL, temperatura de 60°C y velocidad de agitación de 750 RPM



Nota. Adaptación propia

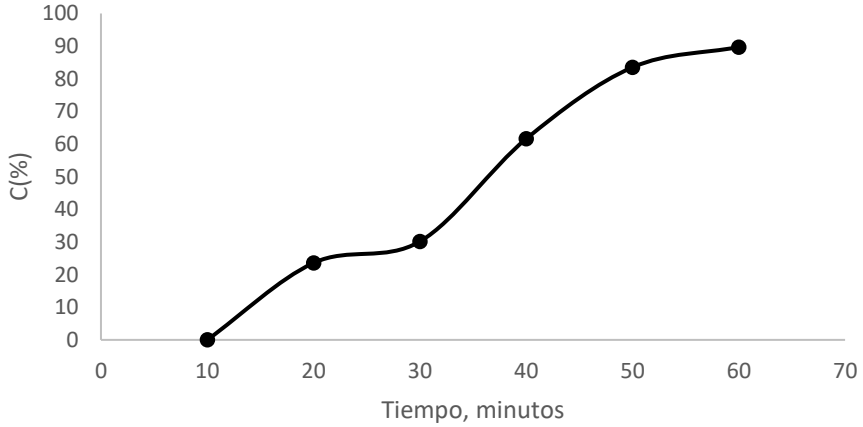
Tabla 19

Conversión del KOH (%) en función del tiempo

N de muestra	Tiempo acumulado(min)	Moles de KOH que no reaccionan(mol)	Conversión de KOH (%)
0	0	0.1414	0
1	10	0.1081	23.58
2	20	0.0988	30.15
3	30	0.0543	61.59
4	40	0.0233	83.51
5	50	0.0145	89.72

Figura 20

Conversión del KOH (%) en función del tiempo, con solución etanólica de 8 mL, temperatura de 60°C y velocidad de agitación de 750 RPM



Nota. Adaptación propia

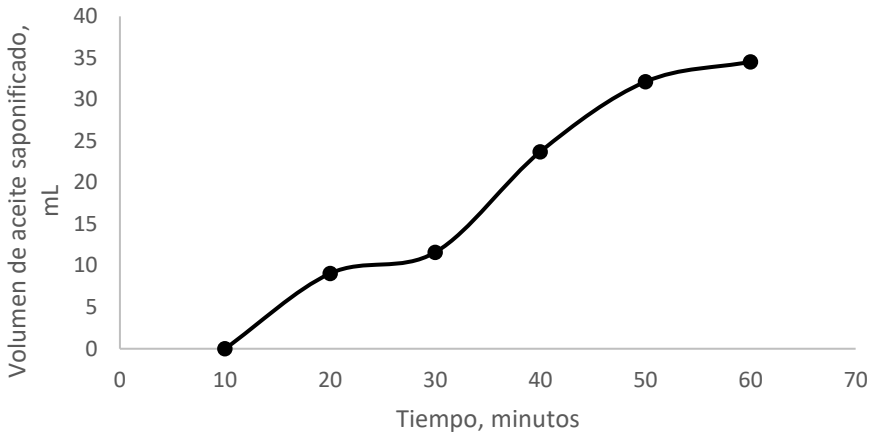
Tabla 20

Variación del volumen de aceite de soja(mL) en función del tiempo(minutos)

N de muestra	Tiempo acumulado(min)	Equivalente gramo de KOH que reaccionan(10^{-3}xmol)	Aceite saponificado (mL)	Conversión del aceite de soja (%)
1	10	0.00	0.00	0.00
2	20	31.0009	9.05	4.53
3	30	39.731	11.60	5.8
4	40	81.1839	23.71	11.86
5	50	109.9939	32.13	16.06
6	60	118.2215	34.53	17.27

Figura 21

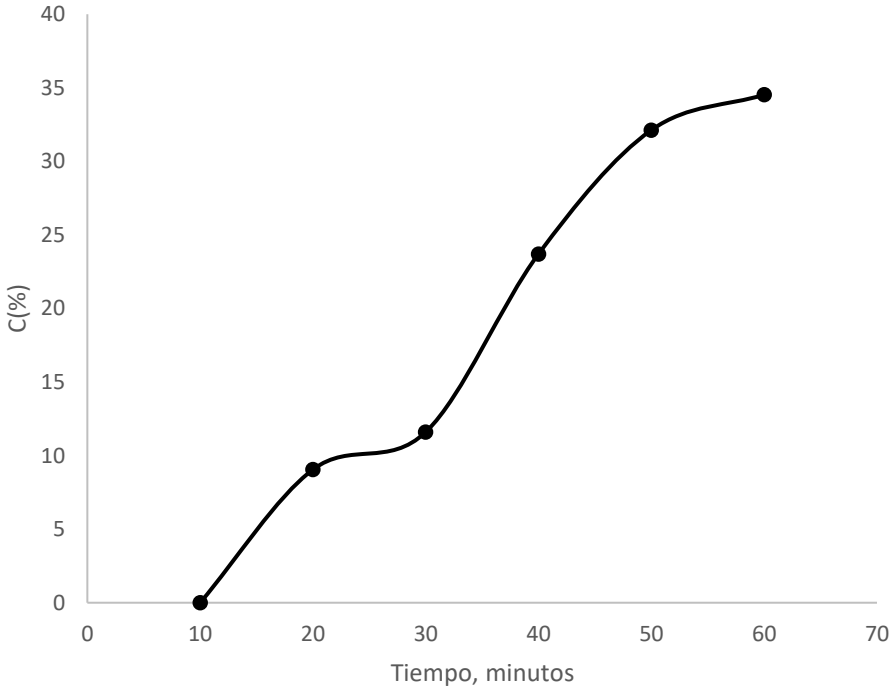
Variación del volumen de aceite de soja en función del tiempo, con solución etanólica de 8 mL, temperatura de 60°C y velocidad de agitación de 750 RPM



Nota. Adaptación propia

Figura 22

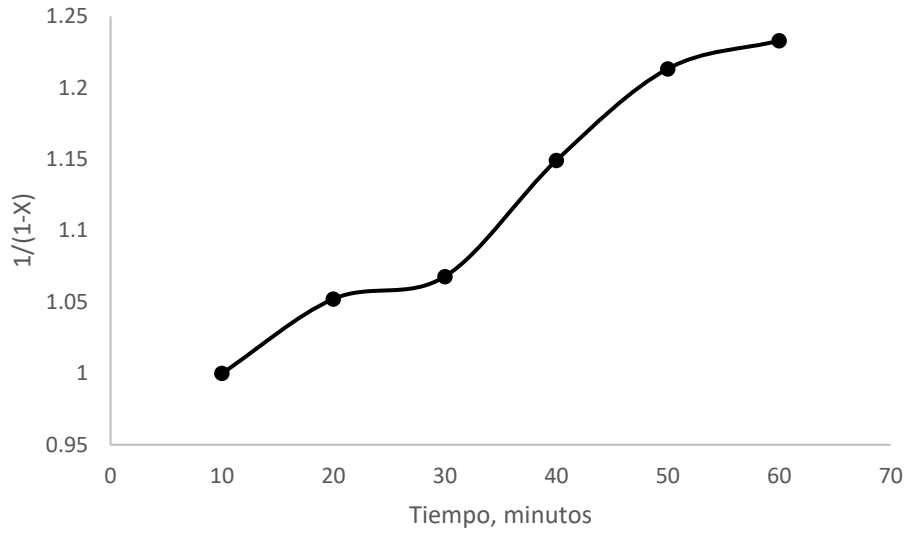
Conversión del aceite de soja (%) en función del tiempo, con solución etanólica de 8 mL, temperatura de 60°C y velocidad de agitación de 750 RPM



Nota. Adaptación propia

Figura 23

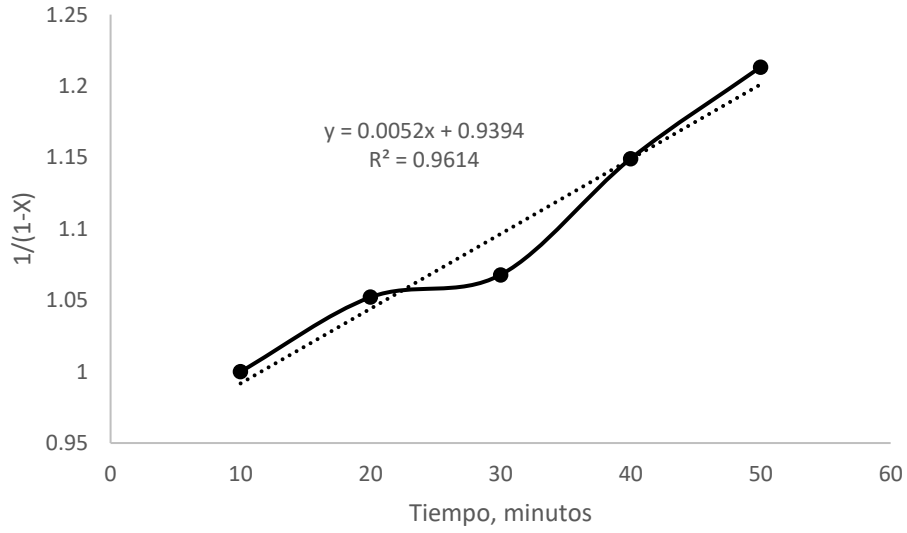
Inverso de las conversiones del aceite de soja vs tiempo



Nota. Adaptación propia

Figura 24

Ajuste de datos al modelo de segundo orden



Nota. Adaptación propia

Ensayos variando el nivel de agitación

Caso 4

Tabla 21

Condiciones de operación de la reacción de saponificación

Variables operativas	Valor
C_{KOH} (M)	0.0051

Temperatura (C°)	60
Velocidad de agitación (RPM)	300

Tabla 22

Volumen de soluciones para la reacción de saponificación

Solución	Volumen(mL)
Aceite de soja	200
Volumen de solución etanólica	23

Tabla 23

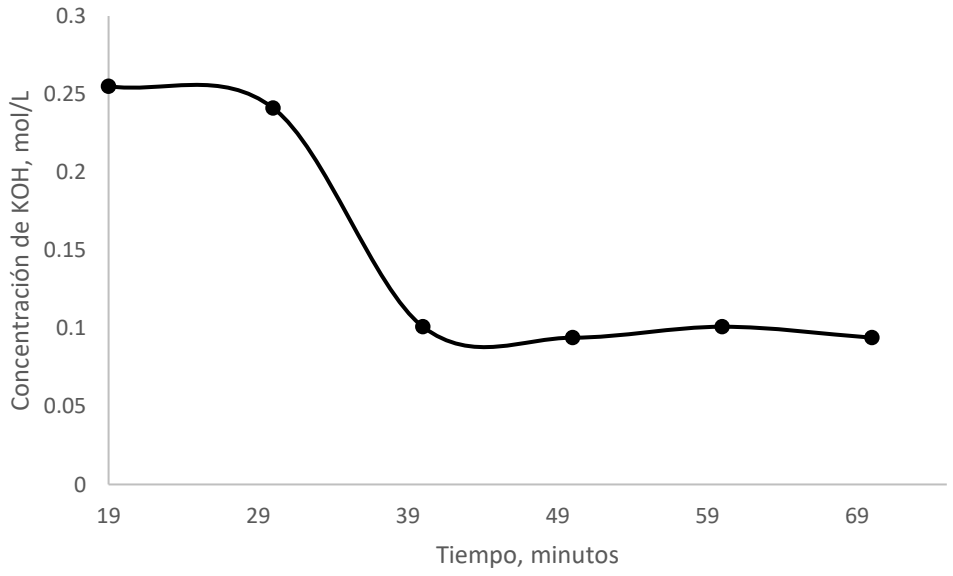
Variación de la concentración de KOH (moles/L) en función del tiempo(minutos)

N de muestra	Hora	t (tiempo en minutos)	Volumen gastado de HCl(mL)	Concentración de KOH en el balón(M)	Tiempo acumulado(min)
1	15:59	19	3.8	0.2546	10
2	16:10	11	3.6	0.2412	20
3	16:20	10	1.5	0.1005	30
4	16:30	10	1.4	0.0938	40
5	16:40	10	1.5	0.1005	50
6	16:50	10	1.4	0.0938	60

Nota. Se toma 1 mL de solución por cada muestra y se titula con un ácido clorhídrico 0.0067 N.

