



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**DESARROLLO DE MATERIAL DIDÁCTICO PARA LA ENSEÑANZA DE LA
ESTIMACIÓN DE VIDA DE ANAQUEL PARA ALUMNOS DE LA CARRERA DE
QUÍMICA DE ALIMENTOS.**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
QUÍMICA DE ALIMENTOS**

PRESENTA

CLAUDIA GUADALUPE MARTÍNEZ SÁNCHEZ



Ciudad de México

2024



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: Profesor: DR. HERMILO LEAL LARA

VOCAL: Profesor: QFB. BERTHA JULIETA SANDOVAL GUILLÉN

SECRETARIO: Profesor: M en C. JAZMÍN PINEDA LOPERENA

1er. SUPLENTE: Profesor: QA. ADRIANA VEGA PÉREZ

2° SUPLENTE: Profesor: QA. DARÍO RODRIGO DE LA CRUZ DE LA CRUZ

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

LABORATORIO 322, FACULTAD DE QUÍMICA, EDIFICIO E, UNAM.

ASESOR DEL TEMA:

QFB. BERTHA JULIETA SANDOVAL GUILLÉN _____

SUPERVISOR TÉCNICO:

M EN C. ARGELIA SÁNCHEZ CHINCHILLAS _____

SUSTENTANTE (S):

CLAUDIA GUADALUPE MARTÍNEZ SÁNCHEZ _____

AGRADECIMIENTO

Agradezco al proyecto PAPIME PE208322 “Desarrollo de material multimedia para apoyo de la enseñanza en modalidad híbrida de las asignaturas Laboratorio I y II”) por la beca otorgada para la realización de este trabajo.

Contenido

Introducción	1
Objetivo.....	3
Objetivo General	3
Objetivos Particulares	3
Capítulo 1. Tecnología aplicada a la Educación.....	4
1.1 Educación	4
1.2 Educación Experimental	5
1.3 Escenarios que enfrenta la educación en la actualidad	5
1.4 Educación a distancia.....	8
1.5 Entorno virtual de aprendizaje	10
1.6 Tecnologías de la información y la comunicación (TIC)	11
1.7 Software Educativo (SE).....	13
1.8 Herramientas tecnológicas para el estudio de la determinación de vida de anaquel	15
Capítulo 2. Generalidades. Vida de anaquel	17
2.1 Definiciones.....	17
2.2 Factores y componentes involucrados en el deterioro de los alimentos	19
2.3 Determinación de la vida de anaquel	24
2.4 Metodologías para la determinación de Vida de Anaquel	25
2.5 Modelos para el tratamiento de datos y determinación de vida de anaquel	27
2.5.1 Modelos probabilísticos.	27
2.5.2 Modelos Cinéticos.....	31
2.6 Determinación de la vida de anaquel a partir de los modelos cinéticos.....	36
Capítulo 3. Desarrollo de material didáctico para la enseñanza de vida de anaquel.	38
3.1 Planteamiento del problema.....	39
3.2 Metodología	40
I. Selección de información.....	40
II. Análisis de datos.....	42
III. Organización de datos	43
3.3 Resultados – Ejercicios.....	45
3.3.1. Identificación del orden de reacción	45

3.3.2. Aplicación de ecuación de velocidad para la determinación del tiempo de vida media.....	49
3.3.3. Efecto de la temperatura y Determinación de Q_{10}	63
3.3.4. Aplicación del Modelo de Arrhenius.....	65
3.3.5. Tiempo de recambio en función del Deterioro térmico durante el freído.	73
Análisis de resultados.....	82
Conclusiones	91
Bibliografía	93
Anexos	100

Introducción

Dentro del plan de estudios de la carrera Química de Alimentos impartida en la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México, se cursa la asignatura Laboratorio de Alimentos II, en donde parte de su programa de asignatura se encuentra dirigido al estudio de la vida de anaquel de productos alimenticios a través de pruebas aceleradas y modelación cinética.

La vida de anaquel establece el periodo durante el cual el alimento se conserva apto y con parámetros de calidad aceptables para su consumo (Hough y Wittig, 2005), a partir de esto en los alimentos se estima la fecha de caducidad o fecha de consumo preferente.

La vida de anaquel de un alimento está determinada por factores intrínsecos y extrínsecos que tienen un efecto directo en las características y propiedades del producto y que determinan la calidad de este. Existen indicadores de que la vida de anaquel de un alimento ha llegado a su fin, entre estos se encuentran cambios microbiológicos como el aumento de microorganismos, cambios fisicoquímicos como alteración o deterioro de nutrimentos o cambios físicos como separación de fases entre otros (Carrillo y Reyes, 2013).

La determinación del tiempo de vida de anaquel de un alimento tiene gran importancia, debido a que se establece el periodo de estabilidad, asegura la seguridad e inocuidad del alimento, así como la aceptación del consumidor.

Los estudios de vida de anaquel son una forma objetiva y metódica para determinar o estimar el periodo en el que se espera que se mantenga sin cambios apreciables en los parámetros de calidad del alimento. El procedimiento general de la metodología consta de tres etapas; recopilación de la información del sistema producto-envase-ambiente, metodología de análisis y aplicación de modelo para la estimación adecuada (Núñez *et al.*, 2017).

Existen diversas metodologías para la estimación de la vida de anaquel de un alimento, éstas pueden ser a través de estudios bibliográficos, tiempo de recambio, pruebas de aceptación al consumidor, estudios de punto final y pruebas de

envejecimiento acelerado. Así mismo existen varios modelos para el tratamiento de datos y estimación de vida de anaquel, los cuales pueden ser clasificados en dos grupos, métodos probabilísticos (Análisis de supervivencia, función de riesgo, modelos predictivos microbiológicos, entre otros) y modelos cinéticos (velocidad de reacción, modelo de Arrhenius, y coeficiente de temperatura Q_{10}).

Por la complejidad que este análisis representa, el proceso de enseñanza aprendizaje en laboratorios de la Facultad de Química se ve limitada por cuestiones de tiempo y se analiza una matriz alimentaria en particular, por lo que surge la necesidad de desarrollar alternativas que permitan mejorar la enseñanza de la vida de anaquel en diversas matrices.

El presente trabajo propone el desarrollo de material didáctico a partir de análisis reales de vida de anaquel de diferentes alimentos, con la intención de apoyar y mejorar la enseñanza del análisis de vida de anaquel en la asignatura Laboratorio de Alimentos II, así mismo se pretende que a través del uso de herramientas digitales se pueda ofrecer una alternativa para los alumnos que les permita la identificación de la influencia de factores intrínsecos y extrínsecos, así como la aplicación de modelos cinéticos para la determinación del periodo de vida de anaquel.

Objetivo

Objetivo General

Diseñar material didáctico como apoyo para la enseñanza de vida de anaquel, basado en información recopilada de estudios reales, con la finalidad de brindar ejercicios que favorezcan la comprensión de los cambios ocurridos en los alimentos y la estimación del tiempo de vida media de un alimento a partir de la aplicación de modelos cinéticos.

Objetivos Particulares

- Relacionar la importancia del estudio de la vida de anaquel con la formación académica de los estudiantes de la carrera de Química de Alimentos.
- Recopilar información de análisis de vida de anaquel de muestras reales, para relacionarlos con la enseñanza del estudio y la elaboración de modelos didácticos.
- Identificar los conceptos más relevantes de la determinación de vida de anaquel, orden de reacción y aplicación de modelos cinéticos, importancia de la vida de anaquel de materias primas, de productos alimenticios, así como el efecto del empaque para establecer el periodo de estabilidad de un alimento.
- Diseñar materiales didácticos apoyados de herramientas digitales con base en resultados experimentales reales para la aplicación de modelos cinéticos y determinación del periodo de estabilidad.
- Diseñar una herramienta digital como apoyo para los estudiantes para la solución de los ejercicios propuestos.

Capítulo 1. Tecnología aplicada a la Educación

La educación es un proceso complejo donde los individuos asimilan, adquieren, desarrollan o perfeccionan conocimientos, habilidades o facultades con la finalidad de mejorar el desarrollo humano. De acuerdo con la UNESCO (2020) la educación es un derecho fundamental, que permite a los individuos superar desigualdades y garantizar un desarrollo sostenible.

La educación es un derecho sin exclusión ni discriminación, y es garantizado mediante instrumentos normativos internacionales y el compromiso político de los gobiernos. Para que este derecho sea eficaz, es preciso que exista igualdad de oportunidades, acceso universal a la enseñanza y criterios de calidad educativa de aplicación obligatoria (UNESCO, 2020).

Actualmente la población se enfrenta a diversos desafíos que obligan a realizar cambios en la forma en que se imparte la educación, entre ellos el gran avance tecnológico y las nuevas demandas sociales que implica, así como fenómenos mundiales como la reciente pandemia por COVID-19 que obligó a llevar a cabo la educación a distancia de forma repentina y para la cual no todos los organismos educativos estaban preparados (Fernández *et al.*, 2020), por lo que es necesario incorporar nuevas herramientas que permitan enfrentar estos desafíos para mantener una educación de calidad.

1.1 Educación

Educación proviene del latín **Educere** que significa “sacar” o “extraer” y **Educare** que significa formar, instruir o proporcionar lo necesario.

La educación hace referencia a un proceso complejo a través del cual se transmite conocimiento entre dos agentes esenciales profesor y alumno involucrando dos principales acciones, enseñar y aprender con la idea de generar un avance y un progreso. Es el resultado de un proceso sistemático de preparación constante y de desarrollo de facultades y habilidades físicas, intelectuales y morales del ser humano para transformar la realidad desde el conocimiento, valores y capacidades

obtenidos; tiene un carácter teórico-práctico en la que los individuos adquieren estrategias y herramientas con la finalidad de fortalecer las características propias de cada individuo (Díaz y Alemán, 2008; García, 2020).

1.2 Educación Experimental

Cuando se hace referencia a la enseñanza y aprendizaje de la ciencia como la Química se debe utilizar un enfoque de aprendizaje activo aplicando el método científico constituido por cinco experiencias principalmente que son observar, preguntar o cuestionar, recopilar información, procesar y presentar datos, razonar y concluir (Zulirfan *et al.*, 2017). Durante el aprendizaje de la ciencia, la experimentación o trabajo práctico forma parte fundamental; el trabajo experimental es una forma de acercar a los alumnos a la investigación o resolución de problemas con la finalidad de que adquieran una mejor idea de la naturaleza de la ciencia haciendo énfasis en el enfoque de investigación (Hernández, 2012).

El trabajo experimental durante la enseñanza de ciencias exactas como la Química implica un proceso regulado por el docente, con actividades organizadas para ejecutar etapas estrechamente relacionadas que permitan a los estudiantes establecer comunicación entre las diversas fuentes de información, interactuar con equipos e instrumentos y abordar la solución de problemas desde un enfoque interdisciplinar-profesional (Espinosa *et al.*, 2016).

1.3 Escenarios que enfrenta la educación en la actualidad

La educación tiene gran importancia por su trascendencia social, por mejorar la competitividad económica de los países o por su contribución a la cultura, política y participación ciudadana. La cobertura y calidad del sistema educativo de un país constituyen uno de los pilares más sólidos para poder mejorar el desarrollo humano. Actualmente en México la educación básica tiene cobertura universal, sin embargo, para la educación media superior y superior no es así debido a que enfrentan diversos escenarios que dificultan o limitan el acceso a un sistema de educación de

calidad (Lomelí, 2019). A continuación, se mencionan los posibles escenarios a los que se enfrenta continuamente el sistema educativo:

a. Aumento en la población

El incremento en la población representa uno de los principales escenarios adversos, derivado de que, al existir mayor cantidad de personas debe haber un número proporcional de lugares para recibir educación de calidad. En México la población entre 15-30 años ha presentado un incremento notable; el sistema educativo nacional hizo un esfuerzo importante por aumentar la cifra de matrículas de educación superior entre el periodo 2000-2018 pasando de 2.1 a 4.5 millones, generando un aumento en la cantidad de jóvenes con educación superior del 16 al 23%, sin embargo, aún no es suficiente para satisfacer la demanda (Lomelí, 2019).

b. Desigualdad de oportunidades

Como se mencionó anteriormente todo individuo debe tener igualdad de oportunidades para acceder a la educación, sin embargo, en México para educación superior existe una tendencia negativa en las oportunidades de acceso.

De acuerdo con Pérez y Villarruel (2016) el acceso a la educación superior en México no es equitativo ya que existen sectores sociales que no se encuentran en condiciones de gestionar el ingreso a la educación superior por falta de recursos económicos. A pesar de las diferentes estrategias implementadas como políticas educativas (aumento de becas y de matrículas o disminución de cuotas entre otras) no ha sido suficiente para garantizar un acceso equitativo a la educación para todos; México es un país con grandes desigualdades económicas además de poseer un sistema escolar inequitativo; por lo que las oportunidades de acceso, permanencia, aprendizaje efectivo y de calidad se distribuyen en los sectores de población que poseen los recursos sociales, culturales y económicos para continuar con su preparación académica.

c. Aumento de las tecnologías

La tecnología avanza de manera exponencial mejorando varios aspectos de nuestras vidas y la educación no es la excepción; el avance de la tecnología permite

la implementación de herramientas adecuadas al proceso educativo y va más allá de involucrar el uso de computadoras o dispositivos móviles, actualmente se cuenta con una variedad de recursos, herramientas, hardware y software que permiten transformar al sistema educativo a la era digital mejorando la calidad del proceso de enseñanza aprendizaje. La implementación no trata solo del uso de las distintas herramientas solo por “innovar” sino que deben ser analizadas para seleccionar e integrar aquellas que se adecuan mejor al cumplimiento de los objetivos académicos para mejorar procesos de enseñanza y accesibilidad a la educación debido a la flexibilidad que poseen estos recursos y herramientas (Espinosa, 2016; Andrada, 2022).

d. Eventualidades: Emergencia sanitaria por pandemia de COVID-19

La reciente pandemia provocada por un nuevo tipo de coronavirus denominado SARS-CoV-2 o Covid-19 que provocó alerta mundial por la facilidad de propagación y por inexistencia de vacunas y medicamentos tuvo como consecuencia que los gobiernos de todo el mundo tomaran medidas de confinamiento con la finalidad de disminuir contagios y evitar el colapso de los sistemas de salud (Fernández *et al.*, 2020). Debido a las medidas de confinamiento, la mayoría de las actividades que pusieran en riesgo a la población se vieron afectadas, la educación no fue la excepción y fue necesario un cambio en la modalidad en que se llevaba a cabo ya que fue necesario un cierre masivo de actividades presenciales con la finalidad de evitar la propagación del virus y mitigar su impacto, es decir fue necesario cambiar la educación presencial a educación a distancia o en línea (CEPAL-UNESCO, 2020).

Esta situación tomó por sorpresa a todos los sectores sociales, ya que nadie estaba preparado para modificar radicalmente las actividades cotidianas; la crisis provocada aceleró el proceso de digitalización de la educación formal e informal en los distintos niveles (Linne, 2021). Sin embargo, la transición de educación presencial a su modalidad a distancia enfrentaba varios obstáculos que complicaban mantuviera su calidad y accesibilidad. Tanto profesores como

estudiantes enfrentaban situaciones que complicaban la enseñanza y aprendizaje, algunas de las situaciones eran:

- Docentes sin capacitación para la implementación y uso de tecnologías.
- Insuficiencia de infraestructura tecnológica.
- Ausencia de herramientas o programas digitales previstos por las instituciones educativas.
- Brechas de acceso al mundo digital y a la conexión de internet (desigualdad en el acceso a oportunidades educativas).

Estos escenarios provocaron que la educación en todos los niveles se viera en la necesidad de realizar cambios con la finalidad de asegurar que todos los individuos puedan tener acceso universal a educación de calidad. Para esto fue necesario apoyarse de herramientas tecnológicas como la educación a distancia a través del uso de métodos, técnicas y recursos que elevan la productividad y flexibilidad del proceso enseñanza aprendizaje. Debido a todas las herramientas tecnológicas con las que se cuenta actualmente (sistemas informáticos, softwares interactivos, etc.) se permite mantener la “educación para todos” con un modelo permanente y continuo (Alfonso, 2003).

1.4 Educación a distancia

La educación a distancia es una modalidad educativa (también puede ser considerada como estrategia educativa) de formación independiente, no presencial, mediada por diversas tecnologías y que permite que factores como espacio-tiempo, ocupación o nivel de los participantes no condicionen el proceso de enseñanza-aprendizaje (Martínez, 2008). Se fundamenta en el autoaprendizaje, es decir el aprendizaje depende del estudiante; el alumno autorregula su aprendizaje como un proceso de autodirección transformando sus aptitudes mentales en competencias académicas, es el docente quien encamina este aprendizaje.

La educación a distancia también puede ser definida como un sistema educativo de aprendizaje planificado, la enseñanza ocurre en un lugar diferente a donde se lleva

a cabo el aprendizaje y requiere la comunicación a través de tecnologías y de la institución educativa. El docente tiene gran importancia, pues tiene un papel de director facilitador, tiene la responsabilidad del diseño, organización y control de las actividades que ayuden al proceso de aprendizaje, mediante el cual el estudiante obtendrá el conocimiento (Juca, 2016).

De acuerdo con Beltrán (2020) esta modalidad de educación presenta ventajas como:

- a. Accesibilidad: Generalmente esta modalidad tiene un menor costo en comparación con la educación presencial, debido al uso de internet y herramientas se ofrecen múltiples plataformas y aplicaciones para acceder a la oferta educativa desde cualquier lugar geográfico lo que facilita que mayor cantidad de personas puedan acceder a esta modalidad de educación.
- b. Flexibilidad: Se pueden tomar clases en el momento y lugar más conveniente del estudiante, además del aprendizaje en diversas plataformas.
- c. Aprendizaje activo: Ayuda al desarrollo de virtudes como responsabilidad y organización y permite el uso de diversas formas y métodos de enseñanza dinámicos valiéndose de distintas herramientas y soportes.
- d. Desarrollo de disciplina y autonomía: El alumno se hace responsable de su proceso de aprendizaje y del manejo de su tiempo.
- e. Nuevas competencias: El uso de plataformas y herramientas virtuales desarrolla habilidades específicas relacionadas con el uso de las tecnologías que se buscan en el mundo laboral.

1.4.1 Cambios en la educación experimental

La enseñanza de las ciencias como la Química se basa en un aprendizaje activo acompañado de experimentación y trabajo práctico en laboratorios, esto juega un papel muy importante en el progreso de los estudiantes permitiendo el desarrollo de habilidades profesionales fundamentales como la solución de problemas, diseño de aplicaciones, identificación de fallas y el desarrollo de un criterio científico (Silva y Morán, 2022).

Los laboratorios convencionales con su infraestructura, equipos, reactivos y medidas de seguridad han sido tradicionalmente el lugar predilecto para desarrollar prácticas y experimentación en las carreras de ciencias y ciencias aplicadas (Infante, 2014). Sin embargo, el uso de laboratorios puede estar limitado por diversos factores, en los que se incluyen alto costo de los equipos, tiempo requerido para realizar prácticas o elevados tiempos de respuesta, infraestructura deficiente, emergencias sanitarias como la reciente pandemia provocada por el virus COVID-19 o la búsqueda de reducir el impacto ambiental producido por el uso de reactivos o materias primas durante la realización del trabajo experimental para la enseñanza (Silva y Morán, 2022).

Ante estas limitaciones los educadores, investigadores y la comunidad científica buscan una forma de practicar tratando de minimizar en la medida de lo posible los impactos negativos en el proceso de enseñanza y aprendizaje impidiendo mantener una educación de calidad y sustentable. Para ello se busca el apoyo de la tecnología de tal forma que se permita contar con laboratorios más inclusivos, creativos y efectivos. Entre estas tecnologías se encuentran herramientas que fortalecen el aprendizaje como los laboratorios o simuladores virtuales (Mijares *et al.*, 2017; Silva y Morán, 2022).

1.5 Entorno virtual de aprendizaje

Un entorno virtual de aprendizaje (EVA) es un recurso web o software de servicio que apoyado de las tecnologías de información y comunicación (TIC) busca ser una solución a los cursos de educación en línea a partir de un diseño pedagógico bien estructurado. Se trata de un conjunto de herramientas, recursos y materiales formativos que logran estímulos auditivos y visuales que propician el aprendizaje y la construcción de conocimiento generando nuevas experiencias, habilidades y destrezas en docentes y estudiantes. Conforman un espacio en el que alumnos y profesores pueden interactuar de forma remota, con la finalidad de imitar la realidad de un entorno de aprendizaje como en un aula de manera virtual utilizando tecnologías a partir de un diseño pedagógico (Digi3n y 3lvarez, 2021; Rodr3guez, 2020).

La relevancia e importancia de un EVA radica en que este tenga una amplia gama de recursos que faciliten el acceso a la información y educación. De acuerdo con Digión y Álvarez (2021), en un EVA se deben considerar algunos parámetros para su diseño y planificación, los más significativos son:

- a) Pedagógico: Enfoque educativo, incluye objetivos, organización, estrategia didáctica, apoyo a que los estudiantes se relacionen con el EVA, etc.
- b) Tecnológico: Herramientas tecnológicas que soportan los cursos en línea.
- c) Diseño de interfaz: Interacción con el EVA ¿cómo se ve?, ¿cómo se siente? ¿cómo responde la interfaz?
- d) Evaluación: Formas de evaluar los aprendizajes adquiridos.
- e) Orientación en línea: Función del docente en la atención, seguimiento y retroalimentación en el proceso de aprendizaje de los estudiantes.

Por otro lado, para Area y Adell (2009) se deben considerar cuatro dimensiones pedagógicas para asegurar que el EVA funcione como un espacio de aprendizaje

- a) Dimensión informativa: Recursos y materiales para el estudio autónomo por parte del alumnado (textos, animaciones, enlaces, simuladores, etc).
- b) Dimensión Práctica (Práctica): Conjunto de acciones, tareas o actividades planificadas por el docente para facilitar experiencias de aprendizaje.
- c) Dimensión comunicativa: Conjunto de recursos y acciones que permiten la interacción entre profesor-estudiante en el proceso de enseñanza a través del uso de herramientas como foros o chats, etc.
- d) Dimensión tutorial y evaluativa: Hace referencia a las funciones del docente ya que desarrolla un papel de supervisión y guía del proceso de aprendizaje.

1.6 Tecnologías de la información y la comunicación (TIC)

De acuerdo con Marqués (2000) las TIC se componen de tres conceptos Tecnología (aplicación de conocimiento científico para la creación de herramientas, instrumentos, métodos, etc. para facilitar las actividades humanas), Información (Conjunto de datos que generar un significado) y Comunicación (Transmisión de mensajes entre individuos).

Las TIC pueden ser definidas como el conjunto de tecnologías, que permiten la adquisición, producción, almacenamiento, tratamiento, comunicación, registro y presentación de información, en forma de voz, imágenes y datos contenidos en señales de naturaleza acústica, óptica o electromagnética (Grupo Tecnológico de la Información y Comunicación de la Universidad Politécnica de Madrid (GTIC), 2006 citado por Martínez, 2008).

La incorporación de las TIC a la educación ha propiciado el incremento de relaciones sociales e intelectuales permitiendo nuevas posibilidades de aprendizaje y acceso a la información. Funcionan como instrumento para las instituciones educativas que ofrecen nuevos entornos para la enseñanza y aprendizaje con mediación tecnológica. Permiten el manejo e interpretación de información, libre de restricciones por espacio y tiempo impuestas por la educación presencial. El impacto del uso de las TIC va mucho más allá de herramientas tecnológicas pues requiere de una construcción didáctica (Martínez, 2008; Hernández, 2017).

1.6.1 Impacto de las TIC en la educación

El beneficio del uso de las TIC depende en gran medida de su uso en una determinada comunidad u organización y el impacto que tiene para su desarrollo. Su uso como herramienta permite obtener ventajas que mejoran el proceso de enseñanza aprendizaje, algunos de los beneficios son (Martínez, 2008):

- Facilitan el acceso a la información.
- Facilitan la comunicación e interacción entre personas en el proceso de educación a partir de plataformas virtuales y herramientas digitales.
- Eliminan barreras de tiempo y espacio.
- Permiten la internacionalización, haciendo posible la cooperación y colaboración entre distintas instituciones educativas.
- Están en continua innovación como respuesta a los retos del futuro, permiten la creación de nuevas estrategias de aprendizaje y de nuevos softwares educativos.

1.7 Software Educativo (SE)

Los avances tecnológicos aplicados a la educación funcionan como complemento para garantizar procesos de enseñanza aprendizaje de calidad gracias a la gran variedad de plataformas y recursos tecnológicos creados para contribuir a la formación integral de alumnos. Dentro de los recursos se encuentra al Software Educativa (SE) que tiene como finalidad mejorar la calidad del proceso educativo estableciendo un ambiente pedagógico dinámico que además fomenta el pensamiento computacional en entornos lúdicos (Maldonado *et al.*, 2020; Kuz y Ariste 2022).

Un SE es un programa educativo o programa didáctico interactivo que utiliza herramientas multimedia (videos, sonidos, ejercicios, juegos, etc.) con la finalidad de facilitar los procesos de enseñanza. Son utilizados en una computadora o dispositivo digital, además permiten funciones como evaluación y diagnostico que complementado con las explicaciones docentes logran una buena combinación para mejorar la obtención de conocimiento. Se excluyen programas utilizados generalmente en unidades educativas como: procesadores de texto, hojas de cálculo, editores de gráficos, entre otros (Maldonado *et al.*, 2020).

La finalidad del uso de los SE es lograr el cumplimiento de los objetivos educativos estimulando el interés de los alumnos, su impacto será el resultado de las características del material escogido y de su adecuación a la estrategia didáctica establecida por el profesor. Por otro lado, la funcionalidad de un SE radica en el uso que se le dé y está determinado por las ventajas e inconvenientes que su uso represente (Maldonado *et al.*, 2020).

Algunos de los beneficios de la implementación de Software educativo (Maldonado *et al.*, 2020; Rovira, 2018):

- Son una herramienta interactiva de fácil uso.
- Las clases adquieren un carácter atractivo y dinámico.
- Versatilidad, pueden ser utilizados en cualquier materia o ámbito educativo.
- Tienen la capacidad de adaptarse a las necesidades de los alumnos.

