

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE ALIMENTOS

MENCIÓN INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



**EFFECTO DEL EMPAQUE Y TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO EN LA
VIDA ÚTIL DE HARINA DE CORMOS DE SACHA JERGÓN (*Dracontium
loretense krause*)**

Tesis

Para optar el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS DE ALIMENTOS, MENCIÓN: INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL**

Presentado por:

TOLENTINO SANTILLAN MARIA ESTELA

Tingo María – Perú 2024



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
ESCUELA DE POSGRADO
UNIDAD DE POSGRADO
MAESTRIA EN INGENIERIA DE ALIMENTOS, MENCIÓN:
INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
UPG-IA N° 002-2024

En la ciudad universitaria, siendo las 12:00m. del jueves 06 de junio del 2024, reunidos en la Sala de sustentaciones de la Escuela de Posgrado de la UNAS, se instaló el Jurado calificador a fin de proceder a la sustentación de la tesis titulada:


"EFECTO DEL EMPAQUE Y TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO EN LA VIDA ÚTIL DE LA HARINA DE CORMOS DE SACHA JERGON (*Dracontium Loretence Kracuse*)"


A cargo de la candidata a Grado de Maestro en Ingeniería de Alimentos, mención: Ingeniería Agroindustrial: **María Estela, TOLENTINO SANTILLÁN.**

Luego de la exposición y absueltas las preguntas de rigor, el jurado calificador procedió a emitir su fallo declarando *Aprobada...* con el calificativo de *muy bueno.*

Acto seguido, a horas *...1:30pm.* el presidente del jurado dio por culminada la sustentación; procediéndose a la suscripción de la presente acta por parte de los miembros del jurado, quienes dejan constancia de su firma en señal de conformidad.


Dr. Jaime Eduardo Basilio Atencio
Presidente


Dra. Yolanda Jesús Ramírez Trujillo
Miembro


Dra. Luz Milagros Follegatti Romero
Miembro


Dr. Williams Vicente Roldan Carbajal
Asesor



“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 059 - 2025 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Maestría en Ingeniería Agroindustrial

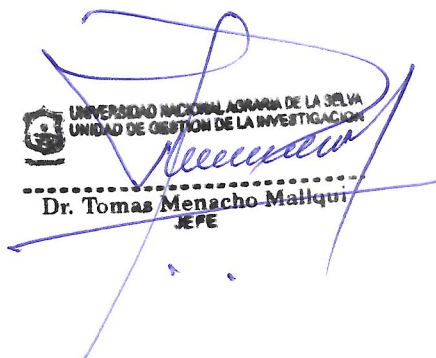
Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	
-------	---	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
EFFECTO DEL EMPAQUE Y TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO EN LA VIDA ÚTIL DE HARINA DE CORMOS DE SACHA JERGÓN (Dracontium lorentense krause)	TOLENTINO SANTILLAN MARIA ESTELA	19 % Diecinueve

Tingo María, 24 de febrero de 202519

C.C. Archivo


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN
Dr. Tomas Menacho Mallqui
JEFE



VICERRECTORADO DE INVESTIGACION
OFICINA DE INVESTIGACION

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL
GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO, INVESTIGACIÓN
DOCENTE Y TESISISTA

I. Datos Generales de Posgrado

Universidad	:	Universidad Nacional Agraria de la Selva.
Escuela de posgrado	:	EPG-UNAS.
Posgrado	:	Maestría en Ingeniería de Alimentos
Mención	:	Ingeniería Agroindustrial
Título de tesis	:	Efecto del empaque y temperatura de almacenamiento en la vida útil de harina de cormos de sachá jergón (<i>Dracontium lorentense krause</i>)
Autor	:	Maria Estela Tolentino Santillan
Asesor de tesis	:	Dr. Williams Vicente Roldán Carbajal.
Programa de investigación	:	Ingeniería en Industrias Alimentarias.
Línea(s) de investigación	:	Procesos en la ingeniería de alimentos.
Eje Temático	:	Determinación de estabilidad y vida útil de los alimentos.
Lugar de ejecución	:	Laboratorios FIIA UNAS.
Duración	:	Inicio : Julio 2021 Término : Febrero 2022
Financiamiento	:	FEDU : S/0.00 Propio : S/6395.70 Otros : S/0.00

Tingo María, Perú, enero 2025.


Maria Estela Tolentino Santillán
Tesisista


Dr. Williams Vicente Roldán Carbajal
Asesor

DEDICATORIA

A DIOS:

Por su gracia y misericordia infinita al
acompañarme en todo momento.

A MIS PADRES:

Don MAXIMO TOMAS TOLENTINO
QUINTO y Doña MARILUZ
SANTILLAN MEJIA, Por su amor
incondicional, por ser mi motor y motivo
durante el transcurso de mi vida.

A MI ANGEL:

SARITA DEBORA TOLENTINO
SANTILLÁN Q.E.P.D.

A MIS VERDADEROS AMIGOS:

Dr. PEDRO PABLO. PELAEZ
SANCHEZ, Ing. YULEISI
GONZALES LOZANO, Ing.
DAMARIS P. EUGENIO CONDEZO.
Por su amistad en esta bella etapa de
nuestras vidas y siempre contar con ellos.

A MIS SOBRINOS:

ANAÍ, STEISY, MATIAS, JHOSELYN,
LIAM Y DOMINICK por curar lo que jamás
rompieron.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva por ser mi alma mater donde guardo tantos recuerdos y momentos inolvidables de pregrado. A la Escuela de Posgrado que de la misma manera tengo guardado momentos únicos con mis colegas, catedráticos, personal administrativo de la Escuela de Ingeniería de Alimentos, Mención: Ingeniería Agroindustrial.

Al Dr. Williams Vicente Roldan Carbajal por su cooperación como asesor y gran profesional durante toda esta etapa.

Al director de la Unidad de Postgrado Dr., Jaime Eduardo Basilio Atencio de la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias maestría en ingeniería de alimentos: mención ingeniería agroindustrial

A los catedráticos que nos impartieron sus conocimientos teóricos y prácticos para lograr culminar esta etapa de estudiantes de la Escuela de Posgrado

A los jurados designados; presidente Dr., Jaime Eduardo Basilio y demás miembros: Dra. Yolanda Jesús Ramírez Trujillo, Dra. Luz Milagros Follegatti Romero, por su paciencia y acompañamiento durante el desarrollo, ejecución y sustentación del proyecto de tesis titulado “Efecto del empaque y temperatura de almacenamiento en la vida útil de harina de cormos de sacha jergón (*Dracontium loretense krause*)”

A Renzo Marcelo Cárdenas Ríos, Por su amor y apoyo incondicional, de igual manera a la familia Cárdenas Ríos.

A mis hermanos, demás familiares y amigos que sumaron en algún momento en este proceso de formación profesional.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1. Antecedentes	2
2.2. Empaques o películas de envasado	3
2.2.1. Polietileno (PE)	3
2.2.2. Polipropileno (PP)	3
2.2.3. Bolsa de papel	3
2.3. Sacha jergón	4
2.3.1. Clasificación taxonómica	4
2.3.2. Composición química	4
2.3.3. Fitoquímicos en el corno de sachá jergón	5
2.4. Vida útil por pruebas aceleradas	6
III. MATERIALES Y MÉTODOS	7
3.1. Lugar de ejecución	7
3.2. Muestras	7
3.3. Equipos. Materiales y reactivos	8
3.4. Métodos de análisis	8
3.5. Metodología experimental	9
3.5.1. Recolección de las muestras	9
3.5.2. Preparación de la harina	9
3.5.3. Caracterización fisicoquímica	9
3.5.4. Almacenamiento de las muestras de harina	11
3.5.5. Estimación de la vida útil por pruebas aceleradas	11
3.6. Diseño experimental	14
3.7. Análisis estadístico	14
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
4.1. Composición química del corno y harina de <i>Dracontium lorentense</i>	15
4.2. Isoterma de sorción	16
4.3. Contenido de humedad HBS de las harinas durante el almacenamiento	19
4.4. Acidez titulable de las harinas durante el almacenamiento	21
4.5. Parámetros cinéticos de la ganancia de humedad durante el almacenamiento ...	23

4.6. Parámetros cinéticos para el incremento de acidez en el almacenamiento	26
4.7. Constante de velocidad de reacción (K), energía de activación (Ea) usando el modelo Arrhenius para humedad y acidez titulable en la harina	30
V. CONCLUSIONES	39
VI. PROPUESTAS A FUTURO	40
VI. REFERENCIAS	41
ANEXOS	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Composición química proximal del cormo y harina de <i>Dracontium loretense</i>	15
2. Variación de la humedad vs a_w de la harina de sachá jergón a 25 °C	16
3. Contenido de humedad (HBS) de las harinas durante el almacenamiento	19
4. Acidez titulable de las harinas durante el almacenamiento.....	21
5. Modelo de cinética de deterioro de orden cero: $HBS = HBS_0 + K.t.$ para el incremento de humedad de la harina	24
6. Modelo de cinética de deterioro de primer orden: $\ln(HBS) = \ln(HBS)_0 + K.t.$ para el incremento de humedad de la harina.	24
7. Modelo de cinética de deterioro de orden cero: $AT = AT_0 + K.t.$ con el incremento de acidez de la harina	27
8. Modelo de cinética de deterioro de primer orden: $\ln(AT) = \ln(AT)_0 + K.t.$ para el incremento de acidez de la harina	28
9. Constante de velocidad de reacción (K) de humedad de la harina de sachá jergón, para los diferentes órdenes de reacción, diferentes temperaturas y tipos de empaques	29
10. Ecuación de Arrhenius y E_a para las diferentes órdenes de reacción en la absorción de humedad	31
11. Constante de velocidad de reacción (K) de la acidez de la harina de sachá jergón, para los diferentes órdenes de reacción, diferentes temperaturas y tipos de empaques	34
12. Ecuación de Arrhenius y E_a para las diferentes órdenes de reacción considerando la acidez de la harina	35
13. Valores predichos de K y tiempo de vida útil de la harina de <i>D. loretense</i> en diferentes empaques y temperaturas, teniendo como factor de calidad la absorción de humedad	36
14. Valores predichos de K y tiempo de vida útil de la harina de <i>D. loretense</i> con diferentes empaques y temperaturas, teniendo como factor de calidad la acidez	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1.	Vista del tallo de Sacha Jergón y coordenadas de ubicación geográfica	7
2.	Diagrama de flujo para la obtención de harina de Sacha Jergón	10
3.	Diseño experimental para determinar la variación de humedad y acidez titulable en las harinas de cormos de jergón sachá, para predecir vida útil.....	14
4.	Isoterma de sorción de la harina de D.loretense a 25 °C	17
5.	Variación del contenido de humedad de las harinas en el almacenamiento	20
6.	Variación de la acidez de la harina durante el almacenamiento.....	22

RESUMEN

En el estudio se investigó el impacto del empaque y la temperatura de almacenamiento en la vida útil de la harina de cormos de *Dracontium lorentense* (Sacha Jergón). Se emplearon tres tipos de empaques (polipropileno, polietileno y papel) y se evaluaron bajo tres condiciones de temperatura (25°C, 40°C y 50°C) durante un periodo de ocho semanas, los parámetros fisicoquímicos de humedad y acidez titulable, con el objetivo de determinar las tasas de deterioro y predecir la vida útil de la harina. Los resultados mostraron que las temperaturas más elevadas aceleraron significativamente el deterioro de la harina, incrementando tanto la absorción de humedad como la acidez.

A través de modelos cinéticos de deterioro de orden cero y primer orden, se observó que la velocidad de reacción se ajusta a la ecuación de Arrhenius, lo que permitió calcular la energía de activación. El empaque de polipropileno demostró ser el más eficiente, reduciendo la absorción de humedad y retrasando el aumento de la acidez, lo que resultó en una mayor estabilidad del producto. A 25 °C, la harina mostró la mayor estabilidad, lo que sugiere que esta es la temperatura óptima de almacenamiento para prolongar su vida útil.

El estudio concluye que tanto el empaque como la temperatura son factores críticos para preservar la calidad de la harina de Sacha Jergón. Los hallazgos tienen implicaciones importantes para la industria alimentaria, y se sugiere la necesidad de investigaciones futuras que exploren otros métodos de conservación y empaques alternativos.

Palabras clave: Sacha Jergón, empaque, temperatura de almacenamiento, vida útil, cinética de deterioro.

ABSTRACT

This study investigated the impact of packaging and storage temperature on the shelf life of *Dracontium loretense* (Sacha Jergón) corm flour. Three types of packaging (polypropylene, polyethylene, and paper) were used and evaluated under three temperature conditions (25°C, 40°C, and 50°C) over a period of eight weeks. Samples were subjected to weekly measurements of physicochemical parameters such as moisture content and titratable acidity, aiming to determine deterioration rates and predict shelf life. The results showed that higher temperatures significantly accelerated the deterioration of the flour, increasing both moisture absorption and acidity.

Through zero and first-order kinetic models, it was observed that the reaction rate follows the Arrhenius equation, allowing for the calculation of activation energy. Polypropylene packaging proved to be the most efficient, reducing moisture absorption and delaying the increase in acidity, resulting in greater product stability. At 25°C, the flour demonstrated the highest stability, suggesting this is the optimal storage temperature to prolong its shelf life.

The study concludes that both packaging and temperature are critical factors for preserving the quality of Sacha Jergón flour. The findings have important implications for the food industry, and future research is recommended to explore other preservation methods and alternative packaging solutions.

****Keywords****: Sacha Jergón, packaging, storage temperature, shelf life, deterioration kinetics.

I. INTRODUCCIÓN

El estudio de la vida útil de alimentos derivados de productos nativos tiene un impacto significativo en la valorización de los recursos locales y en la promoción de sistemas alimentarios sostenibles. La harina de cormos de sacha jergón (*Dracontium loretense* krause), una planta originaria de la Amazonía peruana, es un ejemplo de alimento con potencial para la industria alimentaria debido a sus propiedades funcionales y nutritivas. Sin embargo, para su aprovechamiento comercial, es crucial entender cómo factores externos como el empaque y las condiciones de almacenamiento afectan su estabilidad y calidad a lo largo del tiempo.

El sacha jergón es reconocido en la medicina tradicional por sus propiedades terapéuticas, pero su uso en forma de harina representa una oportunidad para diversificar su aplicación en la industria alimentaria. No obstante, como ocurre con muchos alimentos en polvo, su calidad puede verse afectada por variables como la humedad, la oxidación y las fluctuaciones de temperatura durante el almacenamiento.

El empaque desempeña un papel esencial en la protección del producto frente a agentes externos, como la luz, el oxígeno y la humedad. Asimismo, la temperatura de almacenamiento influye directamente en las reacciones químicas, físicas y microbiológicas que pueden comprometer la vida útil de la harina. Identificar las condiciones óptimas de almacenamiento y el empaque adecuado no solo garantiza la calidad del producto, sino que también contribuye a la seguridad alimentaria y a la satisfacción del consumidor.

A nivel global, se han realizado diversos estudios que abordan el impacto de estos factores en la conservación de productos alimenticios, aplicando modelos cinéticos de deterioro y pruebas aceleradas para predecir la vida útil. Sin embargo, no existen investigaciones detalladas que exploren específicamente las características de almacenamiento de la harina de cormos de Sacha Jergón. Este vacío en la literatura científica justifica la necesidad de investigar el efecto de diferentes materiales de empaque y condiciones de temperatura en su vida útil.

El presente estudio tiene como objetivo principal evaluar cómo los tipos de empaque (polipropileno, polietileno y papel Kraft) y las temperaturas de almacenamiento (25 °C, 40 °C y 50 °C) influyen en la estabilidad de la harina de Sacha Jergón. A través de la aplicación de modelos cinéticos y análisis fisicoquímicos, esta investigación busca ofrecer una base científica para optimizar las condiciones de almacenamiento, proporcionando información relevante para su potencial comercialización en la industria alimentaria.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

Sha (2020) en: "Characterization of the Lipid Oxidation Process of Robusta Green Coffee Beans and Shelf Life Prediction during Accelerated Storage" examinó los cambios en el contenido de humedad, los índices oxidativos y la composición de ácidos grasos de los granos de café verde durante el almacenamiento acelerado durante 20 días a diferentes temperaturas. Se produjo oxidación de lípidos en las muestras de café durante el almacenamiento acelerado. El contenido de AV, P-AV, PV, TOTOX, TBARS, FFA, K232 nm, K268 nm y SFA aumentó, mientras que el contenido de MC, IV y USFA disminuyó durante el almacenamiento. Se utilizaron técnicas estadísticas multivariadas (PCA y HCA) para caracterizar las muestras en función de la duración del almacenamiento, y los resultados demostraron que la mayoría de las muestras mostraron agrupamiento de acuerdo con sus atributos únicos. La distribución espacial bidimensional de PCA fue consistente con la del análisis del mapa de calor. Además, el experimento de almacenamiento acelerado en combinación con el modelado de ecuaciones de Arrhenius fue apropiado para la predicción de la vida útil de los granos de café verde. Todos los índices demostraron que el almacenamiento resultó en el deterioro de la calidad de los granos de café verde, sin embargo, se requieren estudios más profundos para confirmar esta noción.

Forsido et al. (2021) en: "Effects of storage temperature and packaging material on physico-chemical, microbial and sensory properties and shelf life of extruded composite baby food flour" indica que las muestras de harina envasadas en bolsas de polipropileno tejido equilibraron su humedad con el ambiente durante el período de almacenamiento, lo que a su vez provocó el cambio de las propiedades fisicoquímicas de la harina almacenada. En general, se descubrió que envasar las muestras de harina en bolsas de polipropileno tejido, que se utilizan comúnmente para el almacenamiento de productos básicos en los países en desarrollo, deterioraba las características químicas, físicas, sensoriales y microbianas de la harina compuesta extruida. Los sacos de harina podrían estar laminados o tener un revestimiento de polietileno, de modo que la harina no absorba la humedad. En general, las muestras de harina tienen una excelente estabilidad con períodos de vida útil previstos de hasta 17 meses cuando se envasan en bolsas de polietileno almacenadas a 25 °C. El almacenamiento de la harina a temperaturas más altas, 35 °C y 45 °C, no es factible porque la vida útil se reduce 1,38 veces por cada aumento de 10 °C en la temperatura. Incluso si almacenar la harina a baja temperatura prolonga la vida útil, puede que no sea factible en términos prácticos y económicos almacenar

la harina en condiciones refrigeradas. La estabilidad de almacenamiento de la harina puede ayudar a su comercialización y distribución exitosas.

Jafari (2017) en: Arrhenius equation modeling for the shelf life prediction of tomato paste containing a natural preservative, determinó la vida útil de la pasta de tomate con extracto de hoja de olivo microencapsulado y se comparó con muestras que contenían conservantes comerciales, se monitorearon los cambios en el pH y el color de las muestras de pasta de tomate que contenían extracto de hoja de olivo encapsulado y se predijo su vida útil en función de los cambios constantes de velocidad mediante la prueba de vida útil acelerada (ASLT). Las muestras que contenían extracto de hoja de olivo microencapsulado podían mantener muy bien la calidad original de la pasta de tomate, mientras que las que contenían extracto de hoja de olivo no encapsulado obtuvieron el peor rendimiento (entre todas las muestras) en términos de mantenimiento de sus índices de calidad durante un largo período de tiempo. En general, la ecuación de vida útil pudo predecir el índice de consistencia de todas las muestras de pasta de tomate durante un almacenamiento prolongado con alta precisión.

2.2. Empaques o películas de envasado

2.2.1. Polietileno (PE)

El polietileno de baja densidad (LDPE) y el polietileno lineal de baja densidad (LLDPE) se utilizan generalmente como películas, bolsas de transporte, etc. Y a menudo, se combinan con otros plásticos para producir envases más resistentes que se pueden sellar con calor (Knight y Creighton, 2004).

2.2.2. Polipropileno (PP)

El polipropileno (PP) se fabrica a partir de la polimerización de propileno y es el termoplástico de mayor volumen. Como un miembro importante de la familia de resinas de poliolefina, el PP se moldea o extruye en muchos productos plásticos que requieren dureza, flexibilidad, peso ligero y resistencia al calor. La estructura del PP es lineal y su peso molecular oscila entre 100.000 y más de 500.000 (Barbosa y Silva, 2013).

2.2.3. Bolsa de papel

En Europa, la producción de envases de papel y cartón en 2015 fue de 44,5 millones de toneladas y ha aumentado un 2,6 % en comparación con 2014, la mayoría se fabrican de pulpa de celulosa que proviene de los árboles. Los factores que contribuyen al crecimiento del mercado de envases de papel y cartón son la creciente demanda de alimentos envasados, el número creciente de supermercados, el aumento de la venta minorista en línea y la sostenibilidad de los productos de papel (Tarrés et al., 2017).

2.3. Sacha jergón

La planta herbácea llamada Sacha Jergón tiene como nombre científico *Dracontium Loretense* Krause, pertenece a la familia Araceae; mide de 1,5 a 2 m de altura, es conocida comúnmente con los nombres de: Hierba de Jergón, Sacha Jergón, Hurignpe (Amarakaeri), Mágoro (Machiguenga), caña X (Ecuador). Crece en bosques húmedos tropicales, con temperatura promedio anual de 18 a 24 °C y precipitación fluvial de 1200 a 3300 mm/año. Puede sembrarse en cualquier época del año, excepto durante los meses de menor precipitación (menos de 150 mm/mes); en Perú se encuentra distribuida en los departamentos de Loreto, Amazonas, Huánuco, Madre de Dios y San Martín (Lovera et al., 2006).

También presentan actividad antioxidante, esto se debe a la presencia de compuestos aromáticos como los taninos, flavonoides, esteroides, triterpenoides y alcaloides. Algunos pueblos indígenas de la región amazónica reportan usos para contrarrestar síntomas o enfermedades como temblor de las manos, epilepsia, diarrea, herpes, SIDA, hernia, cáncer, acné, picaduras de rayas, extracción de parásitos la piel y con propiedades afrodisiacas (Tapullima, 2019).

2.3.1. Clasificación taxonómica

Según Collantes et al. (2011), la identificación taxonómica de *Dracontium Spruceanum* Schott antes conocida como *Dracontium Loretense* Krause es de la siguiente forma:

División:	Angiospermae
Clase:	Monocotiledónea
Orden:	Alismatales
Familia:	Araceae
Subfamilia:	Lasioideae
Género:	<i>Dracontium</i>
Especie :	<i>Dracontium spruceanum</i> (Schott) G.Zhu
Nombre común:	Jergón sachá

2.3.2. Composición química

Los compuestos químicos aislados obtenidos a partir del análisis de esta especie contienen flavonas, flavononas, antranoles, fenoles simples, esteroides, saponinas, xantonas y 10 alcaloides, que actúan como inhibidores de las defensas de los virus y bacterias. Constituyéndose así en un potente medicamento tradicional utilizado como antiofídico,

antirreumático, inmunoestimulante y para el tratamiento de úlceras gastrointestinales, hernias y tumores malignos (Tapullima, 2019).

2.3.3. Fitoquímicos en el corno de sachá jergón

La importancia de los fitoquímicos en Sachá Jergón ha sido objeto de interés en la investigación científica debido a su potencial beneficio para la salud, por su capacidad para estimular poblaciones beneficiosas de bacterias en el colon, lo que lo posiciona como un posible prebiótico natural (Gasaly et al., 2020). La actividad antioxidante de Sachá Jergón también ha sido destacada en la literatura científica, lo que sugiere su potencial aplicación en medicina tradicional (Salazar-Díaz et al., 2021; Flores y Orellana, 2017).

Asimismo, la presencia de compuestos fenólicos, flavonoides, y otros metabolitos secundarios en esta planta resalta su potencial terapéutico (Flores y Orellana, 2017). Además de sus propiedades antibacterianas y antioxidantes, los fitoquímicos presentes en Sachá Jergón podrían tener efectos beneficiosos en la inhibición de enzimas coagulantes y proteolíticas, lo que sugiere un potencial uso en la medicina tradicional (Saravia-Otten et al., 2017). La diversidad de metabolitos secundarios identificados en esta planta, como flavonoides, terpenoides, y oxilipinas, respalda su relevancia en la investigación fitoquímica y su posible aplicación en la síntesis de compuestos bioactivos (Hayashi, 2016; Abeykoon, N.D.; Benavides et al., 2009).

La investigación sobre los fitoquímicos en Sachá Jergón no solo se centra en su composición química, sino también en su actividad biológica, como propiedades antibacterianas, antioxidantes, y potencial antiinflamatorio (Salazar-Díaz et al., 2021; Flores y Orellana, 2017). La presencia de metabolitos secundarios como flavonoides, triterpenos, y catequinas en esta planta respalda su posible aplicación en la medicina tradicional y como fuente de compuestos bioactivos (Flores y Orellana, 2017).

La relevancia de los fitoquímicos en Sachá Jergón se ve reforzada por su potencial como prebiótico natural, su actividad antibacteriana contra patógenos como *Pseudomonas aeruginosa*, y su capacidad antioxidante (Gasaly et al., 2020; Ulloa-Urizar et al., 2015; Salazar-Díaz et al., 2021). En ese sentido los fitoquímicos presentes en el corno de Sachá Jergón (*D. Loretense* Krause), han demostrado poseer propiedades antibacterianas, antioxidantes, y potencialmente antiinflamatorias. La diversidad de metabolitos secundarios identificados en esta planta, como oxilipinas, flavonoides, terpenoides, catequinas, como fuente de compuestos bioactivos con potencial terapéutico beneficiosas para la salud.

2.4. Vida útil por pruebas aceleradas

El deterioro de la calidad de un producto alimenticio puede expresarse mediante un cambio cuantitativo en uno o más indicadores, por ejemplo, por el contenido de nutrientes o por un cambio en los indicadores organolépticos (sabor extraño, pérdida de color, cambio de sabor). Para el almacenamiento a largo plazo del producto, se requiere una evaluación expresa de la vida útil esperada. En este caso, recurren al método de prueba de vida útil acelerada ASLT (Accelerated Shelf Life Testing), acortando el proceso de obtención de los datos experimentales necesarios (Khasanov y Matveeva, 2020). El método ASLT es aplicable a cualquier proceso de pérdida de calidad o deterioro de alimentos para que se conozca un modelo cinético adecuado.

Hay varios principios de ASLT, pero todos se reducen a tres puntos:

- La obtención de datos fiables sobre el proceso de daños en un corto período de tiempo.
- Selección del modelo utilizado.
- Un método para predecir la vida útil real de un producto. El modelo cinético debe incluir necesariamente la temperatura, lo que afecta significativamente la velocidad de una reacción química.

Además, es necesario decidir cuántos factores se deben utilizar para la prueba (uno o más). El método ASLT más simple y utilizado se basa en la aplicación de un único factor de aceleración. Para obtener un pronóstico preciso de la vida útil, la validez del modelo cinético utilizado es crucial. La información preliminar se puede obtener sobre la base de los datos empíricos disponibles o posiciones teóricas físicas y químicas repetidas (Hu, 2016). Un modelo razonable es el modelo de Arrhenius, que relaciona la velocidad de una reacción química con los cambios de temperatura y se describe mediante la ecuación de Arrhenius:

$$K = K_0 \times \exp^{-\frac{E_a}{R \times T}} \quad (1)$$

Donde:

K_0 : es una constante

E_a : es energía de activación

R : es la constante del gas.

T : es la temperatura absoluta.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El trabajo de investigación se realizó en la Planta Piloto de Frutas y Hortalizas y en los laboratorios de Secado de Alimentos, Ingeniería de Alimentos, Nutrición Animal, Procesamiento Mínimo y de Química de la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicada en el distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco; a una altitud de 660 m.s.n.m. a 09° 17' 08" de Latitud Sur, a 75° 59' 52" de Latitud Oeste, con clima tropical húmedo y con una humedad relativa media de 85% y temperatura media anual de 25 °C.

3.2. Muestras

Las muestras de cormos de Sacha Jergón (*Dracontium lorentense* krause.) utilizadas para elaborar la harina, fueron obtenidos de la región San Martín, provincia de Lamas, distrito de Rumisapa, de la Comunidad Nativa "El Naranjal", a una altitud de 862,76 m.s.n.m, latitud - 6.3996°, longitud -76.4822° georreferenciación que se ve en la figura 1.

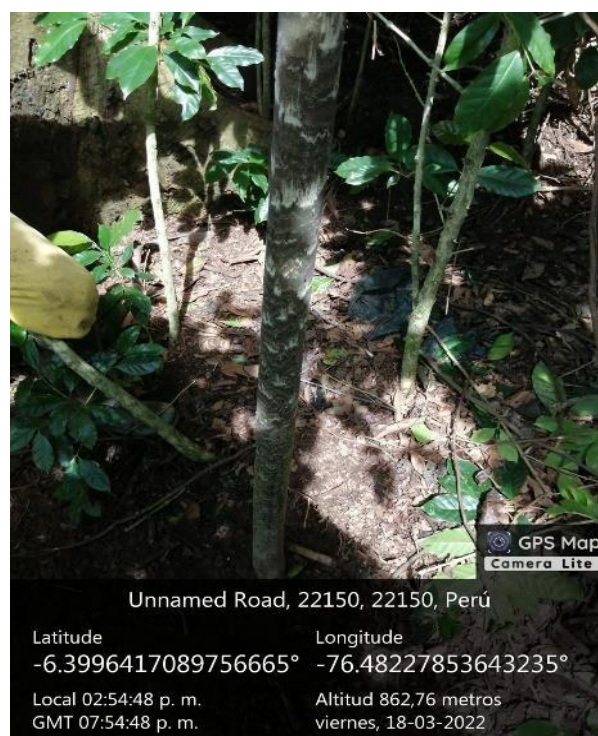


Figura 1. Vista del tallo de Sacha Jergón y coordenadas de ubicación geográfica.