Figura 25

Variación de la concentración de KOH en función del tiempo, con solución etanólica de 23 mL, temperatura de 60°C y velocidad de agitación de 300 RPM



Nota. Adaptación propia

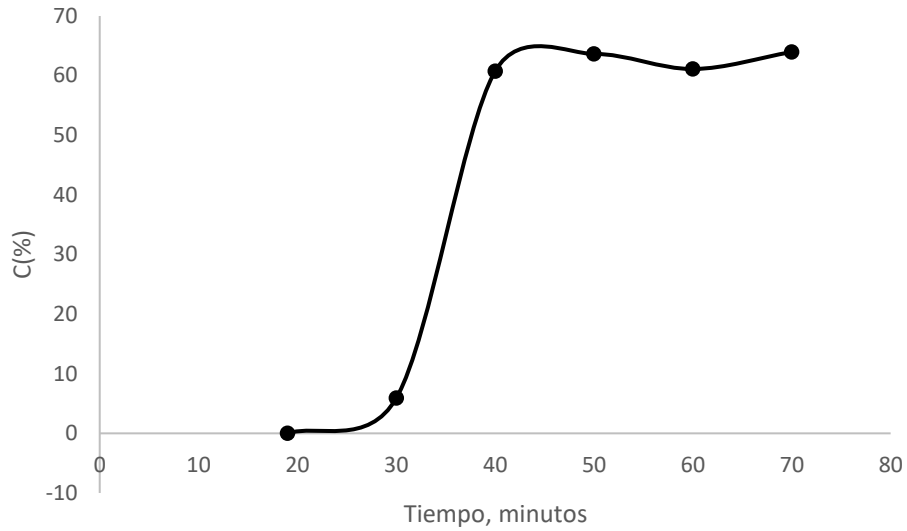
Tabla 24

Conversión del KOH (%) en función del tiempo

N de muestra	Tiempo acumulado(min)	Moles de KOH que no reaccionan reaccionan(mol)	Conversión de KOH (%)
0	0	0.0566	0.00
1	19	0.0533	5.92
2	30	0.0222	60.75
3	40	0.0206	63.64
4	50	0.0220	61.11
5	60	0.0204	63.97

Figura 26

Conversión del KOH (%) en función del tiempo, con solución etanólica de 23 mL, temperatura de 60°C y velocidad de agitación de 300 RPM



Nota. Adaptación propia

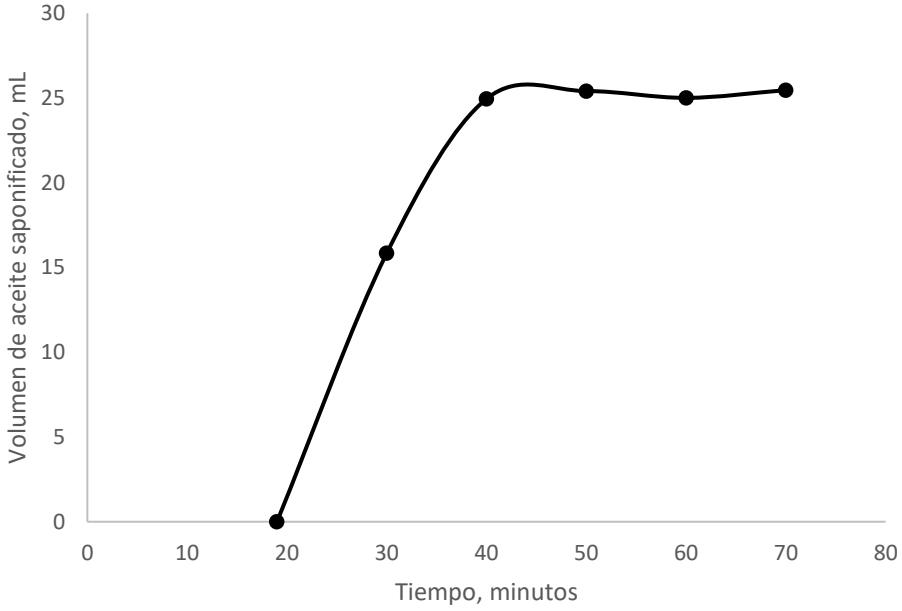
Tabla 26

Variación del volumen de aceite de soja(mL) en función del tiempo(minutos)

N de muestra	Tiempo acumulado(min)	Equivalente gramo de KOH que reaccionan(10^{-3}xmol)	Aceite saponificado (mL)	Conversión del aceite de soja (%)
1	13	0.00	0.00	0
2	23	54.23	15.84	7.92
3	33	85.43	24.95	12.48
4	43	86.99	25.41	12.70
5	53	85.63	25.01	12.50
6	63	87.18	25.46	12.73

Figura 27

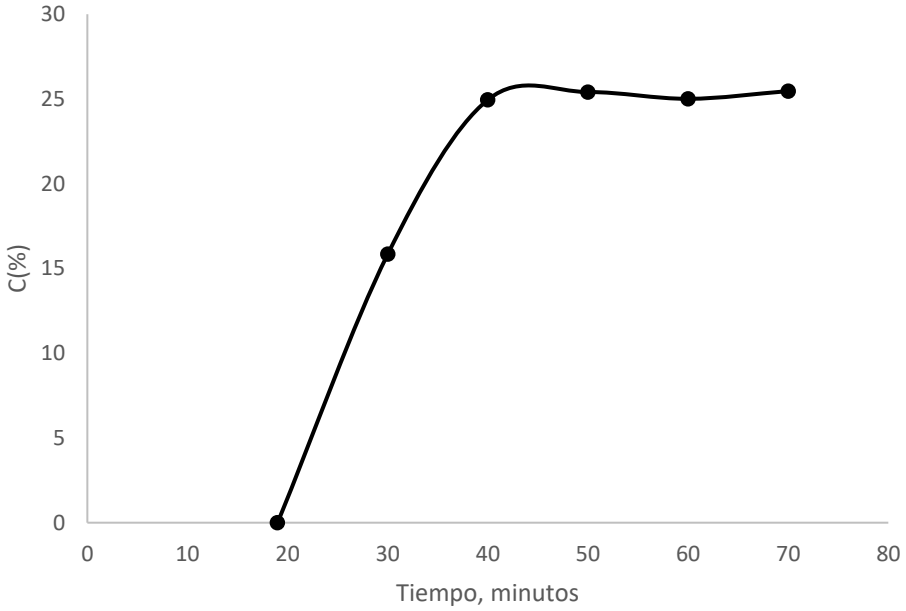
Variación de la concentración de aceite de soja en función del tiempo, con solución etanólica de 23 mL, temperatura de 60°C y velocidad de agitación de 300RPM



Nota. Adaptación propia

Figura 28

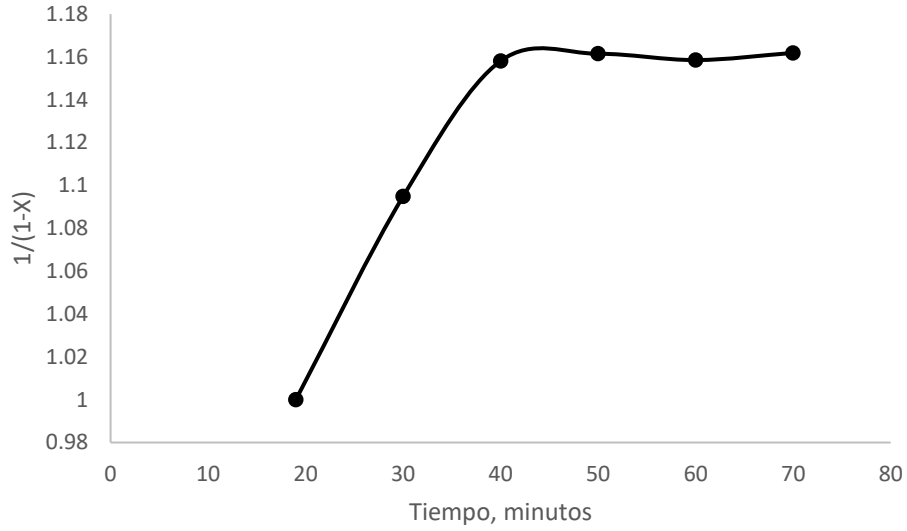
Conversión del aceite de soja (%) en función del tiempo, con solución etanólica de 23 mL, temperatura de 60°C y velocidad de agitación de 300RPM



Nota. Adaptación propia

Figura 29

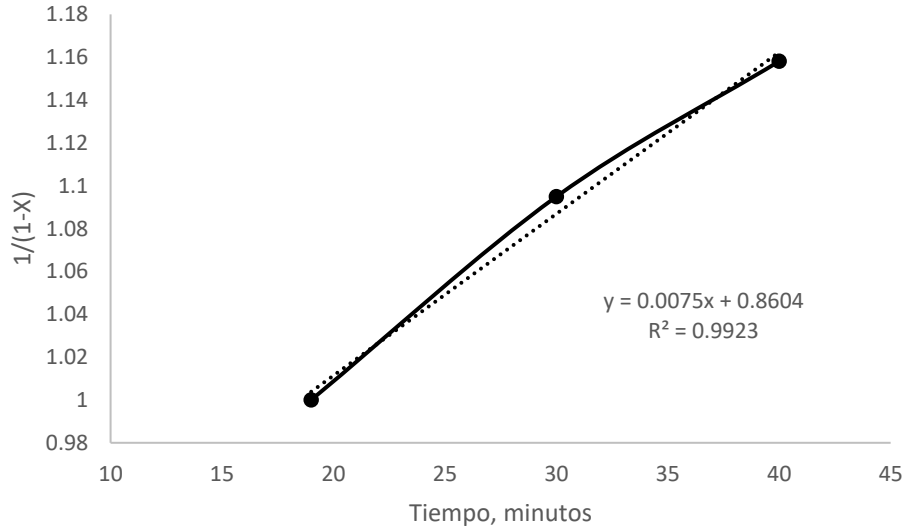
Inverso de las conversiones del aceite de soja vs tiempo



Nota. Adaptación propia

Figura 30

Ajuste de datos al modelo de segundo orden



Nota. Adaptación propia

Caso 5

Tabla 27

Condiciones de operación de la reacción de saponificación

Variables operativas	Valor
C_{KOH} (M)	0.0051

Temperatura (C°)	60
Velocidad de agitación (RPM)	600

Tabla 28

Volumen de soluciones para la reacción de saponificación

Solución	Volumen(mL)
Aceite de soja	200
Volumen de solución etanólica	23

Tabla 29

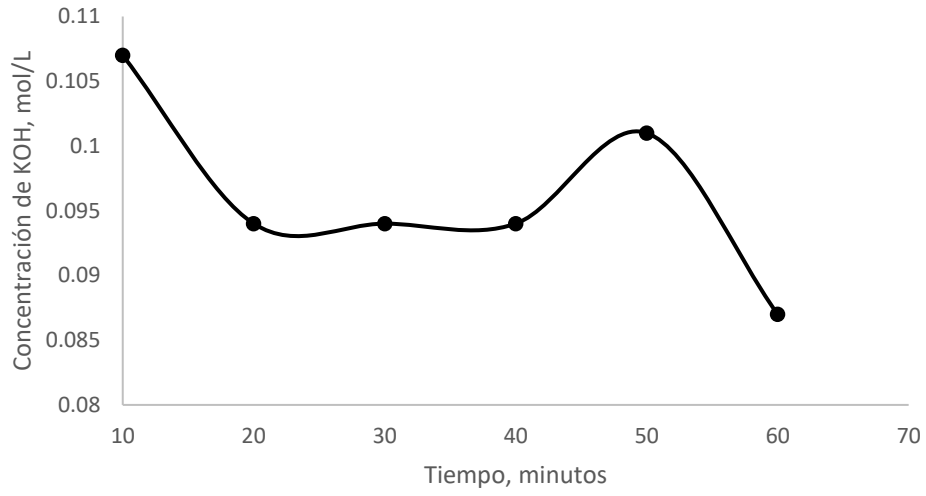
Variación de la concentración de KOH (moles/L) en función del tiempo(minutos)

N de muestra	Hora	t (tiempo en minutos)	Volumen gastado de HCl(mL)	Concentración de KOH en el balón(M)	Tiempo acumulado(min)
1	17:10	19	1.6	0.107	10
2	17:20	11	1.4	0.094	20
3	17:30	10	1.4	0.094	30
4	17:40	10	1.4	0.094	40
5	17:50	10	1.5	0.101	50
6	18:00	10	1.3	0.087	60

Nota. Se toma 1 mL de solución por cada muestra y se titula con un ácido clorhídrico 0.0067 N.