- Los estudiantes desarrollan habilidades informáticas, de trabajo independiente, pensamiento crítico, imaginación, creatividad, memoria etc.
- Permite una mejor atención al tratamiento de las diferencias individuales en correspondencia al diagnóstico de los educandos.

1.7.1 Tipos de Software educativos (SE)

En la literatura se definen diferentes tipos de SE, la clasificación se basa en el propósito específico que se desee cumplir de acuerdo con el objetivo didáctico. En la **Tabla 1** se definen los principales tipos de SE descritos por SPnet (2023) y Mancuzo (2022).

Tabla 1. Tipos de Software educativos y sus objetivos.

Tipo de SE	Objetivo
Simuladores	Es un método didáctico que recrea escenarios virtuales idénticos a situaciones reales, requieren de la toma de decisiones en tiempo real, desarrollando habilidades a través de experiencias mediante el ensayo y error.
Resolución de problemas	Estas herramientas permiten fomentar y desarrollar la capacidad analítica del estudiante; diseñado para que pueda resolver problemas o enfrentarse a distintas situaciones y proponer soluciones mediante la formulación de hipótesis.
Enfocados a la práctica y solución de ejercicios	Son los SE más usados, están estructurados por lecciones y cada una posee una parte teórica y una práctica. Con esta herramienta hay mayor interacción profesor-alumno, ya que se brindan lecciones para luego evaluar lo que se ha retenido o el nivel de comprensión gracias a pruebas o test.
Programas tutoriales	Este SE genera contenidos que se asemejan a las clases impartidas por un profesor. Se diseñan para que el alumno pueda seguir una secuencia de pasos y volver atrás siempre que sea necesario. El programa además proporciona material, explicaciones y ejercicios para cumplir con los objetivos.
Juegos educativos	Es una herramienta que, por medio de la interacción, las recompensas y actividades dinámicas busca incentivar al estudiante hasta captar su interés en un área de conocimiento específica.

Fuente: SPnet, 2023; Mancuzo, 2022

1.8 Herramientas tecnológicas para el estudio de la determinación de vida de anaquel

A partir del uso de las herramientas tecnológicas con las que la educación cuenta actualmente se busca desarrollar programas o softwares educativos aplicados al estudio de la vida de anaquel de los alimentos para favorecer el aprendizaje y generando experiencias que permitan una mejor comprensión y adquisición de conocimiento, manteniendo un enfoque dinámico e interactivo.

1.8.1 Simuladores

La simulación es una herramienta ampliamente utilizada en los procesos educativos de las ciencias. Consiste en situar al alumno en un contexto que imite una situación real que deberá enfrentar dentro de un sistema controlado y seguro; ofrece al alumno la oportunidad de realizar una practica análoga a la que realizará en su interacción con la realidad que enfrentará en el futuro (educativo o desempeño profesional) (Salas y Ardanza, 1995). La estructura del simulador varía dependiendo de las herramientas tecnológicas utilizadas, existen desde simples modelos que reproducen experimentos reales y se enfocan en la solución de ejercicios, hasta equipos especializados en recrear contextos con alta precisión como los Laboratorios virtuales (Pearson, 2023).

Los simuladores pueden ser herramientas útiles para el estudio de vida de anaquel de los alimentos, es posible desarrollar material didáctico que imite un análisis real de las distintas pruebas realizadas para el estudio del análisis. Su uso representaría beneficios para el proceso de enseñanza aprendizaje por no se vería limitado por infraestructura, matrices alimentarias o tiempo de respuesta para mejorar la comprensión del tema.

Con el apoyo de estas herramientas se busca desarrollar una estrategia didáctica que permita a los alumnos aplicar los conocimientos teóricos adquiridos durante su formación académica a la práctica experimental de forma segura, dinámica y sustentable.

1.8.2 Software para determinar vida de anaquel en el mercado

Actualmente para la industria alimenticia ya hay softwares disponibles que sirven de apoyo para el análisis de vida de anaquel de los alimentos. Estas herramientas cumplen diferentes funciones, y permiten desde el monitoreo de un análisis de alimentos, el tratamiento y formación de base de datos y la obtención de modelos predictivos. Algunos de los Softwares disponibles son:

- AINIA, Proyecto Acelera 4.0

Herramienta informática que relaciona la velocidad de deterioro y las condiciones a las que se somete el alimento para generar modelos de predicción y determinar vida útil, además de comparar diferentes lotes y validar un producto (Gisbert, 2017).

- MicroHibro

Base de datos compuesta por modelos microbianos, sensoriales y fisicoquímicos que describen la relación entre la presencia de un microorganismo y el deterioro de un alimento. Permite predecir la vida útil considerando el comportamiento de microorganismos presentes en un producto específico bajo condiciones establecidas (MicroHibro, 2023).

- SayabTech- Software SayabOne

Permite diseñar, controlar y monitorear las condiciones a las cuales se somete el alimento para las pruebas de vida de anaquel de tal forma que se garanticen resultados exactos para la determinación de la vida de anaquel (SayabTech).

En términos generales los softwares con las que se cuenta actualmente para el análisis de la vida de anaquel de los alimentos están enfocados a la industria, ya que permiten el control del estudio, tratamiento de datos, así como la obtención de modelos predictivos. Sin embargo, aún no se cuentan con herramientas pedagógicas que apoyen al estudio del análisis de la vida de anaquel; por la complejidad que esto representa surge la necesidad de generar recursos y materiales didácticos para satisfacer y mejorar el proceso de enseñanza aprendizaje.

Capítulo 2. Generalidades. Vida de anaquel

Los alimentos son un conjunto complejo de componentes y sistemas que sufren cambios a lo largo del tiempo, estas modificaciones se ven influenciadas por diferentes factores como la naturaleza de este, condiciones de almacenamiento, el envase en el que se encuentra contenido, entre otros. Estos cambios generan un deterioro o pérdida de sus cualidades microbiológicas, fisicoquímicas y sensoriales en el alimento, de tal forma que ya no tendrá parámetros de calidad aceptable y no será apto para el consumidor. Para establecer el periodo durante el cual un alimento se mantiene con parámetros de calidad óptimos se establecen términos como vida de anaquel o vida útil.

Existen diversas metodologías que permiten determinar la vida de anaquel de los alimentos, a su vez estas utilizan diferentes modelos matemáticos para el tratamiento de datos y estimación de la vida de anaquel.

2.1 Definiciones

Vida de anaquel

De acuerdo con lo establecido por Giraldo (1999) la vida de anaquel determina el periodo durante el cual el alimento se conserva apto para el consumo desde el punto de vista sanitario, manteniendo las características sensoriales, funcionales y nutricionales por encima de los límites de calidad previamente establecidos como aceptables.

Vida útil

Alapont *et al.*, (2020) define a la vida útil como el periodo durante el cual un producto alimenticio permanece inocuo, conserva sus características sensoriales, fisicoquímicas, microbiológicas y funcionales deseadas. Además, cumple con la declaración nutricional o de propiedades saludables establecidas para el alimento, siempre y cuando se cumplan las condiciones de conservación recomendadas.

Si bien ambos términos tienen definiciones muy similares y para diversos autores como Anzueto (2012) y Mercado *et al.*, (2016) son utilizados de forma indistinta o como sinónimos, es posible identificar cierta diferencia entre ambos términos dado que, la vida útil define al periodo de estabilidad en condiciones determinadas de conservación o almacenamiento, esto corresponde con lo establecido por Ellis (1994) que define a la vida útil como “el tiempo transcurrido entre la producción y el envasado del producto y el momento en que se vuelve inaceptable en condiciones ambientales definidas”. Por lo tanto, la diferencia radicará en si hay condiciones definidas de almacenamiento o no, sin embargo, es muy común encontrar en la literatura ambos términos como sinónimos para definir el periodo de estabilidad de los alimentos durante el cual mantiene parámetros óptimos de calidad.

Este periodo se establece con la finalidad de asegurar que el alimento cuenta con parámetros de calidad aceptables y es apto para su consumo, la información es llevada al consumidor mediante el etiquetado de los alimentos, y se establece utilizando los términos “Fecha de caducidad” y “Fecha de consumo preferente”. De acuerdo con la NOM-051-SCFI/SSA1-2010 que establece las especificaciones para el etiquetado de alimentos y bebidas, define como:

Fecha de caducidad

Fecha límite en que se considera que las características sanitarias y de calidad que debe reunir para su consumo un producto preenvasado, almacenado en las condiciones sugeridas por el responsable del producto, se reducen o eliminan, de tal manera que después de esta fecha no debe comercializarse ni consumirse.

Fecha de consumo preferente

Fecha en que, bajo determinadas condiciones de almacenamiento, expira el periodo durante el cual el producto preenvasado es comercializable y mantiene las cualidades específicas que se le atribuyen tácita o explícitamente, pero después de la cual el producto preenvasado puede ser consumido.

2.2 Factores y componentes involucrados en el deterioro de los alimentos

Como se mencionó anteriormente los alimentos son un conjunto de componentes y sistemas complejos, por lo tanto, el deterioro de éstos está influenciado por múltiples factores, componentes y condiciones que en conjunto favorecen o retardan los distintos procesos de deterioro.

2.2.1 Factores que afectan la vida de anaquel

La calidad de un alimento está determinada por características fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales, como son sabor, textura, apariencia, estabilidad, inocuidad, nutrición y funcionalidad entre otros. Dentro de los alimentos ocurren una serie de reacciones que involucran a uno o más componentes de la matriz alimentaria y del medio que lo rodea, generando un cambio en la integridad del alimento e induciendo la pérdida de la calidad.

El análisis de la vida de anaquel es una herramienta que permite evaluar y predecir los cambios que generan deterioro y determinan el periodo durante el cual un alimento se mantiene apto para su consumo, generalmente son utilizados métodos estadísticos aplicados principalmente a evaluaciones sensoriales y microbiológicas o modelos cinéticos aplicados a las reacciones químicas involucradas en el deterioro de los alimentos y que tienen un efecto directo en la calidad de éste.

Existen indicadores de que la vida útil de un producto ha llegado a su fin, como el aumento de microorganismos, cambios fisicoquímicos como alteración o deterioro de nutrientes o cambios físicos como separación de fases (Carrillo y Reyes, 2013). Para realizar un análisis es necesario identificar los factores que tienen influencia principalmente en el deterioro y pérdida de la calidad de un alimento, estos pueden ser clasificados en dos categorías, factores intrínsecos y extrínsecos.

Los factores intrínsecos se basan principalmente en la naturaleza de los componentes del alimento, como materia prima, formulación, estructura entre otros, mientras que los factores extrínsecos son aquellas condiciones a las que será sometido el producto por ejemplo condiciones de almacenamiento o tipo de empaque (Kilcast y Subramaniam, 2000). A continuación, en la **Tabla 2** se muestra

la clasificación de factores intrínsecos y extrínsecos establecida por Kilcast y Subramaniam (2000).

Tabla 2. Clasificación de factores que influyen en el deterioro de los alimentos.

Factores Intrínsecos	Formulación, composición y nutrientes del producto. Actividad del agua (a_w). pH y acidez total. Oxígeno disponible. Actividad microbiológica propia del alimento. Reacciones bioquímicas propias del alimento (enzimas o reactivos químicos). Uso de conservadores o antioxidantes.
Factores Extrínsecos	Control de tiempo-temperatura durante el procesamiento. Control de temperatura, humedad relativa, exposición a la luz. durante el procesamiento, almacenamiento y distribución. Actividad microbiológica ambiental. Composición de la atmosfera dentro del embalaje. Tratamiento térmico posterior. Manipulación del producto por el consumidor (manejo, condiciones de almacenamiento antes y después de abierto el empaque, etc.).

Fuente Kilcast et al., 2000

2.2.2 Procesos de Deterioro

Los alimentos por su naturaleza son productos perecederos, en función de sus características físicas, químicas y microbiológicas además de los factores intrínsecos y extrínsecos dependerá que tan rápido o lento sufrirá modificaciones en sus parámetros de calidad concluyendo que el alimento ya no es adecuado para el consumidor (Elías *et al.*, 2011).

Los procesos de deterioro que puede sufrir un alimento son clasificados de acuerdo con la naturaleza o el efecto que presenta en los alimentos, de tal forma que el deterioro esta dado por mecanismos físicos, químicos y/o bioquímicos, así como microbiológicos. Las diversas formas en que un alimento se deteriora y altera puede ser complejo. Normalmente ocurren simultáneamente varios mecanismos de deterioro y, en ocasiones, un mecanismo puede dar lugar a otro tipo (Alapont *et al.*, 2020).

Algunos de los principales procesos de deterioro que menciona Man en 2002, son:

- Transferencia de agua
- Degradación de proteínas, carbohidratos y lípidos
- Actividad Enzimática
- Rancidez oxidativa
- Degradación de Vitaminas / Minerales
- Cambios de color, aspecto o textura
- Cambios en la intensidad del sabor
- Actividad microbiana

Deterioro microbiológico

En principio, los alimentos por su naturaleza son sustratos ideales para el crecimiento microbiano, lo que conduce al deterioro de éstos (Man, 2002). Entre los grupos de microorganismos que pueden desarrollarse en un alimento se encuentran, bacterias y hongos que son capaces de generar el deterioro, virus y parásitos (protozoarios o helmintos) que no se desarrollan en el alimento, llegan a él por contaminación y lo utilizan como vehículo (Carrillo y Reyes, 2013).

El desarrollo de microorganismos causantes de deterioro en los alimentos depende de las condiciones que lo rodean. La actividad del agua, el pH, temperatura y oxígeno disponible son factores que determinan el crecimiento microbiano. Además, algunos microorganismos necesitan fuentes de nitrógeno orgánico como aminoácidos, otros requieren cantidades suficientes de glucosa, entre otros requerimientos (Giraldo, 1999). En la **Tabla 3** se presentan los principales procesos de deterioro microbiológico, así como su efecto en los alimentos.

Tabla 3. Procesos de deterioro microbiológico.

Proceso de deterioro	Tipo de reacción	Efecto
Actividad enzimática	Actividad	Pérdida de frescura, aumento en acidez, presencia de gases, desarrollo de colonias.
Actividad microbiológica	Microbiológica	

Fuente Kilcast y Subramaniam, 2011

Deterioro químico

Durante el procesamiento y el almacenamiento de alimentos ocurren cambios químicos o bioquímicos que se derivan de la composición y de los factores ambientales externos. A excepción de algunos cambios como maduración de quesos o vinos, por ejemplo, la mayoría de los cambios químicos o bioquímicos son indeseables y limitan la vida de anaquel de los alimentos (Man, 2002).

Los principales cambios químicos están relacionados con la actividad enzimática, reacciones de oxidación (particularmente de lípidos) y reacciones no enzimáticas que provocan pardeamiento causando cambios en la apariencia (Giraldo, 1999). En la **Tabla 4** se presentan los principales procesos de deterioro químico, así como sus efectos en el alimento.

Tabla 4. Procesos de deterioro químico.

Proceso de deterioro	Nutriente involucrado	Tipo de reacción	Efecto
Oxidación de lípidos	Lípidos	Enzimática	Sabores desagradables, principalmente debido a formación de aldehídos y cetonas
Pardeamiento enzimático	Compuestos fenólicos		Oscurecimiento
Proteólisis	Proteínas Agua		Liberación de aminoácidos y péptidos, sabor butiroso, cambios en la textura.
Lipólisis	Lípidos Agua		Liberación de ácidos grasos libres
Oxidación lipídica	Lípidos	Reacción química.	Pérdida de ácidos grasos esenciales. Sabor rancio, formación de compuestos toxicológicamente sospechosos
Pardeamiento no enzimático	Carbohidratos Proteínas	Reacción de Maillard	Color, sabor y aroma, nutritivo valor, formación de compuestos toxicológicamente sospechosos

Fuente Kilcast y Subramaniam, 2011.

Tabla 4. (Continuación). Procesos de deterioro químico.

Proceso de deterioro	Nutriente involucrado	Tipo de reacción	Efecto
Degradación de micronutrientes	Vitaminas y minerales	Reacción química	Modificación en sabor, y cambios en el contenido de vitaminas y minerales

Fuente Kilcast y Subramaniam, 2011

Deterioro Físico

Los cambios físicos son causados por el maltrato hacia los productos a lo largo del procesamiento y distribución. Provocando cambios en los alimentos generados por golpes, condiciones de almacenamiento (humedad y temperatura), cambio o separación de fases entre otros (Giraldo, 1999). En la **Tabla 5** se muestran algunos de los principales procesos de deterioro físico y su efecto en los alimentos.

Tabla 5. Procesos de deterioro Físico.

Proceso de deterioro	Tipo de reacción	Efecto
Pérdida de humedad	Reacción física	Endurecimiento
Ganancia de humedad		Ablandamiento
Separación		Sedimentación, formación de crema, formación de dos o más fases.
Solidificación	Combinación reacción física y química	Formación de gel, cambios en la textura.

Fuente Kilcast y Subramaniam, 2011.

2.2.3 Clasificación de los alimentos con base en la estabilidad ante el deterioro.

De acuerdo con las características, factores intrínsecos y factores extrínsecos para cada alimento, éste tendrá un periodo de estabilidad, por lo que los alimentos pueden ser clasificados según este periodo y vida útil. Esta clasificación puede ser en tres categorías (Núñez, 2013; Ortega, 2022):

- **Perecederos:** vida útil corta de hasta 30 días, bajo condiciones específicas de envasado y almacenamiento, deben mantenerse en temperaturas de

refrigeración o congelación. Son propensos al deterioro microbiológico y/o enzimático.

- Semi-perecederos: vida útil de 30 a 90 días, contienen inhibidores naturales o han recibido un tratamiento mínimo de preservación que les proporcionan tolerancia a las condiciones ambientales y al abuso de manipulación durante la distribución.
- Poco perecederos o no perecederos: Vida útil larga de meses hasta años. Estos alimentos durante su elaboración aplican procesos para su preservación como: esterilización, deshidratación, métodos químicos etc. Generalmente su deterioro comienza una vez abierto por manipulación y condiciones de almacenamiento.

2.3 Determinación de la vida de anaquel

Los estudios de vida de anaquel son una forma objetiva y metódica para determinar o estimar el tiempo que puede esperarse que un producto alimenticio se mantenga sin cambios apreciables en su calidad. Estos análisis son utilizados durante el desarrollo de nuevos productos o cuando se realizan modificaciones en la formulación o materias primas utilizadas, condiciones de procesamiento o material de empaque (Nuñez *et al.*, 2017).

Para la determinación de la vida de anaquel de un producto es necesario contar con toda la información del alimento, desde formulación, parámetros de procesamiento, empaque y pruebas de aceptación del consumidor (Taormina, 2021). Además, se deben considerar condiciones de transporte, almacenamiento y distribución al minorista, así como el almacenamiento realizado por el propio consumidor.

Las pruebas de vida de anaquel son específicas para cada producto dependiendo de sus características o especificaciones, estas determinaciones pueden incluir uno o varios análisis para establecer los parámetros de calidad aceptables, los análisis pueden ser microbiológicos, físicos y químicos o sensoriales.

Existen diferentes formas y enfoques establecidos para recopilar toda la información necesaria para establecer la vida de anaquel de los alimentos. A continuación, se

muestran algunos de los principales estudios de vida de anaquel (Singh y Cadwallader, 2004):

- Estimación de vida anaquel basada en datos publicados o estudios bibliográficos.
- Utilizar tiempos de distribución conocidos para productos similares en el mercado o Tiempo de recambio.
- Usar quejas de consumidores como base para determinar si está ocurriendo un problema.
- Estudios en tiempo real o Estudio de punto final.
- Prueba acelerada de vida útil (ASLT *Accelerated Shelf-Life Testing* por sus siglas en inglés).

2.4 Metodologías para la determinación de Vida de Anaquel

2.4.1 Estudios bibliográficos o Estudios Históricos

-Literatura científica

El objetivo de esta prueba es utilizar estudios científicos o guías publicadas por fuentes fiables como herramientas para determinar la vida útil de sus productos, la literatura científica puede dar información sobre el crecimiento de microorganismos o formación de compuestos tóxicos a considerar durante la vida útil (Alapont *et al.*, 2020).

Para este tipo de estudios es importante que las características definidas del estudio (a_w , pH, procesado, entre otros) sean correspondidas entre el producto reportado y el producto objeto del estudio, de otra forma la determinación de la vida útil no podrá llevarse a cabo correctamente o tendrá que especificarse claramente las diferencias entre ambos sistemas.

-Datos Históricos

Se trata de una herramienta de datos generados durante un periodo y que puede emplearse para realizar un análisis de tendencias que aporte información sobre la tendencia microbiológica y fisicoquímica del producto objeto de estudio. Se pueden

utilizar análisis de superficies y/o materias primas y/o productos intermedios, históricos de controles de factores intrínsecos y extrínsecos del producto, reclamaciones, etc. La fiabilidad de este tipo de herramientas depende en gran medida de la cantidad de datos recopilados (Alapont *et al.*, 2020).

2.4.2 Tiempo de recambio

Hace referencia al periodo en el que un producto permanece en los anaqueles comerciales antes de ser retirado. Estima el periodo de vida de anaquel mínima requerida para considerar al producto como aceptable para el consumidor.

2.4.3 Pruebas de aceptación al consumidor

Este tipo de pruebas da información sobre el gusto y aceptación de los consumidores, esta puede ser utilizada directamente para estimar la vida útil de los alimentos. Los procedimientos más comunes utilizan una población representativa de consumidores, a los cuales se les pide evaluar el grado de aceptación o rechazo de muestras almacenadas por tiempos determinados (Kilcast y Subramaniam, 2000). Se utilizan diseños experimentales y un análisis estadístico adecuado para tratar los datos recopilados durante el estudio, con esta información es posible determinar un periodo durante el cual el producto se mantiene en condiciones de calidad aceptables para el consumidor.

2.4.4 Estudio de punto final

Es la manera más habitual y directa de establecer la caducidad de un producto, consiste en la realización de pruebas a muestras almacenadas en condiciones reales y similares a las que está destinado el producto para su almacenamiento, distribución y exposición (Ruíz *et al.*, 2008), se realizan pruebas de laboratorio para estimar su calidad, identificando los puntos de deterioro del producto; el estudio dura hasta que alguno de los puntos de deterioro cambie significativamente para alguno de los parámetros microbiológicos, fisicoquímicos, organolépticos entre otros.

2.4.5 Pruebas de envejecimiento acelerado (ASLT Accelerated Shelf-Life Testing por sus siglas en inglés)

Se utiliza para alimentos con fecha de caducidad larga o no perecederos, con esta prueba se reduce el tiempo necesario para estimar la vida de anaquel. El alimento es sometido a condiciones de almacenamiento que aceleran las reacciones de deterioro, modificando temperatura o humedad entre otros parámetros (Ruíz *et al.*, 2008), bajo estas condiciones el fin de la vida de anaquel se alcanza mucho más rápido y los datos obtenidos pueden ser utilizados para proporcionar una estimación de la vida útil en diversas condiciones de almacenamiento para el producto.

Las ASLT son aplicables a cualquier proceso de deterioro que tenga un modelo cinético válido, puede ser químico, físico, bioquímico, microbiológico e incluso sensorial. Existen varias aproximaciones, pero el método más común es la aproximación por el modelo cinético, particularmente el modelo de Arrhenius, el cual relaciona la velocidad de la reacción de deterioro a los cambios de temperatura y cuya popularidad lo ha hecho sinónimo de las ASLT. Por otro lado, estas pruebas presentan limitaciones para aquellas muestras en las que el deterioro no se adapta a ningún modelo cinético o cuando el modelo es muy complicado y requiere la evaluación de un número elevado de parámetros (Mizrahi, 2011; Núñez *et al.*, 2017).

2.5 Modelos para el tratamiento de datos y determinación de vida de anaquel

La estimación de la vida de anaquel de los alimentos puede desarrollarse a partir de diferentes modelos o métodos, principalmente se separan en dos grupos, métodos estadísticos y probabilísticos (aplicados principalmente a evaluación sensorial donde el interés fundamental es el tiempo de fallo de un alimento) o modelos cinéticos (relación entre la cinética de deterioro y la vida de anaquel de un alimento).

2.5.1 Modelos probabilísticos.

Generalmente son utilizados cuando se hace el estudio a través de la evaluación sensorial donde se estableció inicialmente el valor donde el producto es considerado inaceptable.

En estos modelos el tiempo de fallo de un producto es fundamental, la vida útil se considera una magnitud aleatoria que depende de muchos factores (la mayoría incontrolables), se supone que los tiempos de vida de las unidades experimentales se distribuyen de acuerdo con una ley de probabilidad. Es necesario conocer la distribución estadística de las observaciones, de tal forma que permita la estimación de los parámetros de dicha distribución para posteriormente inferir la vida de anaquel (Giraldo, 1999; Núñez, 2013).

Análisis de supervivencia

Según lo reportado por Garita *et al.*, 2005 y Elías *et al.*, 2011:

El análisis de supervivencia es la metodología estadística más apropiada para definir la vida útil sensorial a partir de la aceptación o rechazo del consumidor hacia los alimentos almacenados por un tiempo definido; por lo que la vida útil de los alimentos estará determinada por la interacción de éstos con el consumidor.

El análisis es un conjunto de procedimientos estadísticos, para evaluar datos comprendidos en el tiempo entre dos sucesos, que comprenden el inicio de la comercialización (producto terminado) y el tiempo en el cual los consumidores rechazan el alimento (final de la vida anaquel). Para el análisis de estos estudios se utiliza la función de rechazo $F(t)$ definida como la probabilidad de que un consumidor rechace un producto almacenado antes del tiempo t ; es decir el riesgo no se enfoca íntegramente en el deterioro del producto, sino en el rechazo del consumidor.

-Metodología: Durante el estudio se presentan a los consumidores muestras con diferentes tiempos de almacenamiento (horas, días, semanas, etc.). Se define a la variable aleatoria t_A como el tiempo de almacenamiento en el cual el consumidor rechaza la muestra.