3.3. Equipos, materiales y reactivos

3.3.1. Equipos

Balanza analítica, Estufa. Deshidratador de lecho fluidizado. Destilador de agua. Mufla. Analizador de fibra ANKOM 200. Campana extractora de gases ANKOM XT10. Destilador de nitrógeno. Extractor de grasa. Baño María. Molino de 2 artillos. Molino eléctrico. Humectómetro (IR). Termómetro. Homogeneizador. Deshidratador de lecho fluidizado. Molino de martillo. Selladora.

3.3.2. Materiales

Materiales de vidrio (matraces Erlenmeyer, vasos de precipitación, pipetas, graduadas, micropipetas, tubos de ensayo Gene Mate[®], probetas graduadas, embudo), equipo para medir la acidez titulable. Otros materiales: Piseta, gradilla de metal, ollas de acero inoxidable, cuchillo, cocina semi industrial, baldes de acero inoxidable, fuente rectangular de acero inoxidable, tamiz industrial, bandejas metálicas, soporte de madera para las bandejas, indumentaria de protección personal, bolsas de papel Kraft, bolsas de polipropileno, bolsas de polietileno de baja densidad, filtro de membrana, microfiltro de jeringas, bureta para medir acidez titulable, micropipetas, bolsas de tela de infusión, pinzas, espátulas, gradillas, táperes de plástico rectángulos transparentes, rejillas de metal, CD's reciclados, tubos de PVC 6 cm diámetro, 12 táperes de plástico transparente, machete.

3.3.3. Reactivos

Reactivos y solventes: Agua destilada des ionizada (H₂O^{dd}), Fenolftaleína (C₂₀H₁₄O₄), Hidróxido de sodio, NaOH), Cloruro de magnesio, Yoduro de sodio, Bromuro de sodio, Yoduro de potasio, Cloruro de sodio, Cloruro de potasio.

3.4. Métodos de análisis

- Determinación de humedad, método AOAC 925,09 (AOAC, 1990).
- Determinación de proteínas, método No 930.07 (A.O.A.C., 1997).
- Determinación de grasas totales método No 930.09 (A.O.A.C. 1997).
- Determinación de ceniza, método No 930.05 (A.O.A.C., 1997).
- Determinación de fibra cruda, método No 14.160 (A.O.A.C., 2000)
- Determinación de carbohidratos por diferencia: % carbohidratos = 100% - (% humedad + % cenizas + % proteínas + % grasas + fibra).
- Acidez titulable total (ATT), método 942.15 (AOAC, 1997).

3.5. Metodología experimental

3.5.1. Recolección de la muestra

Se recolectaron muestras de cormos de Jergón Sacha (*D. Loretense* Krause.), procedentes del distrito de Lamas, región de San Martín. Luego fueron trasladadas en una caja, hasta el laboratorio de Secado.

3.5.2. Preparación de la harina

En la Figura 2 se presenta el diagrama de flujo para la obtención de harina de Sacha Jergón que se describe a continuación:

Cosecha: cuando la planta tuvo aproximadamente 1,5 a 2 m, se extrajeron con muchísimo cuidado el corno de la tierra.

Selección: La selección consistió en la separación de cormos deteriorados es decir se clasificaron por sus características morfológicas, físicas y estado sanitario.

Lavado: Los cormos fueron lavados por aspersión con suficiente agua de potable y luego se desinfectaron con hipoclorito de sodio, o hipoclorito sódico (NaClO) a una concentración de 70 ppm (70 mg/L) sin superar nunca los 80 ppm por 5 min aproximadamente finalmente se enjuagó con agua destilada.

Cortado: En láminas de 0,5 cm de espesor relativamente proporcional al tamaño del corno.

Oreado: Los cormos fueron oreados por 24 horas para su posterior secado.

Deshidratado: Se realizó en un deshidratador de lecho fluidizado a 60 °C, hasta obtener un peso constante.

Molienda: La molienda se realizó con de un molino de 2 martillos hasta obtener la harina del Sacha Jergón

Envasado y almacenado: Se envasaron en bolsas de polipropileno y se almacenó a temperatura ambiente y a oscuras.

3.5.3. Caracterización fisicoquímica

La harina fue caracterizada fisicoquímicamente determinándose humedad, proteína, fibra, minerales, lípidos, carbohidratos, acidez titulable total según lo indicado en métodos de análisis,

PLANTA DE SHACHA
JERGON

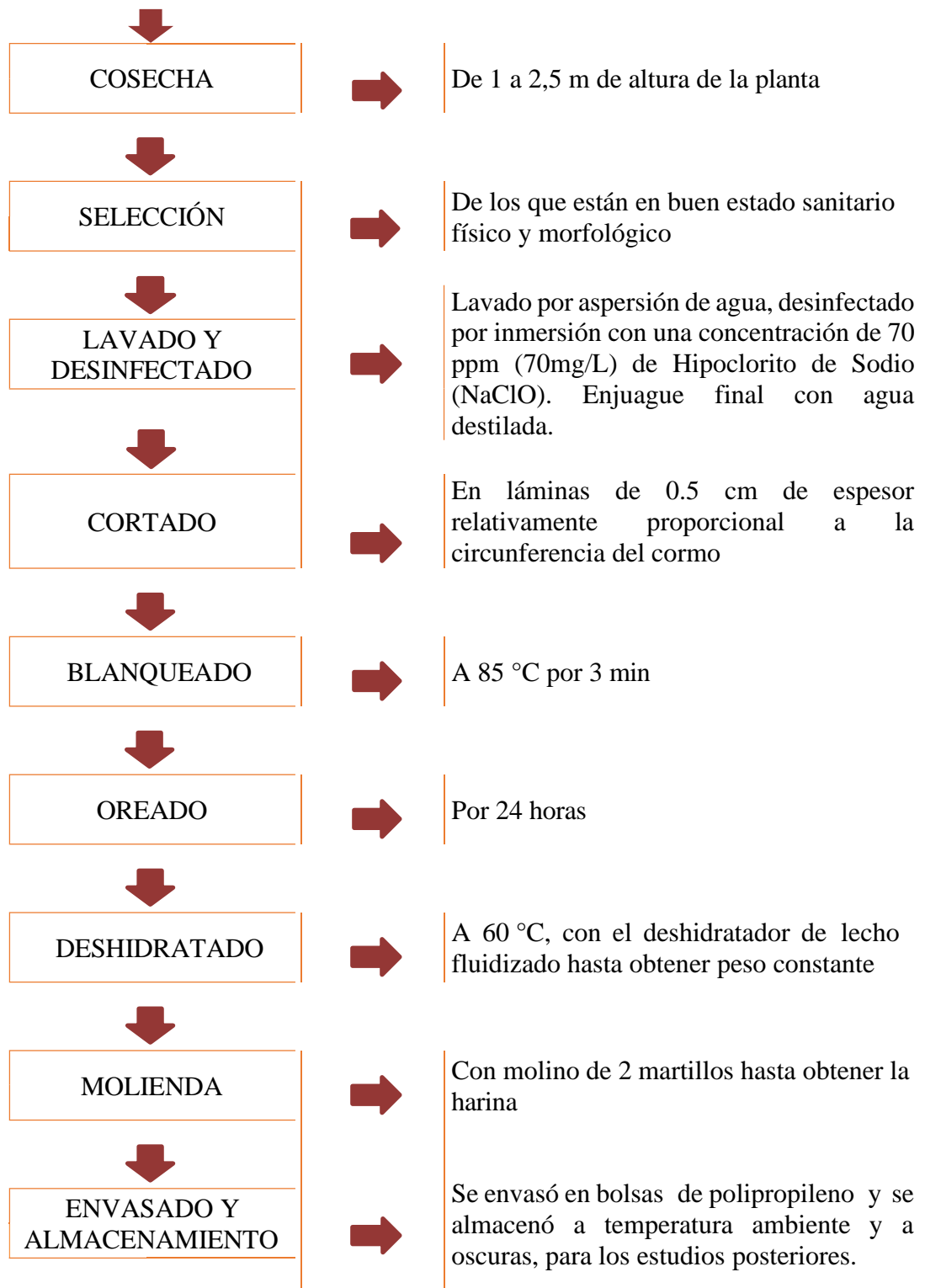


Figura 2. Diagrama de flujo para la obtención de harina de Sacha Jergón

3.5.4. Almacenamiento de las muestras de harina de cormos de jergón sachá

Las muestras de harina de cormos de Jergón Sachá con 20 g de peso, se envasaron en 3 tipos de empaques: bolsas de papel Kraft (PA), polietileno de baja densidad (POL) y polipropileno (POP), el almacenamiento se realizó a 3 temperaturas (25 °C, 40 °C y 50 °C) en bandejas de plástico transparente rectangulares. Las evaluaciones de humedad y acidez titulable se realizaron cada semana, durante 8 semanas.

3.5.5. Estimación de la vida útil por pruebas aceleradas

- Conducción de las pruebas aceleradas

Para la determinación de la estabilidad de la harina de Sachá Jergón mediante pruebas aceleradas, se procedió a colocar muestras de la harina en los empaques indicados (20 g) sellados herméticamente, en estufas a temperaturas de 40 y 50 °C, con una variación promedio de ± 2 °C y una muestra a temperatura ambiente (25 °C).

Se evaluaron como factores de calidad el contenido de humedad y acidez titulable, como indicadores de límites de tiempo de almacenamiento.

Se estableció almacenar durante 8 semanas con evaluaciones semanales, los análisis respectivos se realizaron por triplicado, y por cada temperatura de trabajo, los resultados se expresarán como valores promedios con sus respectivas desviaciones estándar.

- Determinación de los parámetros cinéticos con el orden de reacción (n) y constante de velocidad de reacción (k)

Para determinar la cinética con el orden de reacción, se evaluó el contenido de humedad y acidez titulable de las harinas envasadas en los tres tipos de empaques (polietileno de baja densidad, polipropileno y papel kraft), se eligió un orden de reacción (n) igual a cero y primer orden, para luego integrar la ecuación:

$$\pm \frac{dA}{dt} = kA^n \quad (2)$$

Para $n = 0$, se tiene: $A = A_0 + kt$

Para $n = 1$, se tiene: $\ln A = \ln A_0 + kt$

Para $n = 2$, se tiene: $1/A = 1/A_0 + kt$

En las ecuaciones se reemplazarán los resultados experimentales promedio de humedad, acidez titulable y t que es el tiempo de almacenamiento a las temperaturas de 25, 40 y 50 °C, k es la constante de velocidad de reacción (valor de la pendiente de dicha regresión y n es el orden de reacción). Se regresionó linealmente para escoger la ecuación ($n=0$, $n=1$) que mejor se ajusta a los datos experimentales, en base al coeficiente de correlación (R^2). Se determino el orden de reacción para cada factor de calidad medido, también se determinaron los valores de las constantes de velocidad de reacción (k) que son iguales a los valores de las pendientes de cada regresión para cada temperatura en estudio.

- **Energía de activación (Ea) usando el modelo Arrhenius**

Para la determinación de la energía de activación se utilizó la ecuación de Arrhenius relacionando la constante de velocidad de reacción (k) con la temperatura.

$$K = K_0 e^{\frac{Ea}{Rt}} \quad (3)$$

Al aplicar logaritmo a ambos lados de la ecuación toma una forma lineal, donde al graficar $\ln k$ contra $1/T$ da una línea recta cuya pendiente sería igual a $(- Ea/R)$, la que nos servirá para determinar la vida útil del alimento.

$$\ln K = \ln K_0 - \frac{Ea}{R(t)} \quad (4)$$

Los valores de las constantes de velocidad de reacción obtenidos experimentalmente a sus respectivas temperaturas en grados Kelvin (°K), se ajustan al modelo de Arrhenius por regresión.

Luego en la pendiente de la ecuación obtenida se reemplaza el valor de $R = 1,98717 \text{ cal.mor-1K-1}$, y se despeja la energía de activación Ea .

$$b = - \frac{Ea}{R} \quad (5)$$

Donde:

b : Pendiente de la ecuación

Ea : Energía de activación

- **Estimación de la estabilidad de la harina de Jergón Sacha**

Empleando la ecuación seleccionada planteado por Labuza et al.

(1993).

Se tiene: $A = A_0 + kt$.

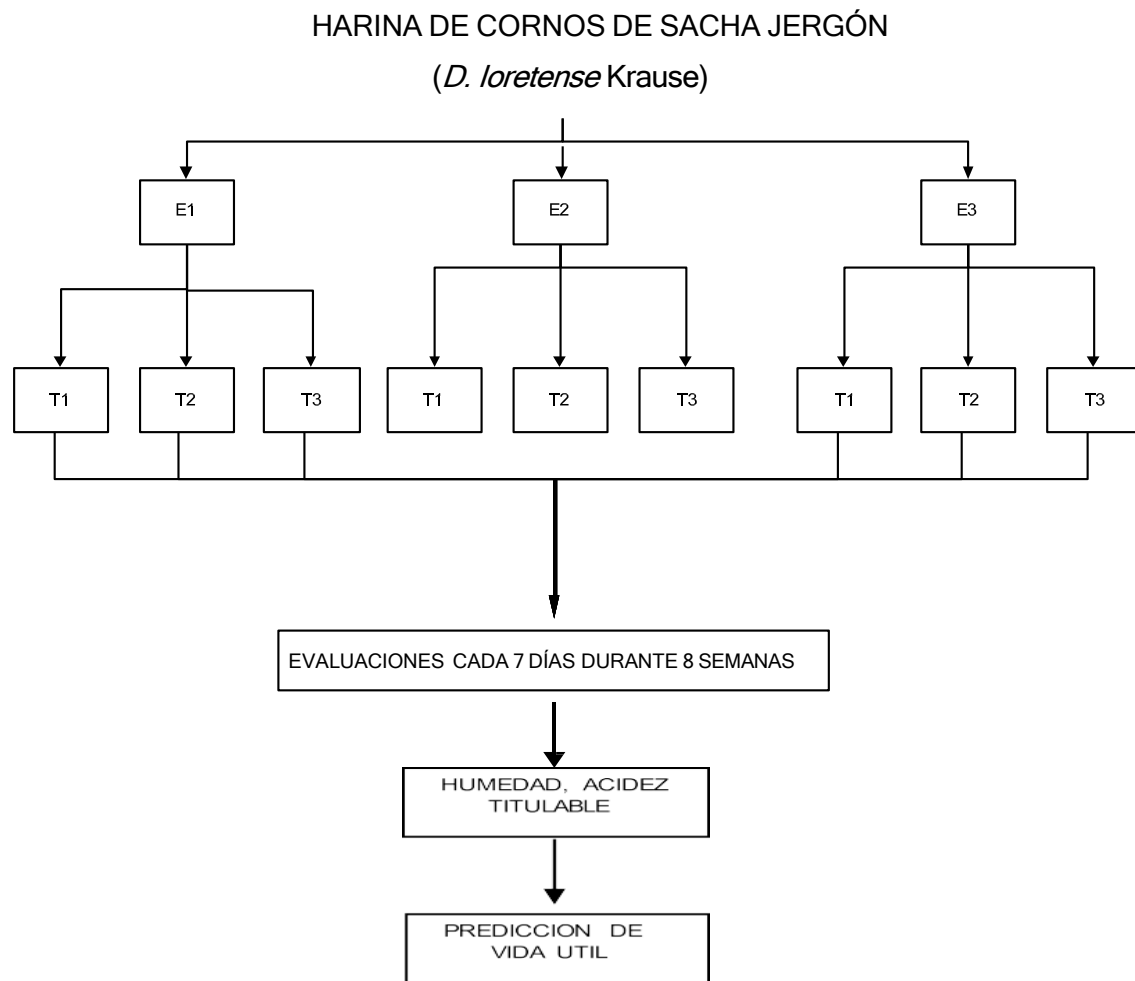
Se reemplazaron los valores de constante de velocidad de reacción (k simulado a 25 °C), el valor inicial de humedad y acidez titulable y los valores límites de establecidos por INACAL (NTP, 2016) código 205.040:2016, para harina sucedánea de tubérculos y raíces (para la humedad el límite es 15 g/100g y para la acidez titulable 0,15 g de ácido sulfúrico / 100 g de muestra) y se despeja el tiempo de estabilidad.

$$A = A_0 + k t$$

$$t = (A - A_0)/K$$

t = Tiempo de estabilidad de la harina, considerando los parámetros de calidad humedad y acidez titulable.

3.6. Diseño experimental



Donde: E1: Bolsa de polipropileno, E2: Bolsa polietileno baja densidad, E3: Bolsa de papel.

T1: 25°C, T2: 40°C, T3: 50°C.

Figura 3. Diseño experimental para determinar la variación de humedad y acidez titulable en las harinas de cormos de jergón sachá, para predecir vida útil.

3.7. Análisis estadístico

Los resultados del diseño experimental (Figura 6), fueron utilizados para obtener los valores de regresión lineal de orden 0 y 1, es decir valores de pendientes y el grado de ajuste R^2 de cada ecuación con respecto a los datos experimentales (López 2008, Daza 2006).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Composición química del cormo y harina de *Dracontium lorentense*

En la Tabla 1 se presenta la composición química del cormo de *D. lorentense*, apreciándose un alto contenido de humedad (69,68 %) y de carbohidratos (24,23 %) dentro de la materia seca y un bajo contenido de materia grasa (0,08 %).

Tabla 1. Composición química del cormo y harina de *Dracontium lorentense*.

Componente	Cormos (%)	Harina (%)
Humedad	69,68	11,11
Materia seca	30,32	88,89
Ceniza	1,52	4,46
Proteína	2,45	7,18
Grasa	0,08	0,23
Fibra	2,04	5,98
Carbohidratos*	24,23	71,04
Acidez titulable	-----	0,086

* Se obtiene por diferencia.

La composición química de *D. lorentense* Krause ha sido objeto de varios estudios. Investigaron la actividad antioxidante destacando sus potenciales propiedades medicinales (Salazar-Díaz et al., 2021). Además, mencionó el aislamiento de oxilipinas de *Dracontium lorentense*, lo que indica la presencia de compuestos bioactivos en esta especie vegetal (Smith y Goodman, 2009). Además, los extractos de *Dracontium lorentense* Krause exhibieron potencial inhibidor contra actividades tóxicas inducidas por *Bothrops spp.*, sugiriendo la presencia de componentes bioactivos con potenciales aplicaciones terapéuticas (Vera-Palacios et al., 2022). Estos estudios sugieren colectivamente que *Dracontium lorentense* Krause contiene compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes e inhibidoras.

En cuanto a la harina de *D. lorentense*, la humedad y el contenido de acidez se encuentran dentro de los valores límites establecidos por el INACAL (NTP, 2016) código 205.040:2016, para harina sucedánea de tubérculos y raíces (para la humedad el límite es 15 g/100 g y para la acidez titulable 0,15 g de ácido sulfúrico / 100 g de muestra).

4.2. Isoterma de sorción

La humedad de equilibrio de la harina de sacha jergón a diferentes actividades de agua controladas por soluciones saturadas y evaluadas por gravimetría, a la temperatura de 25 °C se muestran en la Tabla 2 y en la Figura 1, apreciándose en ella la típica forma sigmoidea.

La isoterma de sorción en harinas sustitutas se refiere a la relación entre el contenido de humedad de la harina y la actividad del agua a temperatura constante. Es un parámetro crucial para comprender el comportamiento de sorción de humedad de las harinas sustitutas que es esencial para su almacenamiento, manipulación y aplicación en productos alimenticios (Araújo y Pena, 2020). La isoterma de sorción proporciona información valiosa sobre la capacidad de sorción de humedad, que es vital para predecir la estabilidad en almacenamiento y la calidad de las harinas sustitutas (Alamri et al., 2018). Los diferentes tipos de harinas sustitutivas, como la harina de yuca, la harina de mijo, la harina de tapioca, la harina compuesta y otras, exhiben perfiles isotérmicos de sorción únicos debido a sus diferentes composiciones y estructuras físicas (Setyawan et al., 2022).

Tabla 2. Variación de la humedad vs A_w de la harina de sacha jergón a 25 °C.

H.B.S. (%)	A_w
8,09820	0,3280
8,14265	0,3817
8,17450	0,5760
8,24495	0,6890
8,33935	0,7530
8,41710	0,8420

La isoterma de sorción de las harinas sustitutas está influenciada por factores como el tamaño de las partículas, la temperatura y la presencia de componentes solubles como azúcares (Andrade et al., 2016; Cahyanti y Pattiserlihun, 2018). Las isotermas de sorción de humedad de las harinas sustitutas se pueden describir con precisión utilizando modelos como GAB (Guggenheim-Anderson-de Boer) y BET (Brunauer-Emmett-Teller) (Alamri et al., 2018; Dhingra y Jood, 2004). Estos modelos son adecuados para predecir la isoterma de sorción de agua para varios tipos de harinas sustitutas, proporcionando información sobre sus características de sorción de humedad.

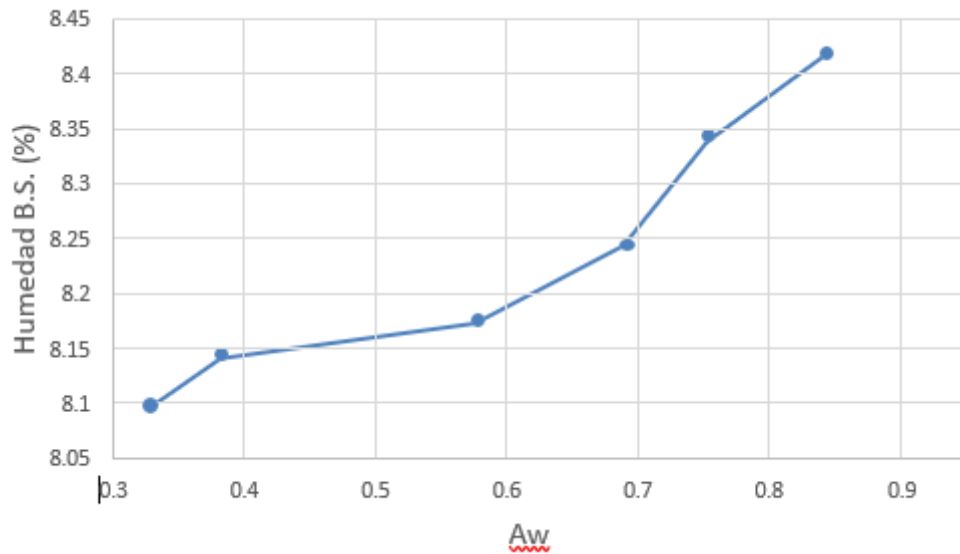


Figura 4. Isotherma de sorción de la harina de *D.loretense* a 25 °C.

La isoterma de sorción de las harinas sustitutivas juegan un papel importante en la determinación de sus propiedades funcionales, por ejemplo, en la elaboración de pan, la incorporación de harinas sustitutivas, como harinas de soja y cebada, afecta las características funcionales, panaderas y organolépticas del pan (Cahyanti y Pattiserlihun, 2018). Además, se ha estudiado la isoterma de sorción de harinas sustitutas fortificadas con proteína de harina de árbol de cuentas rojas para determinar su comportamiento característico de sorción de humedad y sus tipos de absorción.

En resumen, la isoterma de sorción en harinas sustitutas es un parámetro crítico que influye en su comportamiento de sorción de humedad, estabilidad de almacenamiento y propiedades funcionales en productos alimenticios. Comprender la isoterma de sorción de las harinas sustitutas es esencial para optimizar su utilización en diversas aplicaciones alimentarias.

La forma de las isotermas de sorción en harinas es un aspecto esencial para comprender el comportamiento de sorción de humedad de diferentes tipos de harinas. La forma isotérmica de sorción proporciona información valiosa sobre la interacción entre el agua y la harina, que es crucial para diversas aplicaciones, como el procesamiento, el almacenamiento y el envasado de alimentos. Varios estudios han investigado las isotermas de sorción de diferentes harinas y han identificado varias formas, proporcionando información valiosa para comprender el comportamiento de sorción de humedad de las harinas.

Goula et al. (2008) estudiaron las isotermas de sorción de agua de pulpa de tomate

secada por aspersión y encontraron que el comportamiento de sorción puede representarse adecuadamente mediante una forma sigmoideal, característica de una isoterma tipo II, según la clasificación de Brunauer (Goula *et al.*, 2008). Este hallazgo indica que las isotermas de sorción de ciertas harinas exhiben una forma específica, lo cual es esencial para comprender sus características de sorción de humedad.

Investigaron el comportamiento higroscópico de la harina de yuca y descubrieron que las isotermas de sorción de humedad se generaban a diferentes temperaturas y tamaños de partículas, proporcionando datos valiosos sobre el comportamiento de sorción de la harina de yuca en diferentes condiciones (Araújo y Pena, 2020). Este estudio destaca la importancia de considerar la temperatura y el tamaño de las partículas para comprender las isotermas de sorción de las harinas, ya que estos factores pueden influir en la forma de las isotermas.

Brett *et al.* (2009) estudiaron las características de sorción de humedad de la harina de avena y de arroz y encontraron que el contenido de humedad de equilibrio aumenta con el aumento de la actividad del agua, lo que indica una forma sigmoidea característica de una isoterma de tipo II, similar a los hallazgos de Brett *et al.* (2009). Esta consistencia en la forma de las isotermas de sorción entre diferentes tipos de harinas enfatiza la importancia de comprender las características comunes del comportamiento de sorción de humedad en las harinas. Andrade *et al.* (2016) caracterizaron la isoterma de sorción de la harina de residuos de frutas y verduras (FVR) y encontraron que exhibía un perfil típico de alimentos ricos en componentes solubles, como azúcares. Este hallazgo sugiere que la composición de la harina puede influir en la forma de la isoterma de sorción, destacando la importancia de considerar la composición de la harina para comprender su comportamiento de sorción de humedad.

Alamri *et al.* (2018) determinaron la isoterma de sorción de humedad de la harina de mijo reticulada y el oxirano y encontraron que exhibía una forma sigmoideal, característica de una isoterma tipo II, similar a los hallazgos de Alamri *et al.* (2018). Esta consistencia en la forma de las isotermas de sorción entre diferentes tipos de harinas respalda aún más la idea de que ciertos tipos de harinas exhiben formas de isotermas de sorción específicas.

En conclusión, la forma de las isoterma de sorción en harinas juega un papel crucial en la comprensión del comportamiento de sorción de humedad de diferentes tipos de harinas. Los hallazgos consistentes de las formas sigmoideas, características de las isotermas de tipo II, en varios estudios subrayan la importancia de reconocer las características comunes del comportamiento de sorción de humedad en las harinas, al mismo tiempo que se consideran factores como la temperatura, el tamaño de las partículas y la composición de la harina.

4.3. Contenido de humedad (HBS) de las harinas durante el almacenamiento

En la Tabla 3 se presenta la variación de la humedad de la harina de *D. lorentense* envasadas en bolsas de polipropileno (POP), polietileno (POL) y papel (PA), a temperaturas de 25, 40, 50 °C. En todos los casos se aprecia un incremento del contenido de humedad conforme pasa el tiempo de almacenamiento, siendo mayor este incremento cuando aumenta la temperatura. Este comportamiento puede apreciarse mejor en la Figura 4.