Figura 31

Variación de la concentración de KOH en función del tiempo, con solución etanólica de 23 mL, temperatura de 60°C y velocidad de agitación de 600 RPM



Nota. Adaptación propia

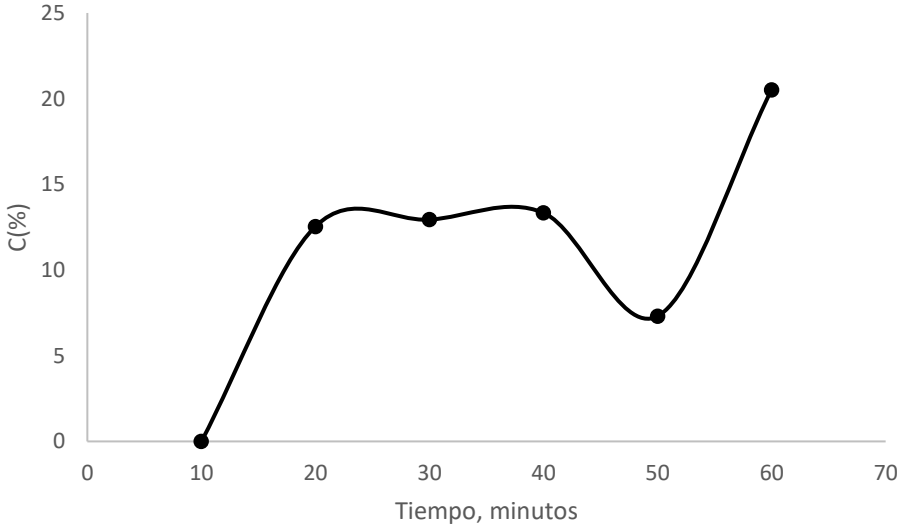
Tabla 30

Conversión del KOH (%) en función del tiempo

N de muestra	Tiempo acumulado(min)	Moles de KOH que no reaccionan(mol)	Conversión de KOH (%)
0	0	0.0238	0
1	10	0.0208	12.55
2	20	0.0207	12.94
3	30	0.0206	13.34
4	40	0.0220	7.31
5	50	0.0189	20.52

Figura 32

Conversión del KOH (%) en función del tiempo, con solución etanólica de 23 mL, temperatura de 60°C y velocidad de agitación de 600 RPM



Nota. Adaptación propia

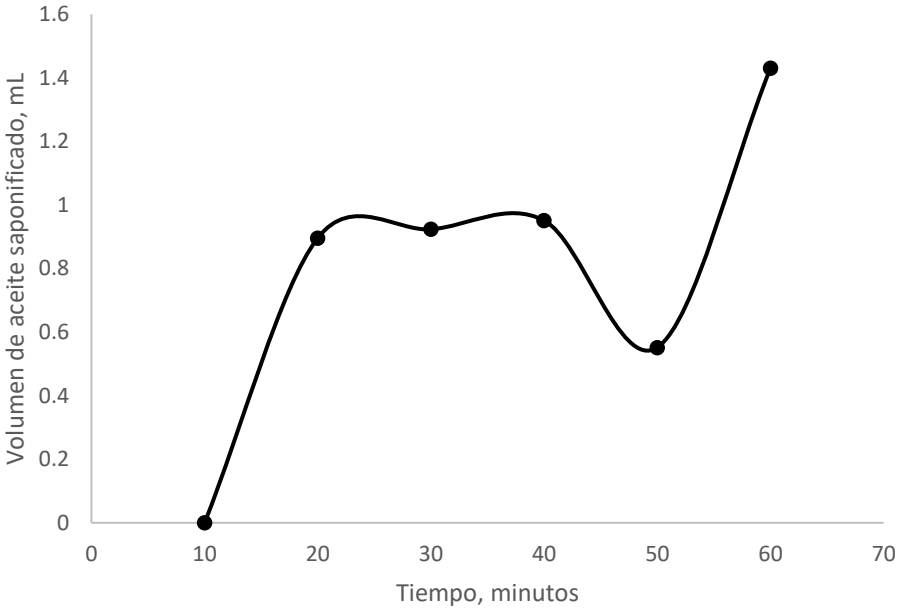
Tabla 31

Variación del volumen de aceite de soja(mL) en función del tiempo(minutos)

N de muestra	Tiempo acumulado(min)	Equivalente gramo de KOH que reaccionan(10^{-3}xmol)	Aceite saponificado (mL)	Conversión del aceite de soja (%)
0	0	0.00	0.00	0
1	10	3.069	0.90	0.45
2	20	3.162	0.92	0.46
3	30	3.256	0.95	0.48
4	40	1.889	0.55	0.28
5	50	4.898	1.43	0.72

Figura 33

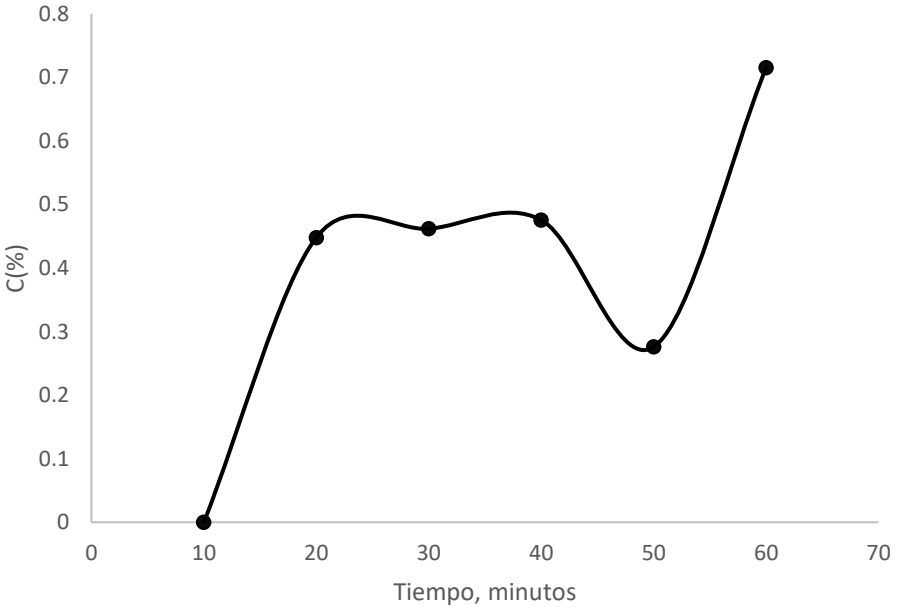
Variación de la saponificación del aceite de soja en función del tiempo, con solución etanólica de 23 mL, temperatura de 60°C y velocidad de agitación de 600 RPM



Nota. Adaptación propia

Figura 34

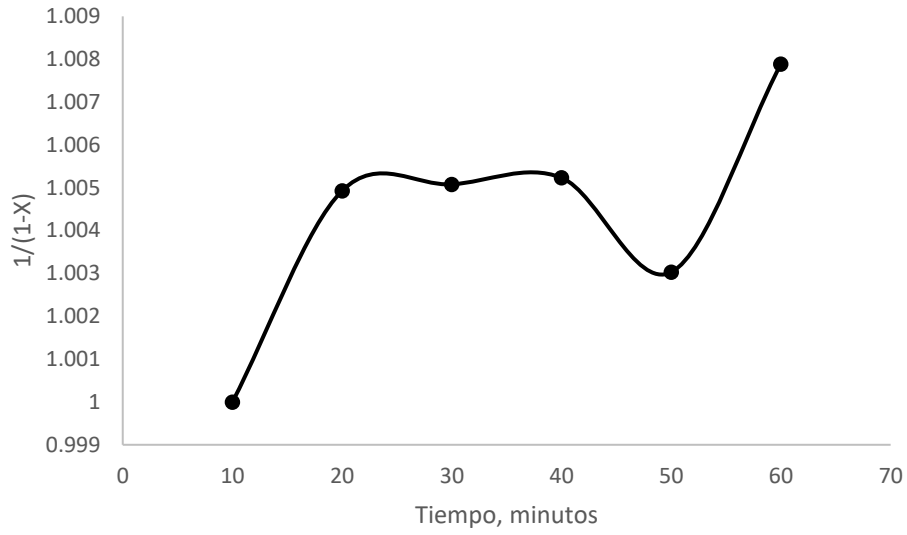
Conversión del aceite de soja (%) en función del tiempo, con solución etanólica de 23 mL, temperatura de 60°C y velocidad de agitación de 600 RPM



Nota. Adaptación propia

Figura 35

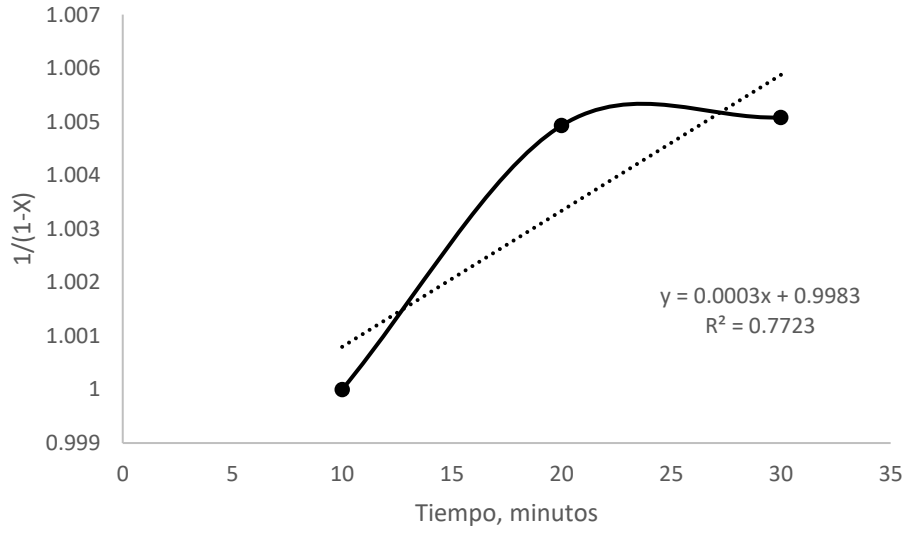
Inverso de las conversiones del aceite de soja vs tiempo



Nota. Adaptación propia

Figura 36

Ajuste de datos al modelo de segundo orden



Ensayos variando la temperatura

Caso 6

Tabla 32

Condiciones de operación de la reacción de saponificación

Variables operativas	Valor
C_{KOH} (M)	0.0051
Temperatura (C°)	50
Velocidad de agitación (RPM)	750

Tabla 33

Volumen de soluciones para la reacción de saponificación

Solución	Volumen(mL)
Aceite de soja	200
Volumen de solución etanólica	23

Tabla 34

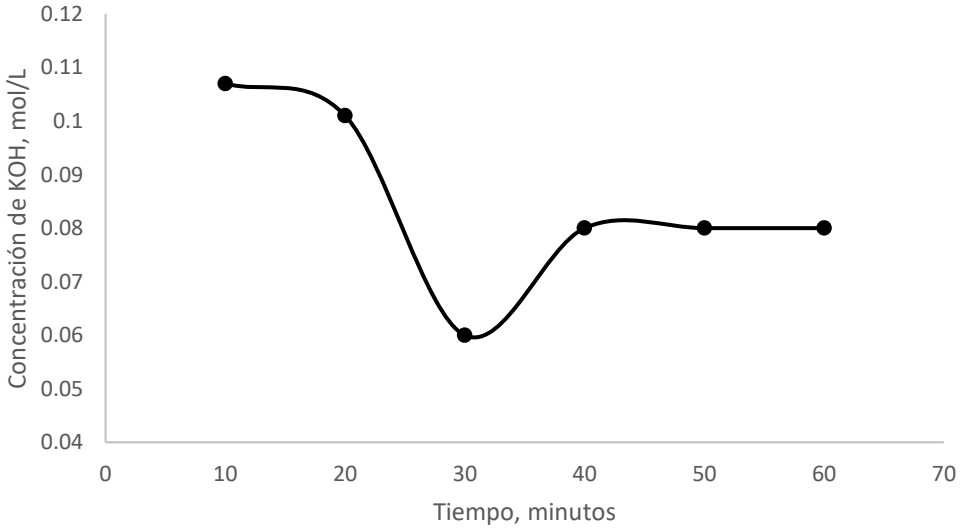
Variación de la concentración de KOH (moles/L) en función del tiempo(minutos)

N de muestra	Hora	t (tiempo en minutos)	Volumen gastado de HCl(mL)	Concentración de KOH en el balón(M)	Tiempo acumulado(min)
1	18:23	10	1.6	0.1072	10
2	18:33	10	1.5	0.1005	20
3	18:43	10	0.9	0.0603	30
4	18:53	10	1.2	0.0804	40
5	19:03	10	1.2	0.0804	50
6	19:13	10	1.2	0.0804	60

Nota. Se toma 1 mL de solución por cada muestra y se titula con un ácido clorhídrico 0.0067 N.