Se supone un t_0 que corresponde al producto fresco y se asume que los consumidores aceptan el alimento. El tiempo de rechazo de cada individuo está influenciado por factores o variaciones aleatorios e intrínsecos para cada individuo.

-Análisis Estadístico: La función de rechazo se representa por $F(t) = P(t_A < t)$, donde t_A es el tiempo de almacenamiento en el cual el consumidor rechaza la muestra.

Para la estimación de la función de rechazo se utilizan modelos de distribuciones de probabilidad que se ajustan a los datos obtenidos, de esta forma la función dependerá de pocos parámetros y proporciona una estimación más precisa; se utilizan modelos como la de Weibull o log normal.

Función de Riesgo

Es una forma de modelar datos de análisis de supervivencia, esta función tiene la capacidad de modelar los periodos en los que existen las posibilidades más altas o bajas de un que un evento se lleve a cabo. La función define el riesgo de que suceda un evento de interés durante un periodo muy estrecho (Benites, 2022).

La función de riesgo da información sobre la medida del riesgo de falla, indica la probabilidad de que un alimento falle en un estudio en $(t+1)$ tiempo, suponiendo que haya sobrevivido hasta el tiempo t . Cuanto mayor sea el valor del peligro, mayor será el riesgo de falla del objeto en el estudio (Greyrat, 2022). En la **Figura 1** se representa gráficamente la función de riesgo mediante una “curva de bañera”.

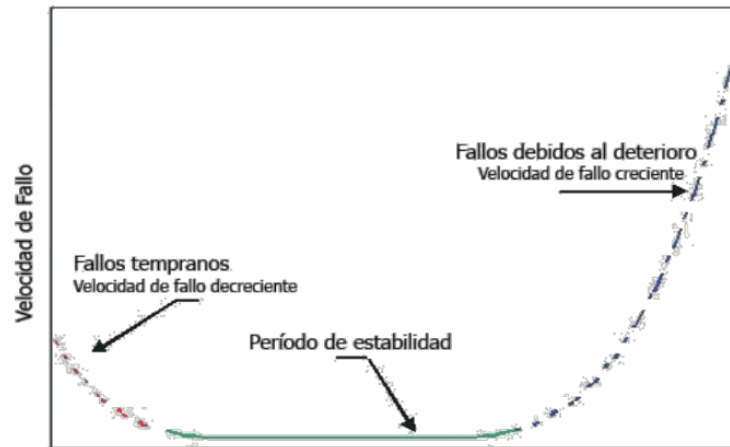


Figura 1. Tasa de Fallas en función del tiempo (Núñez, 2013).

La función mostrada en la **Figura 1** se puede seccionar en 3 etapas (Minitab, 2023):

- Tasa de falla decreciente: Representa fallas tempranas o atípicas del producto, éstas pueden tener origen en un mal procesamiento o en problemas del envase.

- Tasa de falla constante: Es un periodo de bajo riesgo de falla o llamado periodo de vida útil.
- Tasa de falla creciente: Aumenta el riesgo de fallo con el tiempo como consecuencia normal del producto.

Modelo predictivo microbiológico

De acuerdo con Amézquita *et al.*, (2011) los modelos predictivos son un conjunto de modelos matemáticos capaces de describir el número de microorganismos presentes en un producto alimenticio, en función de algunas variables ya sea intrínsecas (pH, a_w , etc.) o extrínsecas (temperatura, oxígeno disponible, etc.). Generalmente los modelos describen el comportamiento de poblaciones microbianas, mientras que para microorganismos individuales el modelo es limitado.

Existen diversas clasificaciones para los diferentes modelos predictivos, una de ellas se basa en la respuesta microbiológica objeto de estudio, la clasificación se muestra en la **Tabla 6**.

Tabla 6. Clasificación de los modelos predictivos.

Modelo	Objetivo
Crecimiento	Describen el aumento en la población microbiana a lo largo del tiempo.
Inactivación o muerte	Describen la disminución de la población microbiana a lo largo del tiempo.
Supervivencia	Describen la muerte microbiana a lo largo del tiempo, cuando esta ocurre con relativa lentitud al no aplicar adecuadamente un tratamiento letal al producto.
Crecimiento /ausencia de crecimiento	Describen la probabilidad de supervivencia de los microorganismos en situaciones donde las condiciones favorecen o inactivan el crecimiento de los microorganismos.
Combinado	Son modelos que describen los cambios de comportamiento en la población microbiana sometida a condiciones que provocan variación en la tendencia de crecimiento microbiano.

Fuente Amézquita *et al.*, 2011

Los modelos no son idénticos a la realidad y sus resultados deben interpretarse adecuadamente, ya que las predicciones deben ser utilizadas solo como una guía para modelar el comportamiento microbiológico. Para utilizar estos modelos, es necesario realizar ciertas consideraciones, principalmente porque es muy poco probable que las cepas contaminantes (individuales o mezclas) y condiciones de alimento sean las mismas que las utilizadas para generar el modelo. Por lo tanto, para utilizarlo como un método confiable para realizar predicciones sobre la vida de anaquel se debe considerar de forma precisa las condiciones y factores de estudio de tal forma que reflejen las mismas a las que será sometido el alimento.

2.5.2 Modelos Cinéticos

Estos métodos se basan en establecer que, bajo condiciones ambientales constantes, la degradación y pérdida de la calidad y por tanto de la vida útil de los alimentos, puede ser representada por la disminución o aumento de uno o varios índices de calidad (Núñez *et al.*, 2017).

Estos métodos deben ser capaces de medir cambios mínimos en el deterioro después de un tiempo de almacenamiento relativamente corto en las condiciones reales. Aplicando el principio fundamental de la cinética química de la velocidad de cambio en la calidad de los alimentos, esta puede expresarse en forma general como una función de la composición y factores ambientales, de modo que la cinética de las reacciones en los alimentos son un sistema fisicoquímico de alta complejidad que involucra numerosas variables físicas y químicas, por lo que para aplicar estos métodos se deben identificar primero las reacciones que influyen sobre la calidad y seguridad del alimento (Mizrahi, 2011; Giraldo, 1999).

La pérdida de la calidad de un alimento se representa a través de la ecuación de velocidad y se expresa de la siguiente forma (Curia *et al.*, 2005):

$$-\frac{dA}{dt} = kA^n$$

Donde:
A = calidad del factor medido
t = tiempo
k = constante dependiente de la temperatura
n = exponente indicativo del orden de reacción
 $\frac{dA}{dt}$ = la proporción del cambio de A en función del tiempo

La ecuación de velocidad establece que la velocidad de una reacción varía con la concentración de los reactivos y no depende de la concentración de los productos.

La constante de velocidad (k) proporciona una medida útil de la velocidad de una reacción química a una condición determinada, generalmente temperatura. Es importante hacer notar que sus unidades dependen del orden de la reacción.

Orden de Reacción

Orden cero (n=0)

La velocidad de la reacción de pérdida o deterioro de A es constante en el tiempo e independiente de la concentración inicial del atributo medido. Por lo que se tiene que A, es una función de tiempo representada con una gráfica lineal y con alta correlación (Giraldo, 1999).

$$A = A_0 - kt$$

Donde:

A= es el valor del atributo al final de la vida media

A_0 = es el valor inicial del atributo medido

t = tiempo, en días, meses o años

k =es la constante de velocidad de la reacción

Primer Orden (n=1)

La velocidad de la reacción de pérdida o deterioro de A es directamente proporcional a la concentración de A, cuando la reacción es de primer orden se expresa (Avery, 2020):

$$\ln(A) = \ln(A_0) - kt$$

Donde:

A= es el valor del atributo al final de la vida media.

A_0 = es el valor inicial del atributo medido.

t = tiempo, en días, meses o años.

k =es la constante de velocidad de la reacción.

Hay reacciones que siguen cinética de segundo orden, donde la velocidad de la reacción depende del cuadrado de la concentración de A (Avery, 2020) sin embargo, en sistemas alimentarios no es común que el deterioro siga cinéticas de segundo orden.

Generalmente, la información sobre el orden de las reacciones en muchos sistemas alimentarios se encuentra disponibles en la literatura. Estos métodos se basan en establecer que bajo condiciones ambientales constantes la degradación o pérdida de la calidad y por tanto de la vida útil de los alimentos puede ser representada por la disminución o aumento de uno o varios parámetros de calidad. La mayoría de las reacciones de deterioro químico en los alimentos han sido caracterizadas y siguen una cinética de orden cero o primer orden (Mizrahi, 2011). En la **Tabla 7** se presentan algunos ejemplos de reacciones de deterioro que ocurren en los alimentos.

Tabla 7. Ejemplo de reacciones de deterioro.

Orden de Reacción	Reacciones de deterioro
Orden cero	Degradación enzimática en frutas frescas y vegetales, alimentos congelados y pastas refrigeradas. Pardeamiento no enzimático en cereales y en productos lácteos deshidratados. Oxidación de lípidos en alimentos congelados y deshidratados.
Primer orden	Rancidez en aceites o en alimentos deshidratados. Crecimiento de microorganismos y sus defectos (aparición de mucílago o sabores). Pérdida de vitaminas en alimentos enlatados y deshidratados. Pérdida en calidad de proteínas en alimentos deshidratados.

Fuente Curia *et al.*, 2005

La pérdida de la calidad de un alimento a través del tiempo puede ser representada gráficamente (**Figura 2**) y a través del comportamiento es posible predecir el orden de reacción que siguen las cinéticas de deterioro. Es importante recordar que la calidad de un alimento está en función de los procesos de deterioro los cuales estarán determinados por la disminución o aumento de los atributos de calidad, esto se verá reflejado en la representación gráfica dado que cuando se estudie el comportamiento de la formación de un compuesto la tendencia será positiva, por el contrario, cuando se analice el deterioro la gráfica presentará una tendencia negativa.

Si al representar el grado de calidad en función del tiempo se obtiene una línea recta, el orden de reacción es cero. Si la gráfica no da una línea recta, pero al graficar el logaritmo natural del grado de calidad en función del tiempo se obtiene una línea recta la reacción es de primer orden.

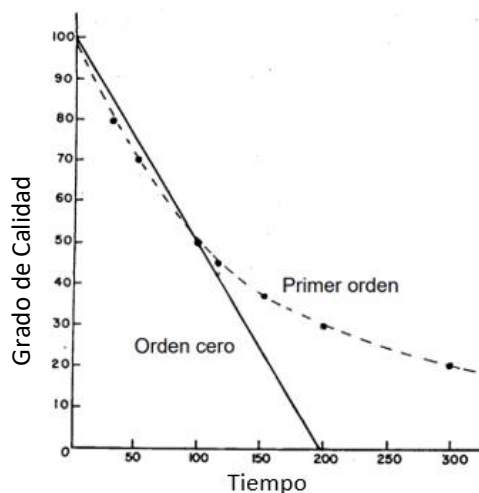


Figura 2. Efecto del orden de reacción en los cambios provocados por la pérdida de la calidad a través del tiempo (Fuente Anzueto, 2012).

Constante de velocidad

La constante de velocidad proporciona una medida útil de la velocidad de una reacción química a una temperatura determinada. En la **Tabla 8** se muestran las unidades de la constante de velocidad que dependen del orden de reacción (Avery, 2020).

Tabla 8. Unidades de la constante de velocidad.

Reacción	Orden cero (n=0)	Primer orden (n=1)
Unidades de k	$\frac{\text{Concentración}}{\text{tiempo}}$	$\frac{1}{\text{tiempo}}$

Efecto de la temperatura sobre la constante de velocidad

La ecuación de la velocidad de reacción expresa la dependencia de la velocidad de reacción con las concentraciones de los reactivos. Sin embargo, la velocidad de una reacción varía ampliamente con la temperatura; por ejemplo, en procesos químicos es común que al aumentar la temperatura 10°C la velocidad de la reacción aumente.

En la ecuación de velocidad de reacción ni el orden de reacción ni la concentración están influenciados por la temperatura, mientras que la constante de velocidad (k) es el único parámetro dependiente de la temperatura (Avery, 2020).

La relación entre la velocidad de una reacción química y los cambios en la temperatura fueron descritos por el modelo de Arrhenius.

Ecuación de Arrhenius

El modelo de Arrhenius relaciona la constante de velocidad de la reacción a la temperatura absoluta mediante la expresión (Avery, 2020; Hough y Garita, 2005):

$$k = k_0 e^{-\frac{E_a}{RT}}$$

Donde:

k = cte de velocidad de reacción a la temperatura T

k_0 = cte de velocidad de reacción a la temperatura de referencia

E_a = energía de activación en kcal/mol o kJ/mol

R = cte general de los gases ($0.001987 \text{ kcal mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ o $0.00831 \text{ kJ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$)

T = temperatura absoluta en K

El modelo de Arrhenius requiere la evaluación de dos parámetros solamente k_0 y E_a que son independientes de la temperatura.

La ecuación del modelo de Arrhenius puede ser linealizada de la siguiente manera (Avery, 2020):

$$\ln k = \ln k_0 - \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T} \right)$$

En la **Figura 3** se muestra que al trazar el gráfico $\ln(k)$ en función del inverso de la temperatura ($1/T$) se obtiene una línea recta cuya pendiente $-\frac{E_a}{R}$.

Por lo tanto, es posible estudiar una reacción de deterioro (de un parámetro de calidad) de los alimentos a diferentes temperaturas (temperatura de referencia) y determinar la constante de velocidad para cada una de ellas (k). Posteriormente a través del uso del modelo de Arrhenius se relaciona la constante de velocidad y la temperatura a través de la gráfica $\ln(k)$ en función del inverso de la temperatura ($1/T$), la cual tendrá un comportamiento lineal con pendiente $-\frac{E_a}{R}$. A partir de esa

expresión es posible determinar la energía de activación (E_a) para cada reacción de deterioro e independiente de la temperatura.

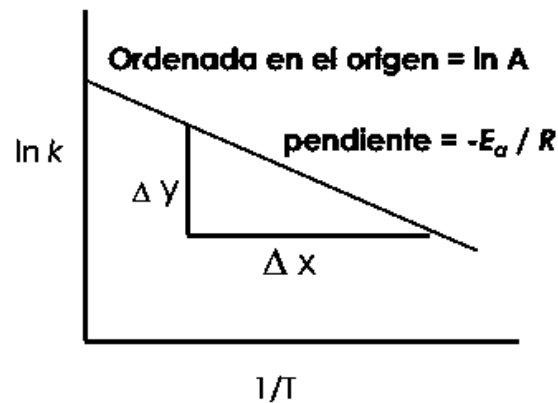


Figura 3. Representación de la ecuación de Arrhenius linealizada (Fuente: Morais y Atienza, 2019).

Energía de activación (E_a)

Se define como la energía mínima necesaria para que se produzca una reacción. Por lo tanto, cuanto menor sea la energía de activación mayor será la velocidad de reacción (Morais y Atienza, 2019).

En los alimentos generalmente el deterioro se lleva a cabo por más de una reacción química, es decir diversos parámetros de calidad son afectados, para poder seleccionar cuál de ellos es el que determina la vida de anaquel es necesario evaluar cada reacción para definir cuál de ellas es la que posee una menor energía de activación por lo tanto una mayor velocidad de reacción, ya que esta reacción marcará cual es el parámetro de calidad que tendrá un cambio significativo en menor tiempo y así poder predecir el periodo durante el cual el alimento se mantiene con parámetros de calidad adecuados.

2.6 Determinación de la vida de anaquel a partir de los modelos cinéticos

A partir del modelo de Arrhenius se pueden realizar predicciones sobre el periodo durante el cual un alimento mantiene como aceptables los parámetros de calidad a una temperatura referencia, que generalmente es la temperatura a la cual será almacenado el alimento.

Una vez determinada la energía de activación (E_a) es posible conocer la constante de velocidad (k) a una temperatura de referencia, y de esta forma poder realizar predicciones sobre la vida de anaquel a una temperatura específica, a través del uso de las ecuaciones de cinética química (orden cero o primer orden de acuerdo con el comportamiento de la reacción) para determinar el periodo durante el cual el alimento se mantiene con parámetros de calidad aceptables y es posible definir fecha de caducidad y fecha de consumo preferente.

Coeficiente de temperatura Q_{10}

En el estudio de la vida útil, otro parámetro que suele utilizarse para describir la relación entre la temperatura y la velocidad de reacción es el factor Q_{10} o coeficiente de temperatura (Man, 2002). Con este parámetro se evalúa la variación de la velocidad de reacción cada que se produce un cambio en la temperatura de 10 °C, con lo que se complementa la ecuación de Arrhenius utilizada en las estimaciones de vida útil de alimentos y se define como (Hough y Garita, 2005):

$$Q_{10} = \frac{\text{velocidad a } (T + 10^{\circ}\text{C})}{\text{velocidad a } T}$$

Donde:
T es la temperatura relacionada con el intervalo del almacenamiento

Otra forma de expresar el factor Q_{10} es en relación con la energía de activación a partir de la definición de velocidad de reacción y la ecuación de Arrhenius y se define como (Hough y Garita, 2005):

$$Q_{10} = e^{\frac{E_a}{R} \frac{10}{T(T+10)}}$$

Esto permite generar predicciones sobre los cambios en el periodo de vida de anaquel a partir de la evaluación del aumento o disminución la velocidad de los procesos de deterioro con relación a la temperatura de almacenamiento, por ejemplo, un valor de Q_{10} igual a 2 significa que, por cada aumento de temperatura de 10°C, la velocidad de una reacción se duplicará.

Capítulo 3. Desarrollo de material didáctico para la enseñanza de vida de anaquel.

El análisis de vida de anaquel de un alimento es de gran importancia, pues de esta forma se establece el periodo durante el cual el alimento mantiene su calidad y es seguro su consumo, por lo que es fundamental la enseñanza de este estudio durante la formación académica de los alumnos de la carrera Química de Alimentos impartida en la Facultad de Química. El plan de estudios considera la asignatura experimental Laboratorio de Alimentos II (1715) donde se lleva a cabo el estudio del análisis de vida de anaquel a partir de pruebas aceleradas aplicadas a una matriz alimentaria. Sin embargo, por la complejidad del estudio, la enseñanza se ve limitada por factores como la duración del análisis y tiempo de respuesta o referentes al tipo de matriz utilizada, por lo que se identificó la necesidad de desarrollar materiales didácticos que además puedan ser utilizados a través de herramientas digitales que permitan ampliar y mejorar el proceso de enseñanza sobre este tema para mejorar la experiencia de aprendizaje durante el curso.

Para el desarrollo del material didáctico se cuenta con investigaciones de vida de anaquel aplicados a diferentes matrices alimentarias y un estudio de deterioro térmico por freído, que permitirán la aplicación de modelos cinéticos para la determinación del periodo de vida de anaquel, además de favorecer el estudio y comprensión de factores intrínsecos y extrínsecos que tiene influencia sobre la calidad de los alimentos. El material desarrollado pretende que el estudiante siga una secuencia que posibilitará la comprensión y aplicación de modelos cinéticos (orden de reacción, ecuación de velocidad Q_{10} y modelo de Arrhenius) para la determinación de vida de anaquel.

3.1 Planteamiento del problema

El análisis de vida de anaquel es una herramienta que permite estudiar la estabilidad y establecer el periodo durante el cual el alimento se mantiene apto para su consumo y cumple con sus parámetros de calidad; la determinación se da de forma objetiva y metódica, es un proceso que requiere la integración completa de la información referente al producto, factores intrínsecos y extrínsecos, parámetros de calidad establecidos, procesos de deterioro entre otros. Los métodos acelerados son una herramienta para la determinación de la durabilidad de un alimento a través del uso de modelos matemáticos que permiten predecir la vida de anaquel de los alimentos (Núñez et al., 2017; Taormina, 2021).

Como parte del programa de la asignatura Laboratorio de Alimentos II (1715) que cursan los alumnos de la carrera de Química de Alimentos, se realiza el estudio del análisis de vida de anaquel, donde se espera que los alumnos identifiquen, comprendan y estudien los cambios que ocurren en los alimentos con el fin de estimar la vida útil y fecha de caducidad de un alimento (Recuperado del Programa de estudios de la Asignatura Laboratorio de Alimentos II, Plan de estudios para la Carrera Química de Alimentos, 2005). Sin embargo, dado la complejidad del análisis, la enseñanza se ve limitada por el periodo requerido para el análisis y respuesta debido a que en el programa de estudios para esta unidad solo están programadas 44 horas de las cuales 36 están destinadas a experimentación y 8 al tratamiento de datos, otra limitación está dada por el estudio de una sola matriz alimentaria. De acuerdo con la organización del curso, se analiza una fórmula láctea adicionada con vitamina C, y son analizados los parámetros de humedad, acidez titulable, índice de Kreis, ácido ascórbico y color (Sánchez, 2021), por un tiempo aproximado de 10 semanas, en consecuencia, el aprendizaje se ve restringido sin lograr que el alumno comprenda la complejidad del análisis para diferentes matrices alimentarias, cuyos parámetros de calidad varían.

Este trabajo busca desarrollar material didáctico que permita brindar herramientas tanto a docentes como estudiantes para ampliar y mejorar el proceso de enseñanza del estudio de vida de anaquel, de tal forma que se analicen diversas matrices

alimentarias reales sometidas a diferentes condiciones, y que provean al alumno las habilidades para analizar el efecto de factores intrínsecos y extrínsecos, aplicar modelación cinética a distintas reacciones de deterioro, comparar con límites establecidos en normatividad y estimar la vida útil de alimentos.

3.2 Metodología

I. Selección de información

Para el desarrollo del material didáctico se cuenta con cinco estudios de vida de anaquel y uno más sobre el deterioro por procesamiento térmico los cuales fueron desarrollados en un laboratorio de investigación del Departamento de Alimentos y Biotecnología de la Facultad de Química; los análisis consistieron en someter a las matrices alimentarias a diferentes condiciones y se realizaron las determinaciones por triplicado, considerándose los promedios para esta propuesta.

En la **Tabla 9** se presentan los alimentos analizados, condiciones de almacenamiento, así como los parámetros de calidad determinados en cada investigación.

Tabla 9. Información considerada para el desarrollo del material didáctico para el estudio de vida de anaquel.

	Matriz alimentaria	Parámetros estudiados	Condiciones de Temperatura (°C)	Parámetros Cinéticos	Objetivos de estudio
1	Galletas de camarón y charal	Índice de peróxidos	30	Orden de reacción	Orden de reacción en función del Índice de peróxidos e Índice Kreis
		Índice de Kreis			
2	Inulina	Carbohidratos reductores	25, 35, 45	Orden de reacción y Tiempo de vida media	Orden de reacción y Tiempo de vida media en función de la temperatura (Hidrolisis de polisacárido)
3	Néctar de mango	Deterioro de Vitaminas C (ácido ascórbico)	37	Orden de reacción y Tiempo de vida media	Orden de reacción en función de tipo de empaque, determinación de Tiempo de vida media
4	Granos de elote	Deterioro de vitamina B ₂ (Riboflavina) y Vitamina B ₃ (Niacina)	37	Orden de reacción, Tiempo de vida media y fin de vida de anaquel	Orden de reacción en función de tipo de empaque, determinación de Tiempo de vida media y Fin de vida de anaquel
5	Galletas de camarón y charal	Índice de Kreis	30, 40	Q ₁₀	Q ₁₀ en función de índice de Kreis y Formación de HMF*
		Formación de HMF*			
6	Alimento de avena, nopal, soya, chía e inulina	Pérdida de solubilidad de Proteínas	4, 22, 45	Modelo de Arrhenius (Ea), Tiempo de vida media, Q ₁₀	Ea y Q ₁₀ para parámetros: Solubilidad de Proteínas, Carbohidratos reductores, formación de HMF*, Índice de peróxidos para determinación de Tiempo de vida media
		Carbohidratos reductores			
		Formación de HMF*			
		Índice de peróxidos			
7	Aceite de soya para freír (Tipo A, B y C)	Índice de peróxidos	180	Orden de reacción en el Deterioro térmico y tiempo de recambio	Tiempo de recambio en función del Deterioro térmico durante el freído (Parámetros de control en función de los productos generados)
		Índice de Kreis			
		Compuestos polares			

*HMF (Hidroximetilfurfural)

II. Análisis de datos

Se cuenta con seis tipos de matrices alimentarias en donde se estudiaron procesos de deterioro químico, dentro de estas se cuenta con ingredientes, productos alimenticios y una matriz adicional que es utilizada durante el proceso de freído, funcionando como el medio de inmersión para lograr la fritura.

De acuerdo con la naturaleza de cada matriz alimentaria el deterioro estará determinado por distintos procesos químicos, es decir, cada muestra cuenta con análisis de parámetros de calidad propios. El deterioro de las distintas matrices está dado por la pérdida o disminución del atributo de calidad o por la formación de compuestos responsables del deterioro del alimento, estos procesos pueden ocurrir simultáneamente dentro de cada muestra, esto permite evaluar en ciertos casos más de un proceso de deterioro simultáneamente, comparar entre sí y establecer cuál es el que determina la vida de anaquel de un alimento, favoreciendo la obtención de una perspectiva más completa de la complejidad que representa el análisis de vida de anaquel de un alimento.

Adicionalmente las matrices alimentarias seleccionadas presentan características que requieren una integración de conocimiento adquirido durante la formación académica de los estudiantes para comprender mejor los procesos de deterioro. Por otro lado, para el análisis siempre debe considerarse si existe o no normatividad que establezca límites para parámetros de calidad que deban ser utilizados como especificaciones para establecer el periodo de vida de anaquel del alimento.

Basados en las características antes mencionadas sobre los análisis, se buscó desarrollar material didáctico enfocado al deterioro químico que permita a los alumnos realizar una secuencia guiada que les facilite la comprensión de los factores que influyen en la vida de anaquel, así como la aplicación de modelos cinéticos, favoreciendo la integración de conocimientos adquiridos durante toda su formación académica.