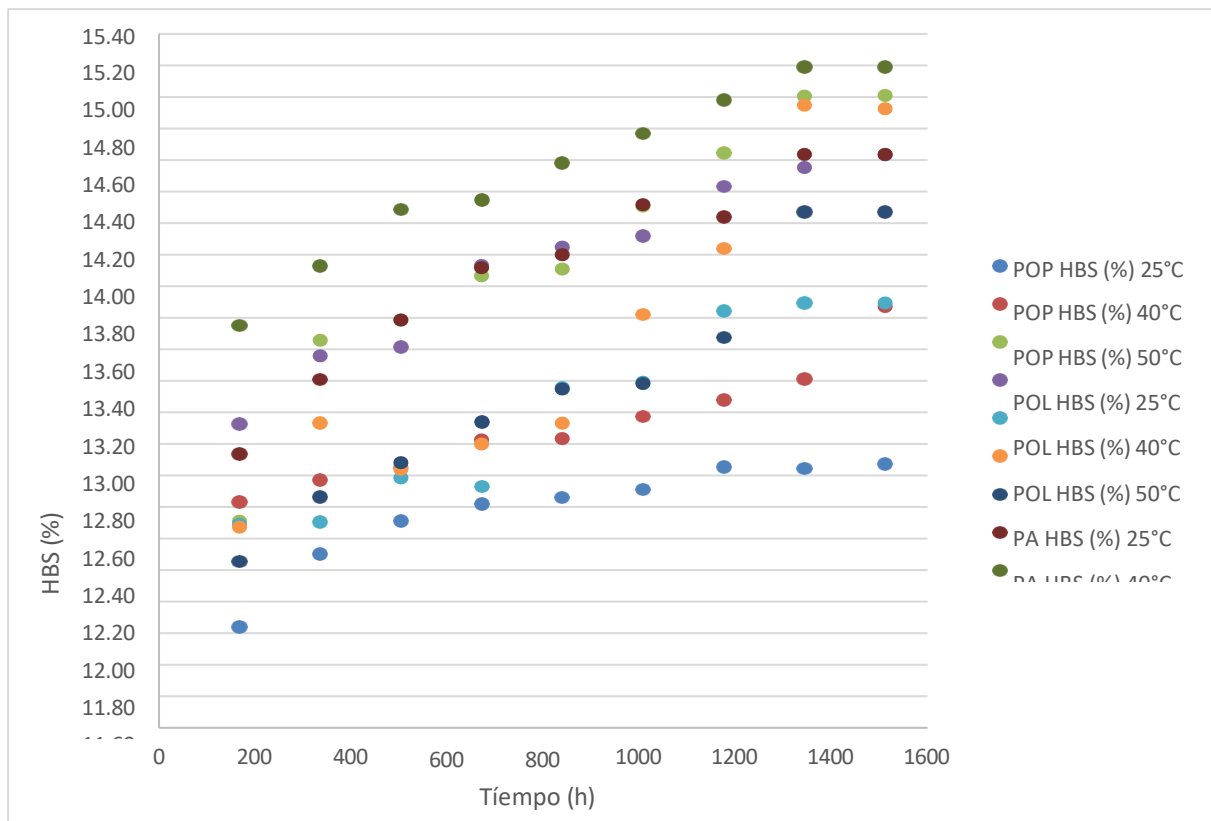
Tabla 3. Contenido de humedad (HBS) de las harinas durante el almacenamiento

Tiempo (h)	HBS (%)								
	POP			POL			PA		
	25 °C	40 °C	50 °C	25 °C	40 °C	50 °C	25 °C	40 °C	50 °C
168	11,64	12,43	12,31	12,926	12,29	12,27	12,05	12,74	13,55
336	12,10	12,57	13,46	13,357	12,30	12,93	12,46	13,21	13,93
504	12,31	12,65	13,58	13,413	12,58	12,64	12,68	13,58	14,29
672	12,42	12,20	13,86	13,93	12,53	12,80	12,94	13,92	14,35
840	12,46	12,83	13,91	14,047	13,16	12,93	13,15	14,00	14,58
1008	12,51	12,97	14,31	14,12	13,19	13,62	13,18	14,32	14,77
1176	12,65	13,08	14,64	14,432	13,64	14,04	13,47	14,24	14,98
1344	12,64	13,21	15,00	14,551	13,69	14,95	14,27	14,64	15,19
1512	12,67	13,67	15,01	14,632	13,69	14,92	14,27	14,64	15,19

POP: Polipropileno POL: Polietileno PA: Papel, HBS: Humedad en base seca

El contenido de humedad durante el almacenamiento de las harinas envasadas en bolsas de polipropileno, polietileno y papel es un aspecto crítico que afecta su calidad y vida útil. Varios estudios han investigado el impacto de las condiciones de almacenamiento y los materiales de embalaje sobre el contenido de humedad de varios tipos de harina, observaron cambios en las propiedades de la harina durante el almacenamiento a corto plazo, incluido el contenido de humedad, la acidez y el número de caída. Hrušková y Machova (2002) descubrieron que estas propiedades cambiaban con el tiempo de almacenamiento, lo que indica la influencia de las condiciones de almacenamiento y las propiedades iniciales de la harina. Awoyale et al. (2018) investigaron el efecto de los materiales de embalaje y las condiciones de almacenamiento en la retención de carotenoides provitamina A en la harina de maíz, destacando la influencia de los sacos tejidos de polipropileno, las bolsas de polietileno de alta densidad y la

temperatura de almacenamiento en el contenido de humedad de la harina; Forsido et al. (2021) registraron el mayor contenido de humedad en la harina almacenada en bolsas de polipropileno a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, enfatizando el papel del material de embalaje y la temperatura de almacenamiento en los niveles de humedad. Malki et al. (2023) observaron un aumento en el contenido de humedad y la actividad del agua de la harina almacenada en condiciones ambientales y refrigeradas, enfatizando aún más el impacto de las condiciones de almacenamiento en la variación de la humedad.



POP: Polipropileno, POL: Polietileno, PA: Papel

Figura 5. Variación del contenido de humedad de las harinas en el almacenamiento.

La influencia de los materiales de embalaje en el contenido de humedad fue destacada por quien señaló que los productos de harina tienden a adherirse a la película del embalaje debido a un aumento en la fricción de la pared al exponerse a una alta humedad y contenido de humedad (Uchechukwu-Agua et al., 2015). Opara et al. (2015) investigaron el impacto de los materiales de embalaje en los atributos de calidad de la harina de yuca, enfatizando la influencia de los baldes de plástico, las bolsas de polietileno de baja densidad y las bolsas de papel en el contenido de humedad de la harina. Estos estudios subrayan colectivamente la importancia de los materiales de embalaje y las condiciones de

almacenamiento a la hora de influir en el contenido de humedad de la harina durante el almacenamiento.

La importancia del contenido de humedad en la vida útil de la harina fue destacada por Anoraga et al. (2022), quienes enfatizaron que la harina con un contenido de humedad inferior a 14 % puede durar más durante el almacenamiento, mientras que un contenido de humedad mayor puede reducir la vida útil de la harina. Kalu et al. (2019) enfatizaron el papel fundamental del contenido de humedad en la estabilidad de almacenamiento de la harina, indicando que un menor contenido de humedad contribuye a una mejor estabilidad de almacenamiento. Estos hallazgos respaldan aún más la importancia de mantener niveles óptimos de humedad en los productos de harina para garantizar una vida útil prolongada.

Por lo tanto, la variación del contenido de humedad de las harinas, particularmente aquellas envasadas en bolsas de polipropileno, polietileno y papel, está influenciada por las condiciones de almacenamiento y los materiales de empaque. El contenido de humedad juega un papel crucial en la determinación de la calidad y vida útil de las harinas. Por lo tanto, es esencial considerar el impacto de las condiciones de almacenamiento y los materiales de embalaje sobre la humedad para garantizar la preservación de la calidad de la harina durante el almacenamiento.

4.4. Acidez titulable de las harinas durante el almacenamiento

Tabla 4. Acidez titulable de las harinas durante el almacenamiento

Tiempo (h)	Acidez titulable (%)								
	POP			POL			PA		
	25 °C	40 °C	50 °C	25 °C	40 °C	50 °C	25 °C	40 °C	50 °C
168	0,109	0,109	0,102	0,119	0,109	0,102	0,122	0,122	0,102
336	0,115	0,112	0,119	0,125	0,119	0,115	0,125	0,125	0,119
504	0,125	0,119	0,138	0,132	0,128	0,125	0,135	0,132	0,115
672	0,134	0,122	0,138	0,135	0,138	0,123	0,138	0,138	0,125
840	0,135	0,132	0,145	0,136	0,143	0,132	0,139	0,141	0,132
1008	0,141	0,132	0,141	0,137	0,145	0,141	0,141	0,144	0,132
1176	0,143	0,141	0,151	0,138	0,141	0,145	0,143	0,145	0,155
1344	0,145	0,141	0,158	0,139	0,148	0,151	0,141	0,146	0,151
1512	0,148	0,141	0,158	0,140	0,149	0,151	0,144	0,148	0,151

POP: Polipropileno

POL: Polietileno

PA: Papel

Según los resultados, en todos los casos se aprecia incremento del contenido de acidez conforme pasa el tiempo de almacenamiento, siendo mayor cuando aumenta la temperatura. Este comportamiento puede verse mejor en la Figura 5.

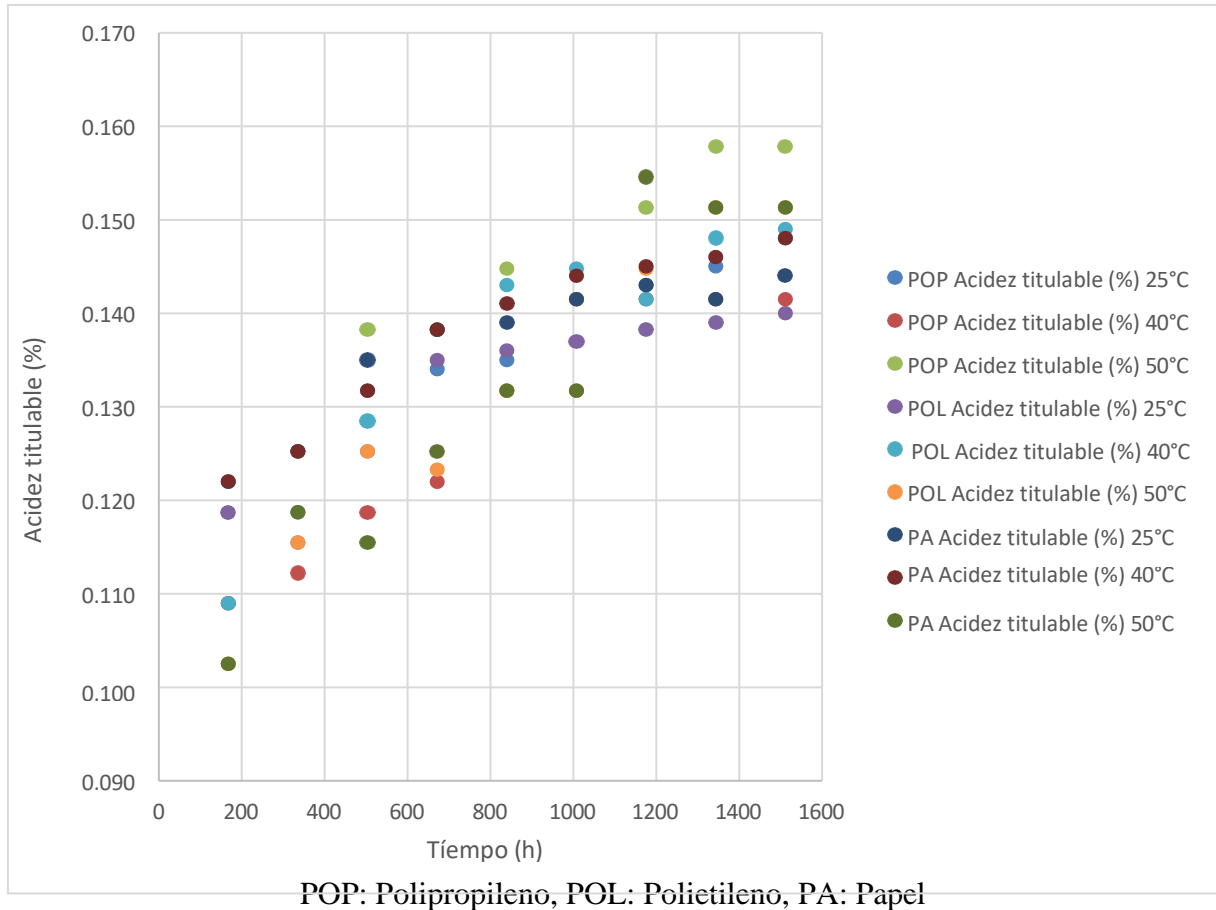


Figura 6. Variación de la acidez de la harina durante el almacenamiento.

La variación del contenido de acidez durante el almacenamiento de las harinas envasadas en bolsas de polipropileno, polietileno y papel es un aspecto crítico que considerar para mantener la calidad de la harina. Varios estudios han investigado el impacto de las condiciones de almacenamiento y los materiales de embalaje sobre el contenido de acidez de varios tipos de harina, se encontró que los principales ácidos grasos insaturados en la harina de soja disminuyeron significativamente cuando se almacenaron en películas de polietileno y polipropileno en condiciones de alta temperatura (Prabakaran et al., 2018). Se observó mayor contenido de acidez en la harina almacenada en bolsas de polipropileno a bajas temperaturas (Forsido et al., 2021). Estos hallazgos sugieren que la elección del material de envasado y la temperatura de almacenamiento influyen en el contenido de humedad y, en consecuencia, en la acidez de la harina.

El estudio indicó un aumento significativo en el contenido de ácidos grasos libres en la harina cruda bajo ciertas condiciones de almacenamiento, enfatizando el impacto del almacenamiento en la composición de ácidos grasos de la harina (Deepa y Hebbar, 2017). Igualmente, informaron una disminución sustancial de los carotenoides totales en la harina almacenada en bolsas de papel laminado a altas temperaturas, destacando la influencia del material de embalaje y las condiciones de almacenamiento en la estabilidad de los compuestos bioactivos en la harina (Ekpa et al., 2021).

La investigación sugirió que el aumento de la acidez de la harina puede atribuirse a la acumulación de ácido linoleico durante el almacenamiento, que posteriormente se oxida (Huma et al., 2007). Este hallazgo subraya la importancia de monitorear la composición de ácidos grasos y los procesos de oxidación en la harina durante el almacenamiento. El estudio enfatizó la interacción significativa entre el empaque y el contenido de agua de la harina, lo que indica el impacto del tipo de empaque en el contenido de agua de la harina durante el almacenamiento (Duka, 2023). Esto es crucial ya que el contenido de humedad puede afectar directamente la acidez de la harina.

En general, estos estudios demuestran colectivamente la intrincada relación entre las condiciones de almacenamiento, los materiales de embalaje y la variación del contenido de acidez en la harina. Los hallazgos subrayan la necesidad de una selección cuidadosa de los materiales de embalaje y las condiciones de almacenamiento para mantener la calidad y estabilidad de los productos de harina.

4.5. Parámetros cinéticos de la ganancia de humedad en el almacenamiento

En las Tablas 5 y 6 se presentan las ecuaciones de cinética de deterioro de la harina de *D. lorentense* en cinéticas de orden cero y orden envasado en bolsas de polipropileno (POP), polietileno (POL) y papel (PA), a temperaturas de 25, 40 y 50 °C. En todos los casos se aprecia variaciones en la constante de velocidad de reacción (K), las cuales son similares, razón por la cual se emplearán las ecuaciones de orden 1 para realizar las predicciones de vida útil. Para determinar los parámetros cinéticos de velocidad de reacción (K) y orden de reacción (n) del aumento de humedad en harinas durante el almacenamiento, es fundamental considerar el impacto de las condiciones de almacenamiento, como temperatura y humedad relativa, sobre la calidad y características de la harina. El estudio de Ahmed et al. (2018) proporciona información sobre el efecto de la temperatura y los períodos de almacenamiento en la calidad de la harina de trigo. Este estudio destaca la variación en la producción de harina y el impacto en el contenido de proteínas y gluten durante el almacenamiento.

Tabla 5. Modelo de cinética de deterioro de orden cero: $HBS = HBS_0 + K.t$. para el incremento de humedad de la harina.

Tipo de Empaque	Temperatura (°C)	Ecuación de regresión	K*	Coefficiente R ²
POP	25	$HBS = 11,835 + 0,0006t$	0,0006	0,8029
	40	$HBS = 12,258 + 0,0008t$	0,0008	0,9201
	50	$HBS = 12,509 + 0,0018t$	0,0018	0,9175
POL	25	$HBS = 11,804 + 0,0007t$	0,0007	0,9119
	40	$HBS = 12,882 + 0,0013t$	0,0013	0,9558
	50	$HBS = 11,765 + 0,0020t$	0,0018	0,8789
PA	25	$HBS = 11,821 + 0,0016t$	0,0016	0,9512
	40	$HBS = 12,786 + 0,0013t$	0,0013	0,9295
	50	$HBS = 13,522 + 0,0012t$	0,0012	0,9664

POP: Polipropileno, POL: Polietileno, PA: Papel. K*: Constante de velocidad de reacción. R²: Coeficiente de determinación.

Tabla 6. Modelo de cinética de deterioro de primer orden: $\ln(HBS) = \ln(HBS)_0 + K.t$. para el incremento de humedad de la harina.

Tipo de Empaque	Temperatura (°C)	Ecuación de regresión	K*	Coefficiente R ²
POP	25	$\ln(HBS) = 2,4712 + 5E-05t$	0,00005	0,7934
	40	$\ln(HBS) = 2,5074 + 6E-05t$	0,00006	0,9274
	50	$\ln(HBS) = 2,5296 + 0,0001t$	0,0001	0,9017
POL	25	$\ln(HBS) = 2,4842 + 1E-04t$	0,0001	0,9333
	40	$\ln(HBS) = 2,4729 + 0,0001t$	0,0001	0,8859
	50	$\ln(HBS) = 2,5296 + 0,0001t$	0,0001	0,9017
PA	25	$\ln(HBS) = 2,4742 + 0,0001t$	0,0001	0,9512
	40	$\ln(HBS) = 2,6058 + 8E-05t$	0,00008	0,9613
	50	$\ln(HBS) = 2,5296 + 0,0001t$	0,0001	0,9017

POP: Polipropileno, POL: Polietileno, PA: Papel. K*: Constante de velocidad de reacción. R²: Coeficiente de determinación.

Hrušková y Machova (2002) investigaron los cambios en las propiedades de la harina de trigo durante el almacenamiento a corto plazo, considerando la temperatura y la

humedad del aire. Estos estudios son relevantes ya que proporcionan información valiosa sobre los cambios en la calidad de la harina durante el almacenamiento, que es crucial para comprender la cinética de las reacciones que ocurren en la harina debido al aumento de humedad.

Abugoch et al. (2009) enfatizan la importancia de determinar las propiedades funcionales relacionadas con la estructura de las proteínas y sus cambios durante el almacenamiento, lo que se alinea con el objetivo de comprender los parámetros cinéticos de las reacciones de la harina durante el almacenamiento. Por otra parte, el estudio de Balogun et al. (2021) analiza el efecto del período de almacenamiento en las cualidades de la harina para masa instantánea, lo que indica una disminución significativa en los valores de color con un aumento en el período de almacenamiento, potencialmente debido a reacciones como la reacción de Maillard. Estas referencias proporcionan información valiosa sobre los cambios en las propiedades de la harina durante el almacenamiento, que pueden vincularse con parámetros cinéticos y velocidades de reacción.

El estudio de Rehman et al. (2017) destaca el impacto de las circunstancias de almacenamiento, la duración del tiempo de almacenamiento y el material de almacenamiento en las pérdidas de nutrientes en las harinas mezcladas, lo que indica la influencia de las condiciones de almacenamiento en la calidad y composición de la harina.

En conclusión, la determinación de los parámetros cinéticos de la velocidad de reacción (K) y el orden de reacción (n) del aumento de humedad en las harinas durante el almacenamiento requiere una comprensión integral de los cambios en las propiedades, composición y calidad de la harina bajo diferentes condiciones de almacenamiento. Las referencias seleccionadas proporcionan información valiosa sobre estos aspectos, que son esenciales para dilucidar los parámetros cinéticos y las velocidades de reacción asociados con las reacciones de la harina durante el almacenamiento.

La cinética del deterioro de la harina está influenciada por varios factores como la temperatura, los materiales de envasado y las constantes de velocidad de reacción. La temperatura y los materiales de empaque juegan un papel importante en las propiedades fisicoquímicas, microbianas y sensoriales de la harina (Forsido et al., 2021). La cinética de reacción del gas ozono en la harina de trigo, basada en el tiempo de saturación, la tasa de descomposición y el tiempo de vida media, proporciona información sobre el impacto de los factores ambientales en el deterioro de la harina (Paes et al., 2017). Además, la influencia de las condiciones de almacenamiento y el empaque en la estabilidad de la harina de trigo fortificada y la carga microbiana resalta la importancia de la calidad del empaque para preservar

la calidad y los nutrientes de la harina (Hémery et al., 2020).

Además, la cinética de descomposición del β -caroteno y el comportamiento de sorción de humedad de la harina de yuca amarilla durante el almacenamiento demuestran el impacto de la temperatura en la tasa de degradación de los nutrientes esenciales de la harina (Akonor et al., 2023). El uso de películas de harina de garbanzo como material de bioenvasado para la conservación del aceite de girasol enfatiza el potencial de los materiales de envasado innovadores para mantener la calidad de la harina (Camiletti et al., 2020). Además, el contenido de humedad de la harina de batata se destaca como un factor crítico para acelerar el deterioro químico o microbiano (Dansby y Bovell-Benjamin, 2003).

Además del impacto de la temperatura y el envasado, el efecto de la velocidad de molienda en la calidad y la estabilidad en almacenamiento de la harina de maíz subraya la importancia de los parámetros de procesamiento en el deterioro de la harina (Sidhu et al., 2016). Además, la descontaminación de la harina de vainas de mezquite contaminada naturalmente con *Bacillus cereus* y la formación de furano mediante irradiación ionizante arroja luz sobre los métodos potenciales para preservar la calidad y seguridad de la harina (Fan et al., 2015).

En general, la comprensión integral de la cinética de deterioro, influenciada por la temperatura, los materiales de empaque y las constantes de velocidad de reacción, es esencial para desarrollar estrategias efectivas para mantener la calidad y la vida útil de la harina.

4.6. Parámetros cinéticos para el incremento de acidez en el almacenamiento

En las Tablas 7 y 8 se presentan los modelos de cinética de deterioro de orden cero y uno considerando la acidez de la harina de *D. lorentense* envasado en bolsas de polipropileno (POP), polietileno (POL) y papel (PA) a temperaturas de 25, 40, 50 °C. En todos los casos se aprecia variaciones en la constante de velocidad de reacción (K), las cuales son similares, razón por la cual se emplearán las ecuaciones de orden 1 para realizar las predicciones de vida útil.

Para determinar los parámetros cinéticos del aumento de la acidez de la harina, es fundamental considerar la velocidad de reacción (K) y el orden de reacción (n). Los parámetros cinéticos, incluida la constante de velocidad (k) y la energía de activación (Ea), desempeñan un papel crucial en la comprensión de la cinética de la reacción (Mostafa et al., 2016).

Tabla 7. Modelo de cinética de deterioro de orden cero: $AT = ATo + K.t$. con el incremento de acidez de la harina.

Tipo de Empaque	Temperatura (°C)	Ecuación de regresión	K*	Coefficiente R ²
POP	25	$AT = 0,1089 + 3E-05t$	0,00003	0,9255
	40	$AT = 0,105 + 3E-05t$	0,00003	0,9519
	50	$AT = 0,1083 + 4E-05t$	0,00004	0,8537
POL	25	$AT = 0,1216 + 1E-05t$	0,00001	0,8226
	40	$AT = 0,1122 + 3E-05t$	0,00003	0,8417
	50	$AT = 0,1019 + 4E-05t$	0,00004	0,9542
PA	25	$AT = 0,1236 + 2E-05t$	0,00002	0,8166
	40	$AT = 0,1213 + 2E-05t$	0,00002	0,9180
	50	$AT = 0,0999 + 4E-05x$	0,00004	0,9083

POP: Polipropileno, POL: Polietileno, PA: Papel. K*: Constante de velocidad de reacción. R²: Coeficiente de determinación.

La determinación del orden de reacción también es un aspecto importante de la cinética de reacción, ya que proporciona información sobre la relación entre la concentración de reactivos y la velocidad de la reacción (Negahdar et al., 2019).

Kweon et al. (2011) discuten el parámetro predictivo de capacidad de retención de solventes (SRC), el índice de desempeño del gluten (GPI), que se define en términos de valores de SRC. Se ha descubierto que este parámetro es un mejor predictor del rendimiento general de la glutenina de la harina en diferentes procesos alimentarios a base de trigo. Si bien este estudio se centra en la funcionalidad de la harina y el mejoramiento del trigo, proporciona información valiosa sobre los parámetros predictivos que podrían ser relevantes para comprender la cinética del aumento de la acidez de la harina ().

Alves et al. (2021) observaron un aumento en el parámetro k con el aumento de la temperatura, particularmente en la harina integral 'baru' en comparación con la harina desgrasada. Este hallazgo es significativo ya que indica la dependencia de la temperatura del parámetro cinético k, que es esencial para comprender la velocidad de reacción del aumento de la acidez de la harina. Mostafa et al. (2016) y Shahraki et al. (2015), ambos, determinaron los valores cinéticos (k y Ea) y los parámetros de activación asociados (ΔH^\ddagger , ΔG^\ddagger y ΔS^\ddagger) de las reacciones. Estos parámetros son fundamentales para comprender la cinética de las reacciones químicas, incluido el aumento de la acidez de la harina.

Motagamwala y Dumesic (2020) enfatizan la influencia de los parámetros cinéticos asociados con los pasos elementales en la velocidad general de la reacción. Esto resalta la importancia de comprender los parámetros cinéticos para predecir y controlar la velocidad de reacción, lo cual es crucial en el contexto del aumento de la acidez de la harina. El trabajo de Huang et al. (2018) enfatiza la importancia de determinar el orden de reacción y los pasos limitantes de la velocidad para comprender la cinética de la reacción tiol-Michael. Esto es relevante ya que subraya la importancia de determinar el orden de reacción en estudios cinéticos, que es aplicable a la investigación del aumento de la acidez de la harina.

Demir y Bilgiçli (2020) encontraron que ciertos parámetros aumentaban linealmente con la proporción elevada de harina de quinua. Esta observación es relevante ya que sugiere una relación directa entre la proporción de los componentes de la harina y parámetros específicos, que podría ser aplicable para comprender la cinética del aumento de la acidez de la harina.

Tabla 8. Modelo de cinética de deterioro de primer orden: $\text{Ln}(\text{AT}) = \text{Ln}(\text{AT})_0 + \text{K.t}$ para el incremento de acidez de la harina.

Tipo de Empaque	Temperatura (°C)	Ecuación de regresión	K*	Coefficiente R ²
POP	25	$\text{Ln}(\text{AT}) = - 2,2088 + 0,0002t$	0,0002	0,9062
	40	$\text{Ln}(\text{AT}) = - 2,0808 + 0,0001t$	0,0002	0,6180
	50	$\text{Ln}(\text{AT}) = 2,5296 + 0,0001t$	0,0001	0,9017
POL	25	$\text{Ln}(\text{AT}) = - 2,106 + 0,0001t$	0,0001	0,8075
	40	$\text{Ln}(\text{AT}) = - 2,1823 + 0,0002t$	0,0001	0,8214
	50	$\text{Ln}(\text{AT}) = - 2,2665 + 0,0003t$	0,0003	0,9356
PA	25	$\text{Ln}(\text{AT}) = - 2,0898 + 0,0001t$	0,0001	0,8047
	40	$\text{Ln}(\text{AT}) = - 2,1056 + 0,0001t$	0,0001	0,9070
	50	$\text{Ln}(\text{AT}) = - 2,2816 + 0,0003t$	0,0003	0,9075

POP: Polipropileno, POL: Polietileno, PA: Papel. K*: Constante de velocidad de reacción. R²: Coeficiente de determinación.

Se destaca la importancia de determinar los parámetros cinéticos, incluida la constante de velocidad k, en el estudio de la cinética química, esto enfatiza la importancia de determinar los parámetros cinéticos para comprender la velocidad de reacción, lo cual es crucial en el contexto del aumento de la acidez de la harina (Tang et al., 2022). En resumen, la determinación

de los parámetros cinéticos, incluida la constante de velocidad (k) y el orden de reacción (n), son cruciales para comprender el incremento de la acidez de la harina. Estos parámetros proporcionan información valiosa sobre la cinética de la reacción y son esenciales para predecir y controlar la velocidad de reacción.

4.7. Constante de velocidad de reacción (K), energía de activación (Ea) usando el modelo Arrhenius para humedad y acidez titulable en la harina

En las Tablas 9 y 10 se presentan las constantes de velocidad de reacción (K) de humedad de la harina de sachá jergón, para los diferentes órdenes de reacción, diferentes temperaturas y tipos de empaques de *Dracontium lorentense Krause* de orden cero y orden uno considerando el envasado en bolsas de polipropileno (POP), polietileno (POL) y papel (PA), a diversas temperaturas (25, 40, 50 °C).

Tabla 9. Constante de velocidad de reacción (K) de humedad de la harina de sachá jergón, para los diferentes órdenes de reacción, diferentes temperaturas y tipos de empaques.

Tipo de empaque	T °C	T °K	Orden de reacción	
			Orden cero K*	Orden uno K**
POP	25	298	0,0006	0,00005
	40	313	0,0008	0,00006
	50	323	0,0018	0,00010
POL	25	298	0,0012	0,00005
	40	313	0,0013	0,00006
	50	323	0,0020	0,00010
PA	25	298	0,0016	0,00010
	40	313	0,0013	0,00008
	50	323	0,0012	0,00010

POP: Polipropileno

POL: Polietileno

PA: Papel

Para estimar la constante de velocidad de reacción (k) y la energía de activación (Ea) utilizando el modelo de Arrhenius para la humedad de la harina, varios estudios proporcionan información relevante. Lai et al. (2009) determinaron la constante de velocidad de reacción no isotérmica y la energía de activación de las antocianinas de uva en harina de

trigo, encontraron que la constante de velocidad de reacción (k) a 80 °C y 43 % de humedad era $2,81 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$, con una energía de activación (E_a) de 75273 J/g mol. De manera similar, Pérez-Quirce et al. (2016) observaron que la constante de velocidad aparente de inactivación térmica aumentaba exponencialmente con el contenido de humedad de la harina. Cemeroglu et al. (1994) describieron la dependencia de la temperatura de la reacción utilizando la relación de Arrhenius. Estos hallazgos demuestran colectivamente la influencia del contenido de humedad en la constante de velocidad de reacción y la energía de activación en la harina.

Akonor et al. (2023) investigaron la constante de velocidad de reacción para la degradación del β -caroteno en harina de yuca amarilla durante el almacenamiento; informaron un aumento en la constante de velocidad de reacción con el aumento de la temperatura, lo que indica la importancia de la temperatura en la cinética de la reacción. Cha et al. (2003) calcularon la energía de activación y las constantes de velocidad para la retención de tiamina en alimentos extruidos, enfatizando aún más el impacto de la temperatura en la cinética de reacción.

Brett et al. (2009) y Koua et al. (2012) estudiaron las características de sorción de humedad de los productos amiláceos y de la yuca, respectivamente; ambos destacaron la relación entre el contenido de humedad y la capacidad de sorción, lo que indica la importancia de la humedad para influir en las propiedades fisicoquímicas de la harina. Ahmed et al. (2018) compararon las constantes de energía para las isotermas de adsorción de humedad de diferentes harinas, proporcionando información sobre los diferentes efectos de la humedad en diferentes tipos de harina.