Figura 37

Variación de la concentración de KOH en función del tiempo, con solución etanólica de 23 mL, temperatura de 50°C y velocidad de agitación de 750 RPM



Nota. Adaptación propia

Tabla 35

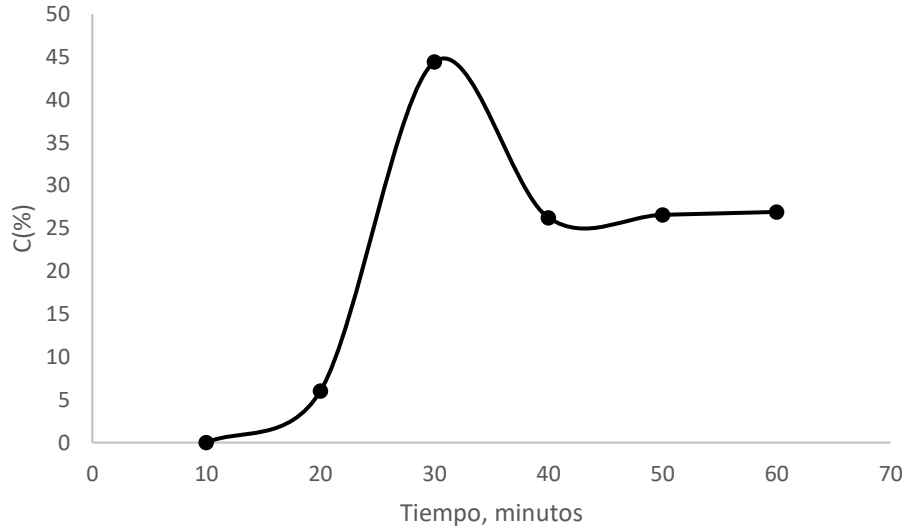
Conversión del KOH (%) en función del tiempo

N de muestra	Tiempo acumulado(min)	Moles de KOH que no reaccionan(mol)	Conversión de KOH (%)

0	0	0.0238	0
1	10	0.0223	6.03
2	20	0.0132	44.43
3	30	0.0175	26.24
4	40	0.0174	26.58
5	50	0.0174	26.92

Figura 38

Conversión del KOH (%) en función del tiempo, con solución etanólica de 23 mL, temperatura de 50°C y velocidad de agitación de 750 RPM



Nota. Adaptación propia

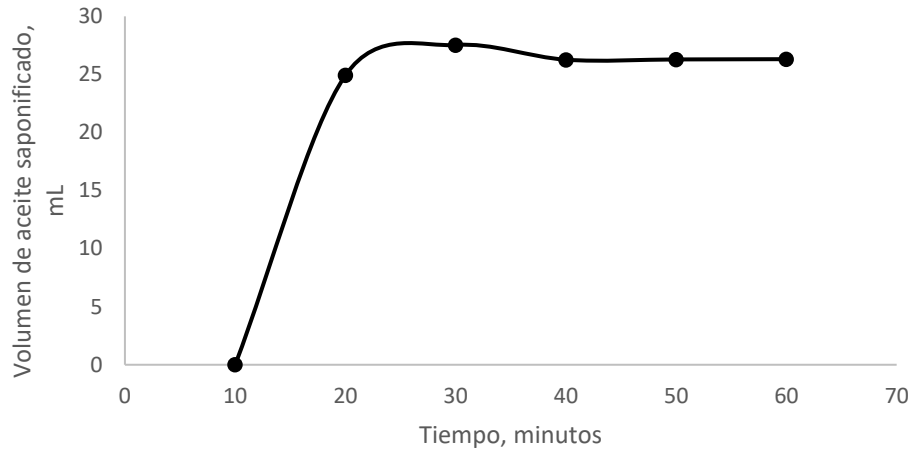
Tabla 36

Variación del volumen de aceite de soja(mL) en función del tiempo(minutos)

N de muestra	Tiempo acumulado(min)	Equivalente gramo de KOH que reaccionan (10^{-3}xmol)	Aceite saponificado (mL)	Conversión del aceite de soja (%)
1	10	0.00	24.92	0.00
2	20	85.32	27.53	12.46
3	30	94.27	26.27	13.77
4	40	89.923	26.29	13.13
5	50	90.01	26.31	13.14
6	60	90.09	24.92	13.16

Figura 39

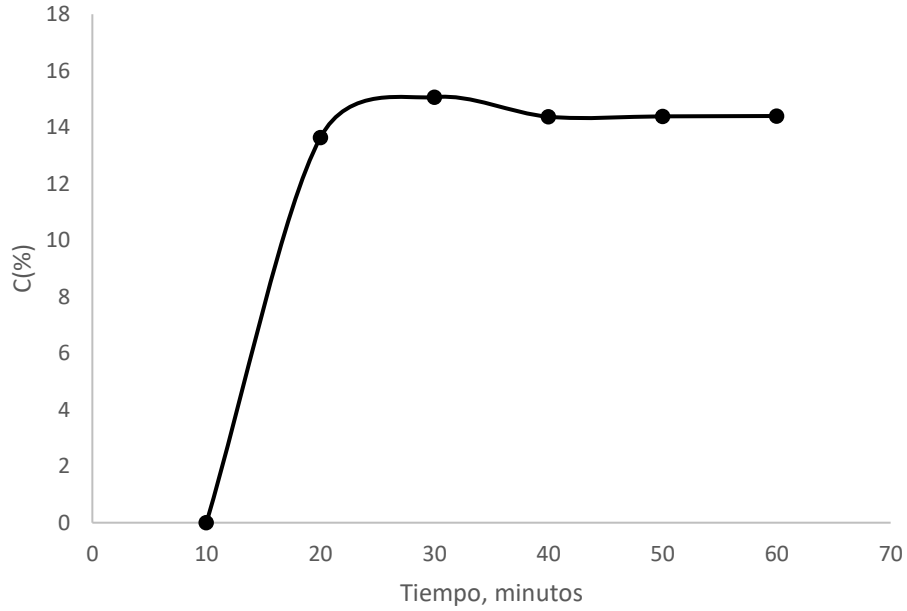
Variación del volumen de aceite de soja en función del tiempo, con solución etanólica de 23 mL, temperatura de 50°C y velocidad de agitación de 750 RPM



Nota. Adaptación propia

Figura 40

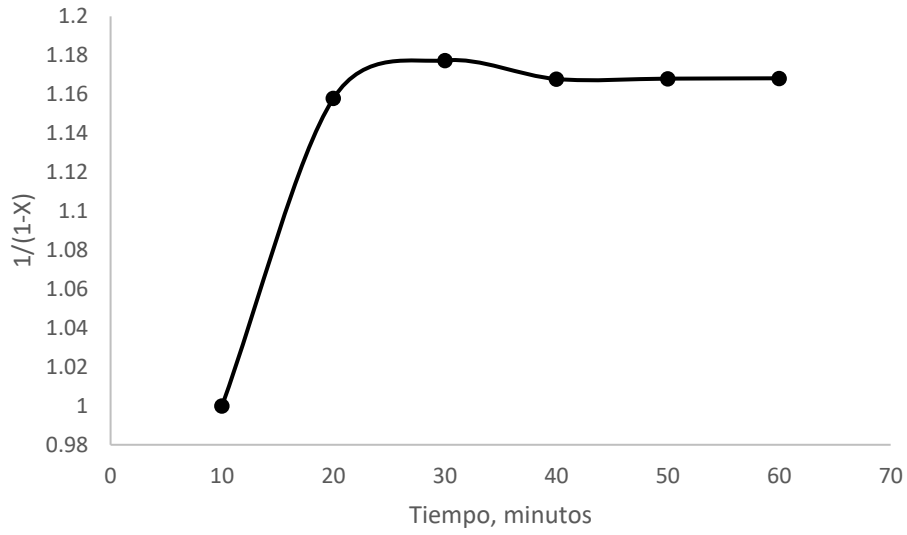
Conversión del aceite de soja (%) en función del tiempo, con solución etanólica de 23 mL, temperatura de 50°C y velocidad de agitación de 750 RPM



Nota. Adaptación propia

Figura 41

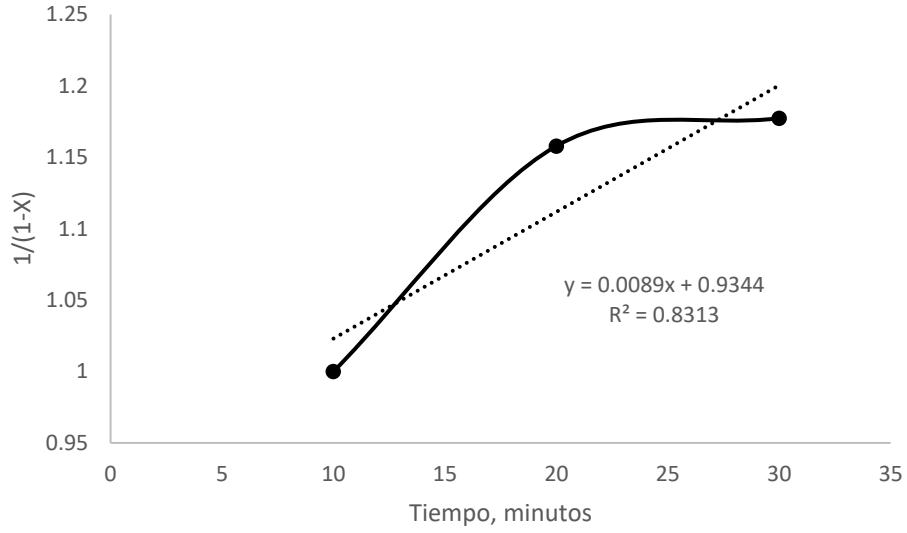
Inverso de las conversiones del aceite de soja vs tiempo



Nota. Adaptación propia

Figura 42

Ajuste de datos al modelo de segundo orden



Nota. Adaptación propia

Caso 7

Tabla 37

Condiciones de operación de la reacción de saponificación

Variables operativas	Valor
C_{KOH} (M)	0.0051
Temperatura (C°)	40
Velocidad de agitación (RPM)	750

Tabla 38

Volumen de soluciones para la reacción de saponificación

Solución	Volumen(mL)
Aceite de soja	200
Volumen de solución etanólica	23

Tabla 39

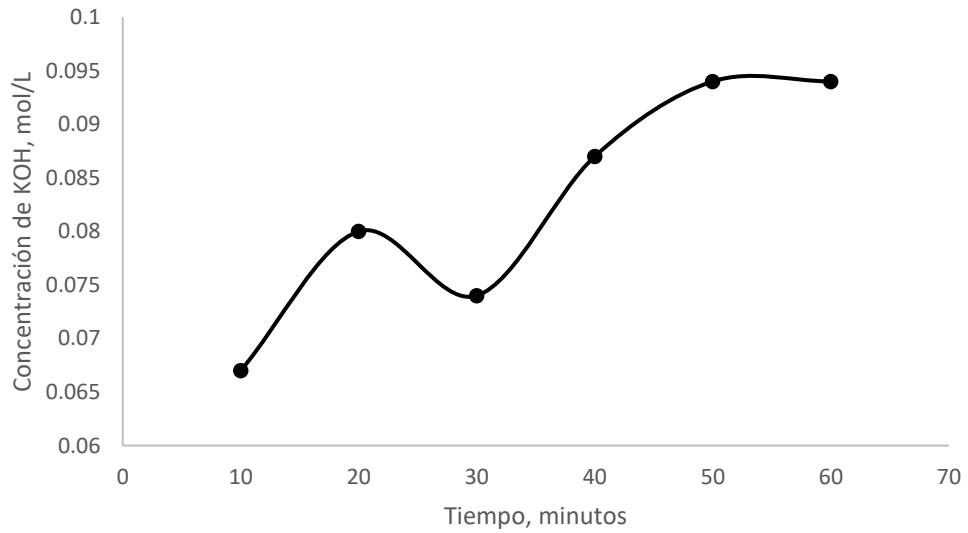
Variación de la concentración de KOH (moles/L) en función del tiempo(minutos)

N de muestra	Hora	t (tiempo en minutos)	Volumen gastado de HCl(mL)	Concentración de KOH en el balón(M)	Tiempo acumulado(min)
1	19:30	10	1	0.067	10
2	19:40	10	1.2	0.080	20
3	19:50	10	1.1	0.074	30
4	20:00	10	1.3	0.087	40
5	20:10	10	1.4	0.094	50
6	20:20	10	1.4	0.094	60

Nota. Se toma 1 mL de solución por cada muestra y se titula con un ácido clorhídrico 0.0067 N.