III. Organización de datos

Con la finalidad de generar materiales didácticos que favorezcan y mejoren el proceso de enseñanza - aprendizaje de la vida de anaquel, a partir de la información recabada se generaron ejercicios enfocados al deterioro químico, excluyendo procesos sensoriales y microbiológicos, no menos importantes. Se buscó generar una secuencia que permita al alumno estudiar de forma cronológica la aplicación de los modelos cinéticos para la determinación del tiempo de vida media ($t_{1/2}$) y fin de vida de anaquel. A partir de esta planeación el material didáctico fue organizado en siete ejercicios, de acuerdo con el objetivo de estudio:

- Determinación de orden de reacción (Ejercicio 1)
- Aplicación de ecuación de velocidad para la determinación del tiempo de vida media (Ejercicios 2 – 4)
- Efecto de la temperatura y Determinación de Q_{10} (Ejercicio 5)
- Aplicación de modelo de Arrhenius (Ejercicio 6)

Simultáneamente con el material generado se espera que el alumno pueda estudiar y evaluar la influencia de parámetros extrínsecos como lo son la vida de anaquel de ingredientes, productos alimenticios y efecto del empaque.

Por otro lado se cuenta con un estudio realizado a un aceite de soya para freír, en donde, si bien no se trata de un estudio de vida de anaquel, permite evaluar un proceso de deterioro químico por procesamiento térmico, que pretende ejemplificar a los estudiantes que la aplicación de los modelos cinéticos para la determinación del periodo donde una matriz alimentaria mantiene parámetros de calidad óptimos no es exclusivo para la determinación de la vida de anaquel como lo es para este caso en particular en donde se determinará el tiempo de recambio; este material se utilizará para la elaboración de un ejercicio extra.

A partir del análisis del material, se utilizaron datos experimentales para el desarrollo de los ejercicios que cumplen con las características antes mencionadas y que pretenden favorecer el proceso de enseñanza aprendizaje de la vida de anaquel, en la **Tabla 9** se muestra la información considerada para el desarrollo del material

didáctico, en el orden y con las características antes mencionadas. Con esta planeación se pretende que el alumno aplique conocimientos previos y desarrolle habilidades para la solución de éstos, además con esto se busca abarcar y cumplir con la mayoría de los objetivos propuestos en el programa de estudios para la asignatura de Laboratorio de Alimentos II en matrices alimentarias diversas, es decir que evalúe el efecto de factores intrínsecos y extrínsecos en el deterioro de un producto, analice los métodos de pruebas de envejecimiento acelerado y pueda realizar la modelación cinética de reacciones de deterioro a partir de la ecuación de velocidad de una reacción, modelo de Arrhenius y Q_{10} (Recuperado del Programa de estudios de la Asignatura Laboratorio de Alimentos II, Plan de estudios para la Carrera Química de Alimentos, 2005) además de desarrollar habilidades como la aplicación de la normatividad, para establecer límites en parámetros de calidad entre otras.

Los ejercicios previamente organizados estarán conformados por:

- Objetivo de aprendizaje que se espera lograr en el alumno.
- Planteamiento que definirá la importancia del estudio de cada etapa.
- Ejercicios propuestos (Información que será proporcionada a los alumnos) con datos experimentales de muestras reales (estos pueden ser resultados experimentales o datos tratados previamente para evitar la saturación de información al alumno), algunos contarán con sugerencias para el profesor sobre temas posibles para abordar diferentes a la aplicación de modelos cinéticos.
- Resultados con la resolución del ejercicio y una breve explicación
- Resultado de aprendizaje y conclusión sobre el análisis de la muestra.

Estos ejercicios serán proporcionados a los alumnos a través del uso de TIC y plataformas digitales educativas como *Moodle* o *Classroom*, con la finalidad de formar un entorno virtual educativo. Las plataformas digitales fungirán como software educativo diseñado para la solución de ejercicios (de acuerdo con la clasificación mencionada en el Capítulo 1 del presente trabajo), en donde el alumno podrá resolver los ejercicios además de disponer de una herramienta digital que

funcione como apoyo para la solución de éstos, esta herramienta es una hoja de cálculo que permitirá a los estudiantes el ingreso de datos experimentales y la obtención de resultados puntuales, que les ayudará a cotejar y comparar con los resultados obtenidos o hacer retroalimentación si es el caso, este material se encuentra indicado en el anexo del trabajo. A partir del material didáctico generado se pretende mejorar el proceso de enseñanza aprendizaje del estudio de vida de anaquel que se lleva actualmente durante el curso de Laboratorio de Alimentos II y forma parte del proyector PAPIME PE208322 “Desarrollo de material multimedia para apoyo de la enseñanza en modalidad híbrida de las asignaturas Laboratorio I y II”).

3.3 Resultados – Ejercicios

3.3.1. Identificación del orden de reacción

Objetivo de aprendizaje.

Identificar el orden de una reacción de deterioro de algún parámetro de calidad a partir de datos experimentales aplicando el modelo gráfico.

Planteamiento.

El modelo gráfico permite identificar el orden de una reacción de deterioro (Anzueto, 2012) y a partir de esto definir el modelo cinético que se debe aplicar para la determinación de la vida de anaquel.

En este ejemplo se presentan los datos de un producto alimenticio rico en proteína proveniente de alimentos de la pesca, como lo es el camarón y el charal, donde se pretende que el alumno identifique el orden de reacción de dos procesos de deterioro, Índice de peróxidos e Índice de Kreis. La hoja dinámica para la solución del ejercicio se encuentra en el **Anexo 1**.

Ejercicio 1. Determinación del orden de reacción

Información que será proporcionada al alumno: *Se han desarrollado galletas ricas en proteína presentadas en forma de barras de 145 g cada una. Se requiere realizar*

el análisis de vida de anaquel para estimar el periodo de estabilidad del producto a través del análisis de las vías de deterioro. Se realizó la determinación del Análisis Químico Proximal (AQP) del producto, la composición se muestra en la **Tabla 10**.

Tabla 10. Composición química de las Galletas.

Componente	Contenido (g) por cada 100 g de galleta
Humedad	28.58
Cenizas	8.13
Grasa (extracto etéreo)	10.20
Proteína	23.60
Fibra dietética	7.49
Carbohidratos digeribles totales	22.05
Contenido energético (kcal)	274.20

Adicionalmente se llevó a cabo el análisis de vida de anaquel del producto, para lo cual, el alimento fue sometido una temperatura de almacenamiento de 30 °C con una humedad relativa (HR) constante de 60%. Derivado del AQP se analizó la evolución del grado de oxidación de lípidos a través de la generación de compuestos primarios (peróxidos) y compuestos secundarios (carbonilos) como parámetros de calidad, los resultados de los análisis se muestran en la **Tabla 11**.

Tabla 11. Monitoreo de la generación de compuestos primarios de oxidación (Índice de peróxidos) y compuestos secundarios (Índice de Kreis) en galletas almacenadas a 30 °C y HR 60%.

Tiempo de monitoreo (semanas)	Índice de peróxidos (meq /kg) *	Índice de Kreis (U_{abs}/g)*
0	9.26	0.257
1	8.42	0.202
2	11.90	-
3	14.87	0.229
4	18.17	0.270
5	18.42	0.299
6	22.16	0.330
8	14.87	-
9	18.01	-

*Valor promedio, n=3

A partir de los resultados mostrados anteriormente responde:

- a) De acuerdo con la composición del alimento A además de la oxidación de lípidos ¿Qué otros procesos de deterioro pueden llevarse a cabo en el alimento? Explica.
- b) Indica el orden de reacción para cada prueba. Justifica la respuesta.

Resultados

Para la determinación del orden de reacción es necesario graficar la relación que existe entre la concentración del atributo de calidad (Formación de peróxidos y de carbonilos) en función del tiempo, en las **Figuras 4-7** se muestran dicha relación gráfica, mientras que en la **Tabla 12** se muestra la comparación de la regresión lineal.

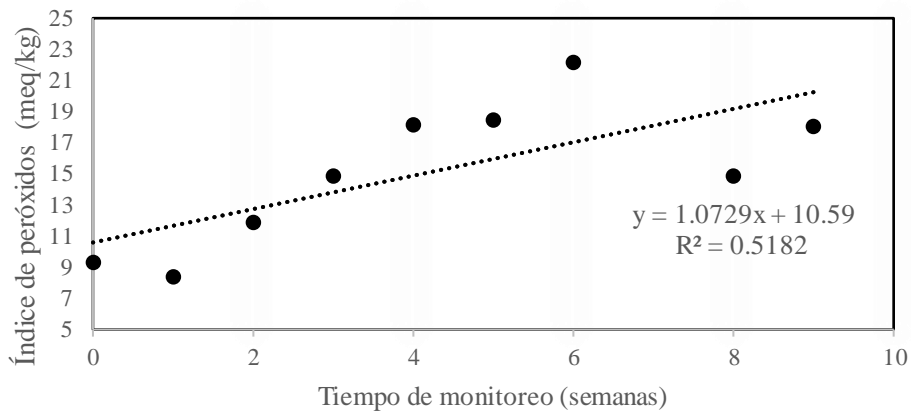


Figura 4. Formación de peróxidos en función del tiempo (orden cero).

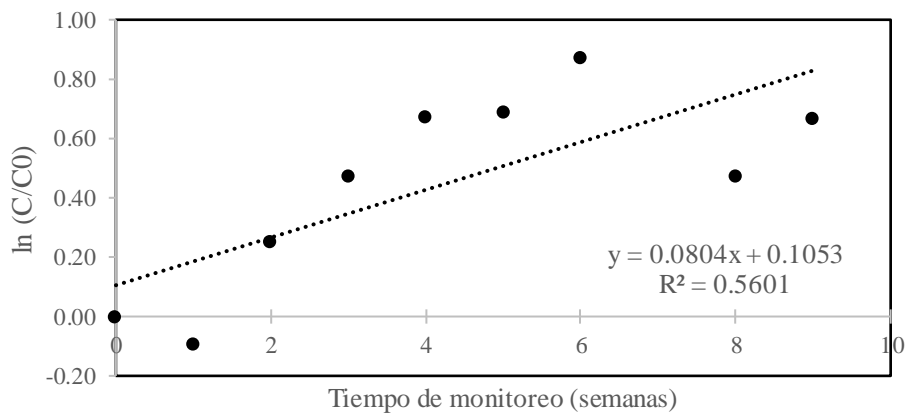


Figura 5. Relación del logaritmo natural del índice de peróxidos (C/C0) en función del tiempo (orden 1).

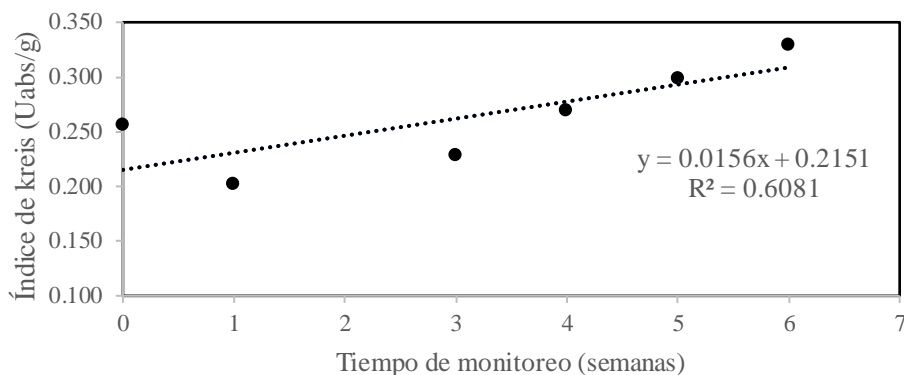


Figura 6. Índice de Kreis en función del tiempo (orden cero).

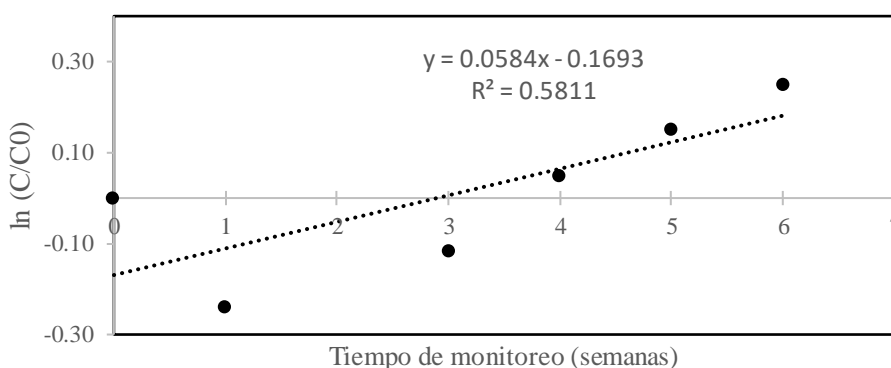


Figura 7. Relación del logaritmo natural del índice de Kreis (C/C_0) en función del tiempo (orden 1).

Tabla 12. Comparación de la regresión lineal generada a partir de los gráficos mostrados en las Figuras 4-7.

Índice de peróxidos		
	Orden cero	Primer orden
Pendiente (m)	1.0729	0.0804
Ordenada (b)	10.59	0.1053
Coefficiente de correlación (R^2)	0.5182	0.5601
Índice de Kreis		
Pendiente (m)	0.0156	0.0584
Ordenada (b)	0.2200	-0.1693
Coefficiente de correlación (R^2)	0.6081	0.5811

Resultado de aprendizaje

El alumno podrá identificar el orden de reacción a través de la aplicación del modelo gráfico al ejercicio presentado; de acuerdo con los gráficos mostrados en las Figuras 4 y 5 y la comparación mostrada en la Tabla 12, aunque la diferencia en la

correlación entre ambos gráficos es pequeña se puede asumir que los datos experimentales del análisis de índice de peróxidos presentan mayor correlación al modelo cinético de reacción de **primer orden** (0.5182 orden cero vs 0.5601 primer orden).

De acuerdo con los gráficos mostrados en las **Figuras 6 y 7** y la comparación mostrada en la **Tabla 12**, aunque la diferencia en la correlación entre ambos gráficos es mínima se puede asumir que los datos experimentales del análisis de índice de Kreis presentan mayor correlación al modelo cinético de reacción de **orden cero** (0.6081 orden cero vs 0.5811 primer orden).

3.3.2. Aplicación de ecuación de velocidad para la determinación del tiempo de vida media.

Objetivo de Aprendizaje

Determinación del orden de reacción y aplicación de la ecuación de velocidad correspondiente para la determinación del tiempo de vida media o fin de vida de anaquel.

Planteamiento

La determinación del orden de reacción permite identificar el comportamiento cinético de las reacciones de deterioro, a través de esto se aplica la ecuación de velocidad correspondiente para la determinación del tiempo de vida media.

En esta sección se muestran análisis de vida de anaquel de tres matrices alimentarias, la inulina comúnmente utilizada como fibra soluble, en donde se pretende que el alumno estime el tiempo de vida media en función de la temperatura, a través del estudio de la formación de carbohidratos reductores producto de la hidrólisis del polisacárido; el néctar de mango, en donde se espera que el alumno estime el tiempo de vida media en función del tipo de empaque, a través del estudio del deterioro de Vitamina C (Ácido ascórbico) y finalmente granos de elote, donde se pretende que el alumno estime tiempo de vida media y fin de

vida de anaquel en función del tipo de empaque, a través del estudio del deterioro de vitaminas del complejo B, Vitamina B₂ (Rivoflavina) y B₃ (Niacina).

La hoja dinámica para la solución de los ejercicios se encuentra en el **Anexo 1** del trabajo.

Ejercicio 2. Orden de reacción y determinación de tiempo de vida media en Inulina.

Información que será proporcionada al alumno: *Se busca desarrollar un suplemento alimenticio prebiótico rico en fibra para favorecer la salud intestinal. Se desea utilizar inulina de agave como ingrediente principal de la formulación, para lo cual se adquirió un lote de inulina; sin embargo, se requiere conocer la estabilidad que presenta frente a la hidrólisis en función de la temperatura de almacenamiento, para poder mantener la materia prima en condiciones óptimas de almacenamiento. Para esto se analizaron 100 g de muestra y se probaron 3 temperaturas diferentes de almacenamiento 25, 35 y 45 °C, los resultados del monitoreo de la formación de carbohidratos reductores se muestran en la **Tabla 13**.*

Tabla 13. Seguimiento de la formación de carbohidratos reductores en inulina almacenada a diferentes temperaturas.

Tiempo (semanas)	25 °C	35 °C	45 °C
	Carbohidratos reductores (%)		
5	7.031	7.467	8.559
6	7.115	7.872	8.885
7	7.675	7.916	8.957
8	7.869	8.322	9.139
9	8.015	8.572	9.110
10	8.198	8.675	9.227
11	8.327	8.808	9.796
12	8.431	8.703	9.531
13	8.732	9.076	9.836
14	8.959	9.400	10.087
15	9.018	9.513	10.288
16	9.275	9.883	10.354
17	9.430	10.095	10.753
18	9.586	10.399	11.235
19	9.842	10.842	11.836
20	10.123	11.123	12.490

A partir de los resultados analiza la cinética de hidrólisis de inulina en función de la temperatura de almacenamiento y responde:

- a) Determina el tiempo de vida media ($t_{1/2}$) de la inulina para cada temperatura
- b) Indica cual es la mejor condición de temperatura para el almacenamiento para este ingrediente.

Nota: Para la solución del ejercicio considere el factor de corrección de contenido de carbohidratos reductores generados por la molécula de inulina:

De acuerdo con Madrigal y Sangronis (2007) la inulina de agave es un fructano con grado de polimerización igual o mayor a $n=10$ (moléculas de fructosa y glucosa terminal), la hidrólisis del fructano da como resultado carbohidratos con poder reductor. El poder reductor de la inulina está determinado por el contenido de fructosa y glucosa liberados a partir de la hidrólisis del fructano y corregida por la cantidad agua absorbida en este proceso (factor de corrección), es decir se debe establecer un factor que relaciona la molécula de inulina y el contenido de carbohidratos reductores liberados, de tal forma que:

Inulina $n=10$ ($PM\ 1638\ \frac{g}{mol}$) \rightarrow 10 unidades de Fructosa y glucosa ($PM\ 1800\ \frac{g}{mol}$)

$$\text{Factor de corrección} = \frac{1638\ \frac{g}{mol}\ \text{inulina}}{1800\ \frac{g}{mol}\ \text{carbohidrato reductor}} = 0.91$$

Se debe considerar este factor para la determinación de las concentraciones iniciales y medias para la determinación del tiempo de vida media, de tal forma que:

- La molécula de inulina contiene el 91% de su contenido de carbohidratos reductores.
- La hidrólisis parcial (50%) de inulina generará 45.5% de carbohidratos reductores.

Resultados

- a) Determinación del tiempo de vida media
 - i. Identificación de orden de reacción

Al tratarse de un proceso de deterioro donde se da la formación del compuesto responsable de la pérdida de la calidad, se propone utilizar los datos sin modificación alguna, debido a que desde un inicio ya existe concentración de carbohidratos reductores y no compromete el uso de logaritmos.

A continuación, en las **Figuras 8-9** se muestra la representación gráfica de la formación de carbohidratos reductores en inulina en función del tiempo almacenada a diferentes temperaturas para la determinación del orden de reacción. En la **Tabla 20** se muestra la comparación de la regresión lineal generada a partir de la representación gráfica de la concentración de carbohidratos reductores en función del tiempo.

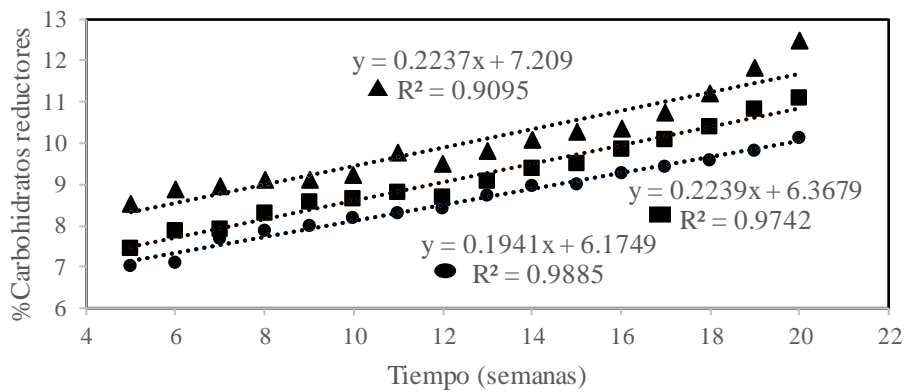


Figura 8. Formación de carbohidratos reductores en función del tiempo a 25 °C (●), 35 °C (■) y 45 °C (▲) (orden cero).

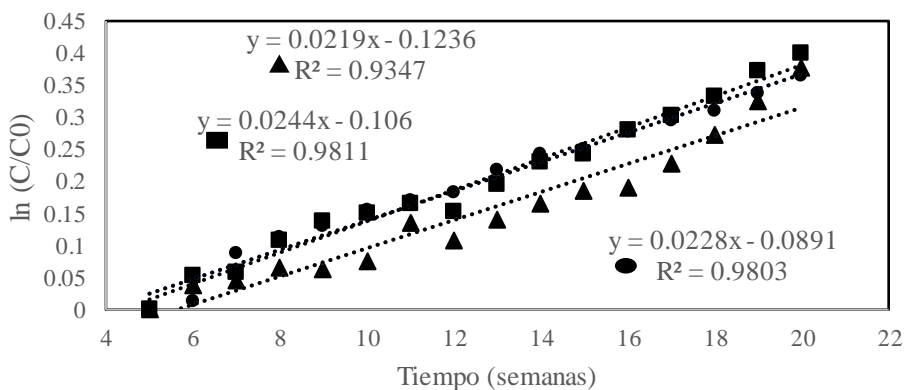


Figura 9. Relación del logaritmo natural de la concentración (C/C0) en función del tiempo a 25 °C (●), 35 °C (■) y 45 °C (▲) (primer orden).

Tabla 14. Comparación de la regresión lineal generada a partir de la relación gráfica de la concentración de carbohidratos reductores en función del tiempo para determinación del orden de reacción.

Condición	Pendiente (m)	Ordenada (b)	Coefficiente de correlación (R^2)
Orden cero			
25 °C	0.1941	6.1749	0.9885
35 °C	0.2239	6.3679	0.9742
45 °C	0.2237	7.209	0.9095
Primer orden			
25 °C	0.228	-0.0891	0.9803
35 °C	0.0244	-0.1060	0.9811
45 °C	0.0219	-0.1236	0.9347

A partir del tratamiento gráfico de los datos, el alumno podrá comparar y tomar una decisión. Debido a que a temperaturas de 35 y 45 °C los datos presentan una mejor correlación a cinéticas de primer orden, mientras que a 25 °C la diferencia entre orden cero y primer orden es mínima el alumno podrá inferir que la hidrólisis de la inulina sigue un comportamiento cinético de primer orden.

i. Aplicación de modelo cinético

Modelo Matemático

Por lo que para el ejercicio se utilizará modelo de cinética de primer orden, donde:

$$\ln(A) = \ln(A_0) - kt \quad \rightarrow \quad t_{1/2} = \frac{\ln \frac{A_0}{A_{1/2}}}{-k}$$

Calculo para condición de temperatura de 25 °C:

$$A_0 = \text{concentración inicial al } t_5 \quad A_{1/2} = 91/2 = 45.5$$

$$t_{1/2} = \frac{\ln \frac{7.031}{45.5}}{-(0.0228 \text{ semanas}^{-1})} = 81.90 \text{ semanas a } 25^\circ\text{C}$$

A continuación, en la **Tabla 15** se muestran los resultados de tiempo de vida media correspondiente a cada condición de almacenamiento.

Tabla 15. Tiempo de vida media de la inulina respecto a la hidrólisis almacenada a diferentes temperaturas.

Condición	k (<i>semanas</i> ⁻¹)	<i>t</i> _{1/2} (semanas)
25°C	0.0228	81.86
35°C	0.0244	74.15
45°C	0.0219	76.18

Resultado de aprendizaje

El alumno podrá evaluar el efecto de la temperatura sobre la hidrólisis de la inulina y determinar el orden de reacción y el tiempo de vida media, comparar condiciones de almacenamiento y concluir, de acuerdo con el análisis de la cinética de hidrólisis de inulina o formación de azúcares reductores, cuando la inulina es almacenada a una temperatura de 25 °C tiene un mayor periodo de vida media, por lo que el alumno concluirá que la mejor condición de almacenamiento del ingrediente es a 25 °C.

Ejercicio 3. Identificación de orden de reacción y determinación de tiempo de vida media

Información que será proporcionada al alumno: *Una reconocida marca de bebidas ha desarrollado un producto de néctar de mango, el producto está elaborado con agua, azúcares añadidos, pure de mango y ácido ascórbico. La bebida es adicionada con Vitamina C para generar un sabor cítrico y funcionar como conservador; adicionalmente el mango es un alimento que aporta vitamina C, por lo que la bebida contiene cantidades considerables de la vitamina. Se desea sacar el producto al mercado en presentación de 1L, para lo cual se busca estudiar dos tipos de empaque que además de contener al alimento retarden la pérdida de la vitamina.*

*Para el estudio de vida de anaquel la bebida fue contenida en dos tipos de empaques diferentes, lata y Tetrapak, fueron almacenadas a 37°C durante 80 días. Se realizó el monitoreo del deterioro de vitamina C a diferentes tiempos, los resultados se muestran en la **Tabla 16**.*

Tabla 16. Cinética de deterioro de vitamina C en néctar de mango, contenida en dos tipos de empaque a 37°C.

Tiempo (días)	Contenido de Vitamina C *(mg/100g)	
	Lata	Tetrapak
0	7.0037	6.3387
15	6.8034	4.2601
45	4.2291	3.4702
80	3.9902	3.3432

*Valor promedio, n=2

A partir del monitoreo del deterioro de vitamina C en néctar de mango almacenado en diferente tipo de empaque:

- Explique a través de qué proceso(s) se puede deteriorar la vitamina C presente en alimentos.
 - Calcula el porcentaje de pérdida de vitamina C al finalizar el análisis.
 - Determina el tiempo de vida media para cada producto
- Genera una conclusión basada en los resultados sobre cuál empaque es mejor para contener y distribuir el producto en relación con la pérdida de vitamina C.

Resultados

- Determinación del porcentaje de pérdida de vitamina C.

En la **Tabla 17** se muestran los resultados del porcentaje de pérdida de vitamina C al finalizar el análisis.

Tabla 17. Pérdida de vitamina C en néctar de Mango.