En resumen, las referencias proporcionan información valiosa sobre la influencia del contenido de humedad en la constante de velocidad de reacción (k) y la energía de activación (E_a) utilizando el modelo de Arrhenius para la humedad de la harina. En conjunto demuestran el impacto significativo de la humedad y la temperatura en la cinética de las reacciones en la harina, enfatizando la necesidad de considerar estos factores al estimar los parámetros de reacción. La absorción de humedad en las harinas alimentarias es un parámetro crítico que afecta sus propiedades funcionales. La ecuación de Arrhenius se ha utilizado ampliamente para relacionar la difusividad de la humedad de diversas harinas alimentarias con la temperatura, proporcionando información sobre la energía de activación para la absorción de humedad (Agarry, 2014; Tunde-Akintunde, 2010; Addo et al., 2006). Además, se ha demostrado que la capacidad de absorción de agua de las harinas compuestas aumenta con la incorporación de otras harinas, lo que indica una relación potencial entre la composición y la absorción de humedad (Chandra et al., 2014). Se ha observado que el impacto de la temperatura en la difusividad de la humedad en los materiales alimentarios sigue la relación de Arrhenius,

destacando la importancia de la temperatura en los procesos de absorción de humedad (Tunde-Akintunde, 2010; Addo et al., 2006). Además, se encontró que el índice de absorción de agua de la harina de maíz extruida aumenta progresivamente con el aumento de la temperatura de extrusión y la humedad del alimento, lo que enfatiza la influencia de las condiciones de procesamiento en la absorción de humedad (Kc et al., 2020).

Tabla 10. Ecuación de Arrhenius y E_a para las diferentes órdenes de reacción en la absorción de humedad.

Tipo de Empaque	Orden de Reacción	Ecuación de reacción	E_a (kcal/mol-g)	Coefficiente R^2
POP	Orden cero	$\ln(K) = 5,8868 - 3994,2(1/T)$	7,94	0,8447
	Primer orden	$\ln(K) = - 1,5069 - 2520,5(1/T)$	5,01	0,8456
POL	Orden cero	$\ln(K) = - 0,6604 - 1824,9(1/T)$	3,63	0,7581
	Primer orden	$\ln(K) = 5,0644 - 4431,4(1/T)$	8,80	0,8992
PA	Orden cero	$\ln(K) = - 10,221 + 1125,3(1/T)$	2,24	0,9871
	Primer orden	$\ln(K) = - 11,781 + 776,19(1/T)$	0,73	0,6238

Además de la ecuación de Arrhenius, la ecuación de Peleg se ha utilizado para modelar la sorción de humedad en diversos materiales alimentarios, proporcionando información valiosa sobre el comportamiento de absorción de humedad de la soja, el caupí y el maní a diferentes temperaturas (Sopade y Obekpa, 1990). Se ha demostrado que la funcionalidad de las harinas alimentarias, incluidos sus índices de absorción y solubilidad de agua, están influenciadas por las condiciones de extrusión, como la humedad y la temperatura del alimento, destacando la importancia de los parámetros de procesamiento para determinar las propiedades de absorción de humedad (Oliveira et al., 2017).

Las características de absorción de agua de las harinas compuestas también se han estudiado en el contexto de su impacto en las propiedades físicas y térmicas de los sistemas alimentarios, lo que indica la relación multifacética entre la absorción de humedad y las propiedades generales de los productos alimenticios (Oliveira et al., 2017). Además, se ha demostrado que la incorporación de harinas específicas, como las harinas de leguminosas, afecta la capacidad de absorción de agua, la capacidad de hinchamiento y otras propiedades funcionales de las harinas compuestas, lo que subraya la influencia de la composición en la absorción de humedad (Tas et al., 2022; Ishara et al., 2018).

En general, la absorción de humedad en las harinas alimentarias es un fenómeno complejo influenciado por varios factores, incluida la composición, las condiciones de procesamiento y la temperatura. Las ecuaciones de Arrhenius y Peleg han sido herramientas valiosas para comprender y modelar el comportamiento de absorción de humedad de las harinas alimentarias, proporcionando conocimientos esenciales para la industria alimentaria y la comunidad investigadora.

La absorción de humedad en la harina se puede caracterizar mediante los valores de energía de activación determinados mediante la ecuación de Arrhenius. La energía de activación cuantifica la barrera energética para la difusión de la humedad dentro de la matriz de la harina. Varios estudios han investigado la energía de activación en el contexto de la absorción de humedad en diversos materiales alimentarios. Por ejemplo, Demiray y Tülek (2011) determinaron la energía de activación para el secado en capa fina de rodajas de tomate y descubrieron que era $22,981 \text{ kJ mol}^{-1}$. De manera similar Vega-Gálvez et al. (2009) estudiaron el secado convectivo de arándanos y reportaron valores de energía de activación que oscilaron entre $36,2$ y $54,5 \text{ kJ mol}^{-1}$. Estos hallazgos resaltan la variabilidad de la energía de activación en diferentes materiales alimentarios, enfatizando la necesidad de una caracterización específica de la harina.

Además, los valores de energía de activación se han determinado para diferentes tipos de maíz, según lo informado por Agarry (2014). El estudio utilizó una ecuación de tipo Arrhenius para estimar la energía de activación del maíz dentado, la harina de maíz, las palomitas de maíz y el maíz dulce. Los resultados indicaron variaciones en los valores de energía de activación entre estos tipos de maíz, lo que subraya aún más la naturaleza específica del material en la cinética de absorción de humedad. Akonor et al. (2023) investigaron el comportamiento de absorción de humedad de la harina de yuca amarilla y reportaron valores de energía de activación que oscilaban entre $85,8$ y $124,2 \text{ kJ/mol}$, lo que demuestra la influencia del método de secado en la energía de activación.

La ecuación de Arrhenius se ha aplicado para determinar la energía de activación para la difusión de humedad en diversos materiales alimenticios, incluidos pescado, pimiento rojo y lodos de fábricas de papel (Komolafe et al., 2018; Mardiyani et al., 2021; Yu et al., 2017). Estos estudios enfatizan colectivamente la importancia de la ecuación de Arrhenius en la cuantificación de la energía de activación para la absorción de humedad en diversas matrices alimentarias.

En resumen, los valores de energía de activación determinados mediante la ecuación de Arrhenius proporcionan información crucial sobre la cinética de absorción de humedad en la harina. Estos valores son específicos del material y pueden verse influenciados por factores como el método de secado y la temperatura. Por lo tanto, comprender la energía de activación es esencial para optimizar el proceso de absorción de humedad en productos a base de harina.

Para determinar la constante de velocidad de reacción (K) de la acidez de la harina, para diferentes órdenes de reacción, diferentes temperaturas y tipos de empaque, es esencial considerar la cinética de las reacciones y los efectos de la temperatura sobre las constantes de velocidad. Se investigó la cinética de la degradación del β -caroteno en diferentes tipos de harina producida por varios métodos de secado, mostrando un aumento en la constante de velocidad de reacción con el aumento de la temperatura (Akonor et al., 2023).

Según Yadav et al. (2017), Liu et al. estudió los estudios cinéticos sobre la hidrólisis de residuos, demostrando que las constantes cinéticas aumentaban al aumentar la concentración de ácido y la temperatura de reacción. Estos hallazgos enfatizan la influencia de la temperatura en las constantes de velocidad de reacción y coinciden con los resultados encontrados.

Además, se observó una dependencia de la temperatura del metanol y de la resistencia a la tracción del papel aislante, lo que indica una buena concordancia con la temperatura para las constantes de velocidad de varias reacciones (Arroyo et al., 2016). Esto resalta la importancia de la temperatura en la determinación de las constantes de velocidad de reacción. Alencar et al. (2011) descubrieron que la constante de velocidad de descomposición del ozono gaseoso en el maní aumentaba con la temperatura, lo que respalda aún más la dependencia de la temperatura de las constantes de velocidad de reacción.

Paes et al. (2017) estudió la cinética de reacción del gas ozono en la harina de trigo, representando la cinética de descomposición del ozono con un modelo de primer orden, proporcionando información sobre la cinética de una reacción específica en la harina. Estas referencias demuestran colectivamente la importancia de la temperatura para influir en las constantes de velocidad de reacción y la necesidad de considerar las reacciones específicas y los tipos de harina al determinar las constantes de velocidad.

Tabla 11. Constante de velocidad de reacción (K) de la acidez de la harina de sacha jergón, para los diferentes órdenes de reacción, diferentes temperaturas y tipos de empaques.

Tipo de empaque	T °C	T °K	Orden de reacción	
			Orden cero K*	Orden uno K**
POP	25	298	0,0003	0,0002
	40	313	0,0003	0,0001
	50	323	0,0004	0,0001
POL	25	298	0,00001	0,0001
	40	313	0,00003	0,0002
	50	323	0,00004	0,0003
PA	25	298	0,00002	0,0001
	40	313	0,00002	0,0001
	50	323	0,00004	0,0003

POP: Polipropileno POL: Polietileno PA: Papel

La energía de activación para el aumento de acidez en harinas comestibles, envasadas en bolsas de polipropileno, polietileno y papel, se pueden determinar mediante la ecuación de Arrhenius y proporciona información sobre la cinética de las reacciones involucradas en el aumento de la acidez en la harina comestible en diferentes condiciones de envasado. Por ejemplo: Faisal et al. (2007) determinaron una energía de activación de 144 kJ/mol para una reacción específica, mientras que Ding y Wang (2007) determinaron una energía de activación aparente de 104 kJ/mol con límites de confianza del 95 % sobre la media de 99 y 109 kJ/mol. Mortazavi et al. (2010) reportan una energía de activación de 10 kJ/mol para una reacción diferente, estos valores demuestran la variabilidad en la energía de activación dependiendo de la reacción y las condiciones específicas. Además, el tipo de material de embalaje utilizado, como polipropileno, polietileno y bolsas de papel, también puede influir en la cinética de las reacciones. Jaimez-Ordaz et al. (2019) estudiaron la estabilidad oxidativa de snacks y calculó las energías de activación utilizando la ecuación de Arrhenius, destacando la influencia de los materiales de embalaje en la cinética de reacción y encontraron que la energía de activación para la cinética de la concentración de oxígeno disuelto durante el almacenamiento de alimentos líquidos envasados fue de 37,5 kJ/mol, similar a los valores obtenidos para Oxtran (Ahrné et al., 1997). Esto sugiere que la elección del material de embalaje puede afectar los valores de energía de activación y, en consecuencia, el aumento de la acidez de la harina comestible.

Tabla 12. Ecuación de Arrhenius y Ea para las diferentes órdenes de reacción considerando la acidez de la harina.

Tipos de empaques	Orden de reacción	Ecuación de reacción	Ea (kcal/mol-g)	Coefficiente R ²
POP	Orden cero	$\text{Ln}(K) = - 2,8359 - 2411,1 (1/T)$	4,79	0,6238
	Primer orden	$\text{Ln}(K) = 3,4438 - 3821,4 (1/T)$	7,59	0,6238
POL	Orden cero	$\text{Ln}(K) = 6,9419 - 5481,7 (1/T)$	10,89	0,9647
	Primer orden	$\text{Ln}(K) = 5,013 - 4237,6 (1/T)$	8,41	0,9998
PA	Orden cero	$\text{Ln}(K) = - 4,7981 - 1000,7 (1/T)$	1,99	0,6238
	Primer orden	$\text{Ln}(K) = - 18,070 + 2827,2 (1/T)$	5,62	0,8577

POP: Polipropileno POL: Polietileno PA: Papel

El uso de harina en películas comestibles y materiales de embalaje ha ganado atención en los últimos años (Dick et al., 2015; Silva-Rodrigues et al., 2020; Wang et al., 2022). El desarrollo de compuestos de almidón biodegradables y comestibles con harina de lentejas rica en fibra para envases de alimentos demuestra el potencial de utilizar materiales a base de harina en soluciones de envasado ecológicas (Ochoa-Yepes et al., 2018). Estos estudios enfatizan la importancia de considerar las características de los materiales a base de harina y sus interacciones con los entornos de embalaje.

En general, la determinación de los valores de energía de activación utilizando la ecuación de Arrhenius proporciona información valiosa sobre la cinética de las reacciones que conducen a un aumento de la acidez en la harina comestible, especialmente en el contexto de diferentes materiales de envasado. Comprender la influencia de los materiales de envasado en la cinética de las reacciones es crucial para desarrollar soluciones de envasado de alimentos eficaces y sostenibles.

4.8. Predicción de vida útil de harina de sacha jergón

Para la predicción de la vida útil de harina del rizoma de *D. lorentense* en función a la absorción de humedad e incremento de acidez fueron consideradas las siguientes condiciones:

Orden de reacción: Primer Orden.

Relación de K con temperatura: Arrhenius.

Temperatura almacenamiento: 15, 20, 25 y 30 °C.

Nivel inicial de humedad: 11,11% humedad en base seca.

Nivel máximo de humedad: 15% humedad en base seca.

Nivel inicial de acidez: 0.086% expresado como ácido sulfúrico

Nivel máximo de acidez: 0.15%.

Con los valores estimados de K con la ecuación de Arrhenius a las diferentes temperaturas de almacenamiento y la cinética de primer orden, se realizó la predicción de vida útil de la harina de Sacha Jergón, considerando la ganancia de humedad y la variación de la acidez, estos resultados se muestran en las Tabla 13 y 14. En estos resultados se puede apreciar que los valores de la velocidad de reacción K aumentan conforme aumenta la temperatura y el tiempo de vida útil de la harina disminuye cuando se utilizó bolsas de polipropileno y polietileno. Este comportamiento no es igual cuando se utilizó bolsas de papel, que en general presentó el menor tiempo de vida útil en el almacenamiento.

Tabla 13. Valores predichos de K y tiempo de vida útil de la harina de *D. lorentense* en diferentes empaques y temperaturas, teniendo como factor de calidad la absorción de humedad.

Tipo de empaque	T °C	K	Tiempo de vida estimado	
			Días	Meses
POP	15	0000035	356,22	11,87
	20	0,000041	306,81	10,23
	25	0,000047	265,58	8,85
	40	0,000071	177,09	5,90
	50	0,000091	138,02	4,60
POL	15	0.000033	380.34	12,68
	20	0.000043	292.51	9,75
	25	0.000055	226.95	7,56
	40	0.000112	111.28	3,71
	50	0.000174	71.79	2,39
PA	15	0.000061	204.29	6,81
	20	0.000079	158.93	5,30
	25	0.000100	124.68	4,16
	40	0.000198	63.07	2,10
	50	0.000302	41.48	1,38

POP: Polipropileno

POL: Polietileno

PA: Papel

La vida útil de la harina está influenciada por varios factores, como la absorción de humedad y el tipo de material de embalaje utilizado para el almacenamiento. Forsido et al., (2021) realizó un estudio sobre los efectos de la temperatura de almacenamiento y el material de embalaje en la vida útil de la harina compuesta extruida de alimentos para bebés; el estudio encontró que la vida útil prevista variaba según el material de embalaje y las condiciones de almacenamiento y las muestras envasadas en polietileno tenían una vida útil más larga en comparación con las envasadas en polipropileno. De manera similar, Khatri y Acharya (2021). investigaron los atributos de calidad y la estimación de la vida útil de los productos de panadería incorporados con harina de yuca y encontró que la vida útil proyectada era mayor en el polipropileno y el polipropileno de alta densidad en comparación con otros materiales de embalaje, estos hallazgos resaltan la importancia del material de embalaje para determinar la vida útil de la harina.

Lin et al. (2002) exploraron la capacidad de absorción de humedad de la harina y su impacto en la vida útil. El estudio reveló que el grado de absorción de humedad dependía de varios factores, como la modificación de la matriz, el porcentaje de peso, el tamaño de la malla y el tratamiento superficial de las harinas de madera. Esto indica que la absorción de humedad de la harina es un proceso complejo influenciado por múltiples variables.

Huma et al. (2007) investigaron la influencia de los materiales de embalaje en la calidad de la harina integral fortificada con hierro durante el almacenamiento. El estudio observó cambios en el contenido de humedad de la harina envasada en bolsas de polietileno, lo que indica el papel del embalaje en la regulación de los niveles de humedad durante el almacenamiento.

Agrahar-Murugkar y Jha (2011) estudiaron el impacto de las condiciones de almacenamiento en la calidad de la harina de soja. La investigación destacó la importancia de los materiales de embalaje como el polietileno de baja densidad y el polipropileno para mantener la calidad de la harina de soja durante el almacenamiento.

En general, la vida útil de la harina está estrechamente relacionada con factores como la absorción de humedad y la elección del material de embalaje. Comprender la interacción entre estos factores es crucial para determinar las condiciones óptimas para preservar la calidad de la harina durante el almacenamiento.

Para determinar la vida útil y los valores previstos de la velocidad de reacción (K) de la harina con diferentes envases y temperaturas, con la acidez como factor de calidad, es necesario considerar varios factores. El uso de materiales de embalaje adecuados es crucial ya que afectan la calidad y vida útil de la harina (Forsido et al., 2021). El contenido de humedad de

la harina también es importante para su vida útil, ya que un menor contenido de humedad contribuye a una mejor vida útil (Sidhu et al., 2016). Además, las condiciones de almacenamiento y envasado de la harina de trigo fortificada pueden afectar su carga microbiana, la estabilidad de las vitaminas y la calidad general (Hémery et al., 2020).

Tabla 14. Valores predichos de K y tiempo de vida útil de la harina de *D. loretense* con diferentes empaques y temperaturas, teniendo como factor de calidad la acidez.

Tipo de empaque	T °C	K	Tiempo de vida estimado	
			Días	Meses
POP	15	0,000054	428,56	14,29
	20	0,000068	341,72	11,39
	25	0,000084	274,56	9,15
	40	0,000156	148,51	4,95
	50	0,000228	101,76	3,39
POL	15	0,000061	378,56	12,62
	20	0,000079	294,50	9,82
	25	0,000100	231,04	7,70
	40	0,000198	116,88	3,90
	50	0,000302	76,86	2,56
PA	15	0,000052	446,46	14,88
	20	0,000071	327,33	10,91
	25	0,000096	242,50	8,08
	40	0,000222	104,44	3,48
	50	0,000373	62,21	2,07

POP: Polipropileno POL: Polietileno PA: Papel

En conclusión, para determinar la vida útil y los valores previstos de velocidad de reacción (K) de la harina con diferentes empaques y temperaturas, con la acidez como factor de calidad, es esencial considerar los efectos de los materiales de empaque, el contenido de humedad, las condiciones de almacenamiento y la composición química, composición mineral y características reológicas de la harina.

V. CONCLUSIONES

1. Tanto el empaque como la temperatura de almacenamiento tienen un impacto significativo en la vida útil de la harina de cormos de Sacha Jergón (*D. loretense* Krause).
2. El empaque de polipropileno es más efectivo para preservar la calidad del producto, minimizando la absorción de humedad y el aumento de acidez, comparado con los empaques de polietileno y papel.
3. El almacenamiento a 25 °C prolonga significativamente la estabilidad del producto, mientras que temperaturas más elevadas (40 °C y 50 °C) aceleran el deterioro, disminuyendo la vida útil de la harina.
4. Las tasas de deterioro de la harina de siguen un comportamiento que puede ser modelado por la ecuación de Arrhenius, lo que permite predecir el tiempo de vida útil bajo diversas condiciones de almacenamiento.
5. Estos resultados son fundamentales para la industria alimentaria, ya que proporcionan pautas claras sobre las mejores prácticas de empaque y almacenamiento para productos derivados de plantas nativas, como el Sacha Jergón.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Se recomienda utilizar bolsas de polipropileno como empaque para el almacenamiento de la harina de cormos de Sacha Jergón, ya que proporcionan una mejor protección contra la humedad y el deterioro de las características fisicoquímicas.
2. Es importante controlar la temperatura ambiente de almacenamiento y evitar exposiciones prolongadas a temperaturas elevadas, ya que se puede acelerar la degradación de la harina. Se sugiere mantenerla en condiciones frescas y secas para garantizar una mayor vida útil.
3. Realizar estudios adicionales para evaluar otros factores que puedan influir en la vida útil de la harina de cormos de Sacha Jergón, como el uso de empaques biodegradables, la luz y la presencia de oxígeno. Estas variables pueden tener un impacto significativo en la estabilidad y calidad del producto final.
4. Dado el valor nutricional de la harina de cormos de Sacha Jergón, se recomienda promover su consumo y explorar posibles aplicaciones en la industria alimentaria para aprovechar al máximo sus propiedades y beneficios para la salud.

VII. REFERENCIAS

- Abugoch. L., Romero, N., Tapia, C., Silva, J., Rivera, M. (2008). Study of Some Physicochemical and Functional Properties of Quinoa (*Chenopodium Quinoa* Willd) Protein Isolates. *ACS publications*. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf703689u>
- Addo, A., Bart-Plange, A., Dzisi, K. A. (2006). Water Absorption Characteristics of Obatanpa and Mamaba Maize Hybrids (*Zea mays*). *International Journal of Food Engineering*. <https://doi.org/10.2202/1556-3758.1067>
- Agarry, SE., Afolabi, TJ, Akintunde, TTY. (2014). Modelling the Water Absorption Characteristics of Different Maize (*Zea mays* L.) Types During Soaking. *Journal of Food Processing & Technology*. <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000326>
- Agrahar-murugkar, D., Jha, K. (2011). Influence of Storage and Packaging Conditions on the Quality of Soy Flour From Sprouted Soybean. *Journal of Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0242-2>
- Ahmed, MD. W., Aziz, M. G., Islam, N. (2018). Modeling of Moisture Adsorption Isotherm of Selected Commercial Flours of Bangladesh. *The Agriculturists*. <https://doi.org/10.3329/agric.v16i02.40341>
- Ahrné, L., Oliveira, F. P. D., Manso, M. C., Drumond, M. C., Öste, R., Gekas, V. (1997). Modelling of dissolved oxygen concentration during storage of packaged liquid foods. *Journal of Food Engineering*. [https://doi.org/10.1016/s0260-8774\(97\)00082-4](https://doi.org/10.1016/s0260-8774(97)00082-4)
- Akonor, P. T., Tutu, C. O., Affrifah, N. S., Budu, A. S., Saalia, F. K. (2023). Kinetics of B-Carotene Breakdown and Moisture Sorption Behavior of Yellow Cassava Flour During Storage. *Journal of Food Processing and Preservation*. <https://doi.org/10.1155/2023/2155029>
- Alamri, M. S., Mohamed, A. A., Hussain, S., Ibraheem, M. A., Qasem, A. A.A. (2018). Determination of Moisture Sorption Isotherm of Crosslinked Millet Flour and Oxirane Using GAB and BET. *Journal of Chemistry*. <https://doi.org/10.1155/2018/2369762>
- Alencar, E. R. D., Faroni, L. R. D., Martins, M. A., Costa, A. R. D., Cecon, P. R. (2011). Decomposition Kinetics of Gaseous Ozone in Peanuts. *Engenharia Agrícola*. <https://doi.org/10.1590/s0100-69162011000500011>
- Alves, N. R., Silva, T. A. A., Santos, S. B. D., Galle, N. B. C., Silva, I. D. F., Maria I. P. DA SILVA. (2021). Drying Kinetics and Thermodynamic Properties of 'Baru' Almond Flours. *Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental*. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n1p30-36>

- Andrade, R. M., Ferreira, M. S. L., Gonçalves, E.C.V.A. (2016). Development and Characterization of Edible Films Based on Fruit and Vegetable Residues. *Journal of Food Science*. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13192>
- Anoraga, S. B., Bayu, C. S., Pramellini, L. G., Hida, F. N., Rahmatika, A. M., Ruspitasari, A. (2022). *Comparison of material handling and process preparation methods for cocoa pod husk powder*. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-086-2_61
- AOAC (Official methods of analysis of the association of Official analytical chemist). (1990). Editado por Sidney Williams. Arlington. Virginia. EEUU. 1-31p.
- AOAC (Official methods of Analysis of AOAC Association of official analytical Chemists). (1997). International; agricultural Chemicals, Foods, Contaminants and Drugs. V1 y V2 Arlington: A.O.A.C. Inc 2658.
- AOAC (Association of official analytical chemist). (2000). Arlington, Virginia, USA.
- Araújo, A. L. D., Pena, R. D. S. (2020). Effect of particle size and temperature on the hygroscopic behaviour of cassava flour from dry group and storage time estimation. *Cyta - Journal of Food*. <https://doi.org/10.1080/19476337.2020.1717635>
- Arroyo, O. H., Jalbert, J., Fofana, I. (2016). Temperature dependence of methanol and the tensile strength of insulation paper: kinetics of the changes of mechanical properties during ageing. *Cellulose*. <https://doi.org/10.1007/s10570-016-1123-7>
- Awoyale, W., Alamu, E. O., Ironi, E. A., Maziya-Dixon, B., Menkir, A. (2018). Impact of packaging material and storage condition on retention of provitamin a carotenoids and xanthophylls in yellow-seeded maize flour. *Functional Foods in Health and Disease*. <https://doi.org/10.31989/ffhd.v8i10.535>
- Barbosa, EF; Silva, LP. (2013). Polypropylene: Synthesis, applications, and environmental concerns. Nova Science Publishers, Inc. Recursos Laboratorio de Espectrometría de Masas - NTBIO Embrapa - Recursos Genéticos y, Corporación Brasileña de Investigación Agrícola Brasilia, Brasil. http://www.novapublishers.org/catalog/product_info.php?products_id=37905.
- Brett, B., Figueroa, M. A. L., Sandoval, A. J., Barreiro, J., Müller, A. J.. (2009a). Moisture sorption characteristics of starchy products: Oat flour and rice flour. *Food Biophysics*. <https://doi.org/10.1007/s11483-009-9112-0>
- Cahyanti, M. N., Pattiserlihan, A. (2018). Sorption Isotherm Modeling of “Gaplek” Flour Fortified by Protein From Red Bead Tree Flour. *Journal of Science & Science Education*. <https://doi.org/10.24246/josse.v2i1p1-6>
- Camiletti, O. F., Riveros, C. G., Aguirre, A., Grosso, N. (2020). Sunflower Oil Preservation by

- Using Chickpea Flour Film as Bio-packaging Material. *Journal of Food Science*. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15559>
- Cemeroğlu, B., Velioğlu, S., Işık, S. A. (1994). Degradation Kinetics of Anthocyanins in Sour Cherry Juice and Concentrate. *Journal of Food Science*. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1994.tb14680.x>
- Chandra, S., Singh, S., Kumar, D. (2014). Evaluation of Functional Properties of Composite Flours and Sensorial Attributes of Composite Flour Biscuits. *Journal of Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1427-2>
- Cha, J. Y., Suparno, M., Dolan, K. D., Ng, P. K. W. (2003). Modeling Thermal and Mechanical Effects on Retention of Thiamin in Extruded Foods. *Journal of Food Science*. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb07050.x>
- Collantes, IE; Gonçalves, E; Yoshida, M. (2011). Constituyentes químicos del túbero de *Dracontium spruceanum* (Schott) G. Zhu ex *Dracontium lorentense* Krause (Araceae). *Revista de la sociedad química del Perú*, 77(2), 117- 126.
- Dansby, M., Bovell-Benjamin, A. C. (2003). Production and Proximate Composition of a Hydroponic Sweet Potato Flour During Extended Storage. *Journal of Food Processing and Preservation*. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2003.tb00508.x>
- Daza, JF. (2006). Estadística aplicada con Microsoft Excel. Ed. Megabyte S.A.C. Lima, Perú. p.p. 485 – 516.
- Deepa, C., Hebbar, H. U. (2017). Effect of Micronization of Maize Grains on Shelf-Life of Flour. *Journal of Food Processing and Preservation*. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13195>
- Demir, B., Bilgiçli, N. (2020). Changes in Chemical and Anti-Nutritional Properties of Pasta Enriched With Raw and Germinated Quinoa (*Chenopodium Quinoa* Willd.) Flours. *Journal of Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04420-7>
- Demiray, E., Tülek, Y. (2011). Thin-Layer Drying of Tomato (*Lycopersicum Esculentum* Mill. Cv. Rio Grande) Slices in a Convective Hot Air Dryer. *Heat and Mass Transfer*. <https://doi.org/10.1007/s00231-011-0942-1>
- Dhingra, S., Jood, S. (2004). Effect of Flour Blending on Functional, Baking and Organoleptic Characteristics of Bread. *International Journal of Food Science & Technology*. <https://doi.org/10.1046/j.0950-5423.2003.00766.x>
- Dick, M., Pagno, C. H., Costa, T. M. H., Goma, A., Subirade, M., Rios, A. D. O., Flores, S. H. (2015). Edible Films Based on Chia Flour: Development and Characterization. *Journal of Applied Polymer Science*. <https://doi.org/10.1002/app.42455>

- Ding, H.-Z., Wang, Z. D. (2007). Time–temperature Superposition Method for Predicting the Permanence of Paper by Extrapolating Accelerated Ageing Data to Ambient Conditions. *Cellulose*. <https://doi.org/10.1007/s10570-007-9114-3>
- Duka, F. S. (2023). Effect of Packaging Type on the Quality of Premix White Bread Based on Modified Rice Flour. *Iop Conference Series Earth and Environmental Science*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1200/1/012041>
- Ekpa, O., Fogliano, V., Linnemann, A. R. (2021). Carotenoid Stability and Aroma Retention During the Post-harvest Storage of Biofortified Maize. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11039>
- Faisal, M., Sato, N., Quitain, A. T., Daimon, H., Fujie, K. (2007). Reaction Kinetics and Pathway of Hydrothermal Decomposition of Aspartic Acid. *International Journal of Chemical Kinetics*. <https://doi.org/10.1002/kin.20229>
- Fan, X., Felker, P., Sokoral, K. (2015). Decontamination of Mesquite Pod Flour Naturally Contaminated With *Bacillus Cereus* and Formation of Furan by Ionizing Irradiation. *Journal of Food Protection*. <https://doi.org/10.4315/0362-028x.jfp-14-572>
- Flores, R. , Orellana, H. (2017). Actividad antioxidante del extracto etanólico de partes aéreas de *loricaria ferruginea* (ruiz & pav.) wedd. *Revista Peruana De Medicina Integrativa*, 1(4), 31-37. <https://doi.org/10.26722/rpmi.2016.14.33>
- Forsido, S. F., Welelaw, E., Belachew, T., Hensel, O (2021). Effects of Storage Temperature and Packaging Material on Physico-Chemical, Microbial and Sensory Properties and Shelf Life of Extruded Composite Baby Food Flour. *Heliyon*. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06821>
- Gasaly, N., Riveros, K., Gotteland, M. (2020). Fitoquímicos: una nueva clase de prebióticos. *Revista Chilena De Nutrición*, 47(2), 317-327. <https://doi.org/10.4067/s0717-75182020000200317>
- Goula, A. M., Karapantsios, T. D., Achilias, D. S., Adamopoulos, K. G. (2008). Water Sorption Isotherms and Glass Transition Temperature of Spray Dried Tomato Pulp. *Journal of Food Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.07.015>
- Hayashi, M. (2016). Progress of chiral schiff bases with c1 symmetry in metal-catalyzed asymmetric reactions. *The Chemical Record*, 16(6), 2712-2739. <https://doi.org/10.1002/tcr.201600091>
- Hémery, Y., Fontan, L., Laillou, A., Jallier, V., Moench-Pfanner, R., AvallonE, S., & Berger, J. (2020). Influence of Storage Conditions and Packaging of Fortified Wheat