Figura 43

Variación de la concentración de KOH en función del tiempo, con solución etanólica de 23 mL, temperatura de 40°C y velocidad de agitación de 750 RPM



Nota. Adaptación propia

Tabla 40

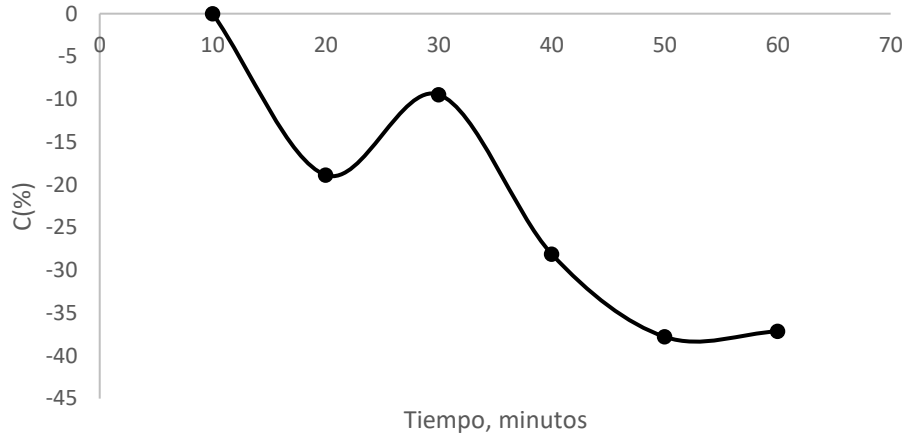
Conversión del KOH (%) en función del tiempo

N de muestra	Tiempo acumulado(min)	Moles de KOH que no reaccionan(mol)	Conversión de KOH (%)
0	0	0.0149	0
1	13	0.0177	-18.87

2	23	0.0163	-9.45
3	33	0.0191	-28.1
4	43	0.0205	-37.77
5	53	0.0204	-37.14

Figura 44

Conversión del KOH (%) en función del tiempo, con solución etanólica de 23 mL, temperatura de 40°C y velocidad de agitación de 750 RPM



Nota. Adaptación propia

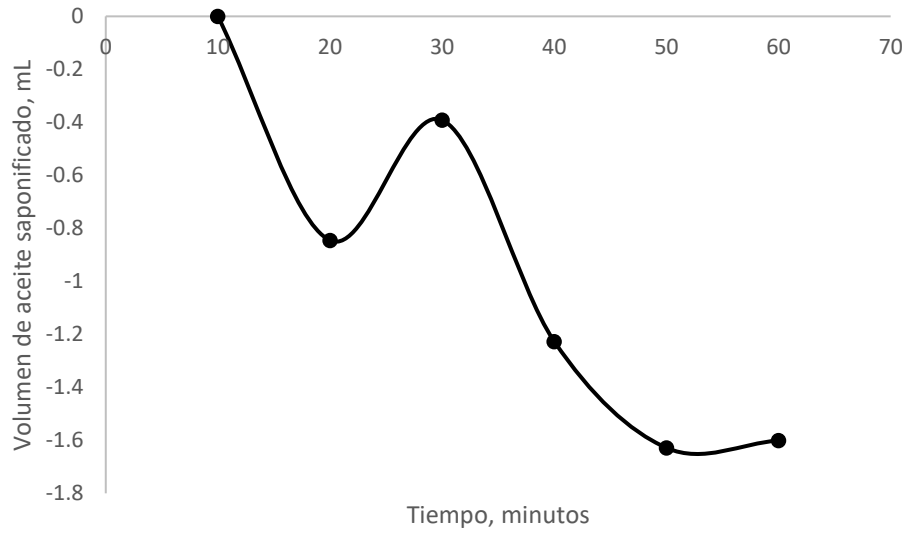
Tabla 41

Variación del volumen de aceite de soja(mL) en función del tiempo(minutos)

N de muestra	Tiempo acumulado(min)	Equivalente gramo de KOH que reaccionan (10^{-3}xmol)	Aceite saponificado (mL)	Conversión del aceite de soja (%)
1	10	1.07	0.00	0
2	20	1.07	-0.85	-0.42
3	30	1.11	-0.39	-0.2
4	40	1.09	-1.23	-0.61
5	50	1.09	-1.63	-0.81
6	60	1.09	-1.60	-0.8

Figura 45

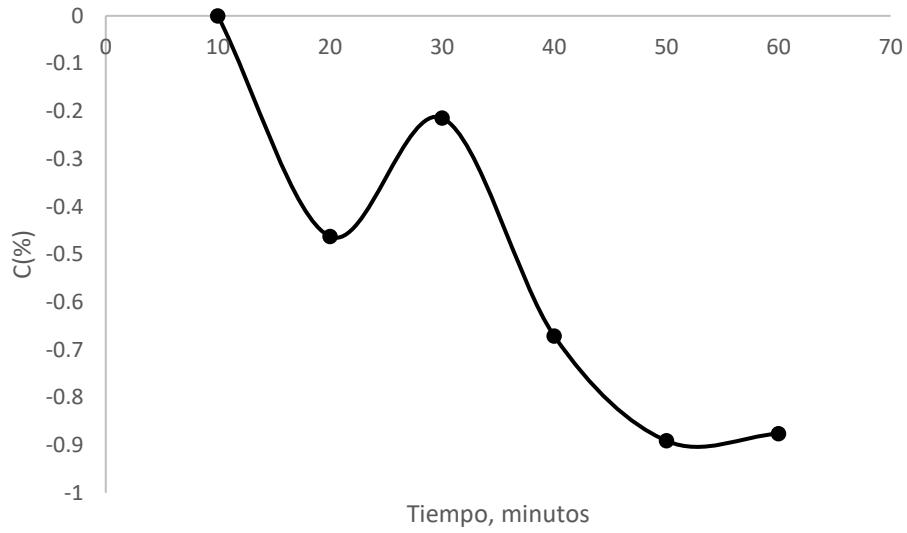
Variación del volumen de aceite de soja en función del tiempo, con solución etanólica de 23 mL, temperatura de 40°C y velocidad de agitación de 750 RPM



Nota. Adaptación propia

Figura 46

Conversión del aceite de soja (%) en función del tiempo, con solución etanólica de 23 mL, temperatura de 40°C y velocidad de agitación de 750 RPM



Nota. Adaptación propia

Variables de ecuación cinética que ajustan al modelo de una línea recta según el orden de la reacción.

Tabla 42

Orden de reacción para cada caso de estudio

Caso	Orden de reacción	k(min^{-1})
1	Pseudo segundo orden	0.0052
2	Pseudo segundo orden	0.0061

3	Pseudo segundo orden	0.0052
4	Pseudo segundo orden	0.0075
5	Pseudo segundo orden	0.0003
6	Pseudo segundo orden	0.0089

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Estudio de la velocidad de reacción de una muestra de aceite de soja en función de la temperatura, la concentración de KOH y la velocidad de agitación de la mezcla de reactantes

Planteamiento del problema	**Objetivos de la investigación**	**Hipótesis de la investigación**	**Variables de estudio**	**Metodología de la investigación**
Realidad problemática La saponificación del aceite de soja es un proceso químico fundamental, pero existen pocos estudios que analicen la influencia conjunta de la temperatura, concentración de KOH y velocidad de	Objetivo general Optimizar el proceso de saponificación del aceite de soja evaluando el efecto de la temperatura, concentración de KOH y velocidad de agitación. Objetivo específico - Determinar el efecto de la	Hipótesis general La velocidad de reacción de saponificación del aceite de soja depende directamente de la temperatura, la concentración de KOH y la velocidad de agitación Hipótesis específica - El efecto de la temperatura sobre la velocidad de reacción es directamente proporcional.	1.Variables dependientes Velocidad de reacción (conversión a jabón) 1.1Indicadores Conversión porcentual del aceite a jabón durante el tiempo establecido en el experimento. 2. Variables independientes	1. Tipo de investigación Experimental y documental 2. Diseño de investigación Diseño experimental con variación controlada en las condiciones (temperatura, concentración y agitación). 3. Población y muestra Población: Lote homogéneo de aceite de soja comercial Muestra: Submuestras aleatorias tomadas del galón utilizado en el experimento.

agitación en la velocidad de reacción. Planteamiento del problema ¿De qué manera influyen la temperatura, la concentración de KOH y la velocidad de agitación en la velocidad de reacción del aceite de soja?	temperatura en la velocidad de reacción. - Evaluar el impacto de la concentración de KOH. - Analizar cómo afecta la velocidad de agitación a la reacción.	- El efecto de la concentración de KOH sobre la velocidad es directamente proporcional. - La velocidad de agitación también es proporcional. |	-Temperatura (40°C, 50°C, 60°C). -Concentración de KOH (baja, media, alta). -Velocidad de agitación (300, 600, 750 rpm 2.1 Indicadores Tasa de conversión a jabón en función del tiempo bajo diferentes condiciones experimentales.	4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos -Análisis fisicoquímico del aceite mediante laboratorio certificado. - Titulación para determinar conversión a jabón. - Agitación controlada y monitoreo constante durante el experimento. 6. Tratamiento estadístico de datos Análisis comparativo utilizando gráficos para observar tendencias en conversión a jabón bajo diferentes condiciones experimentales y cálculo constante k para determinar la cinética del proceso.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El experimento, llevado a cabo con diferentes concentraciones de KOH, temperaturas y velocidades de agitación, se realizó durante un máximo de 80 minutos para cada caso. A continuación, se discuten los resultados considerando los intervalos de tiempo específicos en los cuales se analizaron los datos debido a la inconsistencia de los gráficos después de ciertos minutos, sugiriendo que la reacción de KOH fue casi completa en los primeros minutos.

1. Efecto de la concentración de KOH

Caso 1 (concentración máxima, 60°C, 750 rpm, 40 minutos). La constante k = 0.0052 min-1 indica una velocidad moderada. La decisión de graficar solo los primeros 40 minutos coincide con el comportamiento observado, donde se estima que la mayor parte del KOH ha reaccionado casi por completo antes de ese tiempo. Esto sugiere una rápida conversión inicial debido a la alta concentración de KOH.

Caso 2 (concentración media, 60°C, 750 rpm, 30 minutos): Con k = 0.0061 min-1 la reacción fue más rápida que en el caso 1. Se graficaron los primeros 30 minutos debido a la misma tendencia de inconsistencia posterior, lo que sugiere que el agotamiento de KOH fue más rápido en condiciones de concentración media.