Tipo de empaque	Contenido de Vitamina C en néctar de Mango (mg/100g)	
	Lata	Tetrapak
Pérdida (%)	43.03	47.26

- Determinación del tiempo de vida media.

- Identificación del orden de reacción.

La determinación del orden de reacción se lleva a cabo a través de la representación gráfica del deterioro de vitamina C en función del tiempo para orden cero y del logaritmo natural de la concentración (C/C₀) en función del tiempo para primer

orden, los gráficos se muestran en las **Figuras 10-11** así mismo la comparación de la regresión lineal generada a partir de los gráficos se muestra en la **Tabla 18**.

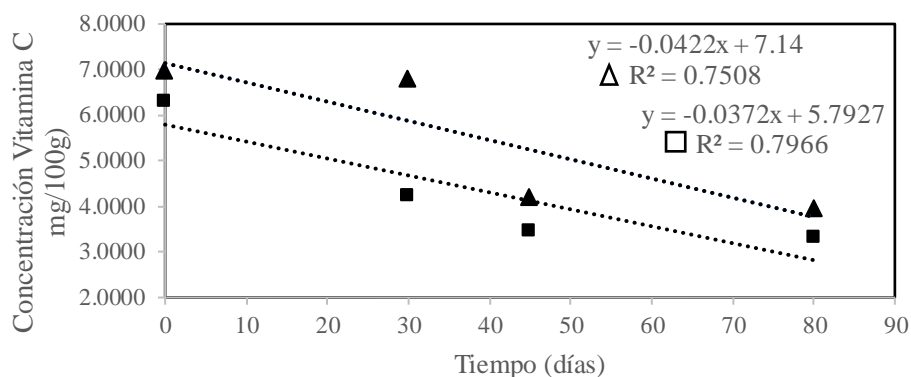


Figura 10. Cinética de deterioro de Vitamina C presente en néctar de mango almacenado a 37 °C en Lata (▲) y Tetrapak (■) (orden cero).

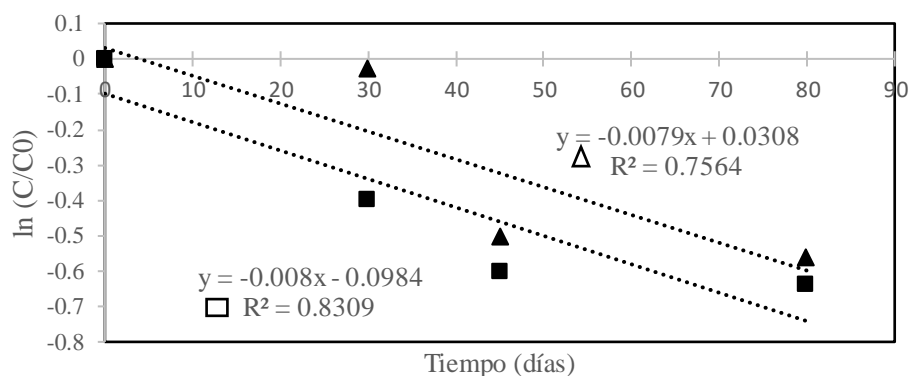


Figura 11. Relación del logaritmo natural de la concentración (C/C0) en función del tiempo (primer orden), almacenamiento en Lata (▲) y Tetrapak (■).

Tabla 18. Regresión lineal generada a partir de los gráficos para la determinación del orden de reacción del deterioro de vitamina C en néctar de mango a 37 °C contenida en dos tipos de empaque.

Orden cero			
Empaque	Pendiente (m)	Ordenada (b)	Coefficiente de correlación (R ²)
Lata	-0.0422	7.1400	0.7508
Tetrapak	-0.0372	5.7927	0.7966
Primer orden			
Lata	-0.0079	0.0308	0.7564
Tetrapak	-0.0080	0.0984	0.8309

De acuerdo con la información mostrada en la **Tabla 18** y aunque la diferencia es muy pequeña, el alumno podrá definir que el deterioro de vitamina C en el néctar de mango sigue una cinética de primer orden.

- ii. Modelo Matemático y determinación de vida media para reacciones de primer orden.

$$\ln(A) = \ln(A_0) - kt$$

Igualando a la ecuación de línea recta se obtiene que:

$$y = \ln(A) \quad b = \ln(A_0) \quad m = k$$

$$\text{Tiempo de vida media } (t_{1/2}) = \frac{\ln \frac{A_0}{A_{1/2}}}{-k} = \frac{\ln 2}{-k}$$

Tabla 19. Determinación del tiempo de vida media del néctar de mango contenido en dos tipos de empaque diferentes.

Tipo de empaque	Constante de velocidad (k) (días ⁻¹)	Tiempo de vida media (t _{1/2})(días)
Lata	-0.0079	88
Tetrapak	-0.008	86

Resultado de Aprendizaje

El alumno comparará el deterioro de ácido ascórbico en néctar de mango almacenado en dos tipos de empaque diferente, determinará el % de pérdida de Vitamina C y tiempo de vida media del néctar, y concluirá cuál empaque mantiene el contenido de vitamina por más tiempo.

A través de los resultados el alumno podrá comparar constantes de velocidad y tiempos de vida media para poder concluir que la muestra de néctar de mango almacenada a 37°C contenida en lata es la mejor opción, dado que tiene una menor constante de velocidad y el proceso de deterioro de vitamina C será más lento y en consecuencia tendrá mayor vida media (88 días) en comparación con la muestra almacenada en Tetrapak (86 días).

Ejercicio 4. Orden de reacción, constante de velocidad, determinación de tiempo de vida media y fin de vida de anaquel de Granos de Elote en función del tipo de empaque.

Información que será proporcionada al alumno: *Una empresa dedicada a la elaboración de alimentos enlatados desea sacar a la venta granos de elote en una presentación que pueda ser almacenada por mayor tiempo. Los granos de elote aportan vitaminas, entre ellas algunas del complejo B como la riboflavina (B_2) y niacina (B_3). La empresa tiene interés en sacar su producto al mercado en una presentación de 150 g contenida en un empaque que retarde la pérdida de las vitaminas presentes en el alimento.*

*Para el estudio de vida de anaquel se analizó el comportamiento del alimento contenido en dos empaques diferentes, enlatado y Tetrapak. El estudio se realizó almacenando a 37°C el alimento contenido en los dos tipos de empaque durante 80 días, se realizó el monitoreo del deterioro de vitaminas B_2 y B_3 a lo largo del tiempo, los resultados del monitoreo se muestran en la **Tabla 20**.*

Tabla 20. Monitoreo del deterioro de vitaminas B_2 y B_3 en granos de elote contenidos en empaque enlatado y Tetrapak.

tiempo (días)	B_2 (mg/100 g) *		B_3 (mg/100 g) *	
	Lata	Tetrapak	Lata	Tetrapak
0	0.0277	0.0365	0.3675	0.5626
15	0.0244	0.0318	0.3146	0.4883
30	0.0238	0.0320	0.2659	0.3908
45	0.0216	0.0314	0.2659	0.3789
80	0.0201	0.0249	0.2659	0.1962

*Valor promedio, n=2

A partir del monitoreo del deterioro de vitaminas B_2 (Riboflavina) y B_3 (Niacina) en granos de elote almacenados en diferente tipo de empaque, determina:

- Porcentaje de pérdida de vitaminas B_2 y B_3 al finalizar el análisis.*
- Tiempo de vida media para cada muestra*
- Tiempo de fin de vida de anaquel (90% del deterioro)*

Genera una conclusión sobre cual empaque es el mejor para contener y distribuir el producto de tal forma que tenga una mayor vida de anaquel y una menor pérdida de vitaminas.

Resultados

a) Determinación del porcentaje de pérdida de Vitaminas B₂ y B₃.

En la **Tabla 21** se muestran los resultados de la evaluación del porcentaje de pérdida de vitaminas B₂ y B₃ en granos de elote almacenados en Lata y Tetrapak.

Tabla 21. Pérdida de Vitamina B₂ y B₃ en granos de elote.

Tipo de empaque	B ₂ (mg/100 g)		B ₃ (mg/100g)	
	Lata	Tetrapak	Lata	Tetrapak
Pérdida (%)	27.44	31.78	27.65	65.13

b) Determinación de tiempo de vida media y fin de vida de anaquel.

i. Identificación del orden de reacción.

La evaluación del orden de reacción se lleva a cabo a través de la representación gráfica del deterioro de vitaminas en función del tiempo para orden cero y del logaritmo natural de la concentración (C/C₀) en función del tiempo para primer orden, la representación gráfica del deterioro de vitamina B₂ (Riboflavina) y B₃ (Niacina) se muestra en las **Figuras 12-15**, así mismo la comparación de la regresión lineal generada a partir de los gráficos se muestra en la **Tabla 22**.

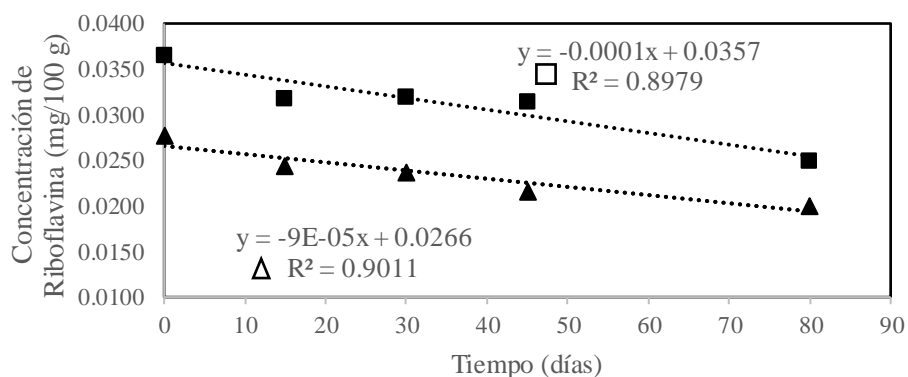


Figura 12. Cinética del deterioro de Riboflavina presente en granos de elote almacenados a 37°C en Lata (▲) y Tetrapak (■) (orden cero).

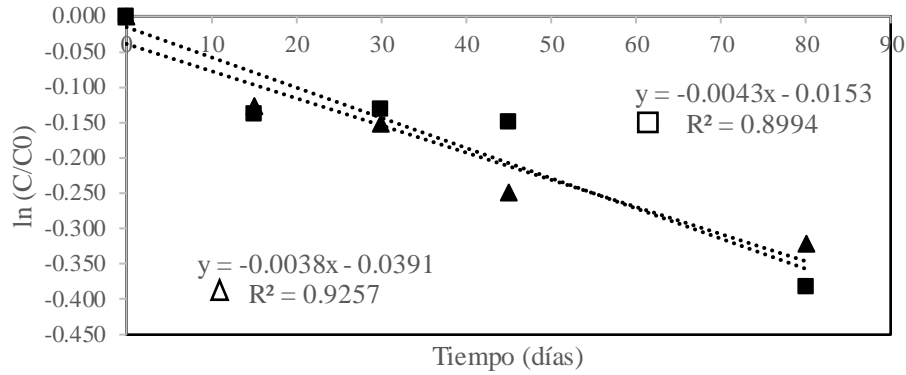


Figura 13. Relación del logaritmo natural de la concentración de Riboflavina (C/C_0) en función del tiempo (primer orden) almacenados a 37°C en Lata (▲) y Tetrapak (■).

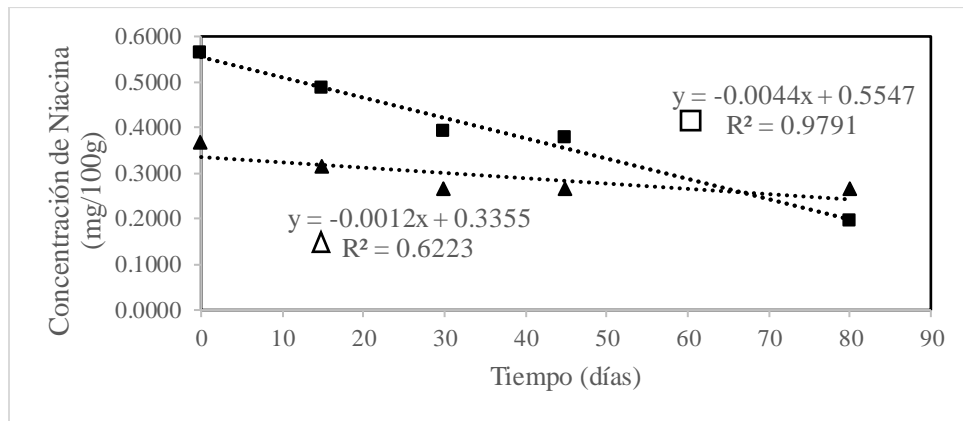


Figura 14. Cinética del deterioro de Niacina presente en granos de elote almacenados a 37°C en Lata (▲) y Tetrapak (■) (orden cero).

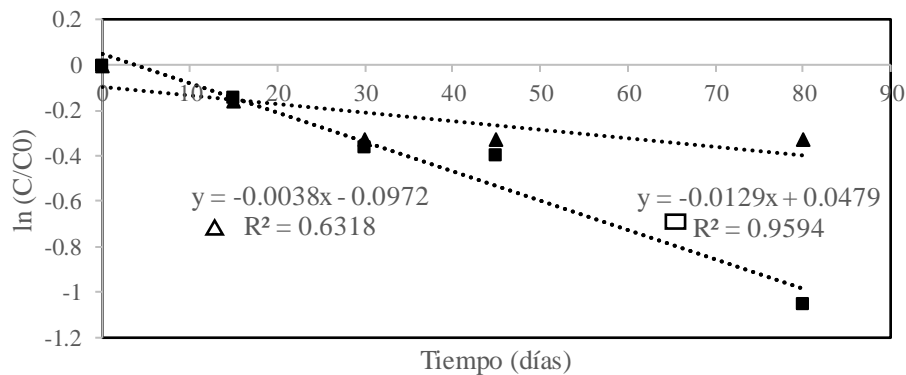


Figura 15. Relación del logaritmo natural de la concentración de Niacina (C/C_0) en función del tiempo (primer orden) almacenados a 37°C en Lata (▲) y Tetrapak (■).

Tabla 22. Comparación de la regresión lineal generada a partir de los gráficos para la determinación del orden de reacción del deterioro de vitamina B₂ y B₃ en granos de elote a 37°C contenidos en dos tipos de empaque.

	Orden cero		Primer orden	
	Lata	Tetrapak	Lata	Tetrapak
	Riboflavina			
Pendiente (m)	-0.0001	-0.0001	-0.0038	-0.0043
Ordenada (b)	0.0266	0.0357	-0.0391	-0.0153
Coeficiente de correlación (R ²)	0.9011	0.8979	0.9257	0.8994
	Niacina			
Pendiente (m)	-0.0012	-0.0044	-0.0038	-0.0129
Ordenada (b)	0.3355	0.5547	-0.0972	-0.0479
Coeficiente de correlación (R ²)	0.6223	0.9791	0.6318	0.9594

De acuerdo con la información mostrada en la **Tabla 22**, se puede observar que el deterioro de vitamina B₂ (Riboflavina) tiene un comportamiento cinético de primer orden, mientras que para vitamina B₃ en lata el deterioro presenta comportamiento cinético de primer orden y en Tetrapak comportamiento de orden cero, sin embargo, la diferencia es mínima por lo que el alumno con fines prácticos para la solución del ejercicio podrá inferir que el deterioro de vitaminas B₂ (Riboflavina) y B₃ (Niacina) siguen una cinética de deterioro de primer orden.

- i. Modelo matemático y determinación de tiempo de vida media y fin de vida de anaquel.

$$\ln(A) = \ln(A_0) - kt \quad \rightarrow \quad t = \frac{\ln \frac{A_0}{A}}{-k}$$

Para tiempo de vida media en función del deterioro de Riboflavina almacenado en Lata:

$$A_0 = 0.0277 \text{ mg}/100\text{g} ; A_{1/2} = 0.0138 \text{ mg}/100\text{g} ; k = -0.0038 \text{ días}^{-1}$$

$$t_{1/2} = \frac{\ln \frac{A_0}{A_{1/2}}}{-k} = \frac{\ln \frac{0.0277}{0.0138}}{-(-0.0038 \text{ días}^{-1})} = 181 \text{ días}$$

Tabla 23. Tiempo de vida media y fin de vida de anaquel para muestras de granos de elote almacenados a 37°C en dos tipos de empaque (lata y Tetrapak).

Empaque	constante de velocidad (k) ($días^{-1}$)	Tiempo de vida media (días)	Fin de vida de anaquel (días)
Riboflavina			
Lata	-0.0038	181	601
Tetrapak	-0.0043	161	534
Niacina			
Lata	-0.0038	184	611
Tetrapak	-0.0129	54	178

Resultado de aprendizaje

El alumno podrá comparar dos tipos de empaque en función del deterioro de dos vitaminas simultáneamente, después de la evaluación del porcentaje de pérdida de vitamina B₂ y B₃, tiempo de vida media y fin de vida de anaquel podrá seleccionar el empaque que se adecua mejor al alimento evitando el deterioro de las vitaminas.

A partir de la determinación del porcentaje de pérdida de vitamina B₂ y B₃ el alumno podrá comparar y establecer que al almacenar los granos de elote en Tetrapak la pérdida de vitaminas será mayor.

Por otro lado, al analizar las cinéticas de deterioro, cuando la muestra es almacenada en Tetrapak las velocidades de deterioro son mayores, como consecuencia la vida de anaquel se ve disminuida, mientras que la muestra almacenada en lata tiene constantes de velocidad menores, por lo que el deterioro es menos favorecido y en consecuencia tiene una mayor vida de anaquel; con esta información el alumno podrá decidir que el empaque para granos de elote más adecuado es el enlatado dado que el deterioro de vitaminas B₂ y B₃ es menor en comparación con el otro tipo de empaque.

Finalmente, de acuerdo con los resultados mostrados en la **Tabla 23** el alumno podrá deducir que la vida de anaquel del producto almacenado en lata en función del contenido de vitaminas B₂ y B₃, estará determinada por la concentración de Riboflavina, ya que esta es la que tiene una mayor velocidad de deterioro y por lo tanto el alimento sufre una mayor pérdida de esta vitamina, por lo que los granos de

elote enlatados y almacenados a 37°C tienen una vida media de 181 días y una vida de anaquel de 601 días.

3.3.3. Efecto de la temperatura y Determinación de Q_{10}

Objetivo de Aprendizaje

Evaluar el efecto de la temperatura sobre la velocidad de reacción en función de la determinación del Q_{10} .

Planteamiento

La determinación del coeficiente de temperatura Q_{10} permite estudiar los cambios en la velocidad de reacción al producirse un cambio en la temperatura de 10°C y puede ayudar a generar predicciones sobre los cambios en el periodo de vida de anaquel de los alimentos.

En esta sección se utiliza nuevamente el análisis de vida de anaquel del producto alimenticio rico en proteína proveniente de alimentos de la pesca, donde se pretende que el alumno evalúe la variación de la velocidad de reacción a partir de la determinación del Q_{10} para los procesos de deterioro de formación de HMF e índice de Kreis. La hoja dinámica para la solución del ejercicio se encuentra en el **Anexo 1**.

Ejercicio 5. Determinación de coeficiente de temperatura Q_{10}

Información que será proporcionada al alumno: *Se han elaborado galletas ricas en proteína a partir de camarón y charal presentadas en forma de barras. Este producto nuevo es sometido a pruebas para la evaluación de vida de anaquel, el análisis se llevó a cabo sometiendo a la muestra a dos temperaturas diferentes, 30 y 40 °C con una HR constante de 55%, se realizó el monitoreo de la formación de HMF e índice de Kreis, la cinética de estas reacciones sigue un comportamiento de reacción de primer orden, los resultados de la constante de velocidad se muestran en la **Tabla 24**.*

Tabla 24. Constantes de rapidez para la formación de HMF e índice de Kreis en galleta de camarón y charal.

Parámetro	Temperatura (°C)	k (<i>semanas</i> ⁻¹)
HMF	30	0.0199
	40	0.0347
Índice de Kreis	30	0.1251
	40	0.1451

A partir de los resultados obtenidos determina el coeficiente de temperatura Q_{10} para cada parámetro.

Resultados

Modelo matemático para determinación del Q_{10} :

$$Q_{10} = \frac{k_2}{k_1}$$

Donde:

$k_1 =$ cte de velocidad a T

$k_2 =$ cte de velocidad a $T + 10$ °C

En la **Tabla 25** se muestran los resultados de la variación que sufre la velocidad de reacción para cada proceso cuando se da un aumento de 10 °C.

Tabla 25. Coeficiente de temperatura Q_{10} para procesos de deterioro en galleta de camarón y charal.

Parámetro	Q_{10} (30 - 40 °C)
HMF	1.74
Índice de Kreis	1.16

Resultado de aprendizaje

Los alumnos podrán determinar el valor de Q_{10} y a partir de esto comparar el cambio en la velocidad de reacción de deterioro al modificar la temperatura 10°C. Con los resultados mostrados en la **Tabla 25**, el alumno podrá observar que al modificar la temperatura de 20°C a 30°C la velocidad de reacción también se ve modificada, incrementando mayormente la formación de HMF en comparación con el índice de Kreis, estos valores permiten predecir que la vida de anaquel de un producto será menor cuando sea almacenado a 30°C que cuando sea almacenada a 20°C.

3.3.4. Aplicación del Modelo de Arrhenius

Objetivo de Aprendizaje

Aplicación del modelo de Arrhenius y Q_{10} para la determinación de energía de activación y constantes de velocidad para realizar predicciones de tiempo de vida media.

Planteamiento

El modelo de Arrhenius permite la determinación de parámetros independientes de la temperatura como Energía de activación y k_0 (constante de velocidad a una temperatura de referencia) para de esta forma poder realizar predicciones sobre la vida de anaquel a una temperatura específica diferente a las que se utilizaron para el análisis de vida de anaquel.

En esta sección se presenta el análisis de vida de anaquel de un Alimento a base de avena, nopal, soya, chíá e inulina, donde se busca que el alumno pueda estudiar y aplicar el modelo de Arrhenius a cuatro procesos de deterioro (Solubilidad de proteínas, carbohidratos reductores, formación de HMF e índice de peróxidos), comparar y determinar el proceso que determina la vida de anaquel, comparar con el coeficiente de temperatura y determinar tiempo de vida media. La hoja dinámica para la solución del ejercicio se encuentra en el **Anexo 1**.

Ejercicio 6. Aplicación del modelo de Arrhenius y determinación de Q_{10} para calcular tiempo de vida media.

Información que será proporcionada al alumno: *Se ha desarrollado un nuevo suplemento a base de avena, nopal, soya, chíá e inulina y se busca que este producto salga pronto al mercado, para lo cual se solicitó al laboratorio de calidad de alimentos realizar los análisis correspondientes al AQP mostrado en la **Tabla 26** y pruebas de envejecimiento acelerado para establecer el efecto de la temperatura sobre la velocidad del deterioro químico de los componentes principales en la formulación del alimento bajo estudio. Para el estudio de vida de anaquel el alimento fue almacenado en tres temperaturas diferentes refrigeración (4°C), ambiente (22°C) e incubación (45°C), se determinó la cinética de deterioro oxidativo de*

lípidos, la pérdida de digestibilidad y solubilidad proteínica y el deterioro de carbohidratos, la representación gráfica de los procesos de deterioro se muestran en las **Figuras 16-19**, todas las reacciones siguieron un comportamiento de cinética de primer orden. Los resultados de la constante de velocidad se indican en la **Tabla 27**.

Tabla 26. Composición química del alimento a base de avena, nopal, soya, chíá e inulina.

Componente	Contenido en g por cada 100 g de alimento
Humedad	6.33
Cenizas	6.77
Grasa (extracto etéreo)	2.32
Proteína	42.16
Fibra dietética	18
Carbohidratos digeribles totales	24.42
Sodio (mg/100g)	360.46

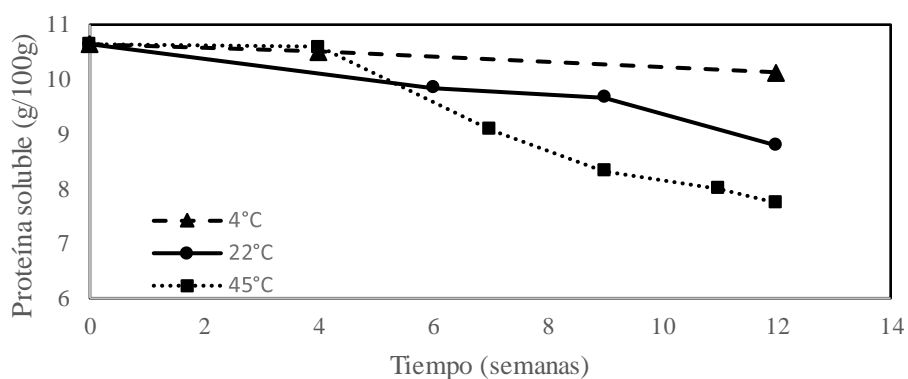


Figura 16. Cinética de la pérdida de solubilidad de proteínas del alimento en estudio.

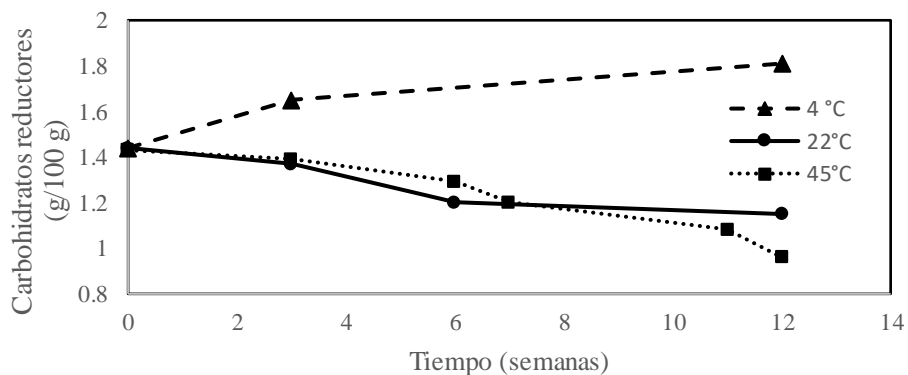


Figura 17. Cinética de la pérdida de carbohidratos reductores del alimento en estudio.