- Flour on Microbial Load and Stability of Folate and Vitamin B12. *Food Chemistry X*. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2019.100076>
- Hrušková, M., Machova, D. (2002). Changes of Wheat Flour Properties During Short Term Storage. *Czech Journal of Food Sciences*. <https://doi.org/10.17221/3522-cjfs>
- Huang, S., Sinha, J., Podgórski, M., Zhang, X., Claudino, M., Bowman, C. N. (2018). Mechanistic Modeling of the Thiol–Michael Addition Polymerization Kinetics: Structural Effects of the Thiol and Vinyl Monomers. *Macromolecules*. <https://doi.org/10.1021/acs.macromol.8b01264>
- Huma, N., Rehman, S., Awan, J. A., Murtaza, M., Arshad, M. (2007). Effect of Packaging Materials on the Quality of Iron-Fortified Wholemeal Flour During Storage. *Journal of Food Processing and Preservation*. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2007.00158.x>
- Hu, M. (2016). Oxidative Stability and Shelf Life of Low-Moisture Foods. Oxidative Stability and Shelf Life of Foods Containing Oils and Fats, 313–371. doi:10.1016/b978-1-63067-056-6.00009-4
- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informatica). 2017, 2020. Población Indígena u originaria de la amazonía. Capítulo 3.2: XII de Población, VII de vivienda, III de comunidades indígenas (III censo de comunidades nativas y I censo de comunidades campesinas). Pag (2) 46, Lima Perú.
- Jafari, SM; Ganje, M; Dehnad, D; Ghanbari, V; Ajitabar, J. (2017). Arrhenius equation modeling for the shelf life prediction of tomato paste containing a natural preservative. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(15), 5216–5222. doi:10.1002/jsfa.8404
- Knight, DJ; Creighton, LA. (2004). *Regulation of Food Packaging in Europe and the U.S.* Rapra Technology Ltd.
- Khasanov, A., Matveeva, N. (2020). Determination of the shelf life of a functional beverage by accelerated testing. Universidad Nacional de Investigación de Tecnologías de la Información, Mecánica y Óptica de San Petersburgo, Lomonosov St., 9, San Petersburgo, 191002, Rusia E3S Web of Conferences **164**, 01003-2020
- Ishara, J., Sila, D. N., Kenji, G. M., Buzera, A. (2018). Nutritional and Functional Properties of Mushroom (*Agaricus Bisporus* & *Pleurotus Ostreatus*) and Their Blends With Maize Flour. *American Journal of Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.12691/ajfst-6-1-6>
- Jaimez-Ordaz, J., Pérez-Flores, J. G., Castañeda-Ovando, A., González-Olivares, L. G., Añorve-Morga, J. (2019). Kinetic Parameters of Lipid Oxidation in Third Generation

- (3G) Snacks and Its Influence on Shelf-Life. *Food Science and Technology*.
<https://doi.org/10.1590/fst.38917>
- Kalu, C. E., Alaka, I. C., Ekwu, F. C. (2019). Nutritional Composition of Flour Blends From Water Yam, Yellow Maize and African Yam Bean. *European Journal of Nutrition & Food Safety*. <https://doi.org/10.9734/ejnfs/2019/v10i230104>
- Kc, Y., Rajbanshi, R., Bhattarai, P., Dhungana, P., Subba, D. (2020). Process Optimization of Finger Millet Incorporated Extrudates. *Himalayan Journal of Science and Technology*.
<https://doi.org/10.3126/hijost.v4i0.33870>
- Khatri, S. B., Acharya, D. R. (2021). Quality Attributes and Shelf-Life Estimation of Cassava Flour Incorporated Bakery Product (Biscuit). *Himalayan Journal of Science and Technology*. <https://doi.org/10.3126/hijost.v5i01.42133>
- Komolafe, C. A., Oluwaleye, I. O., Adejumo, A. O. D., Waheed, M. A., Kuye, S. I. (2018). Determination of Moisture Diffusivity and Activation Energy in the Convective Drying of Fish. *International Journal of Heat and Technology*.
<https://doi.org/10.18280/ijht.360414>
- Koua, B. K., Koffi, P. M. E., Gbaha, P., Touré, S. (2012). Thermodynamic Analysis of Sorption Isotherms of Cassava (*Manihot esculenta*). *Journal of Food Science and Technology*.
<https://doi.org/10.1007/s13197-012-0687-y>
- Kweon, M., Slade, L., Levine, H. (2011). Solvent Retention Capacity (SRC) Testing of Wheat Flour: Principles and Value in Predicting Flour Functionality in Different Wheat-Based Food Processes and in Wheat Breeding—A Review. *Cereal Chemistry*.
<https://doi.org/10.1094/cchem-07-11-0092>
- Labuza, TP; Fu, B; Theodore, P. (1993). *Predicción de la vida útil: teoría y aplicación*. *Food Control*, 4 (3), 125-133. doi: 10.1016 / 0956-7135 (93) 90298-3
- Lai, K.-M., Dolan, K. D., Ng P. K. W. (2009). Inverse Method to Estimate Kinetic Degradation Parameters of Grape Anthocyanins in Wheat Flour Under Simultaneously Changing Temperature and Moisture. *Journal of Food Science*. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01171.x>
- Lin, Q., Zhou, X., & Dai, G. (2002). Effect of Hydrothermal Environment on Moisture Absorption and Mechanical Properties of Wood Flour-filled Polypropylene Composites. (2002). *Journal of Applied Polymer Science*. 85(14) <https://doi.org/10.1002/app.10844>
- López, B. (2008). Diseño y análisis de experimentos, fundamentos y aplicaciones en agronomía. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 176 p.
- Lovera, A; Bonilla, C; Hidalgo, J. (2006). Efecto neutralizador del extracto acuoso de *Dracontium*

loretense (jergón sachá) sobre la actividad letal del veneno de *Bothrops atrox*. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 23(3), 177-181.

- Malki, S., Wijesinghe, A., Ratnayake, K., Thilakarathna, G. C. (2023). Comparison of changes in different characteristics of arrowroot (*Maranta arundinacea*) flour stored under ambient (27 °C) and refrigerated (4 °C) conditions. *Ijnfs*. <https://doi.org/10.54117/ijnfs.v2i1.25>
- Mardiyani, S. A., Sumarlan, S. H., Argo, B. D., Leksono, A. S. (2021). Determination of Moisture Diffusivity and Activation Energy on Fixed Bed Drying of Red Pepper (*Capsicum annum*) on convective solar drying. *Advances in Food Science Sustainable Agriculture and Agroindustrial Engineering*. <https://doi.org/10.21776/ub.afssae.2021.004.02.4>
- Mortazavi, S., Asgari, G., Hashemian, S. J., Moussavi, G. (2010). Degradation of Humic Acids Through Heterogeneous Catalytic Ozonation With Bone Charcoal. *Reaction Kinetics Mechanisms and Catalysis*. <https://doi.org/10.1007/s11144-010-0192-0>
- Mostafa, B., Habibi-Khorassani, S. M., Shahraki, M. (2016). An Experimental Investigation of Substituent Effects on the Formation of 2,3-Dihydroquinazolin-4(1H)- Ones: A Kinetic Study. *Journal of Physical Organic Chemistry*. <https://doi.org/10.1002/poc.3616>
- Motagamwala, A. H., Dumesic, J. A. (2020). Microkinetic Modeling: A Tool for Rational Catalyst Design. *Chemical Reviews*. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.0c00394>
- Negahdar, L., Zeng, F., Palkovits, S., Broicher, C., Palkovits, R. (2019). Mechanistic Aspects of the Electrocatalytic Oxygen Evolution Reaction Over Ni-Co Oxides. *Chemelectrochem*. <https://doi.org/10.1002/celec.201901265>
- NTP (Norma Técnica Peruana). (2016). Código NTP 205.040: 2016, reemplaza a NTP 205.040, 205.045, 205.044, 205.043 con ICS – Clasificación Internacional de Normas Técnicas 67.060 - Cereales, leguminosas y productos derivados, descriptores Harina, sucedánea, trigo, R.D. N° 016- 2016-INACAL/DN. Publicada el 2016-07-23. Pag 19.
- OPS/PER/19-001. (2018). Situación de las plantas medicinales en Perú. Grupotécnico de expertos en plantas medicinales OPS/OMS Lima- Perú. On line: <https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/50479/OPSPER19001 spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ochoa-Yepes, O., Medinaa-Jaramillo, C., Guz, L., Famá, L. (2018). Biodegradable and Edible Starch Composites With Fiber-Rich Lentil Flour to Use as Food Packaging. *Starch - Stärke*. <https://doi.org/10.1002/star.201700222>

- Oliveira, L. D. C., Barros, J. H. T., Rosell, C. M., Steel, C. J. (2017). Physical and Thermal Properties and X-Ray Diffraction of Corn Flour Systems as Affected by Whole Grain Wheat Flour and Extrusion Conditions. *Starch - Stärke*. <https://doi.org/10.1002/star.201600299>
- Opara, U. L., Caleb, O. J., Uchekwukwu-Agua, A. D. (2015). Evaluating the Impacts of Selected Packaging Materials on the Quality Attributes of Cassava Flour (Cvs. TME 419 and UMUCASS 36). *Journal of Food Science*. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13199>
- Paes, J. L., Faroni, L. R. D., Martins, M. A., Cecon, P. R., Heleno, F. F. (2017a). Reaction Kinetics of Ozone Gas in Wheat Flour. *Engenharia Agrícola*. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v37n3p520-528/2017>
- Pérez-Quirce, S., Ronda, F., Melendre, C., Lazaridou, A., Biliaderis, C. G. (2016). Inactivation of Endogenous Rice Flour B-Glucanase by Microwave Radiation and Impact on Physico-Chemical Properties of the Treated Flour. *Food and Bioprocess Technology*. <https://doi.org/10.1007/s11947-016-1741-y>
- Prabakaran, M., Lee, K.J., An, Y., Kwon, C. H., Kim, S., Yaug, Y., Ahmad, A., Kim, S. H., Chung, I. (2018). Changes in Soybean (*Glycine Max L.*) Flour Fatty- Acid Content Based on Storage Temperature and Duration. *Molecules*. <https://doi.org/10.3390/molecules23102713>
- Remon, H; Alarcon, A; Almeida, M; Viera, Y; Ramos, M; Bazan, Y. (2012). “Tamizaje fitoquímico y actividad antibacteriana de los extractos secos de tinturas al 20 % de *Mammea americana L*” *Revista Cubana de Plantas Medicinales*. versión On-line ISSN 1028-4796 *Rev Cubana Plant Med* 17(4) Ciudad de la Habana oct.-dic. 2012 <http://scielo.sld.cu/pdf/pla/v17n4/pla02412.pdf>
- Salazar-Díaz, J., Guerrero-Marina, J., Rodríguez-Espejo, Y. (2021). Actividad antioxidante de *aspidosperma excelsum benth*, *dracontium lorentense krause* y *pothemorphe peltata* (l) miq.. *Revista Agrotecnológica Amazónica*, 1(2), 27-39. <https://doi.org/10.51252/raa.v1i2.190>
- Saravia-Otten, P., Hernández, R., Marroquín, N., García, G., Mérida, M., Cruz, S., Gutiérrez, J. (2017). Inhibición de los efectos coagulante, fosfolipasa a2 y proteolítico del veneno de *bothrops asper* por plantas usadas tradicionalmente en centroamérica. *Ciencia Tecnología Y Salud*, 4(2), 203-216. <https://doi.org/10.36829/63cts.v4i2.355>
- Setyawan, N., Clarissa, Purwani, E. Y., Budiyanoto, A. (2022). Moisture Sorption Isotherm Characteristic of Composite Flour (Cassava, Rice, Sorghum, and Sago) at Various Fitting

- Models. *Iop Conference Series Earth and Environmental Science*.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1024/1/012053>
- Sha, C; Wenjiang, D; Jianping, Z; Rongsuo, H; Yuzhou, L; Xiaoxing, C. (2020). Characterization of the Lipid Oxidation Process of Robusta Green Coffee Beans and Shelf Life Prediction during Accelerated Storage. 16(1) *Molecules* 2020, 25, 1157; doi:10.3390/molecules25051157.
- Shahraki, M., Habibi-Khorassani, S. M., Dehdab, M. (2015). Effect of Different Substituents on the One-Pot Formation of 3,4,5-Substituted Furan-2(5h)-Ones: A Kinetics and Mechanism Study. *RSC Advances*. <https://doi.org/10.1039/c5ra09717g>
- Sidhu, G. K., Singh, A., Sing, M. (2016). Effect of Milling Speed on the Quality and Storage Stability of Maize Flour. *Journal of Applied and Natural Science*. <https://doi.org/10.31018/jans.v8i2.914>
- Silva-Rodrigues, H. C., Silveira, M. P., Helm, C. V., Luíz Mário de Matos Jorge, Jorge, R. M. M. (2020). Gluten Free Edible Film Based on Rice Flour Reinforced by Guabiroba (*Campomanesia xanthocarpa*) Pulp. *Journal of Applied Polymer Science*. <https://doi.org/10.1002/app.49254>
- Smith, S. G., Goodman, J. M. (2009). Assigning the Stereochemistry of Pairs of Diastereoisomers Using GIAO NMR Shift Calculation. *The Journal of Organic Chemistry*, 74(12), 4597-4607. <https://doi.org/10.1021/jo900408d>
- Sopade, P. A., Obekpa, J. A. (1990). Modelling Water Absorption in Soybean, Cowpea and Peanuts at Three Temperatures Using Peleg's Equation. *Journal of Food Science*. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1990.tb01604.x>
- Tang, P., Shu, Y., Wen, Z., Song, Y., Liu, S., Wan, T., Luo, Z. (2022). High-Resolution Determination of Kinetic Parameters of Sucrose Hydrolysis Based on Weak Measurement. *Ieee Photonics Journal*. <https://doi.org/10.1109/jphot.2022.3142072>
- Tapullima, S. (2019). Efecto hipoglicemiante de la harina del túbero de *Dracontium spruceanum* (Jergón sacha) en *Rattus norvegicus* var. *Albinus* con Diabetes inducida. <http://repositorio.uladech.edu.pe/handle/123456789/11074>
- Tarrés, Q; Pellicer, N; Balea, A; Merayo, N; Negro, C; Blanco, A; Mutjé, P. (2017). Lignocellulosic micro/nanofibers from wood sawdust applied to recycled fibers for the production of paper bags. *International Journal of Biological Macromolecules*, 105, 664–670. doi:10.1016/j.ijbiomac.2017.07.092
- Tas, O., Ertugrul, U., Grunin, L. (2022). An Investigation of Functional Quality Characteristics and Water Interactions of Navy Bean, Chickpea, Pea, and Lentil Flours. *Legume Science*.

<https://doi.org/10.1002/leg3.136>

- Tunde-Akintunde, T. Y. (2010). Water Absorption Characteristics of Nigerian Acha (*Digitaria Exilis*). *International Journal of Food Engineering*. <https://doi.org/10.2202/1556-3758.1650>
- Uchechukwu-Agua, A. D., Caleb, O. J., Opara, U. L. (2015). Postharvest Handling and Storage of Fresh Cassava Root and Products: A Review. *Food and Bioprocess Technology*. <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1478-z>
- Vega-Gálvez, A., Lemus-Mondaca, R., Tello-Ireland, C., Miranda, M., Yagnam, F. (2009). Kinetic Study of Convective Drying of Blueberry Variety O'neil (*Vaccinium Corymbosum* L.). *Chilean Journal of Agricultural Research*. <https://doi.org/10.4067/s0718-58392009000200006>
- Vera-Palacios, A. L., Sacoto-Torres, J. D., Hernández-Altamirano, J. A., Moreno, A., Peñuela-Mora, M. C., Salazar-Valenzuela, D., Mogollón, N. G. S., Almeida, J. R. (2022). A First Look at the Inhibitory Potential of *Urospatha sagittifolia* (Araceae) Ethanolic Extract for *Bothrops atrox* Snakebite Envenomation. *Toxins*, 14(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/toxins14070496>
- Wang, J., Sun, X., Xu, X., SUN, Q., Li, M., Wang, Y., Xie, F. (2022). Wheat Flour-Based Edible Films: Effect of Gluten on the Rheological Properties, Structure, and Film Characteristics. *International Journal of Molecular Sciences*. <https://doi.org/10.3390/ijms231911668>
- Yadav, S. K., Ghosh, U. K., Ray, A. K. (2017). Kinetic Studies on *Pisum Sativum* Waste (Pea Pod) Hydrolysis to Furfural. *Bioresources*. <https://doi.org/10.15376/biores.12.2.2326-2338>
- Yumbato, PY; Alomía, L. (2018). Efectos de la harina del Jergón sachá (*Dracontium loretense Krause*) sobre los niveles de glucosa en ratas *Sprague dawley* inducidas a diabetes mellitus tipo II por Streptozotocina [Tesis Nutrición Humana, Universidad Peruana Unión], <https://repositorio.upeu.edu.pe/server/api/core/bitstreams/429059b7-0a1b-417c-8708-be7c60d2ba61/content>
- Yu, W., Liu, X., Su, H., Zhang, Y. (2017). Drying Kinetics of Paper Mill Sludge. *Energy and Power Engineering*. <https://doi.org/10.4236/epe.2017.94b017>

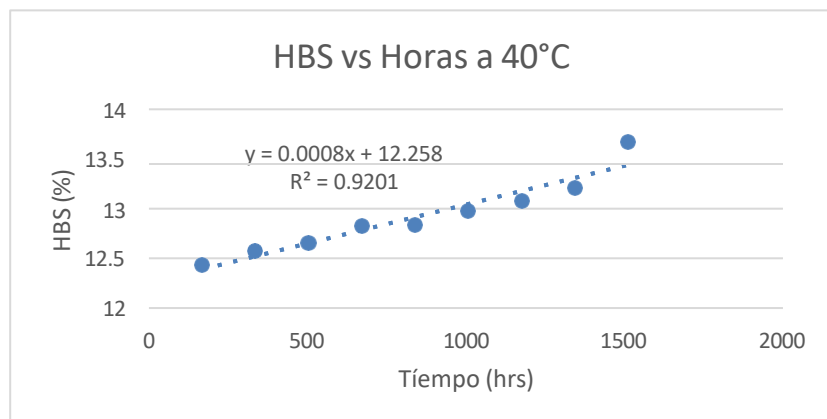
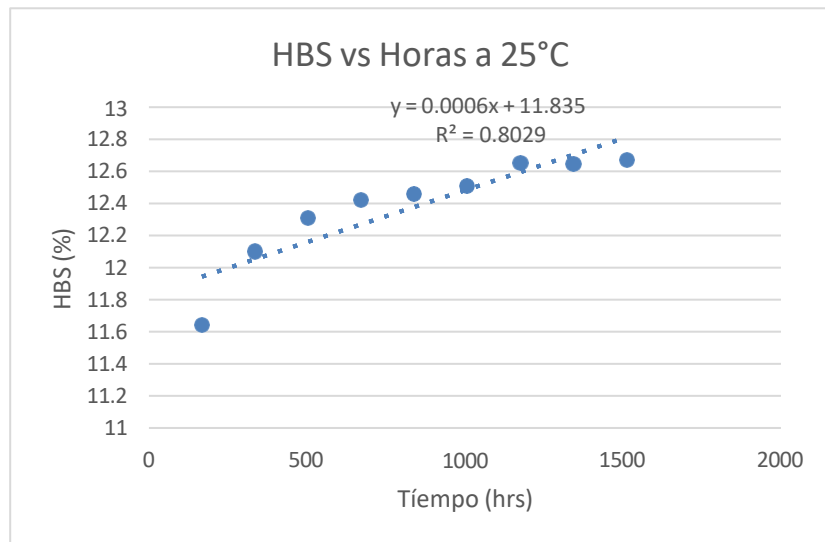
ANEXOS

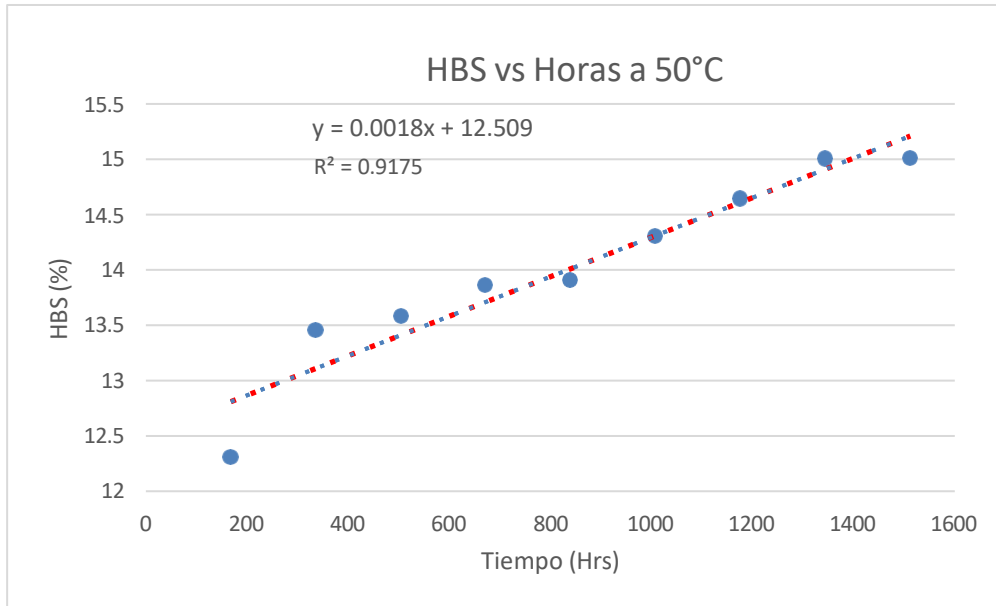
ANEXO 1: Compuestos químicos utilizados para preparar las soluciones saturadas.

Soluciones		Temperatura		
N°	Saturadas	Fórmula	(°C)	%HR
1	Cloruro de Magnesio	MgCl ₂	25	32,8 ± 0,2
2	Yoduro de sodio	NaI	25	38,17 ± 0,5
3	Bromuro de sodio	NaBr	25	57,6 ± 0,4
4	Yoduro de potasio	KI	25	68,9 ± 0,3
5	Cloruro de sodio	NaCl	25	75,3 ± 0,2
6	Cloruro de potasio	CH ₃ COOK	25	84,2 ± 0,3

ANEXO 2: Data para la determinación de los parámetros cinéticos velocidad de reacción (K), y orden de la reacción (n) de ganancia de humedad, orden cero, empaque POP.

T (h)	HBS (%)		HBS (%)
	25°C	40°C	50°C
168	11.64	12.43	12.31
336	12.10	12.57	13.46
504	12.31	12.65	13.58
672	12.42	12.82	13.86
840	12.46	12.83	13.91
1008	12.51	12.97	14.31
1176	12.65	13.08	14.64
1344	12.64	13.21	15.00
<u>1512</u>	<u>12.67</u>	<u>13.67</u>	<u>15.01</u>

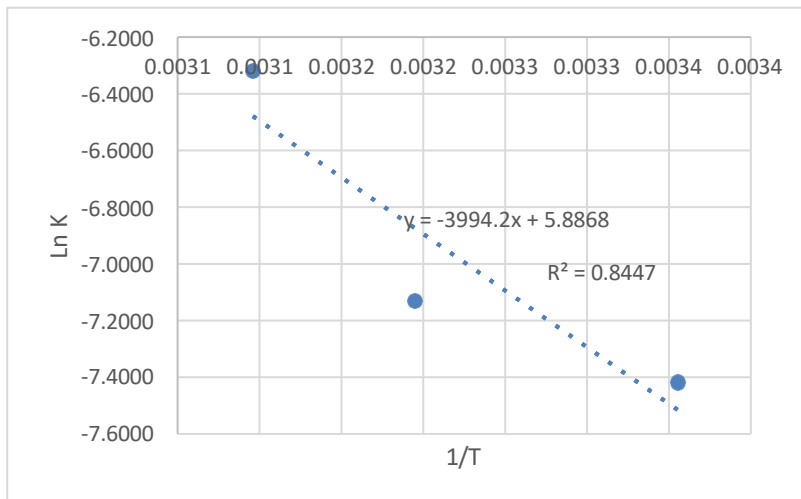




ANEXO 3. Data para Arrhenius orden cero, Empaque POP.

1/T	T (°C)	R ²	K	Ln K
0.0034	25	0.8029	0.0006	-7.4186
0.0032	40	0.9201	0.0008	-7.1309
0.0031	50	0.9175	0.0018	-6.3200

Utilizando los datos superiores obtenemos la gráfica 1/T vs Ln K, de la cual obtenemos la ecuación de Arrhenius: $y = -3994.2x + 5.8868$



de temperatura de almacenamiento 15, 20, 25 y 30 °C

Ecuación de Arrhenius: $LN K = LN K_o - E_a / RT$

	VALOR	UNIDAD
Pendiente de la recta	-3994.2	K ⁽⁻¹⁾
R (constante general de los gases)	1.9869	calorías/mol°K

Despejando el valor de la Energía de Activación (Ea)

$$E_a = 7936.1 \text{ calorías/mol}$$

$$7.94 \text{ Kcal/mol}$$

Calculando el valor de K a 15, 20, 25 °C

1/T	T	K	LnK
0.0035	10	0.00027	-8.2270
0.0035	15	0.00034	-7.9820
0.0034	20	0.00043	-7.7453
0.0034	25	0.00054	-7.5166
0.0032	40	0.00103	-6.8742
0.0031	50	0.00154	-6.4791

ANEXO 4. Estimación de vida útil de la harina a diferentes temperaturas orden cero, Empaque POP.

Aplicando la ecuación de orden cero:
es:

$$A = A_0 + K \cdot t_s \text{ Donde el tiempo de vida útil } t_s = (A - A_0) / K$$

Datos:

A_0

=

1

1

.

1

1

%

A

=

1

5

%

K_n = valores a diferentes temperaturas

t_s = tiempo de vida útil

T (°C)	K	t (horas)	t (días)	T(Meses)
10	0.00027	14550.64	606.28	20.21
15	0.00034	11388.50	474.52	15.82
20	0.00043	8988.41	374.52	12.48
25	0.00054	7150.70	297.95	9.93
40	0.00103	3761.72	156.74	5.22
50	0.00154	2534.00	105.58	3.52

Según los cálculos el tiempo de vida útil para una temperatura de 25°C sería:

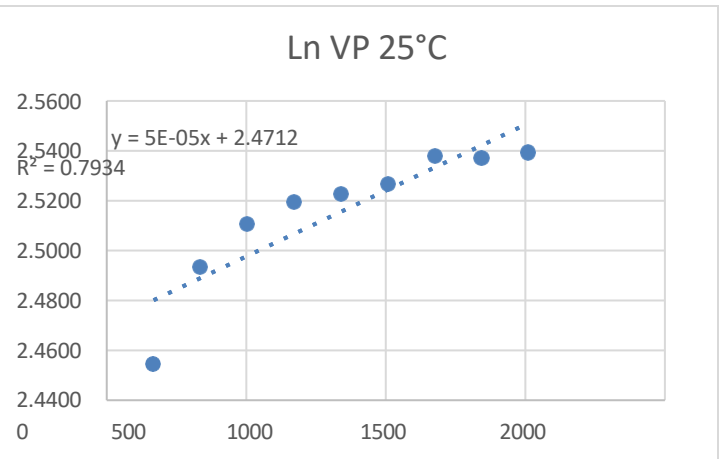
9.93 Meses

ANEXO 5: Data para la determinación de los parámetros cinéticos velocidad de reacción (K), y orden de la reacción (n) de ganancia de humedad, orden uno, empaque POP.

Tiempo (h)	Valor de humedad HBS (%)		
	25°C	40°C	50°C
168	11.64	12.43	12.31
336	12.10	12.57	13.46
504	12.31	12.65	13.58
672	12.42	12.82	13.86
840	12.46	12.83	13.91
1008	12.51	12.97	14.31
1176	12.65	13.08	14.64
1344	12.64	13.21	15.00
1512	12.67	13.67	15.01

Teniendo en cuenta los datos de Valor de humedad en base seca (%), calculamos los Ln de dichos valores para continuar con los cálculos de una ecuación de orden $n=1$, obtenemos las gráficas respectivas relacionando tiempo vs LnVP para las temperaturas 25, 40, 50 °C.