Caso 3 (concentración baja, 60°C, 750 rpm, 50 minutos) Aquí se graficaron los primeros 50 minutos, más que en otros casos, lo que indica que con una concentración baja de KOH, la conversión fue más lenta y se requirió un mayor tiempo para observar la misma inconsistencia.

2. Efecto de la velocidad de agitación:

Caso 4 (concentración alta, 60°C, 300 rpm, 40 minutos): Con k = 0.0075 min-1 la velocidad de reacción fue más alta que en otros casos a pesar de la menor agitación. Los primeros 40 minutos mostraron una reacción rápida, donde el KOH se consumió en este intervalo, resultando en la posterior inconsistencia.

Caso 5 (concentración alta, 60°C, 600 rpm, 30 minutos): Con k = 0.0003 min-1 la velocidad fue extremadamente baja. Solo se graficaron los primeros 30 minutos, ya que, incluso con alta concentración de KOH, la velocidad de reacción fue limitada por la baja eficiencia de mezcla, lo que llevó a inconsistencias tempranas.

3. Efecto de la temperatura:

Caso 6 (concentración alta, 50°C, 750 rpm, 30 minutos): El k = 0.0089 min-1 fue el más alto registrado, con una reacción rápida en los primeros 30 minutos, sugiriendo condiciones favorables para la cinética de la saponificación. Nuevamente, la inconsistencia posterior sugiere que el KOH se agotó en ese período.

Caso 7 (concentración alta, 40°C, 750 rpm): No se determinó un valor de k debido a que la conversión fue negativa y no se registró un consumo de KOH. La temperatura más baja (40°C) resultó en condiciones desfavorables para la saponificación.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Reacción rápida en los primeros minutos: En todos los casos, la mayor parte del KOH reaccionó en los primeros minutos, lo que llevó a la aparición de inconsistencias en los gráficos. Esto refleja una rápida conversión inicial, después de la cual la velocidad de reacción disminuyó drásticamente o la reacción se completó.

Concentración y agitación: La concentración de KOH no fue siempre el factor limitante. En condiciones de alta agitación (750 rpm), incluso concentraciones más bajas mostraron una conversión eficiente, mientras que a 600 rpm la velocidad fue extremadamente baja a pesar de la alta concentración.

Temperatura: La temperatura fue un factor clave en la velocidad de reacción. El caso 6 (50°C y 750 rpm) mostró el mayor valor de k, sugiriendo que esta temperatura era óptima para la reacción. A 40°C, la reacción fue muy ineficiente, y no se pudieron determinar valores de k.

Recomendaciones

Optimización de las condiciones de operación: Se recomienda operar la reacción a 50°C y 750 rpm, ya que estas condiciones resultaron en la mayor constante de velocidad y conversión eficiente en un tiempo relativamente corto (30 minutos).

Control preciso del tiempo: Dado que la mayor parte de la conversión ocurre en los primeros minutos, se debe enfocar el análisis en estos tiempos iniciales y realizar mediciones más frecuentes para obtener datos más detallados sobre la cinética de la reacción.

Evitar temperaturas muy bajas: Temperaturas inferiores a 50°C resultaron en valores inconsistentes de conversión. Es recomendable evitar temperaturas de 40°C o menos, ya que no permiten una reacción eficiente.

Explorar velocidades de agitación intermedias: A 600 rpm, el sistema no mostró un buen rendimiento. Se sugiere explorar valores de agitación entre 600 y 750 rpm para encontrar el equilibrio óptimo entre eficiencia de mezcla y velocidad de reacción.

VIII. REFERENCIAS

- Núñez Venegas, O. J., & Cabrera Carranza, C. F. (2011). Comportamiento dinámico de la saponificación del acetato de etilo en un reactor de tanque con reacción continua. Revista Del Instituto De investigación De La Facultad De Minas, Metalurgia Y Ciencias geográficas, 14(28). https://doi.org/10.15381/iigeo.v14i28.676

- Leyva Arévalo, J., & Torres Gómez, R. (2016). Obtención de jabón líquido usando aceite vegetal reciclado en la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana – Iquitos.

- Mostacero Risco, O. A. (2018). Saponificación del aceite de cocina usado para mitigar la contaminación del río Chorobamba, Distrito de Oxapampa – Pasco.

- Atkins, P., & de Paula, J. (2010). Physical Chemistry. Oxford University Press.

- Chang, R. (2010). Química. McGraw-Hill.

- House, J. E. (2007). Principles of chemical kinetics (2nd ed.). Academic Press.

- Harrison, R. M. (2018). Química Ambiental. Royal Society of Chemistry.

- Jones, D., Clark, R., & Patel, A. (2016). Mixing and Agitation in Chemical Processes. CRC Press.

- Jones, D., Smith, J., & Lee, P. (2016). Chemical Process Industries. McGraw-Hill.

- Santosh K. Upadhyay (2006). Chemical Kinetics and Reaction Dynamics. Springer.

- A.I.S.E. (2020). *The socio-economic contribution of the European cleaning products industry*. https://www.aise.eu/documents/document/20200929135443-aise-socio-economic-contribution-report.pdf

- Myers, D. (2012). *Surfactant science and technology* (3rd ed.). Wiley-Interscience.

- ONU (2015). *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. United Nations. https://sdgs.un.org/2030agenda

- Van Gerpen, J., Shanks, B., Pruszko, R., Clements, D., & Knothe, G. (2004). *Biodiesel production technology*. National Renewable Energy Laboratory.

- McMurry, J. (2011). Organic Chemistry with Biological Applications (2da ed.). Cengage Learning

- Ramírez Esteban, María Jimena (2021) Evaluación de tres métodos de saponificación sobre residuos de aceite de palma (elaeis guineensis) y residuos de aceite de soja (glycine max) para la elaboración de grasas sobrepasantes (jabones cálcicos) a nivel de laboratorio, Guatemala

- Pohl, N. L. B., Streff, J. M., & Brokman, S. (2012). Evaluating sustainability: Soap versus biodiesel production from plant oils. *Journal of Chemical Education, 89*(2), 1053−1056. dx.doi.org/10.1021/ed100451d

- Smith, J. M. (1991). *Ingeniería de la cinética química* (3rd ed.). McGraw-Hill Education

- Kurniawati, Y., & Paramita, V. (2022). Optimization of manufacturing liquid soap based on virgin coconut oil with a combination of potassium hydroxide and ammonium hydroxide. *Journal of Vocational Studies on Applied Research*, *4*(1), 7-12. https://doi.org/10.14710/jvsar.v4i1.14463

- Ferrari, B., & Terré, E. (2023). La producción mundial de aceites 2022/23 será un récord, aunque aún falta descontar el escenario de Argentina. *AÑO XL - Edición 2094 - N° Especial Soja 2022/23*. Bolsa de Comercio del Rosario.

- Jackson, C.J.C, Dini, J. P, Lavandier, C, Rupasinghe,H.P.U., Faulkner, H., Poysa, V., Buzell, D. and Dehrandic, S. (2002). Effects of Processing on the Content and Composition of Isoflavones during Manufacturing of Soya Beverage. Process Biochemistry 37, 1117- 1123

- Serri NA , Kamarudin AH y Abdul Rahaman SN , Estudios preliminares para la producción de ácidos grasos a partir de la hidrólisis del aceite de palma para cocinar utilizando la lipasa de C. rugosa , Journal of Physical Science . (2008) 19 , 79 – 88 .

- Hermansyah H. , Kubo M. , Shibasaki-Kitakawa N. y Yonemoto T. , Modelo matemático para la hidrólisis escalonada de trioleína utilizando lipasa de Candida rugosa en un sistema bifásico de aceite-agua , Biochemical Engineering Journal . (2006) 31 , n.º 2, 125-132 , 2-s2.0-33748292884, https://doi.org/10.1016/j.bej.2006.06.003 .

- Pinto, J. S. S., & Lanças, F. M. (2006). Hidrólisis de aceite de maíz utilizando agua subcrítica. Revista de la Sociedad Brasileña de Química, 17(1), 85-89. https://doi.org/2-s2.0-32444442561

- Salimon, J., Abdullah, B. M., & Salih, N. (2012). Saponification of *Jatropha curcas* seed oil: Optimization by D-optimal design. *International Journal of Chemical Engineering*, 2012, Article ID 574780. https://doi.org/10.1155/2012/574780

- Anggarani, W., Maharani, O., & Aktawan, A. (2023). Production and analysis of soap using variations of palm oil, virgin coconut oil, and ylang flower extract. *Engineering and Applied Technology, 1*(2), 143. https://pubs.ast-ptm.or.id/index.php/eat

- Arias Rodríguez, M. Y., & Ibarra-Mojica, D. M. (2018). Saponificación artesanal de aceites de cocina usados, provenientes del municipio de Charalá. Documentos De Trabajo ECAPMA, 2(1). https://doi.org/10.22490/ECAPMA.2778

- Huamachuco Ramos, M. A. (2023). Evaluación de la calidad de los jabones ecológicos producidos a partir de la reutilización de aceite vegetal de cocina proveniente de restaurantes de comida rápida, Arequipa - 2021 (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo.

- Rondón-Martínez, M., & Penedo-Medina, M. (2022). Predicción de propiedades de componentes del aceite de soya para su modelado como componente hipotético. Revista Tecnológica Química, 42(1).

- Aranda Alarcón, J. (2003). Estudio cinético de la reacción de transesterificación de aceite de soya (Tesis de maestría). Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Monterrey.

- Baba, M. A., Jakada, S. S., & Musa, A. S. (2017). Preparation and characterization of soap made from soya bean oil and neem oil blends. Bayero Journal of Pure and Applied Sciences, 10(1), 178-182. http://dx.doi.org/10.4314/bajopas.v10i1.25

- Lafont, J. J., Durango, L. C., & Aramendiz, H. (2014). Estudio químico del aceite obtenido a partir de siete variedades de soya (Glycine max L.). Información Tecnológica, 25(2), 79-86. http://doi.org/10.4067/S0718-07642014000200009

- Almilly, R. F. K. (2014). Kinetics of the saponification of mixed fats consisting of olein and stearin. Journal of Engineering, 20(6), 144-159. https://www.iasj.net/iasj/article/89561

IX. APENDICE

APENDICE A. FICHAS TÉCNICAS Y CERTIFICADOS DE CALIDAD

Andikem

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Product: UNDENATURED ETHYL ALCOHOL
Quantity: 146.7 Kg
3 plastic drums
60 lts c/u

Test Parameter	Test Result	ASTM D4806 Specification	Test Method
Visual Appearance	Clear and Bright	Report	
Water Content (% Mass)	7.09%	Report	ASTM D7923
Proof	191	Report	USP Monograph
Ethanol Purity (Vol%)	95.2%	NLT 94.9%/NMT 96.0%	USP Monograph
Methanol	40	NMT 200 µL/L	GC-FID
Methanol	Pass	Pass/Fail	USP Monograph
Acetaldehyde + Acetal	0	NMT 10 µL/L	USP Monograph
Benzene	0	NMT 2 µL/L	USP Monograph
Other Impurities	0	NMT 300 µL/L	USP Monograph
Nonvolatile Residue	0.1	NMT 2.5 mg	USP Monograph
Specific Gravity	0.815	0.812 – 0.816 @ 15.56 C	USP Monograph
UV Absp at 240 nm	0.19	NMT 0.40	USP Monograph
UV Absp 250 to 260 nm	0.07	NMT 0.30	USP Monograph
UV Absp 270 to 340 nm	0.02	NMT 0.10	USP Monograph
Clarity of Solution	Pass	Pass/Fail	USP Monograph
Acidity	Pass	Pass/Fail	USP Monograph
Color of Solution	Pass	Pass/Fail	USP Monograph

NOTE FROM MANUFACTURER:
Quality Control Department conlusion:
Product complies with the standard specificaton required.

Andikem México, S. de R.L. de C.V.
Campos Eliseos 345 • Oficina 602, Piso 6, Colonia Chapultepec, Polanco, Ciudad de México DF, CP 11560 • Tel: +52 155 6864 3584
ISO 9001:2015 The British Standard Institution. Certificate No. FS 735772

QUIMICOS GOICOCHEA S.A.C.
PRODUCTOS QUIMICOS

FICHA TECNICA

POTASA CAUSTICA ESCAMAS

1. IDENTIFICACION DEL PRODUCTO

Nombre Químico : **POTASA CAUSTICA**
Formula Química : KOH
Peso Molecular : 56,1056 g/mol
Sinónimos : potasa cáustica, potasa lejía, hidrato de potasio.