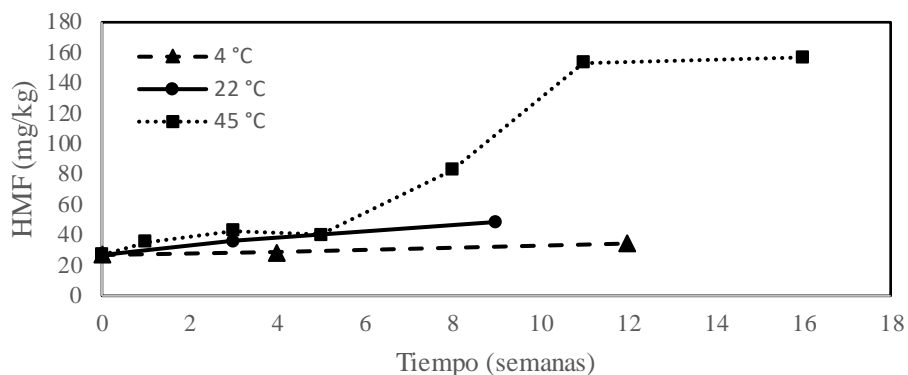


Figura 18. Cinética de la formación de HMF en el alimento en estudio.

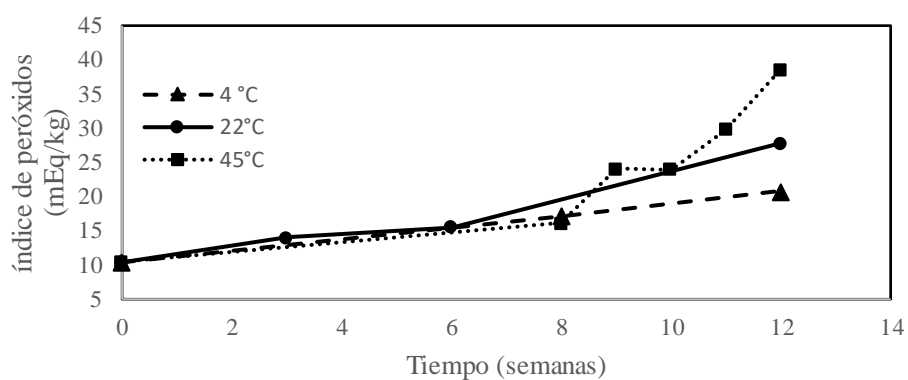


Figura 19. Cinética de la formación de peróxidos en el alimento en estudio.

Tabla 27. Constante de velocidad de los parámetros estudiados.

Parámetro estudiado	Temperatura (°C)	k (<i>semanas</i> ⁻¹)	Coefficiente de correlación (<i>R</i> ²)
Solubilidad de proteínas	4	-0.0042	0.9978
	22	-0.0130	0.9063
	45	-0.0272	0.9947
Carbohidratos reductores	4	0.0184	0.9518
	22	-0.0166	0.8979
	45	-0.0325	0.9647
HMF	4	0.0210	0.9973
	22	0.0635	0.9816
	45	0.1276	0.9450
Índice de peróxidos	4	0.0586	0.9984
	22	0.0796	0.9902
	45	0.0990	0.9781

A partir de los resultados aplica el modelo de Arrhenius para cada parámetro y responde:

- a) *Determinar la energía de activación (E_a) para cada proceso.*
- b) *¿Cuáles reacciones son las que determinan la vida de anaquel del alimento en función de la energía de activación?*
- c) *Determina la constante de velocidad de reacción para todas las reacciones a 20, 25 y 30 °C. A partir de estos resultados determina coeficiente de temperatura Q_{10} .*
- d) *Determina la vida media del alimento, con base en las reacciones seleccionadas en el inciso b si el producto es almacenado a 25 y 30 °C. Nota, para la formación de peróxidos considere el límite medio para cereales de 20 meq/kg (Aldaz y Tanteleán, 2019; Escobar et al., 1994) y concentración inicial de 10.4 meq/kg (dato recuperado de la cinética de formación de peróxidos indicado en la Figura 19).*
- e) *De acuerdo con los resultados del Ejercicio 2 del presente trabajo ¿Qué se espera sobre la vida de anaquel del producto si se utiliza como materia prima la inulina almacenada a 25, 35 y 45°C? Explique.*

Resultados

Modelo Matemático

Para la aplicación del modelo de Arrhenius es necesario realizar la representación gráfica del logaritmo natural absoluto de la constante de velocidad ($\ln(k)$) en función del inverso de la temperatura ($1/T$ (Kelvin)) (**Figura 20**) para la obtención de una línea recta, la pendiente de dicha relación permitirá la determinación de la E_a .

$$\ln k = \ln k_0 - \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T} \right) \rightarrow \text{Donde: } y = \ln k ; b = \ln k_0 ; m = \frac{-E_a}{R}$$

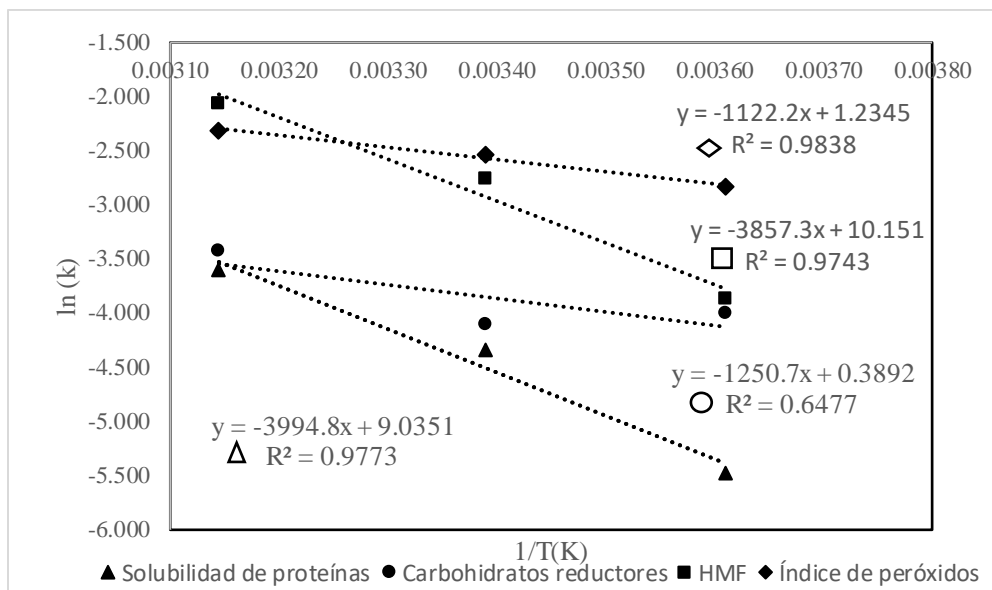


Figura 20. Tratamiento de Arrhenius para solubilidad de proteínas (▲), carbohidratos reductores (●), HMF (■) e índice de peróxidos (◆).

a) Determinación de energía de activación

La determinación de la E_a para cada parámetro se realiza a través de la pendiente de cada recta generada a partir del gráfico mostrados en las **Figura 20**, los resultados de la determinación de E_a se muestran en la **Tabla 28**.

Tabla 28. Tratamiento de Arrhenius para los parámetros de deterioro estudiados, determinación de E_a .

Parámetro	Pendiente de la recta ($m = \frac{-E_a}{R}$)	Energía de activación E_a (kJ/mol)
Solubilidad de proteínas	-3994.8	33.20
Carbohidratos reductores	-1250.7	10.39
HMF	-3857.3	32.05
Índice de peróxidos	-1122.2	9.33
R = constante general de los gases ($0.00831 \text{ kJmol}^{-1}\text{K}^{-1}$)		

b) Reacciones que determinan la vida de anaquel

De acuerdo con la energía de activación para cada parámetro, se observa que la reacción de índice de peróxidos es la más favorecida en el sistema al presentar la menor energía de activación (9.33 kJ/mol) seguida de la pérdida de carbohidratos reductores, formación de HMF y finalmente solubilidad de proteínas. Por lo que las

reacciones de formación de peróxidos y pérdida de carbohidratos reductores serán las que dicten la estabilidad del alimento.

c) Constante de velocidad y Q_{10}

Modelo matemático para la determinación de la constante de velocidad (k):

$$\ln k = \ln k_0 - \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T} \right)$$

$E_a = 33.2 \text{ kJ/mol}$; $\ln k_0 = 9.0355$; $T = 20^\circ\text{C} = 293.15 \text{ K}$; $R = 0.00831 \text{ kJmol}^{-1}\text{K}^{-1}$

$$\ln k = 9.0355 - \frac{33.2 \text{ kJ/mol}}{0.00831 \text{ kJmol}^{-1}\text{K}^{-1} * 293.15 \text{ K}}$$

$$k = 0.0101 \text{ semanas}^{-1}$$

Modelo matemático para la determinación del coeficiente de temperatura Q_{10} :

$$Q_{10} = e^{\frac{E_a}{R} \frac{10}{T(T+10)}}$$

Para Solubilidad de proteínas (20-30°C):

$$Q_{10} = e^{\frac{33.2 \text{ kJ/mol}}{0.00831 \text{ kJ/molK}} \frac{10}{(293.15 * 303.15)\text{K}}} = 1.57$$

En la **Tabla 29** se muestran los resultados de la constante de velocidad calculada a partir del modelo de Arrhenius, así como el coeficiente de temperatura Q_{10} para cada parámetro medido.

Tabla 29. Determinación de constante de velocidad y Q_{10} .

Parámetro	E_a (kJ/mol)	$\ln k_0$ (Ordenada al origen)	Temperatura (°C)	$\ln k$	k (semanas ⁻¹)	Q_{10}
Solubilidad de proteínas	33.2	9.0355	20	-4.5930	0.0101	1.57
			25	-4.3644	0.0127	
			30	-4.1434	0.0159	
Carbohidratos reductores	10.39	0.3892	20	-3.8759	0.0207	1.15
			25	-3.8043	0.0223	
			30	-3.7352	0.0239	
HMF	51.05	10.151	20	-3.0054	0.0495	1.54
			25	-2.7848	0.0617	
			30	-2.5714	0.0764	
Índice de peróxidos	9.33	1.2345	20	-2.5954	0.0746	1.13
			25	-2.5312	0.0796	
			30	-2.4691	0.0847	

a) Determinación de vida media ($t_{1/2}$)

De acuerdo con los resultados mostrados en la **Tabla 29** los procesos de deterioro formación de peróxidos y pérdida de carbohidratos reductores presentan menor energía de activación, es decir son los que determinarán la vida de anaquel del alimento, por lo que la determinación de vida media se realizará utilizando estos parámetros de calidad.

Modelo para la determinación de vida media.

$$\ln A = \ln A_0 - kt \qquad t_{1/2} = \frac{\ln \frac{A_0}{A}}{-k}$$

Índice de peróxidos

Para la determinación de la vida media a partir de la formación de peróxidos es importante determinar que al tratarse de una matriz compleja no existe establecido un límite de peróxidos sin embargo, para la solución del ejercicio se consideró que la avena es el componente principal de la formulación; de acuerdo con Aldaz Tanteleán (2019) y Escobar *et al.*, (1994) para cereales el valor de peróxidos máximo permitido es 20 meq/kg, mientras que la investigación realizada por González *et al.*, (2022) en cereales recién cosechados indica que el índice de peróxidos se encuentra entre 10-20 meq /kg. Estos valores se encuentran establecidos para cereales sin ningún procesamiento, sin embargo, el alimento además de ser compuesto por más ingredientes ya ha sufrido un proceso, esto tiene un efecto directo en la cantidad de peróxidos presente en el alimento, por lo que con fines prácticos para la solución del ejercicio se sugiere utilizar como concentración media de peróxidos la establecida como límite para cereales (20 meq/kg) para realizar una aproximación del tiempo de vida media del alimento, los resultados se muestran en la **Tabla 30**.

Formación de peróxidos a 25 °C

$$A_0 = 10.4 \text{ meq/kg} \qquad A = 20 \text{ meq/kg} \qquad k_{25^\circ\text{C}} = 0.796 \text{ semanas}^{-1}$$

$$t_{1/2} = \frac{\ln \frac{10.4 \text{ meq/kg}}{20 \text{ meq/kg}}}{-0.796 \text{ semanas}^{-1}} = 8.22 \text{ semanas}$$

Pérdida de carbohidratos reductores a 25 °C

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k} = \frac{0.693}{(0.0223 \text{ semanas}^{-1})} = 31.08 \text{ semanas}$$

Tabla 30. Resultados de la determinación de vida media en semanas del suplemento.

	$t_{1/2}$ a 25°C (semanas)	$t_{1/2}$ a 30°C (semanas)
Índice de peróxido	8.22	7.72
Pérdida de carbohidratos reductores	31.08	29.00

Resultado de Aprendizaje

El alumno aplicará el modelo cinético de Arrhenius a cuatro parámetros de deterioro, determinará E_a y podrá limitar las reacciones que establecen la vida de anaquel del alimento, a partir de esto podrá definir la constante de velocidad y Q_{10} a diferentes temperaturas y el tiempo de vida media.

A partir de la aplicación del modelo de Arrhenius y la determinación de la energía de activación para cada proceso químico estudiado, el alumno podrá comparar y establecer el índice de peróxidos y la pérdida de carbohidratos reductores como las reacciones que determinan la vida de anaquel del alimento, debido a que necesitan menor cantidad de energía para iniciar las reacciones, la constante de velocidad es mayor en comparación con las otras reacciones, por lo que ambos procesos se verán más favorecidos.

Por otro lado, se evaluó como se modifica la constante de velocidad en función de la temperatura, para todos los casos la constante aumenta proporcionalmente con este factor extrínseco. Así mismo se determinó el coeficiente de temperatura Q_{10} que indica como varía la velocidad de una reacción cuando se produce un cambio de temperatura de 10 °C, lo cual confirma que al aumentar la temperatura la velocidad de reacción aumenta, siendo mayor el aumento para las reacciones de pérdida de solubilidad de proteínas y para la formación de HMF.

Finalmente, con la determinación del tiempo de vida media del alimento el alumno podrá corroborar que el índice de peróxidos es el proceso que condiciona la vida de anaquel en comparación con las otras reacciones de deterioro; esto debido a que

es un proceso químico que tiene cambios significativos en menor tiempo, además los peróxidos son compuestos primarios de oxidación lipídica que tienen relación directa con el deterioro y pérdida de calidad del alimento. A una temperatura de almacenamiento de 25°C el suplemento alimenticio elaborado a partir de avena, nopal, soya, chíá e inulina tiene una vida media de aproximadamente 8 semanas.

3.3.5. Tiempo de recambio en función del Deterioro térmico durante el freído.

Objetivo de Aprendizaje

Determinar el tiempo de recambio en función del deterioro térmico durante el freído a través de los parámetros cinéticos orden de reacción y ecuación de velocidad en función de los productos generados por oxidación de lípidos.

Planteamiento

Los modelos cinéticos para la determinación de vida de anaquel son capaces de medir cambios mínimos en el deterioro de un alimento que ha sido sometido a ciertas condiciones, aplicando la ecuación de velocidad es posible estudiar estos cambios y definir que la calidad de un alimento estará determinada por la disminución o aumento de uno o varios índices de calidad (Mizrahi, 2011; Núñez *et al.*, 2017).

En este ejercicio se muestra el estudio de deterioro oxidativo por procesamiento térmico de 3 muestras de aceite de soya para freír, con lo que se pretende que el alumno estudie el deterioro oxidativo de lípidos en función de los productos generados como son Índice de peróxidos, Índice de Kreis y formación de compuestos polares. A partir de esto el alumno podrá definir cual muestra presenta un menor deterioro oxidativo y determinar el tiempo de recambio. La hoja dinámica para la solución del ejercicio se encuentra en el **Anexo 1**.

Ejercicio 7. Determinación del tiempo de recambio en función del deterioro térmico durante el freído.

Información que será proporcionada al alumno: *Una nueva empresa desea aplicar su mercado a la categoría de papas fritas, por lo que está buscando adquirir aceite para la elaboración de su producto, un proveedor le ofrece tres tipos de aceite de soja para freído. La empresa decide realizar un análisis que permita evaluar el comportamiento de las muestras frente al deterioro oxidativo por procesamiento térmico para determinar cuál es aquel aceite que presenta mejores características para ser utilizado en el proceso.*

*Para analizar el deterioro oxidativo de las muestras se llevó a cabo la evaluación de índice de peróxidos, índice de Kreis y compuestos polares. Para el análisis experimental se colocaron 5 L de aceite en una freidora eléctrica y se calentaron a 180 °C, se tomaron muestras a diferentes tiempos y se evaluaron los parámetros de calidad. Los resultados de se muestran en las **Tablas 31-33**.*

Tabla 31. Seguimiento de la formación de peróxidos en aceites vegetales calentados a 180 °C.

Tiempo (horas)	Índice de peróxidos (meq /kg) *		
	Aceite (A)	Aceite (B)	Aceite (C)
0.0	2.77	2.31	0.72
6.5	1.94	2.32	2.43
8.0	2.23	3.79	3.05
12.0	2.18	4.13	8.39
23.0	2.84	4.95	8.97
28.0	3.10	5.84	9.52
39.0	3.66	5.50	9.48
46.0	2.61	5.19	6.71
61.0	2.51	3.98	4.76
71.0	2.74	5.03	4.15
82.0	2.41	2.30	5.08
93.5	2.50	2.51	-

*Valor promedio, n=3.

Tabla 32. Seguimiento de la formación de compuestos secundarios de oxidación en aceites vegetales calentados a 180°C.

Tiempo (horas)	Índice de Kreis (U_{abs}/g)*		
	Aceite (A)	Aceite (B)	Aceite (C)
0.0	0.535	0.171	0.195
6.5	1.760	0.740	1.650
8.0	1.838	0.970	2.250
12.0	2.190	0.951	2.970
23.0	2.735	1.055	3.691
28.0	2.905	1.183	3.774
39.0	1.901	1.242	3.352
46.0	2.062	1.146	3.148
61.0	2.133	1.370	3.838
71.0	2.196	1.251	3.957
82.0	2.220	1.244	3.802
93.5	2.574	1.247	-

*Valor promedio, n=3.

Tabla 33. Seguimiento de la formación de compuestos polares en aceites vegetales calentados a 180°C.

Tiempo (horas)	%Compuestos polares*		
	Aceite 1 (A)	Aceite 2 (B)	Aceite 3 (C)
0	-	5.70	4.19
22	0.00	10.02	24.14
27	6.06	13.26	30.66
40	9.41	14.03	36.87
50	13.59	21.50	43.95
60	19.02	24.89	50.14
82	24.14	37.12	63.84
95	36.07	50.98	-

*Valor promedio, n=3.

Analiza el comportamiento del deterioro oxidativo de los tres aceites e indica:

- a) *¿Cuáles son los principales procesos de deterioro oxidativo que se llevan a cabo durante el procesamiento del aceite y cuál de ellos tiene mayor influencia en la calidad de este? Explica ampliamente.*
- b) *¿Cuál aceite es la mejor opción para ser utilizado durante la elaboración de papas fritas? Compara con límites y especificaciones para cada parámetro si es que las hay.*

c) Una vez seleccionado el aceite determina el tiempo de recambio para su uso en la elaboración de papas fritas, de tal forma que el aceite no rebase los límites establecidos para compuestos de deterioro oxidativo en aceites. Nota, realizar transformación de datos para corregir la tendencia de la cinética de deterioro (Concentración final- Concentración).

Justifica la respuesta

Resultados

a) Análisis del comportamiento del deterioro oxidativo.

i. Comportamiento de la formación de compuestos primarios de oxidación

La NMX-F-223-SCFI-2011 establece como límite máximo de peróxidos 2 miliequivalentes por cada kg de aceite vegetal al momento del envasado (aceite sin utilizar), mientras que el CODEX Alimentarius en su norma para grasas y aceites comestibles no regulados por normas individuales CXS STAN 19, 2015 establece como límite máximo de peróxidos en aceites es de 10 miliequivalentes de oxígeno activo por cada kg de aceite. En la **Figura 21** se presentó el comportamiento de las muestras en comparación con los límites establecidos en la legislación.

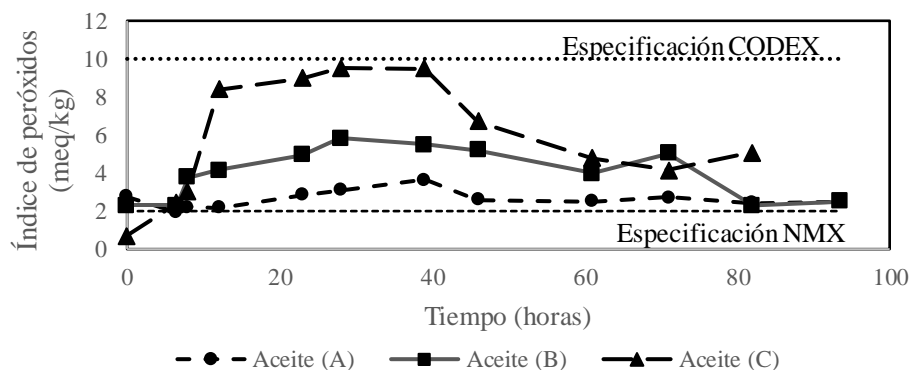


Figura 21. Formación de productos primarios de oxidación (peróxidos) en aceites calentados a 180°C.

Al tiempo cero, los tres aceites se mantienen cerca del límite establecido por la NMX-F-223-SCFI-2011. Posterior al calentamiento los tres aceites se mantienen dentro de la especificación establecida por el CODEX, sin embargo, se observa una tendencia de mayor formación de compuestos en el Aceite C, mientras que el aceite A mantiene concentraciones bajas de peróxidos a lo largo del tiempo.

ii. Comportamiento de la formación de productos secundarios de oxidación.

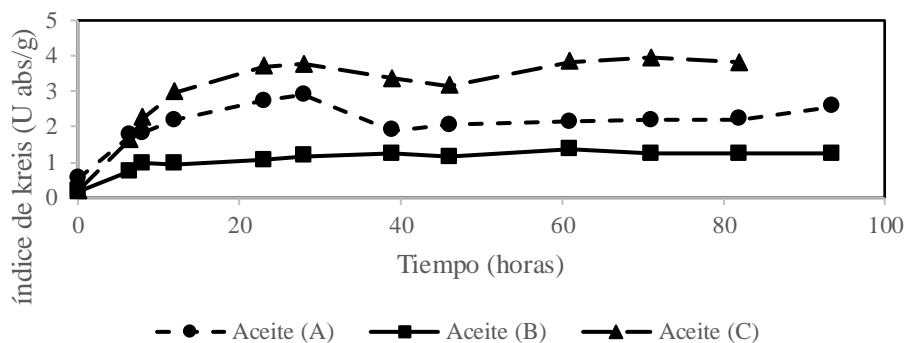


Figura 22. Formación de productos secundarios de oxidación (carbonilos) en aceites calentados a 180°C.

La formación de productos secundarios de oxidación se ve mayormente favorecida en el Aceite C.

iii. Comportamiento de la formación de compuestos polares en la oxidación de aceites vegetales.

De acuerdo con lo reportado con Rivera *et al.*, (2014) el valor comúnmente establecido de compuestos polares límite es de 24-25 %, por encima de este valor, el aceite pierde su calidad y tiene efectos negativos sobre el sabor y valor nutricional de los alimentos, se define como nocivo con posible efecto toxicológico (Karakaya y Şimşek, 2011).

La determinación de compuestos polares además de medir el deterioro del aceite funciona como criterio de descarte, ya que indica el límite de concentración de compuestos polares a partir del cual el aceite ya no es apto para consumo, por lo que es el principal parámetro de calidad que debe utilizarse para establecer el tiempo de vida de anaquel del aceite. En la **Tabla 34** se muestra una clasificación del desgaste que sufre el aceite durante el calentamiento.

Tabla 34. Clasificación del desgaste de las grasas (Cabrera, 2015).

Contenido de componentes polares (%)	Clasificación de la grasa
Inferior a 1-14	Aceite fresco
14-18	Ligeramente usado
18-22	Usado, pero todavía aceptable
22-24	Muy usado, cambiar aceite.
Superior a 24	Dañino, no debe utilizarse

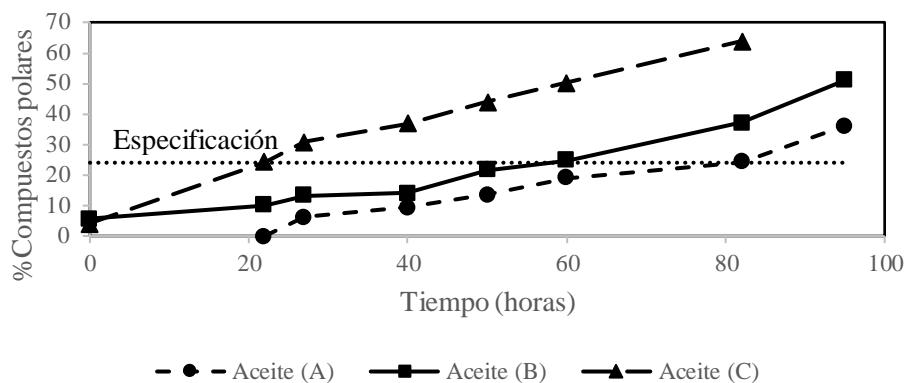


Figura 23. Formación de compuestos polares en aceites vegetales calentados a 180°C.

A partir del comportamiento de las muestras representados en las **Figuras 21-23** se observó que el aceite C es el primero en rebasar la especificación, mientras que el aceite A tuvo un mejor comportamiento, presenta mayor estabilidad ante la formación de compuestos polares al ser calentado a 180°C por lo que se concluye que el Aceite A es la mejor opción para ser utilizado en la producción de papas fritas.

El alumno podrá tomar la decisión de utilizar el aceite A ya que es el que presenta mayor estabilidad y a partir de esto calcular el tiempo de recambio.