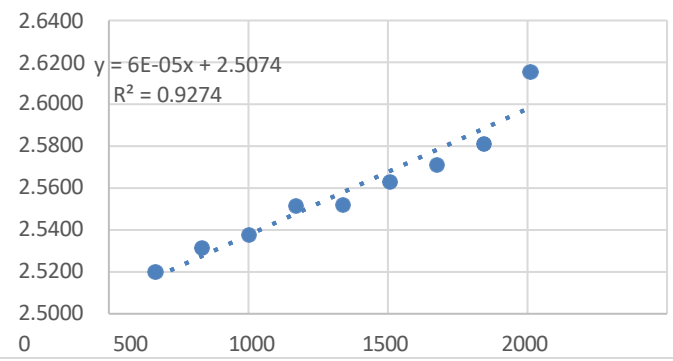
Tiempo (h)	HBS (%)	Ln VP
	25°C	
168	11.64	2.4544
336	12.10	2.4932
504	12.31	2.5104
672	12.42	2.5193
840	12.46	2.5225
1008	12.51	2.5265
1176	12.65	2.5377
1344	12.64	2.5370
1512	12.67	2.5392

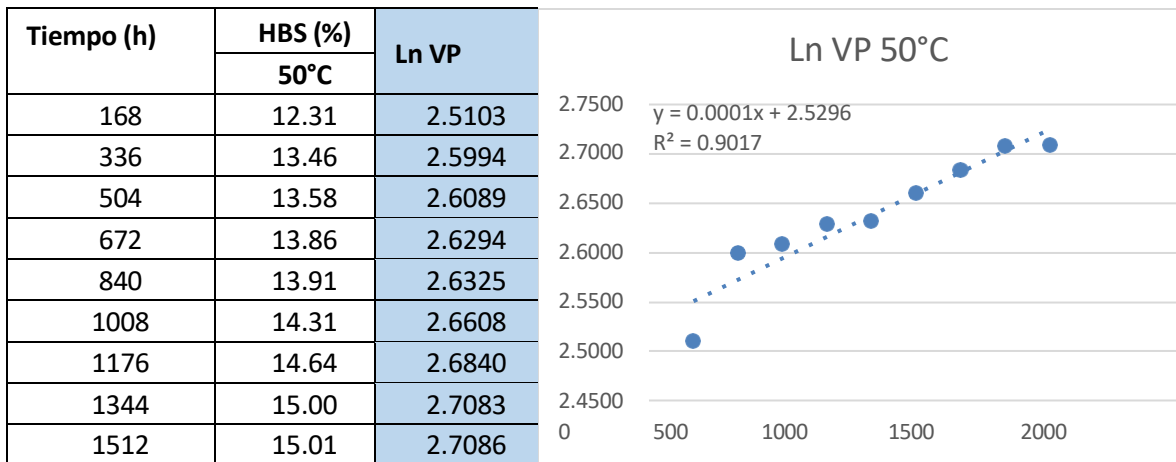


Tiempo (h)	HBS (%)	Ln VP
	40°C	
168	12.43	2.5201
336	12.57	2.5313
504	12.65	2.5377

Ln VP 40°C

672	12.82	2.5513
840	12.83	2.5520
1008	12.97	2.5629
1176	13.08	2.5710
1344	13.21	2.5810
1512	13.67	2.6152

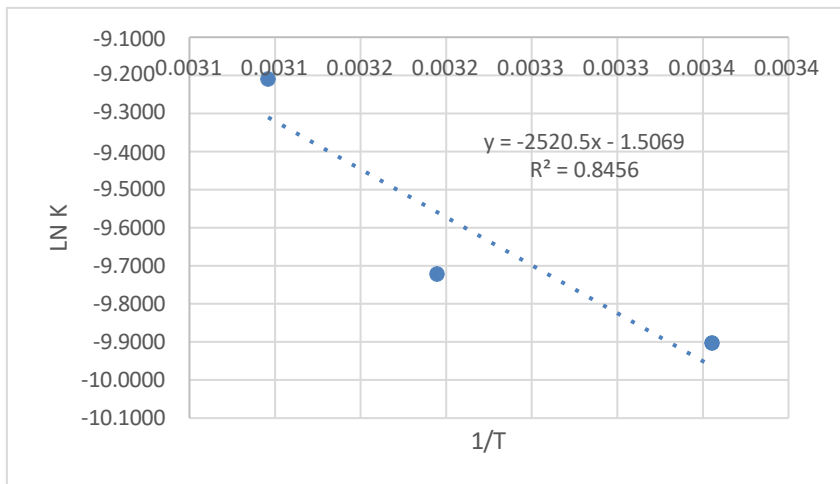




ANEXO 6. Data para Arrhenius orden uno, Empaque POP.

1/T	T (°C)	R ²	K	Ln K
0.0034	25	0.7934	0.00005	-9.9035
0.0032	40	0.9274	0.00006	-9.7212
0.0031	50	0.9017	0.0001	-9.2103

Utilizando los datos superiores obtenemos la gráfica 1/T vs Ln K, de la cual obtenemos la ecuación de Arrhenius: $y = -2520.5x - 1.5069$



Con dicha ecuación obtenemos los valores de Ln K y luego utilizando la función Exponencial obtenemos el valor K para los valores de temperatura de almacenamiento 15, 20, 25 y 30 °C.

Ecuación de Arrhenius: $\text{LN K} = \text{LN Ko} - E_a / RT$

	VALOR	UNIDAD
Pendiente de la recta	-2520	K ⁽⁻¹⁾
R (constante general de los gases)	1.9869	calorías/mol°K

Despejando el valor de la Energía de Activación (E_a)

E_a = **5007.0** **calorías/mol**
5.0070 **Kcal/mol**

Calculando el valor de K a 15, 20, 25 °C

1/T	T	K	LnK
0.0035	15	0.000035	-10.2569
0.0034	20	0.000041	-10.1076
0.0034	25	0.000047	-9.9633
0.0032	40	0.000071	-9.5580
0.0031	50	0.000091	-9.3088

ANEXO 7. Estimación de vida útil de la harina a diferentes temperaturas orden uno, empaque

POP.

Aplicando la ecuación de orden uno:
es:

$$\text{LnA} = \text{LnAo} + K \cdot t_s \text{ Donde el tiempo de vida útil}$$

$$t_s = (\text{LnA} - \text{LnAo}) / K$$

Datos:

Ao = 11.11 % HBS	Ln Ao:	2.4078
A = 15 % HBS	Ln A:	2.7081
Kn= valores a diferentes temperaturas		
ts= tiempo de vida útil		

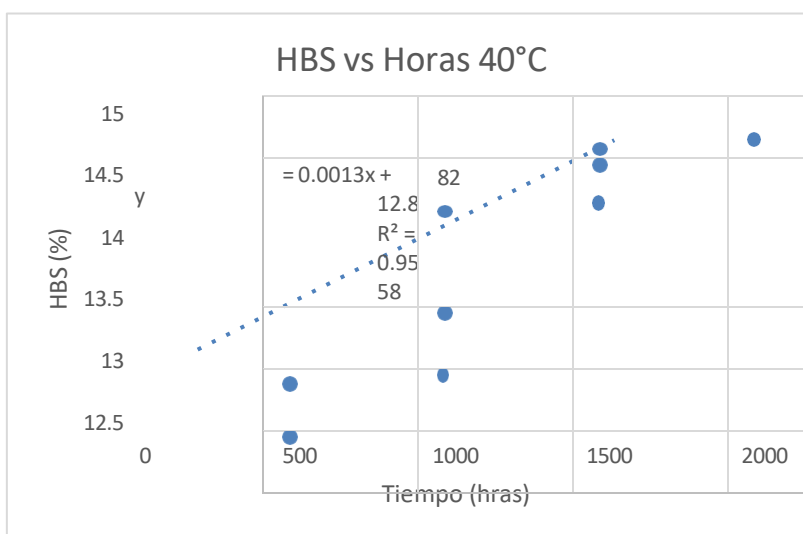
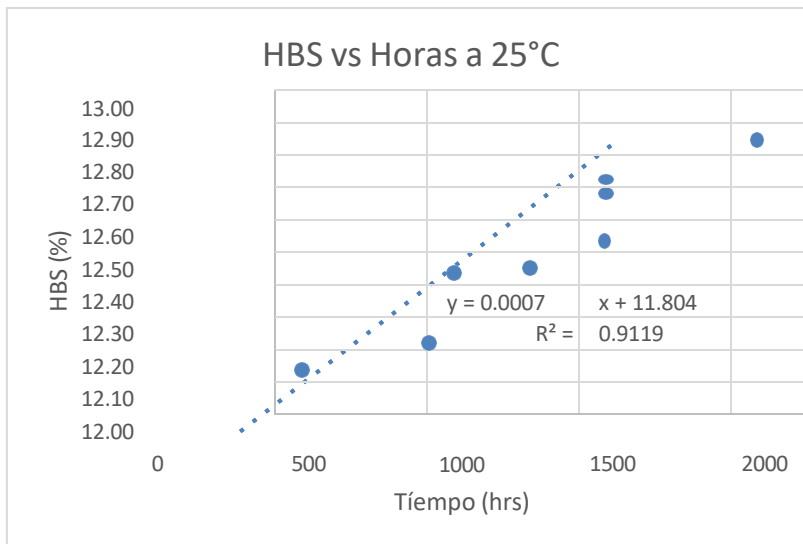
T (°C)	K	t (horas)	t (días)	t (meses)
15	0.000035	8549.34	356.22	11.87
20	0.000041	7363.51	306.81	10.23
25	0.000047	6374.01	265.58	8.85
40	0.000071	4250.22	177.09	5.90
50	0.000091	3312.53	138.02	4.60

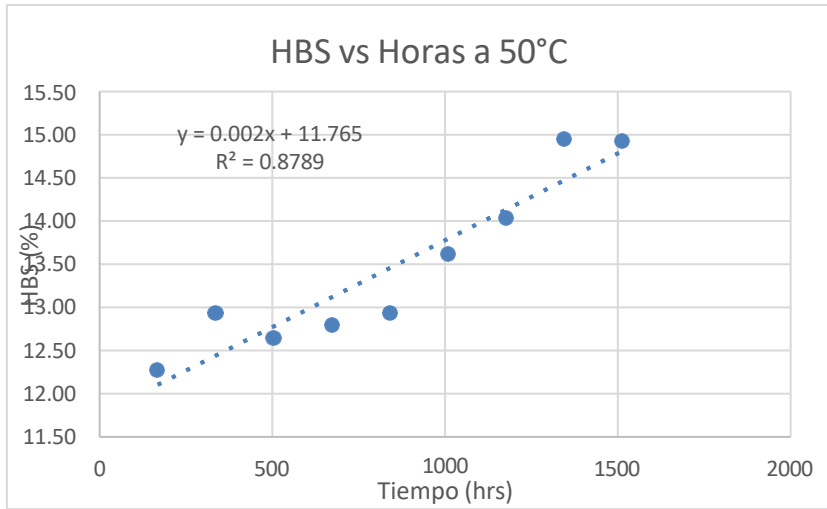
Conclusión: según nuestros cálculos el tiempo de vida útil de la harina a 25°C sería de:

8.85 meses

ANEXO 8: Data para la determinación de los parámetros cinéticos velocidad de reacción (K), y orden de la reacción (n) de ganancia de humedad, orden cero, empaque POL.

t (h)	HBS (%)	HBS (%)	HBS (%)
	25°C	40°C	50°C
168	11.71	12.926	12.27
336	12.13	13.357	12.93
504	12.22	13.413	12.64
672	12.43	13.93	12.80
840	12.45	14.047	12.93
1008	12.53	14.12	13.62
1176	12.68	14.432	14.04
1344	12.71	14.551	14.95
<u>1512</u>	<u>12.84</u>	<u>14.632</u>	<u>14.92</u>

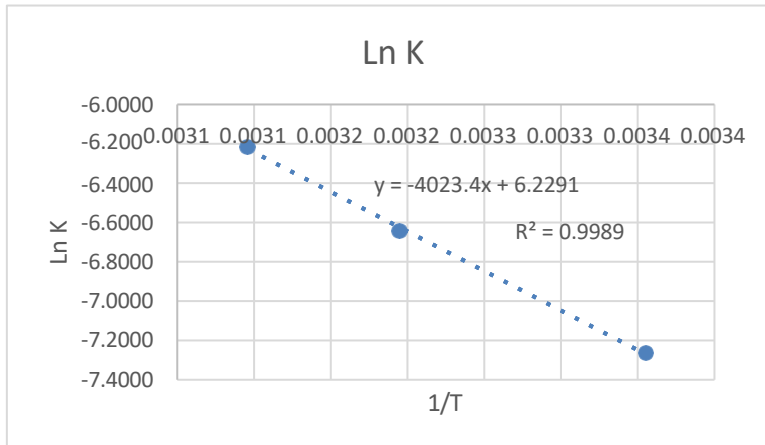




ANEXO 9. Data para Arrhenius orden cero, Empaque POL.

1/T	T (°C)	R ²	K	Ln K
0.0034	25	0.9333	0.0007	-7.2644
0.0032	40	0.9558	0.0013	-6.6454
0.0031	50	0.8789	0.002	-6.2146

Utilizando los datos superiores obtenemos la gráfica 1/T vs Ln K, de la cual obtenemos la ecuación de Arrhenius: $y = -4023.4x + 6.2291$.



Con la ecuación obtenemos los valores de Ln K y luego utilizando la función Exponencial obtenemos el valor K para los valores de temperatura de almacenamiento 15, 20, 25 y 30 °C.

$\text{LN K} = \text{LN Ko} - \text{Ea}/$
Ecuación de Arrhenius: RT

	VALOR	UNIDAD
Pendiente de la recta	-4023.4	K ⁽⁻¹⁾
R (constante general de los gases)	1.9869	calorías/mol°K

Despejando el valor de la Energía de Activación (Ea)

Ea=	7994.1	calorías/mol
	7.99	Kcal/mol

Calculando el valor de K a 15, 20, 25 °C

1/T	T	K	LnK
0.0035	10	0.00034	-7.9879
0.0035	15	0.00043	-7.7410
0.0034	20	0.00055	-7.5026
0.0034	25	0.00069	-7.2722
0.0033	30	0.00087	-7.0494
0.0032	40	0.00133	-6.6252

ANEXO 10. Estimación de vida útil de la harina a diferentes temperaturas orden cero, empaque POL.

Aplicando la ecuación de orden cero:
es:

$$A = A_o + K \cdot t_s \text{ Donde el tiempo de vida útil } t_s = (A - A_o) / K$$

Datos:

A_o

=

1

1

.

1

1

%

A

=

1

5

%

K_n = valores a diferentes temperaturas

t_s = tiempo de vida útil

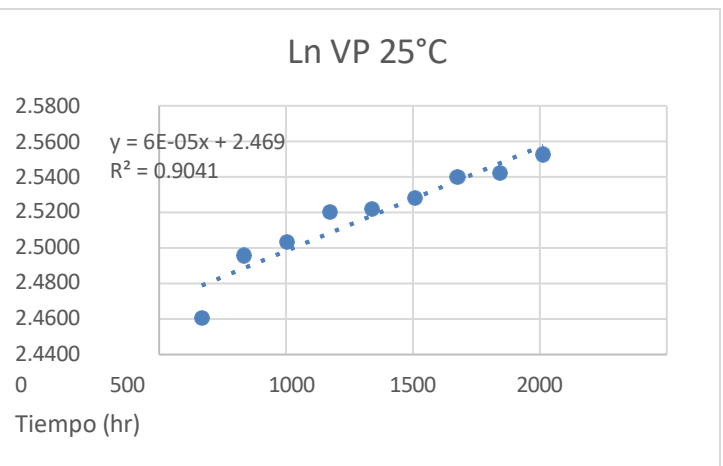
T (°C)	K	t (horas)	t (días)	T (Meses)
10	0.00034	11456.02	477.33	15.91
15	0.00043	8950.35	372.93	12.43
20	0.00055	7051.88	293.83	9.79
25	0.00069	5600.73	233.36	7.78
30	0.00087	4482.15	186.76	6.23
40	0.00133	2932.53	122.19	4.07

Según los cálculos el tiempo de vida útil para una temperatura de 25°C sería:

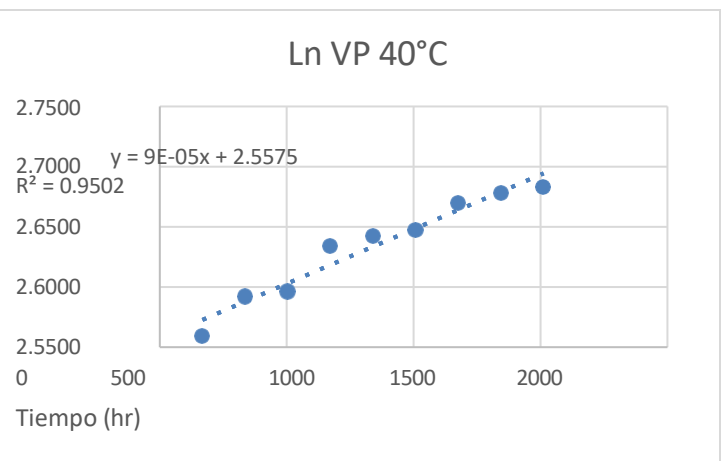
7.78 Meses

ANEXO 11: Data para la determinación de los parámetros cinéticos velocidad de reacción (K), y orden de la reacción (n) de ganancia de humedad, orden uno, empaque POL.

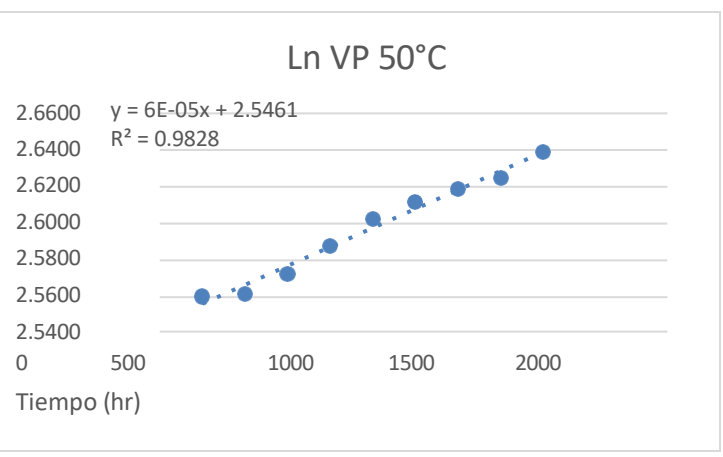
Tiempo (h)	HBS (%)	Ln VP
	25°C	
168	11.71	2.4604
336	12.13	2.4957
504	12.22	2.5031
672	12.43	2.5201
840	12.45	2.5217
1008	12.53	2.5281
1176	12.68	2.5400
1344	12.71	2.5424
1512	12.84	2.5526



Tiempo (h)	HBS (%)	Ln VP
	40°C	
168	12.93	2.5593
336	13.36	2.5921
504	13.41	2.5962
672	13.93	2.6340
840	14.05	2.6424
1008	14.12	2.6476
1176	14.43	2.6694
1344	14.55	2.6777
1512	14.63	2.6832



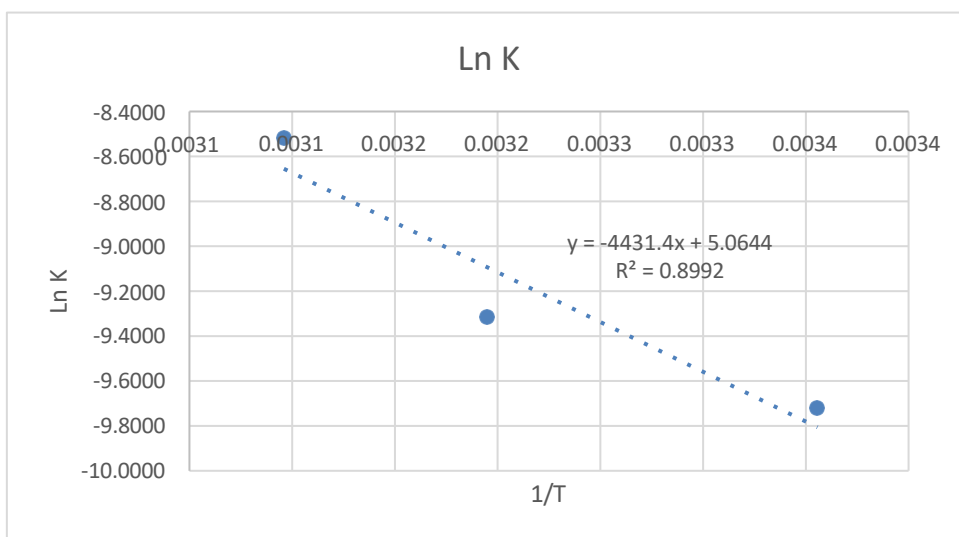
Tiempo (h)	HBS (%)	Ln VP
	50°C	
168	12.94	2.5603
336	12.96	2.5619
504	13.10	2.5726
672	13.30	2.5878
840	13.50	2.6027
1008	13.62	2.6115
1176	13.72	2.6189
1344	13.80	2.6247
1512	14.00	2.6391



ANEXO 12. Data para Arrhenius orden uno, empaque POL.

1/T	T (°C)	R	K	Ln K
0.0034	25	0.7934	0.00006	-9.7212
0.0032	40	0.9274	0.00009	-9.3157
0.0031	50	0.9017	0.0002	-8.5172

Utilizando los datos superiores obtenemos la gráfica 1/T vs Ln K, de la cual obtenemos la ecuación de Arrhenius: $y = -4431.4x + 5.0644$.



Con la ecuación obtenemos los valores de Ln K y luego utilizando la función Exponencial obtenemos el valor K para los valores de temperatura de almacenamiento 15, 20, 25 y 30 °C.

$$\text{Ecuación de Arrhenius: } \text{LN K} = \text{LN Ko} - \text{Ea} / \text{RT}$$

	VALOR	UNIDAD
Pendiente de la recta	-4431.4	K^{-1}
R (constante general de los gases)	1.9869	calorías/mol°K

Despejando el valor de la Energía de Activación (Ea)

Ea=	8804.7	calorías/mol
	8.8047	Kcal/mol

Calculando el valor de K a 15, 20, 25 °C

1/T	T	K	LnK
0.0035	15	0.000033	-10.3224
0.0034	20	0.000043	-10.0598

0.0034	25	0.000055	-9.8061
0.0032	40	0.000112	-9.0934
0.0031	50	0.000174	-8.6551

ANEXO 13. Estimación de vida útil de la harina a diferentes temperaturas orden
cero, empaque POL.

Aplicando la ecuación de orden uno:
es:

$$\text{LnA} = \text{LnAo} + \text{K} \cdot \text{ts} \text{ Donde el tiempo de vida útil}$$

$$\text{ts} = (\text{LnA} - \text{LnAo}) / \text{K}$$

Datos:

Ao = 11.11 % HBS	Ln Ao:	2.4078
A = 15 % HBS	Ln A:	2.7081
Kn= valores a diferentes temperaturas		
ts= tiempo de vida útil		

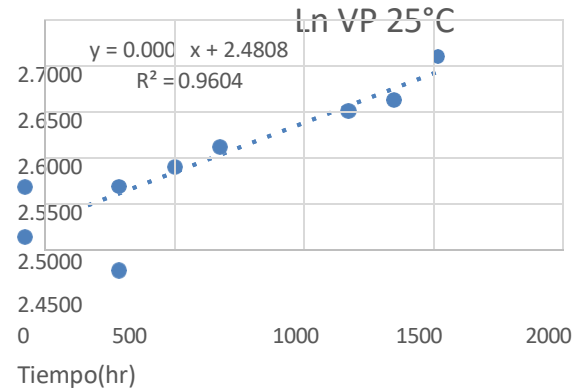
T (°C)	K	t (horas)	t (días)	t (meses)
15	0.000033	9128.12	380.34	12.68
20	0.000043	7020.16	292.51	9.75
25	0.000055	5446.77	226.95	7.56
40	0.000112	2670.81	111.28	3.71
50	0.000174	1722.99	71.79	2.39

Según los cálculos el tiempo de vida útil de la harina a 25°C sería de:

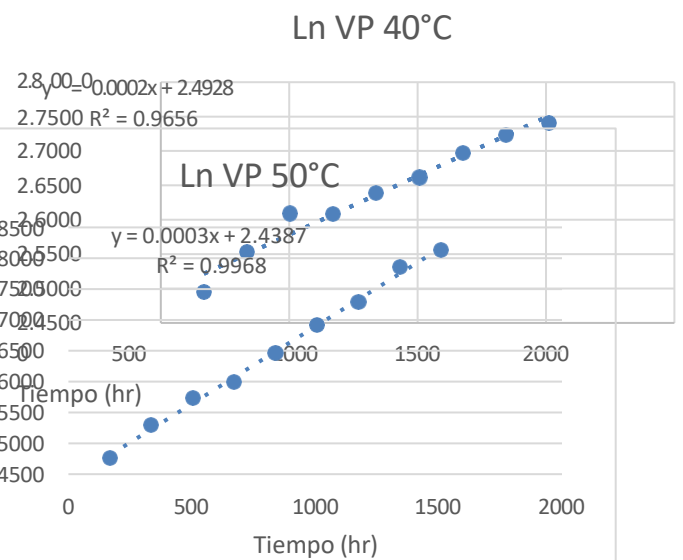
7.56 meses

ANEXO 14: Data para la determinación de los parámetros cinéticos velocidad de reacción (K), y orden de la reacción (n) de ganancia de humedad, orden uno, empaque PA.

Tiempo (horas)	HBS (%)	Ln VP
	25°C	
168	12.05	2.4893
336	12.46	2.5226
504	12.68	2.5400
672	12.94	2.5602
840	13.15	2.5763
1008	13.18	2.5788
1176	13.47	2.6007
1344	13.61	2.6108
1512	14.27	2.6580



Tiempo (horas)	HBS (%)	Ln VP
	40°C	
168	12.12	2.4949
336	12.85	2.5533
504	13.58	2.6089
672	13.58	2.6086
840	14.00	2.6390
1008	14.32	2.6614
1176	14.83	2.6967
1344	15.23	2.7233
1512	15.50	2.7408



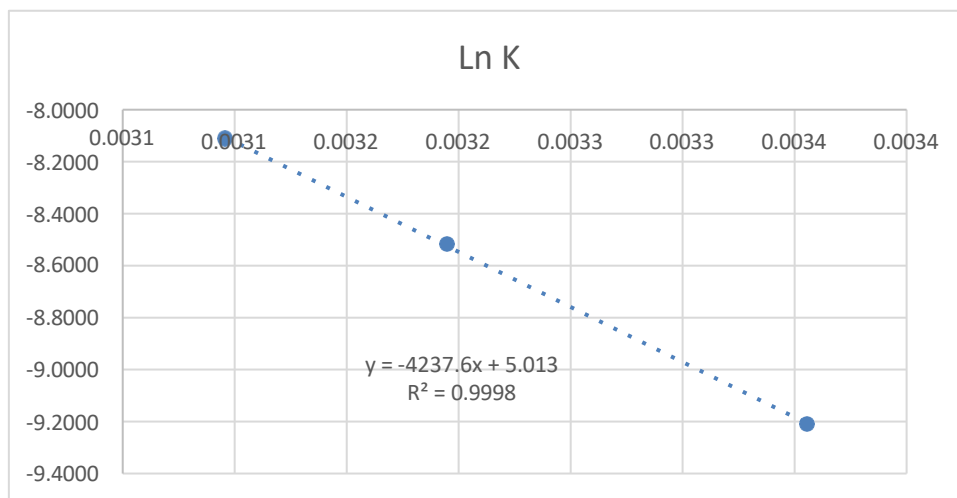
Tiempo (horas)	HBS (%)	Ln VP
	50°C	

r a s)		
168	11.89	2.4757
336	12.54	2.5289
504	13.10	2.5726
672	13.45	2.5990
840	14.10	2.6462
1008	14.77	2.6924
1176	15.31	2.7285
1344	16.21	2.7856
1512	16.66	2.8130

ANEXO 15. Data para Arrhenius orden uno, empaque POL.

1/T	T (°C)	R	K	Ln K
0.0034	25	0.7934	0.0001	-9.2103
0.0032	40	0.9274	0.0002	-8.5172
0.0031	50	0.9017	0.0003	-8.1117

Utilizando los datos superiores obtenemos la gráfica 1/T vs Ln K, de la cual obtenemos la ecuación de Arrhenius: $y = -4237.6x + 5.013$.



Con la ecuación obtenemos los valores de Ln K y luego utilizando la función Exponencial obtenemos el valor K para los valores de temperatura de almacenamiento 15, 20, 25 y 30 °C.

$$\text{Ecuación de Arrhenius: } \text{LN K} = \text{LN Ko} - \text{Ea} / \text{RT}$$

	VALOR	UNIDAD
Pendiente de la recta	-4237.6	K ⁽⁻¹⁾
R (constante general de los gases)	1.9869	calorías/mol°K

Despejando el valor de la Energía de Activación (Ea)

$$\text{Ea} = \frac{8419.7 \text{ calorías/mol}}{8.4197 \text{ Kcal/mol}}$$

Calculando el valor de K a 15, 20, 25 °C

1/T	T	K	LnK
0.0035	15	0.000061	-9.7009
0.0034	20	0.000079	-9.4498
0.0034	25	0.000100	-9.2071
0.0032	40	0.000198	-8.5257

0.0031	50	0.000302	-8.1065
--------	----	----------	---------

ANEXO 16. Estimación de vida útil de la harina a diferentes temperaturas orden uno, empaque POL.