2. DESCRIPCION

Procedencia : China
Apariencia : Escamas, sin olor.

3. ESPECIFICACION TECNICA

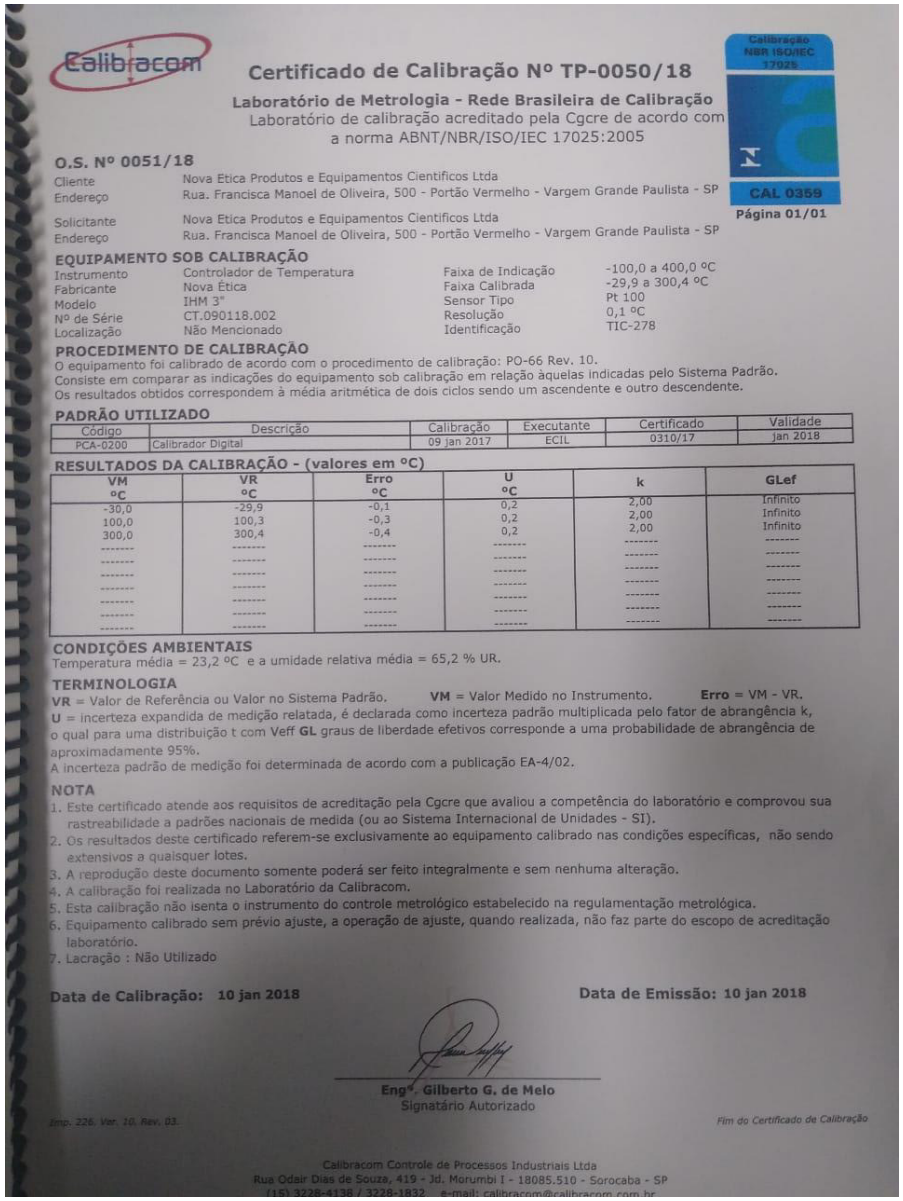
CARACTERISTICAS	EXPRESADO EN	UNIDAD	ESPECIFICACION
Hidróxido de Potasio	KOH	%	90 Mín.
Carbonato de Potasio	K_2CO_3	%	0.5 Max.
Cloruro de Potasio	KCl	%	0.015 Max.
Hierro	Fe	%	≤ 0.0005
Sodio	Na	%	≤ 0.8
Aluminio	Al	%	≤ 0.005
Niquel	Ni	%	≤ 0.0005
Metales pesados	(como Pb)	%	≤ 0.002

4. APLICACIONES

El KOH es higroscópico absorbiendo agua de la atmósfera, por lo que termina disolviéndose al aire libre. Su disolución en agua es altamente exotérmica, con lo que la temperatura de la disolución aumenta, llegando incluso, a veces, al punto de ebullición.

qgventas@quimicosgoicochea.com

Oficina Principal: AV. NÉSTOR GAMBETTA 150 – CALLAO Telef.: 614-4400 Fax: 614-4401
Sucursal: Pj. Morelos Mz. C Lt. 6-7 Urb. María Isabel AREQUIPA – PERU Telefax: (054) 202-703
LIMA: RPM #822043 NEXTEL 409*7345 AREQUIPA: RPM #93574 NEXTEL 144*1603
WEB SITE: www.quimicosgoicochea.com



Calibracom

Calibração NBR ISO/IEC 17025

CAL 0359

Página 01/01

Certificado de Calibração Nº TP-0050/18

Laboratório de Metrologia - Rede Brasileira de Calibração

Laboratório de calibração acreditado pela Cgcre de acordo com a norma ABNT/NBR/ISO/IEC 17025:2005

O.S. Nº 0051/18

Cliente	Nova Etica Produtos e Equipamentos Cientificos Ltda
Endereço	Rua. Francisca Manoel de Oliveira, 500 - Portão Vermelho - Vargem Grande Paulista - SP
Solicitante	Nova Etica Produtos e Equipamentos Cientificos Ltda
Endereço	Rua. Francisca Manoel de Oliveira, 500 - Portão Vermelho - Vargem Grande Paulista - SP

EQUIPAMENTO SOB CALIBRAÇÃO

Instrumento	Controlador de Temperatura	Faixa de Indicação	-100,0 a 400,0 ºC
Fabricante	Nova Ética	Faixa Calibrada	-29,9 a 300,4 ºC
Modelo	IHM 3"	Sensor Tipo	Pt 100
Nº de Série	CT.090118.002	Resolução	0,1 ºC
Localização	Não Mencionado	Identificação	TIC-278

PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO

O equipamento foi calibrado de acordo com o procedimento de calibração: PO-66 Rev. 10.
Consiste em comparar as indicações do equipamento sob calibração em relação àquelas indicadas pelo Sistema Padrão.
Os resultados obtidos correspondem à média aritmética de dois ciclos sendo um ascendente e outro descendente.

PADRÃO UTILIZADO

Código	Descrição	Calibração	Executante	Certificado	Validade
PCA-0200	Calibrador Digital	09 jan 2017	ECIL	0310/17	jan 2018

RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO - (valores em ºC)

VM ºC	VR ºC	Erro ºC	U ºC	k	GLef
-30,0	-29,9	-0,1	0,2	2,00	Infinito
100,0	100,3	-0,3	0,2	2,00	Infinito
300,0	300,4	-0,4	0,2	2,00	Infinito
-------	-------	-------	-------	-------	-------
-------	-------	-------	-------	-------	-------
-------	-------	-------	-------	-------	-------
-------	-------	-------	-------	-------	-------
-------	-------	-------	-------	-------	-------
-------	-------	-------	-------	-------	-------
-------	-------	-------	-------	-------	-------
-------	-------	-------	-------	-------	-------

CONDIÇÕES AMBIENTAIS

Temperatura média = 23,2 ºC e a umidade relativa média = 65,2 % UR.

TERMINOLOGIA

VR = Valor de Referência ou Valor no Sistema Padrão. **VM** = Valor Medido no Instrumento. **Erro** = VM - VR.
U = incerteza expandida de medição relatada, é declarada como incerteza padrão multiplicada pelo fator de abrangência k, o qual para uma distribuição t com Veff **GL** graus de liberdade efetivos corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%.
A incerteza padrão de medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.

NOTA

1. Este certificado atende aos requisitos de acreditação pela Cgcre que avaliou a competência do laboratório e comprovou sua rastreabilidade a padrões nacionais de medida (ou ao Sistema Internacional de Unidades - SI).
2. Os resultados deste certificado referem-se exclusivamente ao equipamento calibrado nas condições especificas, não sendo extensivos a quaisquer lotes.
3. A reprodução deste documento somente poderá ser feito integralmente e sem nenhuma alteração.
4. A calibração foi realizada no Laboratório da Calibracom.
5. Esta calibração não isenta o instrumento do controle metrológico estabelecido na regulamentação metrológica.
6. Equipamento calibrado sem prévio ajuste, a operação de ajuste, quando realizada, não faz parte do escopo de acreditação laboratório.
7. Lacração : Não Utilizado

Data de Calibração: 10 jan 2018

Data de Emissão: 10 jan 2018

Engº. Gilberto G. de Melo
Signatário Autorizado

Impr. 226. Ver. 10. Rev. 03.

Fim do Certificado de Calibração

Calibracom Controle de Processos Industriais Ltda
Rua Odair Dias de Souza, 419 - Jd. Morumbi I - 18085.510 - Sorocaba - SP
(15) 3228-4138 / 3228-1832 e-mail: calibracom@calibracom.com.br

APENDICE B. CERTIFICADOS DE ENSAYO

CERTIFICACIONES

Jr. Monterrey N° 221 Of. 201-202
Urb. Chacarilla del Estanque
Santiago de Surco, Lima - Perú
Teléfonos: (51-1) 480 0561 - Anexo: Lab 111
www.fscertificaciones.com

INFORME DE ENSAYO N° 1750-2024/NA/LAB/FSC

Nombre del Cliente	: BACA OCHOA CRISTIAN ABEL
Direccion del Cliente	: - -
Nro. Orden de Trabajo	: 2418-2024/LAB/FSC
Procedencia de la muestra	: Muestra proporcionada por el cliente
Muestra/Descripción	: M01 Aceite de soja 3 Botellas PET que contienen 260 ml c/u / LT: AR732024
Fecha de Recepción	: 02/09/2024
Fecha de Análisis	: 02/09/2024
Temperatura de recepción	: Ambiente

RESULTADOS DE ENSAYO

Ensayo	Unidades	Via	Resultado
Índice de acidez	%(Ac. Oleico)	1	0.14
Índice de Peróxido	meq Peróxido /Kg Aceite	1	1.87
Índice de yodo (***)	g de yodo absorbido/100 g de muestra	1	108
Indice de Saponificación	(mg KOH)/g)	1	192.09

(***) Resultado emitido por un tercero

MÉTODOS DE ENSAYO

Ensayo	Norma o Referencia
Índice de acidez	NMX-F-101-1987. ALIMENTOS. ACEITES Y GRASAS VEGETALES O ANIMALES. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ACIDEZ.
Índice de Peróxido	AOAC 965.33. 2000. Peroxide Value of Oils and Fats. Titration Method.
Índice de yodo	AOCS Method Cd 1d-92, 7ma Ed. 2017. Revised 2022. Iodine Value of Fats and Oils, Cyclohexane - Acetic Acid Method.
Indice de Saponificación	NMX-F-174-S-1981. Alimentos para humanos. Determinación del Índice de Saponificación en aceites y grasas vegetales o animales

Para los servicios en que FSC no es responsable del muestreo, los resultados aplican para las muestras tal como se recibieron. FSC no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente que pueda afectar la validez de los resultados. Los resultados de los ensayos pertenecen sólo a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de FS Certificaciones S.A.C.

Jr. Monterrey N° 221 Of. 201-202
Urb. Chacarilla del Estanque
Santiago de Surco, Lima - Perú
Teléfonos: (51-1) 480 0561 - Anexo: Lab 111
www.fscertificaciones.com

Lima, 13 de septiembre de 2024

Andrea Inchaustegui Britto
JEFE DE FISICOQUIMICA Y SENSORIAL

Clave: jqJS8d

Para los servicios en que FSC no es responsable del muestreo, los resultados aplican para las muestras tal como se recibieron. FSC no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente que pueda afectar la validez de los resultados. Los resultados de los ensayos pertenecen sólo a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de FS Certificaciones S.A.C.