- b) Determinación del tiempo de recambio para el uso de aceite A para la producción de papas fritas

Dado que índice de peróxidos se encuentra dentro de los límites establecidos por la normatividad durante todo el análisis, la determinación del tiempo de recambio se debe realizar a partir de la cinética de formación de compuestos polares.

- ii. Transformación de datos

Para la aplicación del modelo cinético es necesario transformar los datos con la finalidad de obtener una relación gráfica que represente un deterioro con constante de velocidad negativa esto debido a que al inicio del monitoreo no hay presencia de compuestos (0% compuestos polares) lo que limita el uso de logaritmos naturales, en la **Tabla 35** se muestra la transformación de los datos experimentales.

Tabla 35. Transformación de datos del seguimiento de compuestos polares.

Tiempo (horas)	%Compuestos polares	Corrección de tendencia ($C_f - C$)*
22	0.00	36.07
27	6.06	30.01
40	9.41	26.66
50	13.59	22.48
60	19.02	17.05
82	24.14	11.93
95	36.07	0.00

* C_f = concentración final ; C=concentración

iii. Identificación del orden de reacción

En las **Figuras 24 - 25** se muestran los gráficos de la formación de compuestos polares (datos corregidos mostrados en **Tabla 35**) en Aceite (A) calentado a 180 °C en función del tiempo (orden cero) y el logaritmo de la concentración (C/C_0) en función del tiempo (primer orden); así mismo en la **Tabla 36** se muestra la comparación de la regresión lineal generada a partir de la representación gráfica de los datos corregidos.

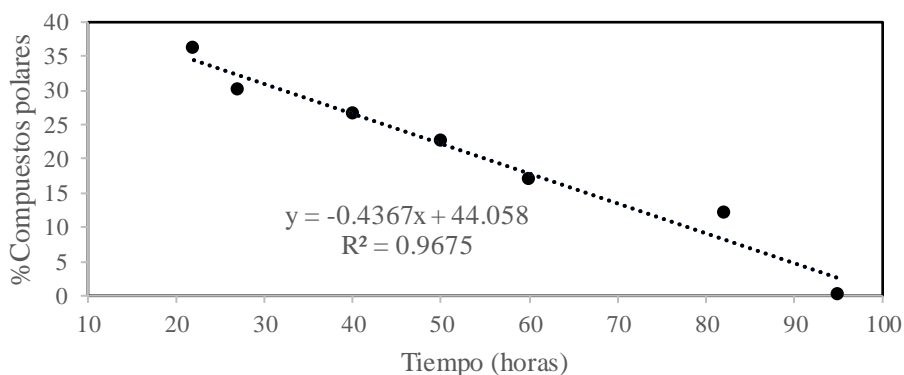


Figura 24. Deterioro de compuestos polares en función del tiempo a 180°C (orden cero).

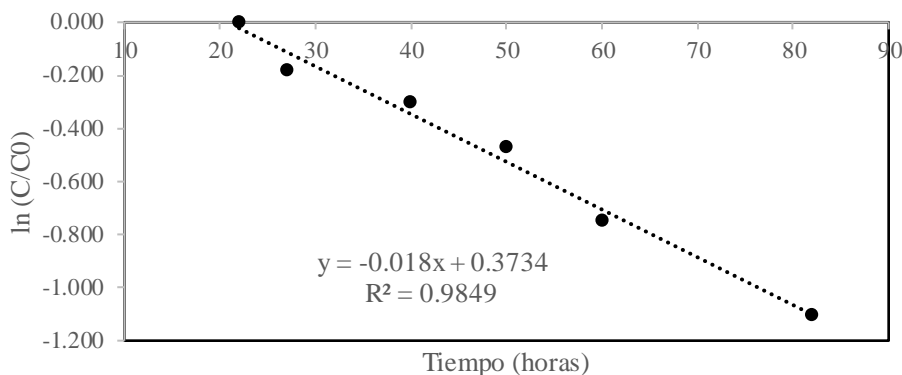


Figura 25. Relación del logaritmo natural de la concentración de compuestos polares en función del tiempo a 180 °C (primer orden).

Tabla 36. Comparación del coeficiente de correlación de la representación gráfica de la formación de compuestos polares en función del tiempo.

Compuestos polares (%) a 180°C		
	Orden cero	Primer orden
Pendiente (m)	-0.4367	-0.018
Ordenada (b)	44.058	0.3734
Coeficiente de correlación (R^2)	0.9675	0.9849

Si bien ambas gráficas muestran buen comportamiento y la diferencia entre ellas es mínima se puede inferir que la reacción del deterioro de compuestos polares en Aceite a 180°C sigue una cinética de primer orden ya que presenta mayor correlación.

iv. Modelo cinético y tiempo de recambio

Ecuación de velocidad para reacciones de primer orden:

$$\ln(A) = \ln(A_0) - kt \rightarrow t = \frac{\ln \frac{A_0}{A}}{-k}$$

De acuerdo con las especificaciones sobre el contenido de compuestos polares, si la concentración supera el 24% en el aceite es considerado dañino, por lo que se establece esta concentración como la indicativa para realizar el cambio de aceite:

$$A_0 = 36.07\% \quad A = 36.07 - 24\% = 12.07\%$$

$$k \text{ (m=pendiente de la recta)} = -0.018 \text{ horas}^{-1}$$

$$t = \frac{\ln \frac{36.07}{12.07}}{-(-0.018 \text{ horas}^{-1})} = 60.85 \text{ horas}$$

Resultado de Aprendizaje

El alumno a través del análisis del deterioro oxidativo de las tres muestras, podrá comparar y generar una conclusión; dado que con los resultados obtenidos, la oxidación en aceites vegetales es mayor en el aceite C debido a que presentó mayor producción de compuestos primarios y secundarios además de ser la muestra con mayor producción de compuestos polares durante el calentamiento a 180 °C rebasando el límite establecido a las 20 horas de calentamiento, por lo que el alumno podrá definir que no se emplee para la producción de papas fritas ya que los compuestos de deterioro oxidativo pueden ser transferidos al producto.

Por otro lado, el aceite A presentó un mejor comportamiento, produjo menor cantidad de peróxidos, y es la que desarrolló menor cantidad de compuestos polares durante el calentamiento además de requerir mayor tiempo para rebasar los límites establecidos, con esta información el alumno podrá seleccionar este aceite como el mejor para la producción de papas fritas bajo estas condiciones.

Con los resultados, el alumno podrá determinar el tiempo de recambio para el Aceite A al ser calentado a 180 °C, para lo cual se utilizará como criterio de descarte la producción de compuestos polares utilizando como límite 24% de concentración, y concluyendo que el tiempo de recambio para el Aceite (A) calentado a 180 °C es de 61 horas.

Análisis de resultados

Si bien el programa de estudios de la asignatura de experimental Laboratorio de alimentos II (1715) impartida en la carrera Química de Alimentos dispone la Unidad 3 al estudio de vida de anaquel y pruebas aceleradas, se dispone de 44 horas para el estudio del tema (10 semanas), de las cuales 36 horas están destinadas al trabajo experimental y 8 al planteamiento de los modelos cinéticos y tratamiento de datos, la implementación de estos ejercicios con el apoyo de plataformas digitales permite la obtención de un entorno virtual de aprendizaje complementario, que es una alternativa para el cumplimiento de los objetivos establecidos en el mismo plan de estudios. Estos ejercicios pueden ser organizados por el profesor con el fin de apoyar al estudiante a la comprensión, estudio y aplicación de los modelos cinéticos. Además, algunos de estos ejercicios permiten a profesores y alumnos profundizar en otros temas y asignaturas diferentes a modelos cinéticos y vida de anaquel que se ven durante la formación académica de los estudiantes, como Química de Alimentos I (Clave 1519) en donde se profundizan los conceptos relacionados con la estructura, reactividad e interacción de los macrocomponentes de los alimentos (Recuperado del Programa de estudios de la Asignatura Química de Alimentos I, Plan de estudios para la Carrera Química de Alimentos, 2005).

El uso de softwares educativos como parte de las actividades en plataformas como *Moodle* o *Classroom*, permiten generar un entorno virtual enforcado a la práctica y solución de ejercicios, que funcionará de apoyo a profesores y alumnos para brindar conocimiento a través de lecciones o clases en laboratorios para posteriormente evaluar el nivel de comprensión por medio de pruebas o test (SPnet, 2023; Mancuzo, 2022) esto a través del material generado en el presente trabajo. El uso de estas herramientas pretende funcionar como apoyo al trabajo experimental y teórico que se ejerce en las aulas, pero de forma remota, permitiendo estudiar análisis reales eliminando barreras de tiempo, facilitando el acceso a la información y a herramientas de apoyo, así como la interacción entre profesores- alumnos a partir de plataformas virtuales y manteniendo el objetivo de aprendizaje.

Adicionalmente se propuso como herramienta de apoyo el uso de una hoja de cálculo con el objetivo de que los alumnos puedan realizar la solución de forma dinámica de los ejercicios propuestos y al comparar resultados obtenidos, lleven a cabo autoevaluación o bien retroalimentación si es necesario. Esta herramienta no solo permite a alumnos la solución de los ejercicios propuestos, sino también su aplicación para el tratamiento de otros datos experimentales con el fin de apoyar al alumno y facilitar la aplicación de modelos cinéticos.

El material didáctico desarrollado presenta una estructura secuencial, que pretende guiar al alumno a la solución de problemas enfocados a la aplicación de modelos cinéticos para la determinación de la vida de anaquel. Se pretende que el alumno integre nuevo conocimiento y genere habilidades sobre el uso de los modelos cinéticos como el planteamiento, comprensión y uso de ecuaciones, análisis de datos, desarrollo de gráficos entre otros. Cada etapa está diseñada a partir de un objetivo de aprendizaje y requiere la aplicación e integración de conocimientos adquiridos durante la formación académica de los estudiantes en asignaturas como Fisicoquímica de alimentos (1514) donde se revisa parte teórica de conceptos de cinética química, Laboratorio de alimentos 1 (1618) donde se estudia el análisis de alimentos, Química de Alimentos I (1519) entre otras materias relacionadas.

La primera sección de ejercicios se diseñó con el objetivo de que el estudiante comprenda que para la aplicación de cualquier modelo cinético lo principal es la determinación del orden de reacción a través del modelo gráfico y la correlación de los datos, ya que esto define la ecuación de velocidad y constante de velocidad que será aplicado a la modelación cinética posterior para la determinación de tiempos de vida media. Si bien la mayoría de las reacciones de deterioro químico en los alimentos han sido caracterizados y siguen una cinética de orden cero o primer orden (Mizrahi, 2011), es importante que el alumno sepa identificar el orden de reacción que sigue los procesos de deterioro de un alimento.

En el Ejercicio 1 para la determinación del orden de reacción se mostraron resultados experimentales de dos parámetros analizados (índice de peróxidos e índice de Kreis) en galletas de camarón y charal, cada parámetro presentaba una

mejor correlación a orden cero y primer orden de reacción respectivamente con la finalidad de que el alumno pueda analizar los datos experimentales y comparar la correlación que presenta cada una de ellas para identificar el orden de reacción. Si bien en el ejercicio las diferencias entre la correlación entre orden cero y primer orden son pequeñas, se pretende que el alumno concluya sobre la que presenta mejor correlación (mayor R^2).

Posteriormente se diseñaron ejercicios con los que se pretende que el alumno después de identificar el orden de reacción de un proceso de deterioro aplique la ecuación de velocidad para la determinación del tiempo de vida media y fin de vida de anaquel de un producto alimenticio. Para esta sección se desarrollaron 3 ejercicios con 3 matrices diferentes en donde se estudia el deterioro en función de la hidrólisis de un polisacárido a diferentes temperaturas para el caso de la inulina, y otros dos en donde se evalúa el efecto del empaque sobre el deterioro de vitamina C para el Néctar de mango y de vitaminas B_2 y B_3 para los granos de elote.

Como se mencionó anteriormente, el Ejercicio 2 permite la evaluación del efecto de la temperatura sobre la hidrólisis de la inulina. Además de la modelación cinética a través de la ecuación de velocidad, fue necesario proporcionar información referente al proceso de hidrólisis de inulina y generación de carbohidratos reductores, ya que esta reacción química involucra cambios en las moléculas que requieren ser considerados para la determinación de concentraciones de carbohidratos reductores que puede generar la molécula de inulina y a partir de esto establecer tiempos de vida media. Así mismo, con este ejercicio se ejemplifica a los estudiantes que los procesos de deterioro también están dados por la formación de compuestos no deseados en un alimento, por lo que al realizar la representación gráfica la pendiente que corresponde a la constante de velocidad (k) tendrá un valor positivo que al utilizar la ecuación de velocidad no tendrá interferencia en el cálculo de vida de anaquel. Con este ejercicio se pretende que el alumno identifique el orden de reacción y comprenda la aplicación de la ecuación de velocidad correspondiente, para la determinación de la vida media y finalmente generar una conclusión solicitada en el ejercicio.

El Ejercicio 3 permite el estudio del efecto que tiene el tipo de empaque sobre el deterioro de vitamina C presente en Néctar de mango, se evalúa el porcentaje de pérdida y se evalúan los parámetros cinéticos, es decir se determina el orden de reacción del proceso de deterioro para posteriormente utilizar la ecuación de velocidad correspondiente. Con esto se pretende que el alumno pueda analizar el efecto de los dos tipos de empaque Lata y Tetrapak y pueda concluir sobre el tipo de empaque que además de contener la bebida permita que el deterioro de vitamina C sea menor.

En el Ejercicio 4 se estudia el efecto que tiene el tipo de empaque sobre el deterioro de dos vitaminas simultáneamente, permite al alumno el análisis de dos factores (tipo de empaque: lata y Tetrapak) a partir de la evaluación de dos parámetros de calidad simultáneamente (deterioro de vitamina B₂ y B₃), a través de la cuantificación del porcentaje de pérdida de las vitaminas y la aplicación del modelo cinético, identificación de orden de reacción y aplicación de ecuación de velocidad correspondiente para la determinación del tiempo de vida media, así como el tiempo requerido para que el producto perdiera el 90% de su contenido de vitaminas B₂ y B₃ que para el ejercicio estaba establecido como el fin de la vida de anaquel. A partir de este análisis se espera que el alumno pueda comparar los resultados y concluir primero cual es la vitamina que tiene mayor influencia sobre la vida de anaquel del producto, con cual de los empaques puede estar contenido el alimento y además sufrirá una menor pérdida de vitaminas y finalmente definir el fin de la vida de anaquel del alimento.

Siguiendo con la organización del material didáctico con el Ejercicio 5 se pretende que el alumno comience a identificar la influencia de la temperatura sobre la vida de anaquel, a partir del coeficiente de temperatura conocido como Q₁₀. El alumno podrá evaluar la variación de la velocidad de una reacción cuando se produce una modificación en la temperatura de 10°C.

Con el Ejercicio 5 se pretende que el alumno a través de la determinación del coeficiente Q₁₀ comprenda que la velocidad de una reacción varía con cambios en la temperatura, se presentan los datos de un alimento cuyos resultados muestran

que al producirse un incremento en la temperatura la constante de velocidad también aumentara. Este ejercicio permite que el alumno además de identificar la modificación en la velocidad de reacción comprenda que este parámetro cinético permita evaluar los cambios que generarán sobre el periodo de vida de anaquel de un alimento al modificarse la temperatura, se espera que el estudiante pueda comprender que el valor de Q_{10} indica la proporción de aumento o disminución en la velocidad de reacción, es decir a mayor valor de Q_{10} las reacciones de deterioro aumentan su velocidad disminuyendo el periodo de estabilidad del alimento y como consecuencia acortando la vida de anaquel del alimento.

Posteriormente se guía al alumno a la aplicación del modelo de Arrhenius, para continuar con la secuencia del estudio de la influencia de la temperatura sobre los modelos cinéticos. Con este ejercicio se pretende que el alumno comprenda y aplique correctamente el modelo de Arrhenius para realizar predicciones sobre el periodo durante el cual un alimento mantiene como aceptable los parámetros de calidad a una temperatura específica y que puede ser diferente a las temperaturas a las que se realizó el análisis de vida de anaquel, esto a través del estudio de las constantes de velocidad en función de la temperatura para la determinación de energía de activación (E_a) y la constante de velocidad a la temperatura de referencia (k_0), a partir de la determinación de estos parámetros cinéticos es posible realizar la determinación de constante de velocidad (k) a la temperatura de interés para realizar la predicción del tiempo de vida de anaquel.

El Ejercicio 6 propuesto para esta etapa demuestra la complejidad que representa el análisis de vida de anaquel de una matriz alimenticia compleja, corroborando que en un sistema alimenticio normalmente se dan simultáneamente varios mecanismos de deterioro y que incluso un mecanismo puede dar lugar a otro (Alapont et al., 2020). Con esto se pretende que el alumno estudie 4 procesos de deterioro diferentes y aplique el modelo de Arrhenius para determinar cuál se ve mayormente favorecidos en función de la energía de activación (E_a) y a partir de esto pueda determinar tiempo de vida media para generar una conclusión sobre el ejercicio.

El ejercicio muestra una matriz compleja y con la finalidad de generar un material didáctico adecuado, se proporcionan directamente los resultados de la constante de velocidad a temperaturas de referencia para facilitar que el alumno aplique el modelo y pueda realizar el análisis, se espera que el alumno pueda definir los dos principales procesos de deterioro con influencia en el alimento, tal es el caso del índice de peróxidos y pérdida de carbohidratos reductores (procesos con la menor energía de activación) y partir de esta selección el alumno podrá determinar el tiempo de vida media del alimento en función del proceso seleccionado.

Por otra parte, dada la complejidad que representa la matriz alimenticia, y considerando los factores intrínsecos y extrínsecos, no siempre es posible encontrar especificaciones en normatividad o literatura para los distintos parámetros de calidad evaluados y sabiendo que para la determinación del tiempo de vida de anaquel es importante establecer concentraciones o límites que permitan asegurar la calidad del alimento, por lo que la persona encargada del análisis deberá integrar información relacionada que le permita tomar decisiones para la solución del problema. El ejercicio representa claramente lo mencionado, el parámetro de calidad índice de peróxidos en el alimento a base de avena, nopal, soya, chía e inulina es el proceso que determina la vida de anaquel del alimento, sin embargo, por la composición de este no es posible encontrar un límite de concentración de peróxidos que permita identificar el fin de la vida de anaquel. El índice de peróxidos dentro del alimento en un principio ya presentaba una concentración considerable, y sabiendo que al tratarse de una mezcla de distintos ingredientes el contenido de peróxidos se debe a la presencia de estos en materias primas que además promueven la formación de nuevos peróxidos en el producto, más los formados durante el procesamiento del alimento. Para establecer una concentración que permitiera realizar una aproximación sobre el tiempo de vida media fue necesario considerar la composición del alimento y a partir de esta definir al componente mayoritario, considerando esto se tomó la decisión de que dicho componente es un cereal, y a partir de esto considerar los parámetros de calidad establecidos para los mismos.

De acuerdo con Aldaz y Tanteleán (2019) y Escobar et al., (1994) para cereales el valor de peróxidos máximo permitido es 20 meq/kg, mientras que González et al., (2022) reporta en cereales recién cosechados que el índice de peróxidos se encuentra entre 10-20 meq /kg. Por lo que con fines prácticos para la solución del ejercicio se propone el uso de esta especificación para la determinación del periodo de tiempo de vida media del producto, considerando que estos valores de peróxidos están establecidos para un cereal aislado sin ningún tipo de procesamiento, mientras que el alimento sujeto al análisis está compuesto por más ingredientes que aportan compuestos de oxidación de lípidos, además de los formados durante el procesamiento, que generan concentraciones finales de peróxidos superiores. Sin embargo, se destaca la importancia, de que el alumno considere siempre toda la información disponible para tener un criterio y sea capaz de tomar decisiones en situaciones similares.

Finalmente se generó un Ejercicio Extra que, si bien no trata de un estudio de vida de anaquel, pretende ejemplificar al estudiante que los modelos cinéticos también pueden ser utilizados para otros tipos de análisis en donde se desea estudiar los cambios que ocurren en una matriz al someterse a condiciones de temperatura como el presentado en esta etapa que representa el deterioro térmico por freído de aceite en función de los productos de oxidación de lípidos generados.

El Ejercicio 7 pretende que a través del estudio del deterioro térmico por freído en aceites el alumno pueda aplicar correctamente los modelos cinéticos que ya fueron estudiados anteriormente para el análisis de una nueva matriz con procesamiento diferente. Se desea que los estudiantes primero comparen muestras para identificar cual presenta un menor o mayor deterioro al ser sometidas a las condiciones de análisis, para esto es necesario que los alumnos busquen información referente en normas y otras referencias para tener las herramientas que permitan la toma de decisiones. A partir de este primer estudio se espera que el alumno pueda determinar el tiempo de recambio, para esto será necesario que basado en toda la información que ya recabo pueda elegir el parámetro que influya directamente en la calidad y que utilizará como límite para la determinación tal es el caso de la

concentración de compuestos polares dado que, según los resultados es el único proceso (de los 3 estudiados) que rebasó la especificación establecida.

Posteriormente el alumno deberá aplicar los parámetros cinéticos como son orden de reacción y ecuación de velocidad al proceso de deterioro de formación de compuestos polares, para este caso en el que se estudia el aumento en la concentración de los compuestos de deterioro es necesario realizar una corrección de datos, esto debido a que al inicio del análisis no hay presencia detectable por el método de concentraciones de compuestos polares lo que limita el uso de logaritmos naturales para el tratamiento de datos y solución del ejercicio, por lo que se propone una corrección de tendencia con la finalidad de invertir los datos experimentales de concentración para poder aplicar logaritmos y modelación cinética.

Con este ejercicio además de ejemplificar el uso de modelos cinéticos puede favorecer a alumnos y profesores profundizar en temas de reactividad y procesos de deterioro de los lípidos que ayudarán a comprender mejor lo que ocurre desde un punto de vista químico en el estudio propuesto para el ejercicio.

En general el presente trabajo busco desarrollar material didáctico que favorezca el proceso de enseñanza aprendizaje del análisis de vida de anaquel a través del uso de modelos cinéticos, a través de una secuencia que demuestra la aplicación de dichos modelos para la determinación del tiempo de vida de anaquel, es decir, determinación de orden de reacción, aplicación de ecuación de velocidad y finalmente la influencia de la temperatura, que además permiten a los estudiantes la integración de conocimiento adquirido en su formación académica y pueden favorecer el estudio de temas diferentes a los relacionados con cinética de reacciones.

Finalmente, basados en el programa de estudios de la asignatura Laboratorio de Alimentos II (1715) los ejercicios propuestos en las diferentes etapas cubren con 3 de los temas establecidos en la Unidad 3 para el estudio de "Vida de anaquel y pruebas aceleradas" del programa de estudios correspondiente para la asignatura, se cumple y mejora la enseñanza de los temas de:

-Evaluación de factores intrínsecos y extrínsecos en el deterioro de alimentos.

-Estudio de pruebas de envejecimiento acelerado.

-Modelación cinética de reacciones de deterioro.

Con esto se desarrolló una estrategia con una metodología activa que permita un aprendizaje significativo sobre el análisis de vida de anaquel, con el objetivo de mejorar el desarrollo académico del alumno, mostrando una perspectiva más completa de todo el proceso involucrado en la determinación de la vida de anaquel de una matriz alimentaria, desde la obtención de información del producto, análisis experimentales, efecto de factores intrínsecos y extrínsecos, tratamiento de datos y modelos cinéticos.

Conclusiones

Con base en toda la información seleccionada, se identificó la complejidad del estudio de vida de anaquel, que comprende distintas etapas desde la recopilación de información, el análisis experimental, evaluación del efecto de factores a través de la modelación cinética de reacciones de deterioro y determinación del periodo de vida de anaquel.

Se analizó y clasificó la información obtenida a partir de cinco estudios de vida de anaquel y un estudio de deterioro por tratamiento térmico, estos datos fueron organizados para el desarrollo de 7 ejercicios con objetivos de aprendizaje dirigidos a mejorar el proceso de enseñanza del análisis de vida de anaquel como parte del programa de estudios de la asignatura Laboratorio de Alimentos II (1715) impartida a alumnos de la carrera de Química de Alimentos de la Facultad de Química, pretendiendo que los estudiantes generen un aprendizaje significativo y adquieran habilidades referentes a la aplicación de modelos cinéticos y toma de decisiones.

El material didáctico generado y organizado pretende guiar a los alumnos a través de la aplicación secuencial de los modelos cinéticos para establecer el tiempo de vida media o vida de anaquel, iniciando por la determinación del orden de reacción, uso de la ecuación de velocidad para después estudiar la influencia de la temperatura a través del Q_{10} y modelo de Arrhenius. Adicionalmente se desarrolló un ejercicio extra que muestra a los estudiantes el uso de modelos cinéticos para el estudio de deterioro de lípidos por procesamiento.

Las diferentes matrices utilizadas permiten el estudio de múltiples factores extrínsecos e intrínsecos que tienen influencia sobre la vida de anaquel de un alimento, como reactividad de macronutrientes, tipo de empaque o condiciones de procesamiento. Con esto se pretende que el alumno adquiera o mejore habilidades para la búsqueda de información, revisión continua y permanente de la normatividad, toma de decisiones, aplicación e integración de conocimiento adquirido durante su formación académica y solución de problemas.

Se desarrolló una herramienta digital que permitirá a los estudiantes la solución y autoevaluación de los ejercicios propuestos y que puede ayudar en la solución de otros problemas diferentes a los mostrados en el presente trabajo.