Aplicando la ecuación de orden uno:
es:

$$\text{LnA} = \text{LnAo} + K \cdot t_s \text{ Donde el tiempo de vida útil } t_s = (\text{LnA} - \text{LnAo}) / K$$

Datos:

Ao = 11.11 % HBS	Ln Ao:	2.4078
A = 15 % HBS	Ln A:	2.7081
Kn= valores a diferentes temperaturas		
ts= tiempo de vida útil		

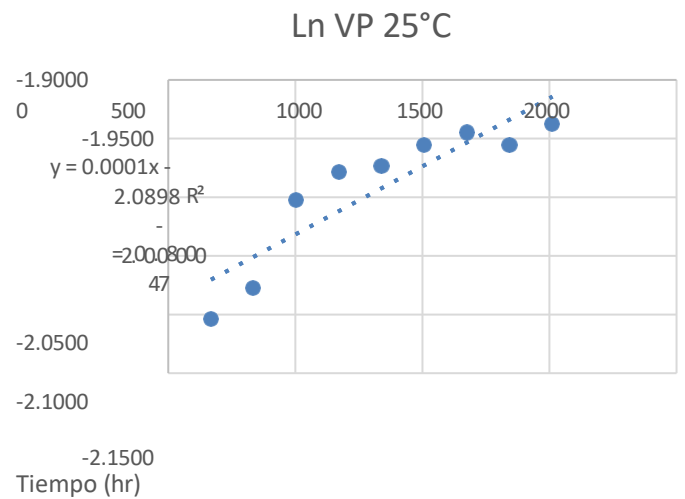
T (°C)	K	t (horas)	t (días)	t (meses)
15	0.000061	4902.98	204.29	6.81
20	0.000079	3814.28	158.93	5.30
25	0.000100	2992.44	124.68	4.16
40	0.000198	1513.78	63.07	2.10
50	0.000302	995.47	41.48	1.38

Según los cálculos el tiempo de vida útil de la harina a 25°C sería de:

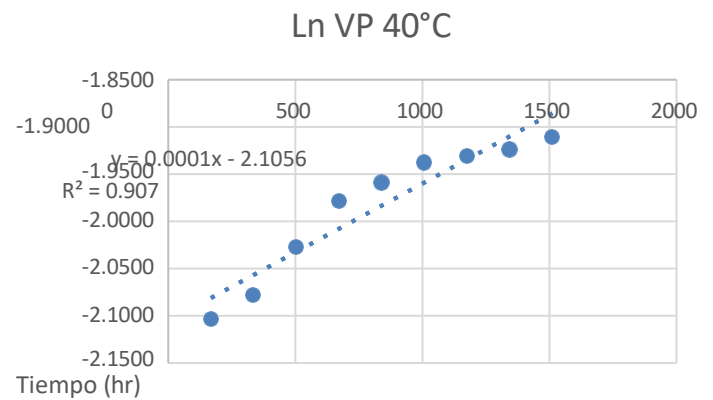
4.16 meses

ANEXO 17: Data para la determinación de los parámetros cinéticos velocidad de reacción (K), y orden de la reacción (n) de ganancia de acidez, orden uno, empaque POP.

Tiempo (horas)	HBS (%)	Ln VP
	25°C	
168	0.122	-2.1041
336	0.125	-2.0778
504	0.135	-2.0027
672	0.138	-1.9788
840	0.139	-1.9733
1008	0.141	-1.9555
1176	0.143	-1.9449
1344	0.141	-1.9555
1512	0.144	-1.9379

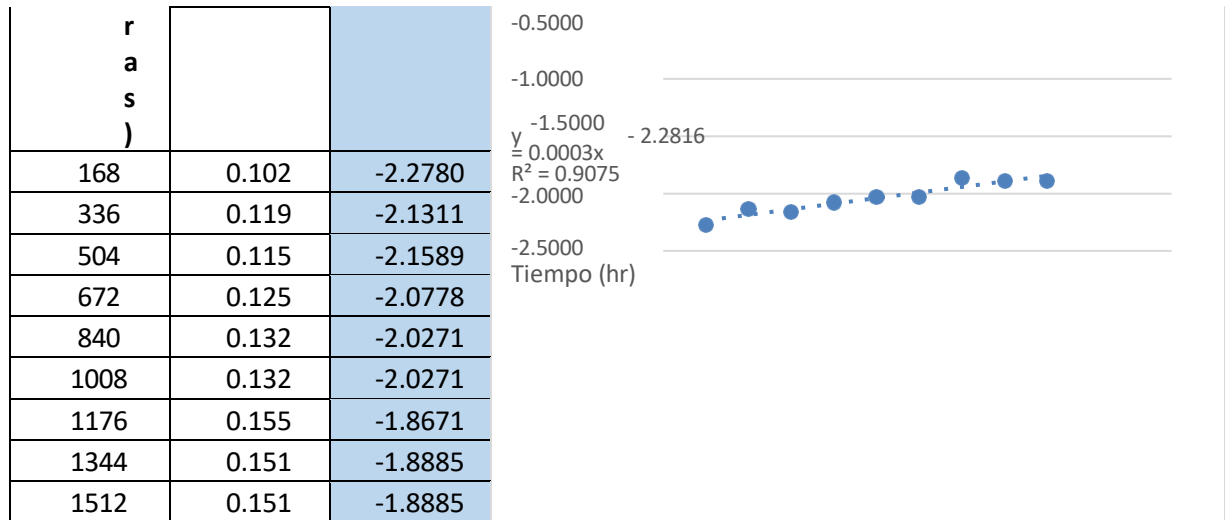


Tiempo (horas)	HBS (%)	Ln VP
	40°C	
168	0.122	-2.1037
336	0.125	-2.0778
504	0.132	-2.0271
672	0.138	-1.9788
840	0.141	-1.9590
1008	0.144	-1.9379
1176	0.145	-1.9310
1344	0.146	-1.9241
1512	0.148	-1.9104



Tiempo (hora)	HBS (%)	Ln VP
	50°C	

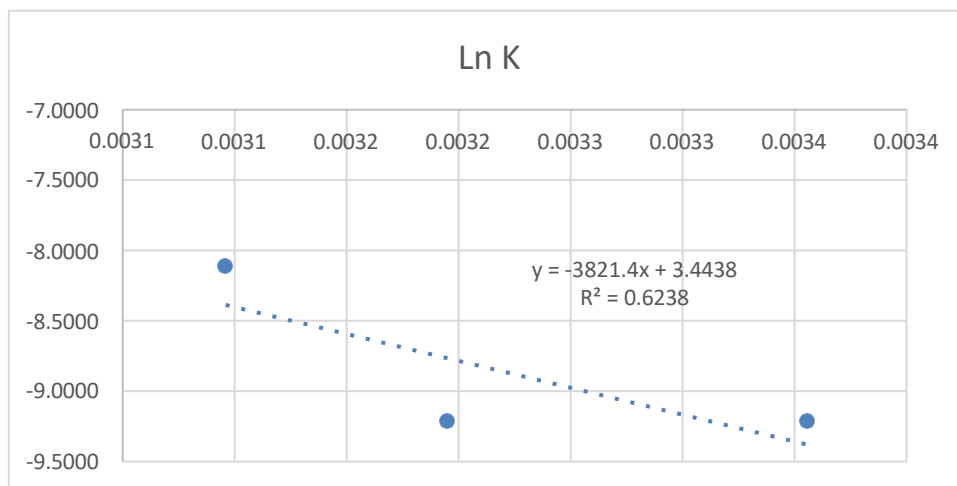




ANEXO 18. Data para Arrhenius orden uno, ganancia de acidez, empaque POL.

1/T	T (°C)	R ²	K	Ln K
0.0034	25	0.8047	0.0001	-9.2103
0.0032	40	0.907	0.0001	-9.2103
0.0031	50	0.9075	0.0003	-8.1117

Utilizando los datos superiores obtenemos la gráfica 1/T vs Ln K, de la cual obtenemos la ecuación de Arrhenius: $y = -4237.6x + 5.013$.



Con la ecuación obtenemos los valores de Ln K y luego utilizando la función Exponencial obtenemos el valor K para los valores de temperatura de almacenamiento 15, 20, 25 y 30 °C.

$$\text{Ecuación de Arrhenius: } \ln K = \ln K_0 - E_a / RT$$

	VALOR	UNIDAD
Pendiente de la recta	-3821.4	K ⁽⁻¹⁾
R (constante general de los gases)	1.9869	calorías/mol°K

Despejando el valor de la Energía de Activación (Ea)

$$E_a = 7592.7 \text{ calorías/mol} \\ 7.5927 \text{ Kcal/mol}$$

Calculando el valor de K a 15, 20, 25 °C

1/T	T	K	LnK
0.0035	15	0.000054	-9.8250
0.0034	20	0.000068	-9.5985
0.0034	25	0.000084	-9.3797

0.0032	40	0.000156	-8.7651
0.0031	50	0.000228	-8.3872

ANEXO 19. Estimación de vida útil de la harina a diferentes temperaturas orden uno, ganancia de acidez, empaque POL.

Aplicando la ecuación de orden uno:
es:

$$\text{LnA} = \text{LnAo} + K \cdot t_s \text{ Donde el tiempo de vida útil}$$

$$t_s = (\text{LnA} - \text{LnAo}) / K$$

Datos:

Ao = 0.086 % HBS	Ln Ao:	-2.4534
A = 0.15 % HBS	Ln A:	-1.8971
Kn= valores a diferentes temperaturas		
ts= tiempo de vida útil		

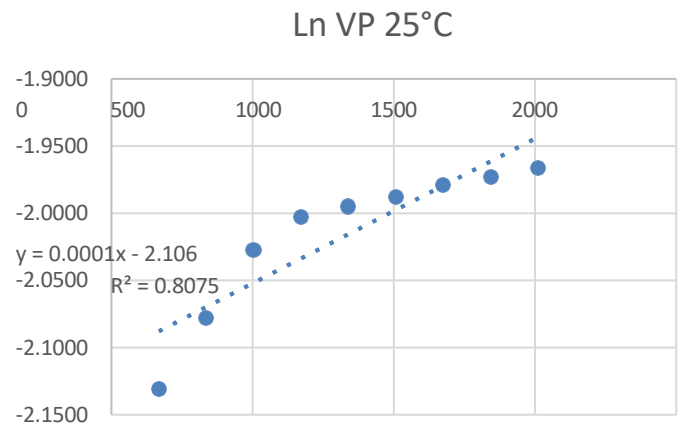
T (°C)	K	t (horas)	t (días)	t (meses)
15	0.000054	10285.40	428.56	14.29
20	0.000068	8201.33	341.72	11.39
25	0.000084	6589.42	274.56	9.15
40	0.000156	3564.13	148.51	4.95
50	0.000228	2442.29	101.76	3.39

Según los cálculos el tiempo de vida útil de la harina a 25°C sería de:

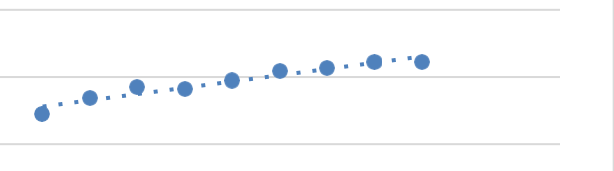
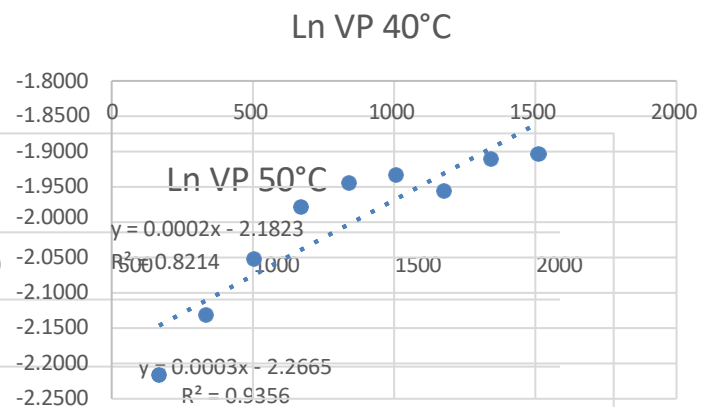
9.15 meses

ANEXO 20: Data para la determinación de los parámetros cinéticos velocidad de reacción (K), y orden de la reacción (n) de ganancia de acidez, orden uno, empaque POP.

Tiempo (horas)	HBS (%)	Ln VP
	25°C	
168	0.119	-2.1311
336	0.125	-2.0778
504	0.132	-2.0271
672	0.135	-2.0027
840	0.136	-1.9951
1008	0.137	-1.9878
1176	0.138	-1.9788
1344	0.139	-1.9733
1512	0.140	-1.9661



Tiempo (horas)	HBS (%)	Ln VP
	40°C	
168	0.109	-2.2167
336	0.119	-2.1311
504	0.128	-2.0521
672	0.138	-1.9788
840	0.143	-1.9449
1008	0.145	-1.9327
1176	0.141	-1.9555
1344	0.148	-1.9104
1512	0.149	-1.9038



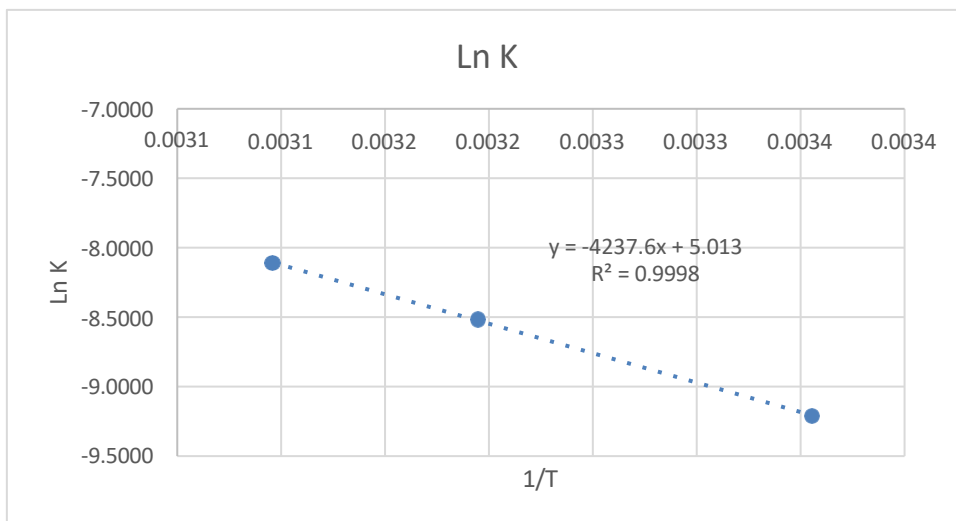
Tiempo (horas)	HBS (%)	Ln VP
168	0.102	-2.2780
336	0.115	-2.1589

504	0.125	-2.0778
672	0.123	-2.0935
840	0.132	-2.0271
1008	0.141	-1.9555
1176	0.145	-1.9327
1344	0.151	-1.8885
1512	0.151	-1.8885

ANEXO 21. Data para Arrhenius orden uno, ganancia de acidez, empaque POL.

1/T	T (°C)	R ²	K	Ln K
0.0034	25	0.8075	0.0001	-9.2103
0.0032	40	0.8214	0.0002	-8.5172
0.0031	50	0.9356	0.0003	-8.1117

Utilizando los datos superiores obtenemos la gráfica 1/T vs Ln K, de la cual obtenemos la ecuación de Arrhenius: $y = -4237.6x + 5.013$.



Con la ecuación obtenemos los valores de Ln K y luego utilizando la función Exponencial obtenemos el valor K para los valores de temperatura de almacenamiento 15, 20, 25 y 30 °C.

Ecuación de Arrhenius:

$$\text{LN K} = \text{LN Ko} - E_a / RT$$

	VALOR	UNIDAD
Pendiente de la recta	-4237.6	K ⁽⁻¹⁾
R (constante general de los gases)	1.9869	calorías/mol°K

Despejando el valor de la Energía de Activación (E_a)

$$E_a = 8419.7 \text{ calorías/mol} \\ 8.4197 \text{ Kcal/mol}$$

Calculando el valor de K a 15, 20, 25 °C

1/T	T	K	LnK
0.0035	15	0.000061	-9.7009
0.0034	20	0.000079	-9.4498
0.0034	25	0.000100	-9.2071
0.0032	40	0.000198	-8.5257
0.0031	50	0.000302	-8.1065

ANEXO 22. Estimación de vida útil de la harina a diferentes temperaturas orden uno, ganancia de acidez, empaque POL.

Aplicando la ecuación de orden uno:
es:

$$\text{LnA} = \text{LnAo} + K \cdot t_s \text{ Donde el tiempo de vida útil}$$

$$t_s = (\text{LnA} - \text{LnAo}) / K$$

Datos:

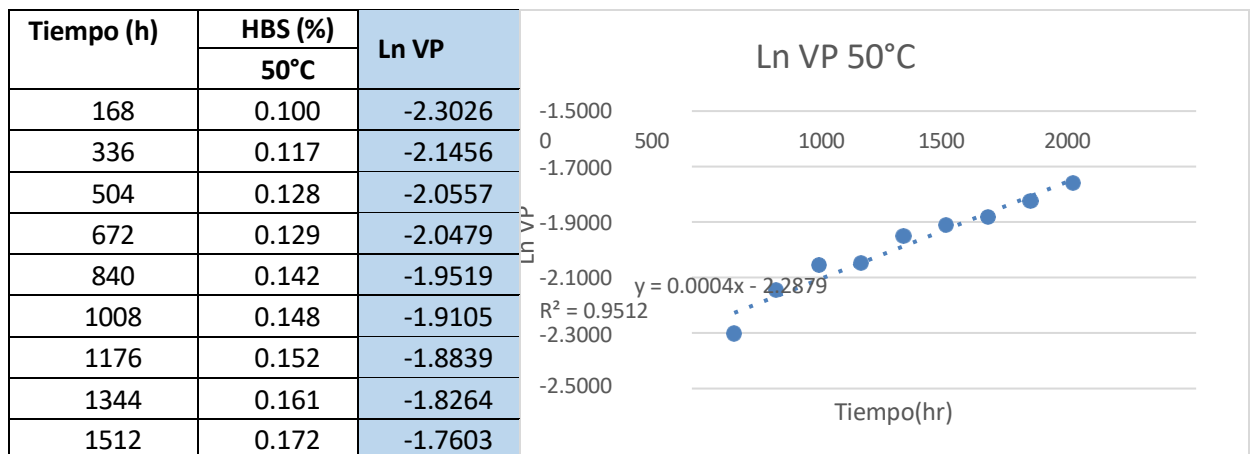
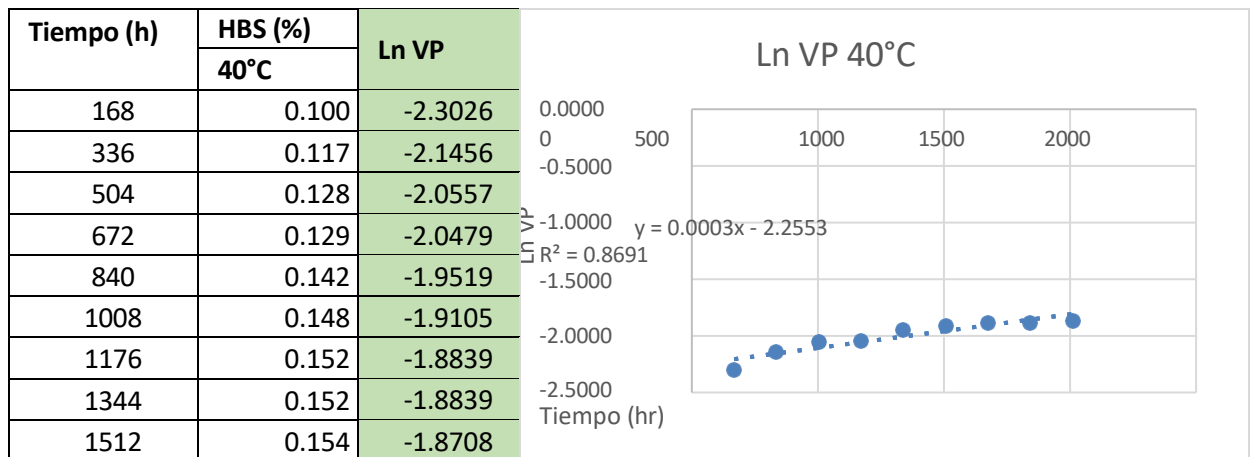
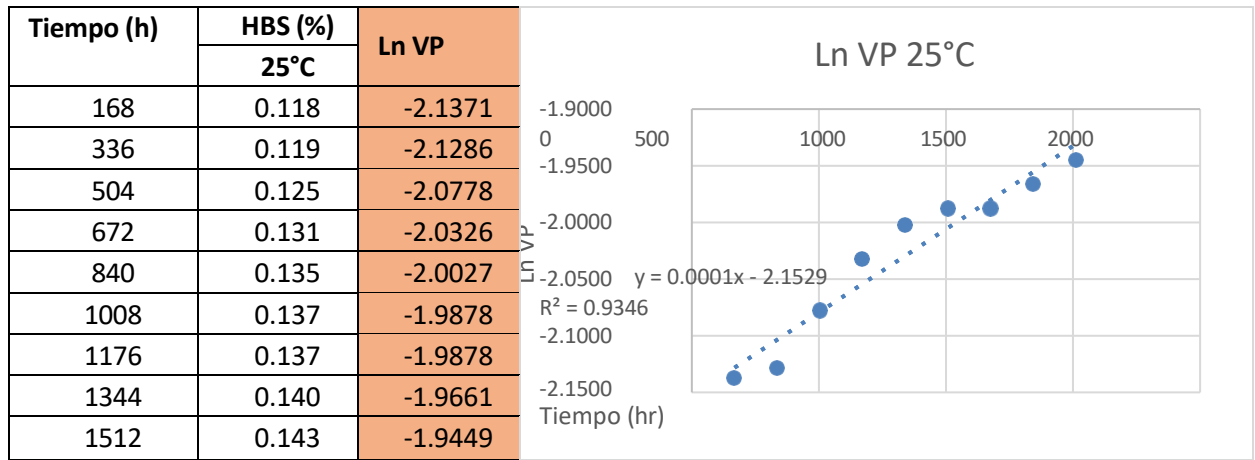
Ao = 0.086 % HBS	Ln Ao:	-2.4534
A = 0.15 % HBS	Ln A:	-1.8971
Kn= valores a diferentes temperaturas		
ts= tiempo de vida util		

T (°C)	K	t (horas)	t (días)	t (meses)
15	0.000061	9085.36	378.56	12.62
20	0.000079	7067.98	294.50	9.82
25	0.000100	5545.07	231.04	7.70
40	0.000198	2805.08	116.88	3.90
50	0.000302	1844.63	76.86	2.56

Según los cálculos el tiempo de vida útil de la harina a 25°C sería de:

7.70 meses

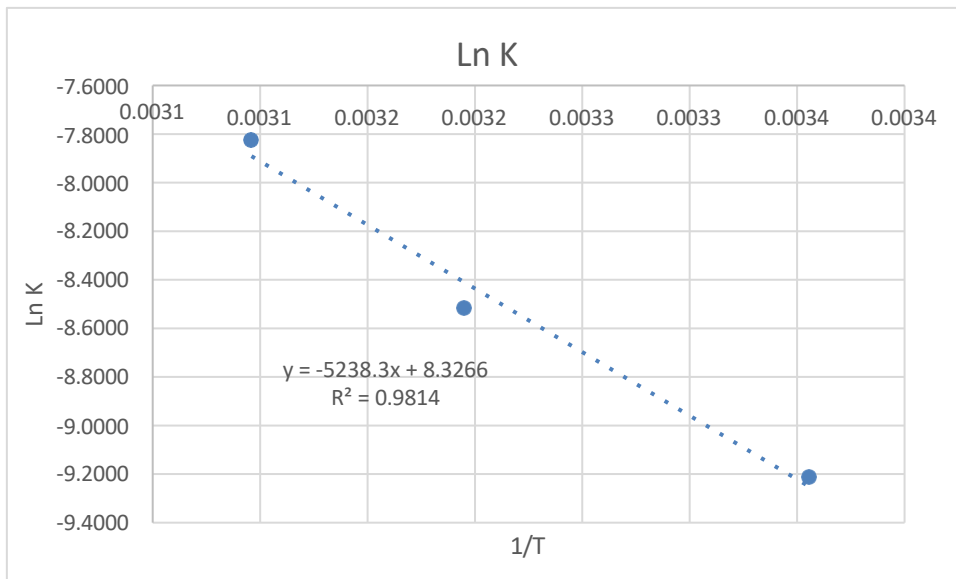
ANEXO 23: Data para la determinación de los parámetros cinéticos velocidad de reacción (K), y orden de la reacción (n) de ganancia de acidez, orden uno, empaque PA.



ANEXO 24. Data para Arrhenius orden uno, ganancia de acidez, empaque PA.

1/T	T (°C)	R	K	Ln K
0.0034	25	0.7934	0.0001	-9.2103
0.0032	40	0.9274	0.0002	-8.5172
0.0031	50	0.9017	0.0004	-7.8240

Utilizando los datos superiores obtenemos la gráfica 1/T vs Ln K, de la cual obtenemos la ecuación de Arrhenius: $y = -5238.6x + 8.3266$.



Con la ecuación obtenemos los valores de Ln K y luego utilizando la función Exponencial obtenemos el valor K para los valores de temperatura de almacenamiento 15, 20, 25 y 30 °C. Ecuación de Arrhenius: $\text{LN K} = \text{LN Ko} - \text{Ea}/$

	VALOR	UNIDAD
RT		
Pendiente de la recta	-5238.3	K^{-1}
R (constante general de los gases)	1.9869	calorías/mol°K

Despejando el valor de la Energía de Activación (Ea)

$$E_a = 10408.0 \text{ calorías/mol} \\ 10.4080 \text{ Kcal/mol}$$

Calculando el valor de K a 15, 20, 25 °C

1/T	T	K	LnK
0.0035	15	0.000052	-9.8659
0.0034	20	0.000071	-9.5555
0.0034	25	0.000096	-9.2555
0.0032	40	0.000222	-8.4131
0.0031	50	0.000373	-7.8950

ANEXO 25. Estimación de vida útil de la harina a diferentes temperaturas orden uno, ganancia de acidez, empaque PA.

Aplicando la ecuación de orden uno:
es:

$$\text{LnA} = \text{LnAo} + K \cdot t_s \text{ Donde el tiempo de vida útil}$$

$$t_s = (\text{LnA} - \text{LnAo}) / K$$

Datos:

Ao = 0.086 % HBS	Ln Ao:	-2.4534
A = 0.15 % HBS	Ln A:	-1.8971
Kn= valores a diferentes temperaturas		
ts= tiempo de vida útil		

T (°C)	K	t (horas)	t (días)	t (meses)
15	0.000052	10715.14	446.46	14.88
20	0.000071	7855.96	327.33	10.91
25	0.000096	5820.02	242.50	8.08
40	0.000222	2506.53	104.44	3.48
50	0.000373	1492.96	62.21	2.07

Según los cálculos el tiempo de vida útil de la harina a 25°C sería de:

8.08 meses

ANEXO 26. PANEL FOTOGRÁFICO.



Cosecha de corno de Sacha



Recepción, lavado



Laminado, Pesado, empacado, rotulado de muestras



Deshidratado de la muestra e Sacha Jergón en el equipo de deshidratador de lecho fluidizado



Molido de la muestra hasta lograr la harina de Sacha Jergón.



Muestreo para el análisis Químico Proximal.



Muestreo debidamente rotulada



Estufa a 40 °C con las bandejas
contenidas de muestras



Estufa a 50 °C con las bandejas
contenidas de muestras

Anexo 27. Determinación de Fibra Cruda en Alimentos (ADF Método 7)

ANKOM TECHNOLOGY

DEFINICIÓN

Este método determina fibra cruda que es el residuo orgánico remanente después de la digestión con 0.255 N H₂SO₄ y 0.313N NaOH. Los compuestos removidos son predominantemente proteína, azúcar, almidón, grasa y porciones de la estructura de los carbohidratos y lignina.

RANGO DE APLICACION

Este método es aplicable a toda clase de materia alimenticia tales como granos, dietas, alimentos para mascotas, mezcla de alimentos, forrajes y semillas de maíz y soya.

I. REQUERIMIENTOS

1. EQUIPO Y APARATOS

ANKOM A200, A2001

Balanza Analítica (capacidad de pesar 0.0001g)

Estufa (capacidad de mantener temperatura a $102 \pm 2^\circ\text{C}$)

Mufla eléctrica con capacidad de controlar la temperatura a $600 \pm 15^\circ\text{C}$

Selladora eléctrica, ANKOM Technology Producto: 1915

Desecador Kit (bolsa flexible, tipo Ziploc, conteniendo desecador que permite remover aire alrededor de las muestras). ANKOM Technology, Producto: Moisture Stop weigh pouch.

2. MATERIALES

Filtros-bolsas [F57 o F58]. Bolsas construidas de material químico inerte y resistente al calor, capaz de ser sellado por calor y capaz de retener partículas de $25\mu\text{m}$ mientras permite la penetración de la solución). ANKOM Technology Producto: F57 o F58.

Marcadores (calidad industrial, resistente a solventes). Producto: F08, ANKOM Technology.

3. REACTIVOS

3.1. Solución de Ácido Sulfúrico, $0.255 \pm 0.005\text{N}$. Utilizar 1.25g H₂SO₄/100ml. Chequear la concentración por titración.

PRECAUCION: EL H₂SO₄ es un ácido fuerte y puede causar quemaduras severas. Cuando se trabaje con ácido sulfúrico, usar mandil y protección apropiada. Siempre añadir ácido al agua y no al revés.

3.2. Solución de Hidróxido de Sodio, $0.3130 \pm 0.005\text{N}$. Utilizar 1.25g NaOH/100ml. Chequear la concentración por titración.

PRECAUCION: El hidróxido de sodio puede causar quemaduras severas en la piel, ojos y tracto respiratorio. Cuando se trabaje con NaOH, usar mandil y protección apropiada. Siempre añadir el material caustico al agua y no al revés.