APENDICE C. ESTANDARIZACIÓN DE SOLUCIONES

ESTANDARIZACION DE NaOH

Estandarización primaria

M1= masa de ftalato de potasio

V1= volumen gastado de solución de ftalato de potasio

V2= volumen gastado de solución NaOH

N1= normalidad de la solución de ftalato de potasio

N2= normalidad de la solución de NaOH

PM1= peso molecular del ftalato de potasio

Peq1= peso equivalente del ftalato de potasio

θ1= parámetro del ftalato de potasio

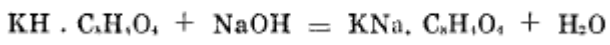
#eq-g1= número equivalente gramo del ftalato de potasio

$$N1 = \frac{\#eq - g1}{V}$$

$$\#eq - g1 = \frac{M1}{Peq1}$$

M1=1.04 g

V= 1 L



De acuerdo con la ecuación el parámetro del ftalato de potasio es 1

PM1= 204.22 g/mol

$$Peq1 = \frac{PM1}{\theta}$$

$$Peq1 = \frac{204.22\ g/mol}{1\ eq - g/mol} = 204.22\frac{g}{eq - g}$$

$$N1 = \frac{\frac{1.04\ g}{204.22\frac{g}{eq - g}}}{1L}$$

$$N1 = 0.0051N$$

V1=50 mL

N2=?

Para el cálculo del volumen gastado de la solución de NaOH se realiza 3 mediciones que luego se promediaran

V2a=19.50 mL

V2b=19.50 mL

V2c=19.45 mL

$$V2 = \frac{V2a + V2b + V2c}{3} = \frac{19.5 + 19.5 + 19.45}{3} = 19.48\, mL$$

Por lo tanto

$$N1 \times V1 = N2 \times V2$$

$$N2 = N1 \times \frac{V1}{V2} = 0.0051 * \frac{50}{19.48} = 0.013N$$

$$N2 = 0.013N$$

ESTANDARIZACIÓN DEL HCl

Estandarización secundaria

V3=volumen gastado de solución NaOH

V4=volumen gastado de solución HCl

N3=Normalidad del NaOH

N4=Normalidad del HCl

$$N3 \times V3 = N4 \times V4$$

Para el cálculo del volumen gastado de la solución de HCl se realiza 3 mediciones que luego se promediaran

V4a= 2 mL

V4b= 1.95 mL

V4c= 1.90 mL

$$V4 = \frac{V4a + V4b + V4c}{3} = \frac{2 + 1.95 + 1.9}{3} = 1.95\, mL$$

V3=10 mL

N3=N2

N3=0.013N

$$N4 = N3 \times \frac{V3}{V4} = 0.013 * \frac{10}{1.95} = 0.067N$$

$$N4 = 0.067N$$

ESTANDARIZACION DE KOH

Estandarización primaria

V5= volumen gastado solución de KOH

V6= volumen gastado de solución ftalato de potasio

N5= normalidad de la solución de KOH

N6= normalidad de la solución de ftalato de potasio

$$N5 \times V5 = N6 \times V6$$

Para el cálculo del volumen gastado de la solución de KOH se realiza 3 mediciones que luego se promediaran

V5a= 5 mL

V5b= 5 mL

V5c= 5 mL

$$V5 = \frac{V5a + V5b + V5c}{3} = \frac{5 + 5 + 5}{3} = 5mL$$

V6=50 mL

N6=N1

N6= 0.0051N

N5=?

Por lo tanto

$$N5 = N6 \times \frac{V6}{V5} = 0.0051 * \frac{50}{5} = 0.051N$$

$$N5 = 0.051N$$

APENDICE D. IMÁGENES DE EQUIPOS PARA EL DESARROLLO EXPERIMENTAL

Figura 47

Balón de tres bocas con agitador.



Fuente: laboratorio de la escuela de agroindustrial

Figura 48

*Equipo de b*año *m*aría.



Fuente: laboratorio de la escuela de agroindustrial

Figura 49

Temperatura de 40°C en el equipo de baño maría



Fuente: laboratorio de la escuela de agroindustrial

Figura 49

Variador de revoluciones del motor



Fuente: laboratorio de la escuela de agroindustrial

Figura 50

Solución de fenolftaleína al 1%



Fuente: laboratorio de la escuela de agroindustrial

Figura 51

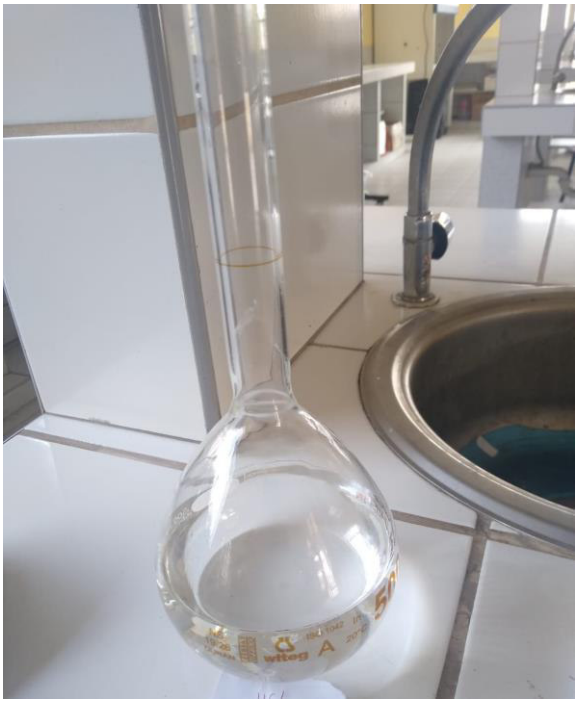
Pisceta de laboratorio con agua destilada



Fuente: laboratorio de la escuela de agroindustrial

Figura 52

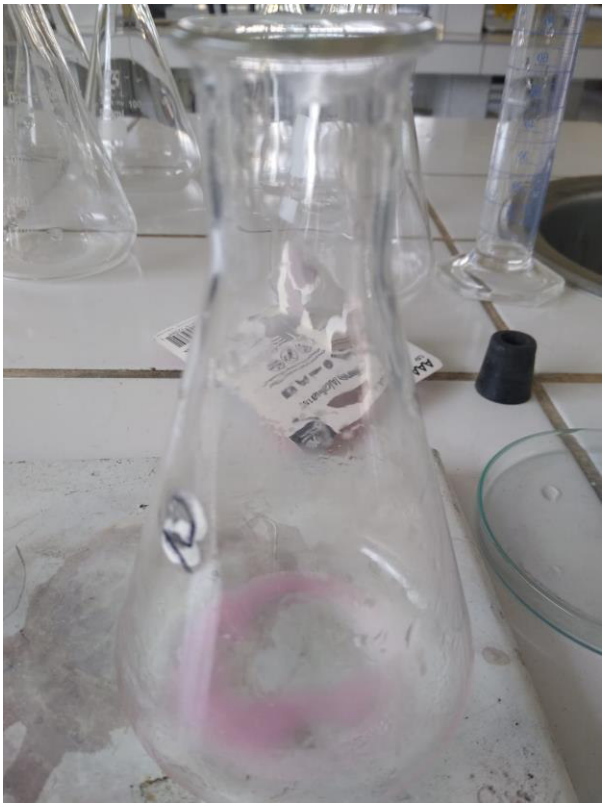
Solución de HCl 0.067N



Fuente: laboratorio de la escuela de agroindustrial

Figura 53

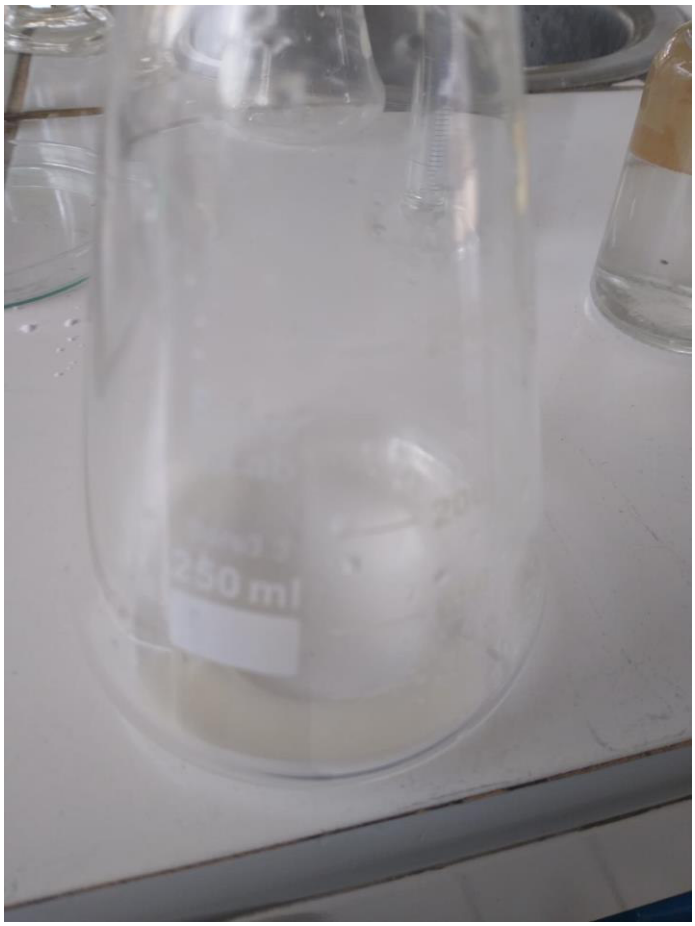
Muestra de aceite con fenolftaleína sin estandarizar



Fuente: laboratorio de la escuela de agroindustrial

Figura 54

Muestra de aceite con fenolftaleína estandarizada



Fuente: laboratorio de la escuela de agroindustrial

Figura 55

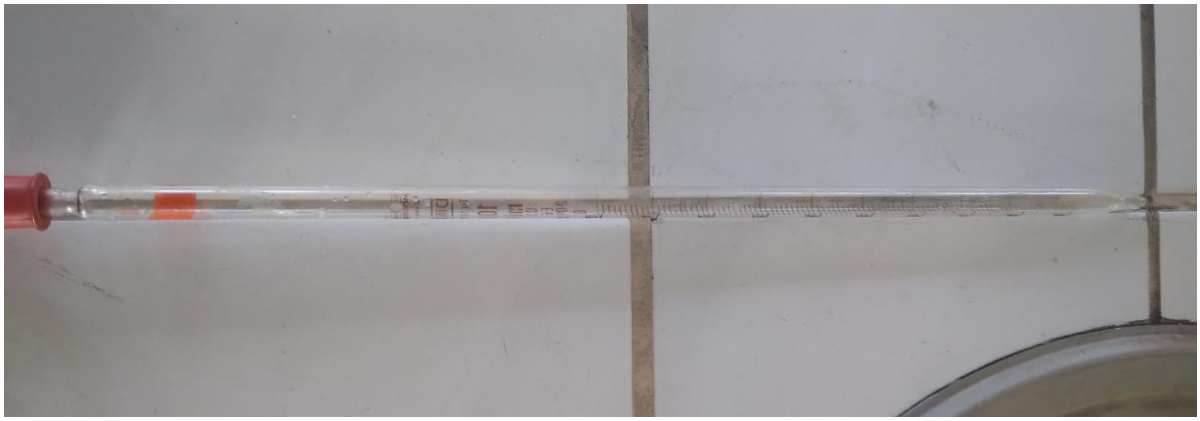
Arreglo de laboratorio para realizar la realizar



Fuente: laboratorio de la escuela de agroindustrial

Figura 56

Pipeta graduada



Fuente: laboratorio de la escuela de agroindustrial

Figura 58

Probeta graduada con 200 mL de aceite de soja



Fuente: laboratorio de la escuela de agroindustrial

Figura 59

Tacómetro calibrado



Fuente: laboratorio de la escuela de agroindustrial

Figura 60

Propipeta



Fuente: laboratorio de la escuela de agroindustrial