Bibliografía

- Alapont, C., Simón, P., Torrejón, M. (2020). Guía para la determinación de la vida útil de los alimentos. Valencia, Federación Empresarial De Agroalimentación De La Comunidad Valenciana.
- Aldaz, A. y Tanteleán, M. (2019). Efecto de la proporción de avena (*Avena sativa*), cochayuyo (*Chondracanthus chamissoi*) y macambo (*Theobroma bicolor*) en el valor nutricional y análisis sensorial de una barra energética. Tesis de ingeniería. Universidad Nacional "Pedro Ruíz Gallo", Lambayeque.
- Alfonso, I. R. (2003). La educación a distancia. *ACIMED*, 11(1), 3-4.
- Amézquita, A., Kan-King-Yu, D., Le Marc, Y. (2011). Cap. 13. Modelling microbiological shelf life of foods and beverages. En *Food and beverage stability and shelf life* (pp. 405-458) Oxford: Woodhead Publishing.
- Andrada, A (2022). La importancia de la tecnología en la educación. UNADE Acreditación Institucional de Alta Calidad Educativa. Recuperado el 8 de agosto de 2023 de <https://unade.edu.mx/la-importancia-de-la-tecnologia-en-la-educacion/>
- Anzueto, C.R. (2012). Modelos matemáticos para estimación de vida útil de alimentos. Food & Beverage Technology Summit. San Salvador.
- Area, M. y Adell, J. (2009). e-Learning: enseñar y aprender en espacios virtuales, en J. De Pablos (coord.), *Tecnología Educativa. La formación del profesorado en la era de Internet*. Málaga: Aljibe. 391-424.
- Avery, H. E. (2020). *Cinética Química y mecanismos de reacción*. Barcelona. Editorial Reverté
- Beltrán, F. (2020). Educación a distancia. Ventajas y beneficios. Berlitz. Recuperado el 9 de agosto de 2023 de <https://www.berlitz.com/es-mx/blog/educacion-a-distancia-ventajas-y-beneficios>
- Benites, L. (2022). ¿Qué es función de Riesgo? Recuperado el 28 de junio de 2023 de <https://statologos.com/funcion-de-riesgo/>
- Cabrera, A. (2015). Implementación del método de compuestos polares totales (TPM), para evaluar la calidad del aceite de fritura, en una planta elaboradora de frituras, en la ciudad de Guatemala. Trabajo de graduación para obtener el grado Licenciada en Ingeniería en Ciencias de Alimentos. Universidad del Valle de Guatemala.
- Carrillo, M. y Reyes, A. (2013). Vida Útil de los alimentos. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*. Vol. 2, ISSN 2007-9990

- CEPAL-UNESCO. (2020). La educación en tiempos de la pandemia de COVID-19. Informe COVID-19. CEPAL-UNESCO. Recuperado el 8 de agosto de 2023 de <http://repositorio.cepal.org/handle/11362/45904>
- CODEX Alimentarius CXS STAN 19, 2015. NORMA PARA GRASAS Y ACEITES COMESTIBLES NO REGULADOS POR NORMAS INDIVIDUALES.
- Curia, A., Garita, L., Restrepo, P., López, C. (2005). Cap. 5. Metodología de punto de corte. En Estimación de la vida útil sensorial de los alimentos (pp. 71-82). Madrid, España CYTED.
- Díaz, T. y Alemán, Pedro. (2008). La educación como factor de desarrollo. Revista Virtual Universidad Católica del Norte. (23), 1-15. Recuperado el 3 de agosto de 2023 de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=194220391006>
- Digiñón, L. y Álvarez, M. (2021). Experiencia de enseñanza-aprendizaje con aula virtual en el acompañamiento pedagógico debido al Covid-19. *Apertura*. 13(1), 20-35.
- Elías, C., Salas, W., Mendiburu, F., De la Cruz, W. (2011). Estimación del tiempo de vida útil de pan de molde con incorporación de harina de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) y suero, usando la distribución de Weibull. *Anales Científicos*, 72(1), 27-33.
- Ellis, M. (1994). Cap. 2. The methodology of shelf life determination. En Shelf life Evaluation of Foods (pp. 27-39). Springer, Boston, MA.
- Escobar, B., Estévez, A., Vásquez, M., Castillo, E., Yañez, E. (1994). Barras de cereales maní y amaranto dilatado: Composición química y estabilidad en almacenamiento acelerado. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 44(1), 36- 40.
- Espinosa, A. (2016). El Impacto de la Tecnología en la Educación. ATI Tecnología Integrada. Recuperado el 8 de agosto de 2023 de <https://cutt.ly/Ywd6gZ3I>
- Espinosa, E., González, K., Hernández, L. (2016). Las prácticas de laboratorio: una estrategia didáctica en la construcción de conocimiento científico escolar. *Entramado*. 12(1), 266-281.
- Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México. (2005). Programa de estudios para la asignatura Laboratorio de Alimentos II. Clave 1715. Plan de estudios de la Carrera Química de Alimentos.
- Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México. (2005). Programa de estudios para la asignatura Química de Alimentos I. Clave 1519. Plan de estudios de la Carrera Química de Alimentos.
- Fernández, J., Domínguez, J., Martínez, P. (2020). De la educación presencial a la educación a distancia en época de pandemia por COVID-19. Experiencias de los

docentes. Revista Electrónica sobre Cuerpos Académicos y Grupos de Investigación. Vol. 7. Núm 14.

- García, L. (2020). Bosque semántico: ¿educación/enseñanza/aprendizaje a distancia, virtual, en línea, digital, eLearning...? RIED. Revista Iberoamericana de Educación a Distancia, 23(1), pp. 09-28.
- Garita, L., Gómez, G., Curia, A. V. (2005). Cap. 4. Metodología de Estadística de Supervivencia. En Estimación de la vida útil sensorial de los alimentos (pp. 53-68). Madrid, España CYTED.
- Giraldo, G. (1999). *Métodos de estudio de vida de anaquel de los alimentos*. Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales. Recuperado el 20 de junio de 2023, de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/55806>
- Gisbert, M. (2017). Solución informática basada en modelos matemáticos para predecir y validar la vida útil de alimentos. AINIA. Recuperado el 16 de agosto de 2023 de <https://cutt.ly/VwgMjsPP>
- González, D., Desbruslais, A., Wealleans, A. (2022). Cómo mitigar el aumento de la viscosidad y la oxidación asociados con los cereales recién cosechados. AviNews España. Recuperado el 19 de septiembre de 2023, de <https://cutt.ly/LwcVWJ5W>
- Greyrat, R. (2022). Diagrama de Riesgo de Weibull. Barcelona Geeks. Recuperado el 28 de junio de 2023, de <https://barcelonageeks.com/diagrama-de-peligro-de-weibull/>
- Hernández, G. (2012). Enseñanza experimental ¿Cómo y para qué? *Educación Química*. Vol. 23. 92-95.
- Hernández, R. (2017). Impacto de las TIC en la educación: Retos y Perspectivas. *Propósitos y Representaciones*. 5(1). pp. 325-347.
- Hough, G. y Garita, S. (2005). Cap. 6. Estudios Acelerados. En Estimación de la vida útil sensorial de los alimentos (pp.83-96). Madrid: CYTED.
- Hough, G. y Wittig, E. (2005). Cap. 1. Introducción al análisis sensorial. En Estimación de la vida útil sensorial de los alimentos (pp.13-16). Madrid: CYTED.
- Infante, C. (2014). Propuesta pedagógica para el uso de laboratorios virtuales como actividad complementaria en las asignaturas teórico-prácticas. *Revista mexicana de investigación educativa*. 19(62), 917-937.
- Juca, F. J. (2016). La educación a distancia, una necesidad para la formación de los profesionales. *Revista Universidad y Sociedad*. 8 (1). 106-111.

- Karakaya, S., Şimşek, Ş. (2011). Changes in Total Polar Compounds, Peroxide Value, Total Phenols and Antioxidant Activity of Various Oils Used in Deep Fat Frying. *J Am Oil Chem Soc* 88, 1361–1366.
- Kilcast, D. y Subramaniam, P. (2000). *The stability and shelf-life of food*. Boca Raton, Florida: CRC Press; Cambridge, England: Woodhead Publishing Limited.
- Kilcast, D. y Subramaniam, J. N. (2011). *Food and beverage stability and shelf life*. Oxford: Woodhead Publishing.
- Kuz, A. y Ariste, M. C. (2022). Análisis y revisión de softwares educativos para el aprendizaje de la programación en entornos lúdicos. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (52), 117-136.
- Linne, J. (2021). La educación del siglo XXI en tiempos de pandemia. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 32(62), 1-21.
- Lomelí, L. (2019). Educación superior y desarrollo: los desafíos de México. *Economía UNAM*. 16(47), 3-11.
- Madrigal, L. y Sangronis, E. (2007). La inulina y derivados como ingredientes claves en alimentos funcionales. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 57(4), 387-396.
- Maldonado, K., Vera, R., Ponce, L., Tóala, F. (2020). SOFTWARE EDUCATIVO Y SU IMPORTANCIA EN EL PROCESO ENSEÑANZA-APRENDIZAJE. *UNESUM-Ciencias: Revista Científica Multidisciplinaria*. 4(1), 123-130.
- Man, D. (2002). *Food Industry Briefing series. Shelf life*. Blackwell Science Ltd.
- Mancuzo, G. (2022). Los 5 tipos de Software educativos más usados. *ComparaSoftware Blog*. Recuperado el 14 de agosto de 2023 de <https://blog.comparasoftware.com/los-5-tipos-de-software-educativos-mas-usados/>
- Marqués, P. (2000). *Las TIC y sus aportaciones a la sociedad*. Material de enseñanza. Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona, Facultad de Educación, Departamento de Pedagogía Aplicada. Recuperado el 10 de agosto de 2023 de <https://cutt.ly/FwfYruIT>
- Martínez, C. (2008). La educación a distancia: sus características y necesidad en la educación actual. *Educación*. XVII (33), 7-27.
- Mercado, J., López, M., Martínez, G., Abraham, M. (2016). Estimación de la vida de anaquel mediante pruebas aceleradas en fresa entera en bolsa de polietileno y pulpa de fresa congelada. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 1(1), 636-640.

- MicroHibro. (2023). MicroHibro. Herramienta cuantitativa de evaluación del riesgo microbiano. Recuperado el 16 de agosto de 2023 de <https://www.uco.es/hibro/en/microhibro>
- Mijares, S., Ayala, M., San Miguel, S. (2017). Laboratorios Virtuales: El uso de simuladores dentro de las aulas como alternativa sustentable. *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias*. 4(12). pp 43-49.
- Minitab. (2023). Funciones de riesgo en el análisis de fiabilidad. Minitab, LLC. Recuperado el 28 de junio de 2023, de <https://cutt.ly/ZwyDorvR>
- Mizrahi, S., Technion-Israel Institute of Technology. (2011). Cap. 15. Accelerated shelf life testing of foods. En *Food and beverage stability and shelf life* (pp. 482-506) Oxford: Woodhead Publishing.
- Morais, S. y Atienza, J. (2019). Efecto de la temperatura sobre la velocidad de reacción: Ley de Arrhenius. ETSIAMN. Recuperado el 28 de junio de 2023, de: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/122836/Morais?sequence=1>
- **NORMA** Mexicana NMX-F-223-SCFI-2011. ALIMENTOS – ACEITE VEGETAL COMESTIBLE – ESPECIFICACIONES.
- **NORMA** Oficial Mexicana NOM-051-SCFI/SSA1-2010, Especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados- Información comercial y sanitaria.
- Núñez, M. (2013). Métodos de estimación de la Vida Útil de los alimentos. Conferencia Internacional sobre Ciencia y Tecnología de los alimentos (CICTA), La Habana.
- Núñez, M., Hernández, R., Rodríguez, I., Rodríguez, J. L. (2017). Metodología para la estimación de la vida útil de los alimentos. I. Procedimiento General. *Ciencia y Tecnología de los Alimentos*. Vol. 27, 58-64.
- Ortega, F. (2022). Alimentos perecederos y no perecederos |¿Qué son y como conservarlos? Recuperado el 28 de junio 2023, de <https://cutt.ly/LwsEnVRw>
- Pearson. (2023). Aprendizaje basado en simulación: la nueva era de la educación. Pearson. Recuperado el 14 de agosto de 2023 de <https://cutt.ly/vwgbJp2z>
- Pérez, F. y Villarruel, M. (2016). Desigualdad en el acceso educativo en México: Un estudio con sujetos egresados de un bachillerato tecnológico de alto desempeño. *Revista Electrónica Educare*, 20 (3), 428-449. Recuperado el 8 de agosto de <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/EDUCARE/article/view/7309/16540>
- Rivera, Y., Gutiérrez, C., Gómez, R., Matute, M., Izaguirre, C. (2014). Cuantificación del deterioro de aceites vegetales usados en procesos de frituras en establecimientos

- ubicados en el Municipio Libertador del Estado Mérida. Ciencia e Ingeniería, 35(3), 157-164.
- Rodríguez, S. (2020). Los entornos virtuales de aprendizaje (EVA), qué son y qué aportan a la educación. Elurnet. Recuperado el 9 de agosto de 2023 de <https://elurnet.net/que-es-y-que-aporta-el-entorno-virtual-de-aprendizaje-eva-a-la-educacion/>
 - Rovira, I. (2018). Software educativo: tipos, características y usos. Psicología y Mente. Recuperado el 14 de agosto de 2023 de <https://psicologiymente.com/desarrollo/software-educativo>
 - Ruíz, J., Segura, M., Chel, L., Betancur, D. (2008). Caducidad de Productos Alimenticios: Implicaciones teóricas y prácticas. Revista de la Facultad de Ingeniería Química. No 47, 17-24.
 - Salas, R. y Ardanza, P. (1995). La simulación como método de enseñanza y aprendizaje. Educación Médica Superior, 9(1), 3-4.
 - Sánchez, A. (2021). Diseño experimental pruebas de Vida de Anaquel Aceleradas (ASLT). Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado el 21 de septiembre de 2023, de https://drive.google.com/file/d/1LsXsGScIjZGtcF7O23_RrCeIVxFKYLU/view
 - SayabTech. SOLUCIONES DE CLIMA CONSTANTE EN PRUEBAS DE ESTABILIDAD PARA ALTO VOLUMEN. Sayab Cualit Technology. Recuperados el 16 de agosto de 2023 de https://sayabtech.com/Estudios_de_Estabilidad.html
 - Silva, G. y Morán, L. (2022). Los laboratorios virtuales y su contribución al futuro de la educación. Observatorio del Instituto para el Futuro de la Educación. Recuperado el 9 de agosto de 2023 de <https://observatorio.tec.mx/edu-bits-blog/laboratorios-virtuales-y-su-contribucion-al-futuro-de-la-educacion/>
 - Singh, T. K. y Cadwallader, K. R. (2004). Cap. 9. Ways of measuring shelf-life and spoilage. En Understanding and measuring the shelf-life of food (pp. 165-183). Boca Raton: CRC Press; Cambridge: Woodhead.
 - SPnet. (2023). Software Educativo: Qué es, tipos y los más usados en Educación. SoftwarePara.net. Recuperado el 15 de agosto de 2023 de <https://softwarepara.net/software-educativo/>
 - Taormina, P. J. (2021). Cap. 1. Purposes and Principles of Shelf Life Determination. En Food Safety and Quality-Based Shelf life of of Perishable Foods (pp. 1-26). Cham: Springer International Publishing

- UNESCO. (2020). Lo que necesita saber sobre el derecho a la educación. Recuperado el 3 de agosto de 2023 de <https://www.unesco.org/es/articles/lo-que-necesita-saber-sobre-el-derecho-la-educacion>
- Zulirfan, Z., Iksan, Z., Meerah, T. (2017). PENGEMBANGAN KIT TAKE-HOME EXPERIMENT CAHAYA DAN OPTIK SEBAGAI MEDIA PEMBELAJARAN SAINS SISWA SLTP. *Jurnal Geliga Sains*. 5(1), 1-7.

Anexos

Anexo I. Hoja dinámica para la solución de ejercicios.

Se desarrolló una herramienta digital para la solución del ejercicio, se encuentra distribuida por ejercicio, a continuación, en las **Figuras I-IV** se muestran los ejemplos de las hojas de cálculo desarrolladas como apoyo para la solución del ejercicio, mismo que se puede encontrar a través del siguiente vínculo:

https://1drv.ms/x/c/886068d6e486dd03/Efas60UOSNZAo5QuyNtZ6NAB9N6o2KU B9z-_RgNvmjXVIw?e=uZxQMX

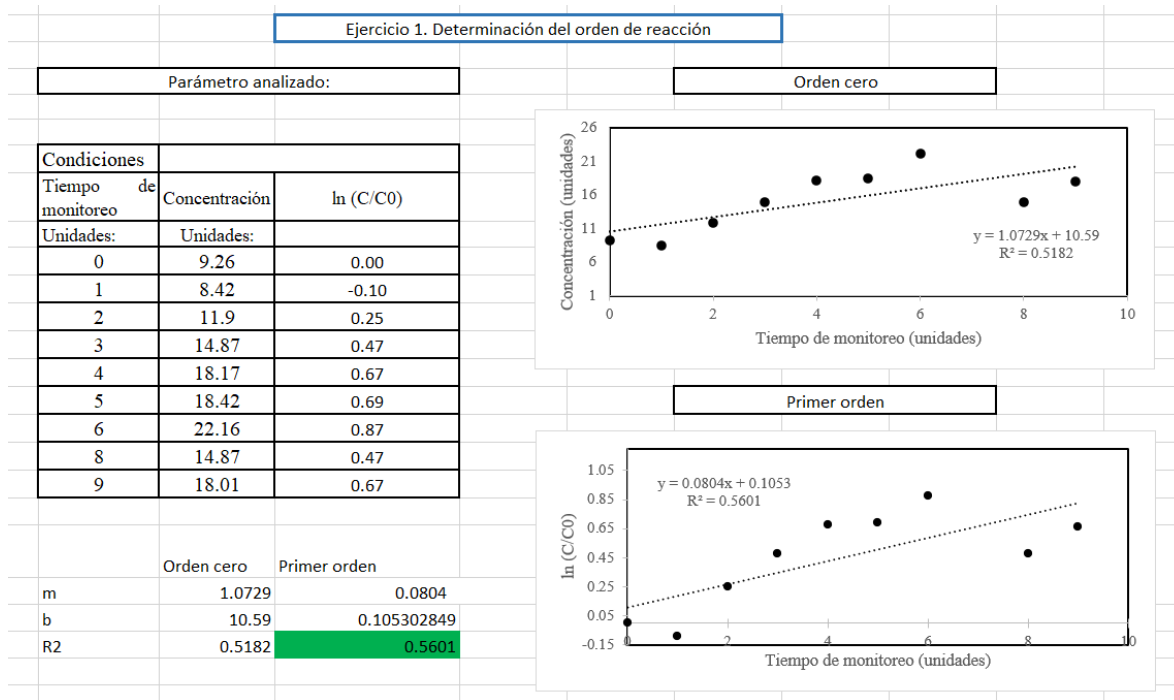


Figura I. Herramienta propuesta para la solución del Ejercicio 1. Determinación del orden de reacción.

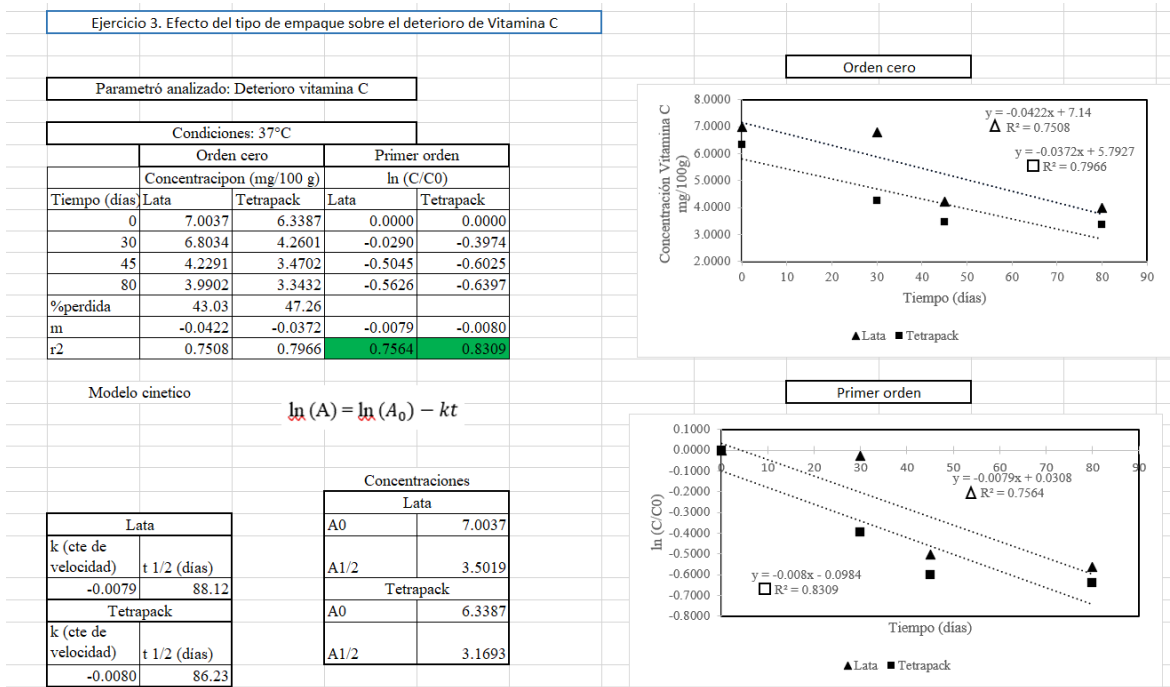


Figura II. Herramienta propuesta para la solución de los ejercicios presentados para la aplicación de ecuación de velocidad y determinación del tiempo de vida media.

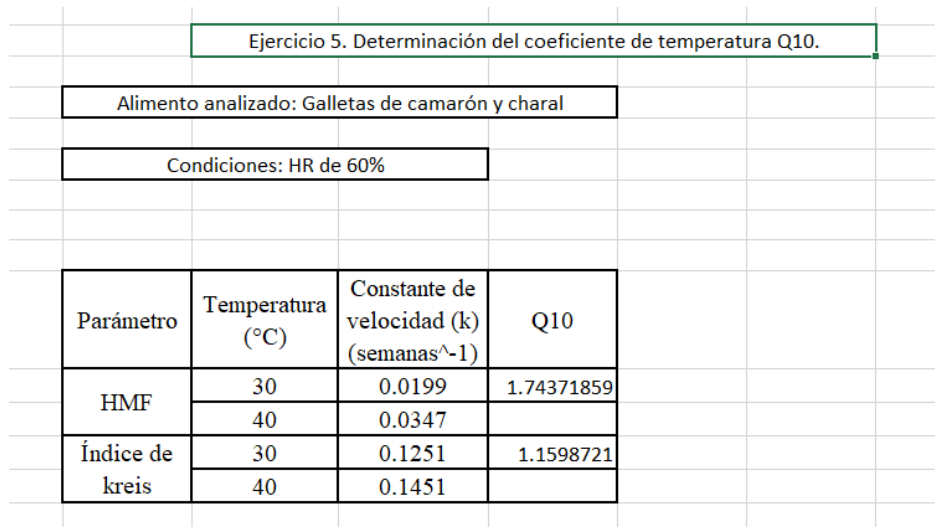
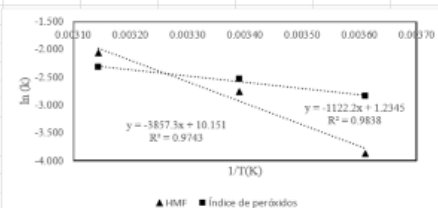
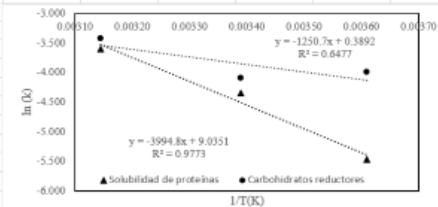


Figura III. Herramienta propuesta para la solución del ejercicio correspondientes al estudio del efecto de la temperatura y determinación de Q₁₀

Ejercicio 6. Aplicación del modelo de Arrhenius y Q10					
	T (°C)	k	T (K)	1/T(K)	Ln (k)
Solubilidad de proteínas	4	-0.0042	277	0.00361	-6.473
	22	-0.013	295	0.00339	-4.343
	45	-0.0272	318	0.00314	-3.805
Cabs reductores	4	0.0184	277	0.00361	-3.995
	22	-0.0166	295	0.00339	-4.098
	45	-0.0325	318	0.00314	-3.427
HMF	4	0.021	277	0.00361	-3.863
	22	0.0635	295	0.00339	-2.757
	45	0.1276	318	0.00314	-2.059
Í PERÓXIDOS	4	0.0586	277	0.00361	-2.837
	22	0.0796	295	0.00339	-2.531
	45	0.099	318	0.00314	-2.313



Parámetro	Pendiente de la recta $m = \frac{-E_a}{R}$	Energía de activación E_a
Solubilidad de proteínas	-3994.8	33.20
Carbohidratos reductores	-1250.7	10.39
HMF	-3857.3	32.05
Índice de peróxidos	-1122.2	9.33
R = constante general de los gases (0.00831)	0.00831	$kJmol^{-1}K^{-1}$

Figura IV. Herramienta propuesta para solución del ejercicio correspondientes a la aplicación de modelo de Arrhenius.

Parámetro	Ordenada		Temperatura (°C)	ln k	k	Q10
	EA	ln k0				
Solubilidad de proteínas	33.2	9.03551	20	-4.5930	0.0101	1.57
			25	-4.3644	0.0127	
			30	-4.1434	0.0159	
Carbohidratos reductores	10.39	0.3892	20	-3.8759	0.0207	1.15
			25	-3.8043	0.0223	
			30	-3.7352	0.0239	
HMF	32.05	10.151	20	-3.0054	0.0495	1.54
			25	-2.7848	0.0617	
			30	-2.5714	0.0764	
Índice de peróxidos	9.33	1.2345	20	-2.5954	0.0746	1.13
			25	-2.5312	0.0796	
			30	-2.4691	0.0847	
R cte general de los gases	0.00831	kJ/molK				

Modelo cinético

$$\ln k = \ln k_0 - \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T} \right)$$

$$Q_{10} = e^{\frac{E_a}{R} \frac{10}{T(T+10)}}$$

Tiempo de vida media		
Carbohidratos reductores		
T (°C)	t1/2 semanas	
25	31.1189405	
30	29.0393189	

Índice de peróxidos		
T (°C)	t1/2 semanas	
25	8.21893298	
30	7.72398841	

Figura IV. (Continuación). Herramienta propuesta para solución del ejercicio correspondientes a la aplicación de modelo de Arrhenius.