II. PREPARACION DE LA MUESTRA

Moler las muestras en un molino tipo centrifuga con malla de 2mm o molino de

cuchillos tipo Wiley con una malla de 1mm. Las muestras que son finamente molidas (partículas de fibra <25µm) pueden perder partículas desde el filtro lo cual resultaría en valores menores de fibra (hasta 0.5% unidades).

Precisión. Los resultados de estudios colaborativos indican la precisión (SD, RSD, r) que el analista debe usar como información base para replicar en el laboratorio.

III. PROCEDIMIENTO

1. Pesar cada uno de los filtros (W1) en una balanza analítica.
2. Pesar 0.95 - 1.0g de muestra dentro del filtro y registrar el peso (W2).
3. Sellar los filtros a unos 4mm de la parte superior para encapsular la muestra.
4. Incluir un filtro vacío como blanco, en cada corrida, para determinar la corrección por el blanco (C1).

NOTA: El factor de corrección (C1) es un factor promedio del filtro blanco que debe ser usado en el cálculo de la fibra. La inclusión de por lo menos un blanco en cada corrida es usado como indicador de pérdida de partículas. Un valor de $C1 > 1.0000$ indica pérdida de partículas de las muestras las cuales fueron depositadas en el filtro blanco. Cualquier pérdida de partículas de las muestras va a generar resultados erróneos. Si se observa pérdida de partículas, evaluar el método de molienda.

5. Extraer la grasa de las muestras colocándolos en un beaker de 250ml. Añadir éter de petróleo hasta cubrir las muestras y dejar remojando por 10 minutos. Vaciar el solvente y dejar airear las muestras. Para evitar acumulación de las muestras sacudir los filtros.

PRECAUCION: El éter de petróleo es extremadamente inflamable. Evite corriente estática. Usar un extractor durante todo el proceso que se use éter de petróleo.

6. Poner hasta tres muestras en cada canastilla (máximo 24 muestras). Ensamblar las canastillas correctamente. No colocar muestras en la canastilla número 9 (superior).

NOTA: Usar todas las nueve canastillas al margen del número de muestras a ser procesados.

7. Verificar que el suministro de agua caliente y la manguera de desagüe estén asegurados en su posición apropiada.
8. Prender el instrumento Switch a Posición ON.
9. Antes de introducir las muestras en el vaso de digestión, leer la temperatura que muestra el controlador. Si la temperatura es mayor a la temperatura ambiente del laboratorio; entonces, llenar el vaso de digestión con agua fría para enfriarlo. Cuando el valor indicado por el controlador llegue a su número más bajo y empiece a incrementarse, abrir la válvula de desfogue y eliminar el agua. Repetir este proceso hasta que la temperatura del controlador se equilibre con la temperatura del ambiente.
10. Abrir la tapa del vaso de digestión e introducir las muestras. Colocar el peso

en la canastilla superior para mantener todas las canastillas sumergidas.

11. Cuando procese 24 muestras añadir 1900-2000ml de solución de ácido sulfúrico (0.255N H₂SO₄) al vaso de digestión del analizador de fibra. Si procesa menos de 20 muestras, añadir 100ml/muestra de solución de ácido sulfúrico. Usar un mínimo de 1500ml para asegurar que todas las muestras estén cubiertas.
12. Prender **AGITACION Y CALOR** (confirmar que la agitación este prendido). Posición ON.
13. Poner el **Timer a 40 minutos** y cerrar la tapa del vaso de digestión.
14. .Cuando termine la extracción apagar **AGITACION** y **CALOR** (Posición OFF).
15. Abrir lentamente la válvula de drenaje y desaguar la solución caliente antes de abrir la tapa del cilindro.

NOTA: La solución dentro del vaso está bajo presión. La válvula de drenaje tiene que estar abierta para liberar la presión antes de abrir la tapa.

16. Después que la solución acida haya sido drenada, abrir la tapa del vaso para proceder a la fase de enjuague. Esta se realiza con agua caliente entre 50-90°C por cinco (05) minutos, solamente con el botón de AGITACION prendido (ON). Repetir dos (02) veces el enjuague.
17. Agregar de 1900-2000ml de la Solución Básica (0.313N NaOH) a temperatura ambiente para 24 muestras. Para menos de 24 muestras añadir 100ml/muestra. El volumen mínimo que se debe usar es de 1500ml.
18. Prender el AGITADOR Y CALOR (HEAT) para confirmar funcionamiento.
19. Programar el Timer por 40 minutos, cerrar el vaso de digestión y arrancar el proceso.
20. .Cuando termine la extracción, apagar el Calor (HEAT) y el Agitador.
21. Abrir gradualmente la válvula de drenaje y eliminar la solución caliente, antes de abrir la tapa del vaso.
22. Después que la solución haya sido drenada, cerrar la válvula y abrir la tapa.
23. Enjuagar las muestras con 1900-2000ml de agua a una temperatura de 50-90°C por cinco (05) minutos. Enjuagar con el Agitador prendido y la tapa abierta. Se requiere un total de tres (03) enjuagues.
24. Después del enjuague, remover las muestras, eliminar el agua adherida a los filtros luego colocar dentro de un beaker de 250 ml, cubrir con acetona y dejar remojando por 5 minutos a temperatura ambiente.

PRECAUCION: La acetona es inflamable y usar cámara extractora. Nunca colocar muestras con acetona en una estufa.

25. Después que las muestras se hayan aireado, colocar en la estufa $102 \pm 2^\circ\text{C}$. Por lo general los filtros (muestras) estarán completamente secos entre 2-4 horas.
26. Remover las muestras de la estufa y colocarlos directamente en el Kit Desecador y dejar en ellas por unos 30 minutos para remover aire. Enfriar a temperatura ambiente y pesar los filtros.
27. Calcinar todo el filtro/muestra en un crisol previamente pesado. Es decir, registrar el peso de cada crisol. vacío y luego colocar las muestras con todo el filtro. Calcinar a 600

± 15°C por dos (02) horas. Enfriar en un desecador y pesar para calcular la pérdida de materia orgánica de cada muestra (W3).

4. CALCULOS

$$\% \text{ Fibra Cruda} = \frac{100 \times (W3 - (W1 \times C1))}{W2}$$

Dónde: W1 = Peso del filtro

W2 = Peso de la muestra

W3 = Peso de la materia orgánica (pérdida de peso en la ignición del filtro y la fibra)

C1 = Factor de corrección de ceniza por el blanco (promedio de pérdida de peso de la ignición de la bolsa blanco/peso original del filtro).

Anexo 28 Determinación Rápida de Grasa: Extracción por Solvente a Alta Temperatura**ANKOM TECHNOLOGY METHOD 2
RAPID DETERMINATION OF OIL/FAT UTILIZING HIGH
TEMPERATURE SOLVENT EXTRACTION****DEFINICIÓN**

Este método determina grasa cruda por extracción con éter de petróleo. Los compuestos extraídos son predominantemente triacilglicéridos. También, son extraídos pequeñas cantidades de otros lípidos juntamente con componentes menores que tienen cierta solubilidad en éter de petróleo.

RANGO

Este método es aplicable a alimentos sólidos procesados con un contenido de hasta 100% de grasa.

1. REQUERIMIENTOS PRE-INSTALACIÓN**1. SISTEMA ELÉCTRICO**

Línea eléctrica exclusiva para el Extractor de Grasa (XT10 o XT15), 220V, 50/60Hz

2. AMBIENTE DE LABORATORIO

Mesa sólida 1.5m longitud x 0.8m profundidad x 0.70m altura. La mesa debe estar colocada fuera del alcance de la ventana o no tener demasiada exposición a los rayos del sol.

3. EQUIPO Y APARATOS

Extractor de Grasa (ANKOM XT10, XT15 Extractor)

Balanza Analítica (capacidad de pesar 0.0001g)

Estufa (capacidad de mantener temperatura a $102 \pm 2^\circ\text{C}$)

Sellador eléctrico. ANKOM Technology Producto:

1915

Desecador Kit (bolsa flexible, tipo Ziploc, conteniendo desecador que permite remover aire alrededor de las muestras). ANKOM Technology, Producto: Moisture Stop weigh pouch.

4. MATERIALES DE LABORATORIO (LABORATORY SUPPLIES)

Filtros-bolsas [XT4]. Filtros construidos de material químico inerte y resistente al calor, capaz de ser sellado por calor y capaz de retener partículas de $1\mu\text{m}$ mientras permite la penetración de una solución. ANKOM Technology Producto: XT4.

Marcadores (calidad industrial, resistente a solventes). Producto: F08, ANKOM Technology.

5. REACTIVOS

Eter de Petróleo (Petroleum ether, B.P. 35-65°C). Dependiendo del método usado, otros solventes tales como hexano y éter de etilo (ethyl ether) pueden ser usados. Agregar 350 ml Eter de Petróleo

Precaución: la mayoría de solventes de grasas son extremadamente inflamables. Evite electricidad estática y utilizar cabina extractora.

II. PROCEDIMIENTO

1. Colocar un filtro [XT4] en la balanza y registrar su peso.
2. Pesar 1-2 g de muestra dentro del filtro y registrar el peso (W1).
3. Sellar el filtro a unos 4mm de la parte superior para encapsular la muestra.
4. Incluir un filtro [XT4] vacío como blanco, especialmente cuando se cambia solventes, con el fin de medir cualquier efecto en la bolsa-filtro.
5. Para casos de muestras de carne (>15% grasa) o vegetal (>25% grasa), utilizar un recipiente aluminado y registrar su peso (W4). Las muestras son secadas juntamente con el recipiente aluminado con el fin de coleccionar la grasa que pueda migrar fuera de la bolsa durante el secado.
6. Poner las muestras en la estufa a 100°C por 3 horas.

NOTA: El pre-secado de las muestras puede ser grandemente reducido mediante el uso de un horno microondas. Sin embargo, tener presente que si la concentración de energía es muy alta esto puede ocasionar que se libere vapor de agua muy rápidamente y causar que las bolsas también se expandan muy rápidamente. Las condiciones apropiadas necesitan ser determinadas por experimentación porque las microondas varían en su salida de energía y las muestras también varían en su composición de agua y grasa. En la mayoría de los casos las muestras pueden ser secadas en minutos en el horno microondas.

7. Enfriar las muestras secas en el Kit Desecador (cerrar cuidadosamente removiendo el aire) luego pesar las muestras y registrar los pesos (W2).
8. Colocar las muestras en el carrusel y poner en el extractor (XT10 o XT15).
9. Seleccionar el tiempo de extracción y proceder de acuerdo a las instrucciones del instrumento.
10. Después de concluido el proceso de extracción, retirar las muestras y ponerlos en la estufa por unos 15-30 minutos. .

NOTA: Muestras que contengan gran porcentaje de carbohidratos (almidón y celulosa) pueden ligar pequeñas cantidades de solvente y requieren un tiempo adicional de secado. Para remover el solvente secar a 100°C por 1-3 horas o a 125°C por 30min.

11. Secar las muestras en el Kit Desecador y pesar (W3). "

6. CALCULOS

$$\% \text{ Grasa Cruda} = \frac{100 (W2 - W3)}{W1}$$

W1

Dónde: W1 = Peso original de la muestra

W2 = Peso de la muestra pre-secada más el filtro

W3 = Peso de la muestra seca y filtro después de la extracción Para muestras de carne (>15% grasa) y plantas (>25% grasa):

$$\% \text{ Grasa Cruda} = \frac{100 ([W2 - W4] - W3)}{W1}$$

W1

Dónde: W4 = Peso del recipiente aluminado

Rapid Determination of Oil/Fat Utilizing High Temperature Solvent Extraction

Definition

This method determines crude fat by extracting with petroleum ether. The compounds extracted are predominantly triacylglycerides. Small amounts of other lipids along with minor compounds having some solubility in petroleum ether are also extracted.

Scope

This method is applicable to solid processed foods with 0-100% fat content.

Apparatus

1. Analytical Balance—capable of weighing 0.1 mg.
2. Oven—capable of maintaining a temperature of $102 \pm 2^\circ\text{C}$.
3. Extraction instrument—capable of extracting at $90 \pm 2^\circ\text{C}$. (XT10, XT15, XT20, ANKOM Technology).
4. Filter Bags—constructed from chemically inert and heat resistant filter media, capable of being heat sealed closed and able to retain 1 micron particles while permitting solution penetration (XT4, ANKOM Technology).
5. Heat sealer—sufficient for sealing the filter bags closed to ensure complete closure (1915, ANKOM Technology).
6. Desiccant Pouch—collapsible sealable pouch with desiccant inside that enables the removal of air from around the filter bags (*MoistureStop* weigh pouch, ANKOM Technology).
7. Marking pen—Solvent and acid resistant (F08, ANKOM Technology).
8. Dryer (optional) —forced air dryer capable of maintaining a temperature between $60\text{--}120^\circ\text{C}$ (ANKOM^{MD} Dryer, ANKOM Technology).

Reagents

1. Petroleum Ether (B.P. $35\text{--}65^\circ\text{C}$). Depending on the method used, other solvents such as hexanes and ethyl ether may be used. **CAUTION:** Most fat solvents are extremely flammable. Avoid static electricity and follow safe laboratory practices according to your local regulations when handling solvents.

Precision

Results of the collaborative study (see Table 1) indicates the precision (S_r , RSD_r , r) that the analyst should use as a benchmark for evaluation replication in the same laboratory.

Calculations

Meat samples $\leq 15\%$ fat and plant samples $\leq 20\%$ fat	Meat samples $> 15\%$ fat and plant samples $> 20\%$ fat
$\% \text{ Crude Fat} = \frac{100 \times (W_2 - W_3)}{W_1}$	$\% \text{ Crude Fat} = \frac{100 \times ((W_2 - W_4) - W_3)}{W_1}$
Where: W_1 = Original weight of sample W_2 = Weight of pre-extracted dried sample with filter bag W_3 = Weight of dry sample with filter bag after extraction	Where: W_4 = Weight of the weigh tin
NOTE: For Liquid Samples, W_2 and W_3 in the above equations will include the weight of Diatomaceous Earth (DE).	

Procedure (see the Fat Extraction Process section of the Operator's Manual for more detail)

1. Place a labeled filter bag on the balance and zero the balance.
2. Weigh 1.5 – 2g of sample into the bag and record the weight (W_1).
3. Heat seal the filter bag closed within 4mm of the top to encapsulate the sample.
4. It is good practice to include a blank bag periodically, especially when changing solvents, in order to measure any effect on the filter bag.
5. If a meat sample has an expected fat value of $> 15\%$ or a plant sample has an expected fat value of $> 20\%$, then place the filter bag with sample in a tared weigh tin (W_4) during the oven drying procedure in order to capture fat that may migrate out of the bag during heating.
6. Place samples in the drying oven at $102 \pm 2^\circ\text{C}$ for 3 hrs (see Numbered Note 1).
7. Cool the dried samples in the Desiccant Pouch, weigh and record the weight (W_2).
8. Place filter bags with sample into the bag holder and place in the extractor.
9. Follow the extraction instrument instructions.
10. When the extraction process is complete dry the samples for 15 – 30 minutes in the oven at $102 \pm 2^\circ\text{C}$ or in the ANKOM^{MD} Dryer set at the factory setting of 110°C . (See Numbered Note 2.)
11. Cool in the Desiccant Pouch and weigh (W_3).

Numbered Notes

1. Pre-extraction drying time of the samples in the filter bags can be greatly reduced by using a microwave oven. However, microwave ovens vary in energy output and samples vary in water and fat composition. You will need to experiment with your microwave oven to determine the proper conditions for use. Contact ANKOM Technology for further information.
2. Some samples with large amounts of carbohydrates (starches and cellulose) may bind small quantities of solvent and require additional post drying. To remove bound solvent, dry at 100°C for 1 – 3 hrs or at 125°C for 30 minutes.

Table 1. A summary of the statistical analysis of the international collaborative study of the Filter Bag Technique for the proposed Official AOCS Method, "Rapid Determination of Oil/Fat Utilizing High Temperature Solvent Extraction" is presented in this table. Included in the summary is a comparison of the Filter Bag Technique with the results of analysis by AOCS certified laboratories using official AOCS or AOAC methods

Sample ID	oat meal	brownie mix	soybean A	canola	soybean meal	corn A	poultry starter	cattle feed	pig starter	alfalfa	cat food	cookies	bkft cereal	tortilla chips
Number of laboratories	12	12	11	9	12	12	11	10	11	11	12	11	12	12
Number of replicates	24	24	22	18	24	24	22	20	22	22	24	22	24	24
Filter Bag Average, % Crude Fat	5.8	8.7	20.9	39.0	1.6	3.3	3.3	3.2	5.6	2.4	6.3	22.7	2.3	19.9
Certified Labs Average*	5.7	8.7	21.1	39.7	1.6	3.6	3.5	3.0	5.5	2.2	6.2	23.1	2.3	20.0
AOCS Am 2-93 Avg. for Oilseeds			21.9	44.8		3.6								
S_r	0.36	0.20	0.35	0.23	0.14	0.31	0.24	0.18	0.20	0.39	0.27	0.20	0.26	0.39
S_R	0.54	0.31	0.63	0.68	0.27	0.42	0.42	0.20	0.28	0.50	0.30	0.20	0.36	0.48
RSD _r , %	6.2	2.3	1.7	0.6	8.5	9.5	7.3	5.6	3.6	16.1	4.2	0.9	11.4	2.0
RSD _R , %	9.4	3.5	3.0	1.7	16.3	12.7	12.6	6.1	5.0	20.7	4.7	0.9	15.7	2.4
r	0.99	0.56	0.98	0.65	0.39	0.88	0.68	0.51	0.56	1.08	0.75	0.56	0.72	1.09
R	1.52	0.86	1.76	1.90	0.75	1.18	1.16	0.55	0.78	1.39	0.83	0.56	1.00	1.35
HORRAT	3.05	1.21	1.19	0.76	4.38	3.87	3.77	1.83	1.61	5.92	1.56	0.35	4.45	0.95

Sample ID	dog food	crackers	turkey	ham	beef ground	chicken breast	soybean B	safflower	potato chips	hot dog	sausage	corn B	cheese curds	corn silage
Number of laboratories	12	10	12	9	11	11	11	9	11	12	11	12	12	12
Number of replicates	24	20	24	18	22	22	22	18	22	24	22	24	24	24
Filter Bag Average, % Crude Fat	6.8	23.8	3.2	11.6	23.8	2.8	19.4	22.5	32.0	39.5	25.7	3.4	30.6	2.3
Certified Labs Average*	6.9	24.0	3.2	11.3	23.5	2.7	19.7	23.2	32.0	39.0	25.0	3.7	30.5	2.3
AOCS Am 2-93 Avg. for Oilseeds							20.8	24.7						
S_r	0.35	0.23	0.21	0.30	0.24	0.33	0.38	0.53	0.48	0.35	0.34	0.39	0.48	0.23
S_R	0.35	0.23	0.34	0.30	0.36	0.33	0.62	0.83	0.52	0.59	0.51	0.41	0.69	0.51
RSD _r , %	5.23	0.96	6.57	2.59	1.01	11.89	1.97	2.36	1.49	0.89	1.33	11.48	1.59	9.87
RSD _R , %	5.23	0.96	10.84	2.59	1.49	11.89	3.19	3.69	1.61	1.49	1.98	11.93	2.27	22.45
r	0.99	0.64	0.58	0.84	0.67	0.94	1.07	1.49	1.34	0.98	0.96	1.10	1.36	0.63
R	0.99	0.64	0.96	0.84	0.99	0.94	1.73	2.33	1.45	1.65	1.43	1.14	1.94	1.44
HORRAT	1.74	0.39	3.22	0.94	0.6	3.47	1.25	1.48	0.68	0.65	0.81	3.59	0.95	6.36

*AOCS Official Methods Ba 3-38, AOAC 920.39 or equivalent

Anexo 29 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD, MATERIA SECA, CENIZA Y MATERIA ORGANICA

HUMEDAD

Se refiere a la cantidad de agua que se encuentra en los alimentos y es expresada en porcentaje. Su contenido es variable, dependiendo el tipo de alimento, puede llegar a representar una fuente importante de agua para los animales.

Forraje verde y ensilados	70 - 85% Hd
Concentrados	07 - 15% Hd

Sin embargo, su cuantificación en un alimento es un factor decisivo para determinar el valor alimenticio y el tipo de almacenamiento; por lo que se debe considerar límites máximos de contenido de humedad de los alimentos para evitar el enmohecimiento o pudrición de los mismos:

Harinas y granos	14 %	H
Melaza	40 %	H
Desperdicios de Alimento	11 %	H
Henos l	5 %	H

Por otro lado, debido a la amplia variación del contenido de humedad de los alimentos, para la comparación de sus datos analíticos se debe trabajar sobre la misma base de materia seca.

DETERMINACION DE HUMEDAD

1. METODO DE LA ESTUFA DE AIRE

APLICACION

El método es aplicable a todos los productos alimenticios, excepto los que puedan contener compuestos volátiles, distintos del agua o los que son susceptibles a la descomposición a 105°C (Figura 4). Sin embargo, ya en el mercado encontramos analizadores de campo para granos y para forrajes. (Figura 5)



Fig. 4. Estufa al aire Fig. 5. Analizadores automáticos de humedad.

I Derecha: para granos



Este método se basa en la pérdida de peso que experimenta una muestra sometida a temperatura de ebullición del agua, hasta obtener peso constante.

Para los alimentos que se descomponen a 100°C y/o contiene sustancias volátiles se debe emplear cualquiera de estos métodos:

- El método de la estufa al vacío con presión reducida
- Campanas de vidrio (con agentes desecantes- ver Figura 6)
- El método de destilación con tolueno (Dean y Stark)
- Secado con rayos infrarrojos
- Resonancia magnética
- Analizador de Humedad automático con temperatura controlada y dejando visualizar los resultados, determinando el porcentaje de humedad, sólidos volátiles y materia seca (Figura 5).

EQUIPOS Y MATERIALES :



Fig. 6. Beaker

200 ml (Figura 6)
 Aire a $105 \pm 2^\circ\text{C}$
 Balanza analítica con 1 mg de sensibilidad
)
 Campana de vidrio (Figura 8)
 Metal



Fig. 7. Balanza analítica



Fig. 8 Campana de vidrio

PROCEDIMIENTO :

1. Pesar el beaker seco y enfriado en el desecador.
2. Pesar 5 g de muestra y transferirlo al beaker.
3. Llevar a la estufa a 105°C hasta peso constante (aproximadamente 5-6 horas).
4. Retirar el beaker de la estufa y hacerlo enfriar en el desecador antes de tomar el peso final.
5. Calcular por diferencia de peso la humedad.

CALCULOS :

1. Peso del beaker vacío = W1
2. Peso del beaker + Peso de muestra = W2
3. Peso del beaker con muestra seca (peso final) = W3

$$\% \text{ Humedad} = \frac{W2 - W3}{W2 - W1} \times 100 .$$

MATERIA SECA

Comprende las fracciones de Materia Orgánica (Compuestos Nitrogenados, Grasas y Carbohidratos) y la fracción inorgánica o mineral.

DETERMINACIÓN DE MATERIA SECA

La determinación de materia seca se hace por dos métodos:

- Por diferencia de peso entre el peso inicial de muestra (100%) y el porcentaje de humedad hallado.

$$\% \text{ MS} = 100\% - \% \text{ Humedad}$$

- Por ecuación

$$\% \text{ MS} = \frac{W3 - W1}{W2 - W1} \times 100$$

EJEMPLO:

Muestra: maíz grano

Peso del beaker = 30.9120 gr (W1) Peso muestra W2 - W1 = 5 gr

W2 = 35.9120 gr W3 = 35.3575

$$\% \text{ Humedad} = \frac{35.9120 - 35.3575}{5} \times 100$$

5

$$\% \text{ Humedad} = 11.09\%$$

$$\% \text{ Materia Seca} = 100\% - 11.09 \% \text{ Hd}$$

$$\text{MS} = 88.91 \%$$

CENIZA

La Ceniza es el residuo inorgánico de una muestra incinerada en 550°C., su cuantificación es el inicio para la determinación de elementos minerales (macrominerales y microminerales); los cuales en el organismo actúan como:

- Activadores enzimáticos (Coenzimas)
- Equilibrio ácido base
- Estructuras (huesos, dientes)
- Componente de Hormonas y vitaminas

Su determinación tiene mayor relevancia en insumos como harina de pescado, harina de carne, harina de langostinos, harina de desperdicio de ave; por cuanto estima la proporción de alimento poco aprovechable como hueso, escamas, espinas incorporadas al insumo. Asimismo, permite abrir sospecha de adulteraciones con arena o arcilla.

DETERMINACION DE CENIZA APLICACION

El método es aplicable a todos los productos alimenticios, excepto los que contienen más de 50% de grasa.

PRINCIPIO

A altas temperaturas (550 - 600°C) se quema la materia orgánica y se evapora el agua de la muestra, quedando el material inorgánico que no se destruye, al que se le llama ceniza y contiene el material mineral.



Fig.9.

EQUIPOS Y MATERIALES:

- Crisol
- cápsula de porcelana (crisol). Ver Figura 9.
- Horno de incineración (Mufla). Ver Figura 10.
- Desecador de vidrio, con deshidratante de perclorato de magnesio o sílica gel
- Balanza analítica con 1 mg de sensibilidad
- Pinzas de metal (Figura 7)

PROCEDIMIENTO :

1. Colocar el crisol limpio en estufa a 100°C durante 1 hora.
2. Llevar el crisol al desecador para que enfríe y pesarlo, siempre manejando con pinzas de metal para prevenir la absorción de humedad.
3. Pesar 1.5 a 2.0 g de muestra y colocarlo en el crisol de porcelana
4. Colocarlo en un horno incinerador (mufla) a temperatura de 600°C por 3 a 5 horas.
5. Colocar el crisol conteniendo las cenizas en un desecador para que enfríe.
6. Pesar el crisol con las cenizas.
7. Calcular por diferencia de peso la ceniza.

CALCULO:

ceniza W3 Peso muestra

W1 = Peso crisol

W2 = Peso crisol +

$$\% \text{ de Ceniza} = \frac{W2 - W3}{W1} \times 100$$

DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

La determinación de materia orgánica se hace por:

- Diferencia del total de muestra (100%) menos el porcentaje de humedad ceniza hallados.

$$\% \text{ MO} = 100\% - \% \text{ Humedad} - \% \text{ Ceniza}$$

- Diferencia entre el porcentaje de materia seca menos el porcentaje de ceniza.

$$\% \text{ MO} = \% \text{ MS} - \% \text{ Ceniza}$$

EJEMPLO:

Muestra = maíz

grano W3 =

2 gr

W1 = 19.5080

W2 = 19.5860

$$\% \text{ de Ceniza} = \frac{(19.5860 - 19.5080) \times 100}{2}$$

$$\% \text{ de Ceniza} = 3.9$$

Si el % Humedad es de 110.9%, y la Ceniza de 3.9%; entonces la Materia orgánica es

:

$$\% \text{ MO} = 100\% - 11.09\% - 3.9\%$$

$$\text{MO} = 85.01\%$$

BIBLIOGRAFÍA :

Método de AOAC 1990. Parte 942.05 pp

70 Kossodo S.A. Catálogo - guía

1999 - 2000.

Osborne, D. Y Voogt, P. 1986. Análisis de los nutrientes de los alimentos.

Editorial Acribia. S.A. Zaragoza. 150 p.

Anexo 30. DETERMINACIÓN DE PROTEINA TOTAL Y EXTRACTO ETereo

PROTEINAS Y AMINOÁCIDOS

La palabra proteína procede del griego proteicos que significa primario; puesto que son los constituyentes orgánicos indispensables en los seres vivos. Ellas presentan diversidad en su composición química, propiedades físicas, tamaño, forma y entre sus funciones biológicas, participan en:

- Transporte: Hemoglobina, Rodoxina, seroalbúmina
- Reserva: Ferritina, que contiene el 30% de Fe y se encuentra en el bazo; además de la Ovoalbúmina que provee al embrión del suministro de aminoácidos.
- Defensa: Inmunoglobulinas, Fibrinógeno
- Estructural: Queratina (tejido duro del cuerpo), Colágeno (principal proteína estructural extracelular del tejido conectivo y hueso).
- Digestivas (enzimas): Tripsina, Renina, Dipeptidasa, etc
- Hormonales: Somatotropina (hormona del crecimiento de la glándula pituitaria anterior), Insulina (regulador metabolismo de la glucosa).
- Sistema motiles y contráctiles: Actina y Miosina, como elementos contráctiles del músculo.

Sin embargo, todas están formadas por unidades simples llamadas aminoácidos, que a su vez están constituidas por los elementos:

Carbono:	50 – 55 %
Oxígeno	20 – 23 %
Hidrógeno	6 – 8 %
Nitrógeno	15 – 18 %
Azufre 0 – 4	% (Sólo los aminoácidos azufrados)

Calidad proteica

La calidad de la proteína está relacionada con la cantidad, clase de aminoácidos que contiene la proteína, disponibilidad y de las necesidades de estos aminoácidos por el organismo, de tal modo que mide por comparación las proporciones de aminoácidos esenciales disponibles en un alimento con las proporciones necesarias para la buena nutrición.

DETERMINACION DE PROTEINA TOTAL

1. METODO SEMIMICRO KJELDAHL APLICACION

El nombre de este método corresponde al nombre del químico danés que lo concibió y hoy en día el método es ampliamente usado en alimentos, suelos, aguas residuales, etc.

PRINCIPIO

Por acción del ácido sulfúrico concentrado y caliente, se destruye la materia orgánica quedando el nitrógeno convertido en sulfato de amonio, el cual es liberado en la destilación como amoniaco y capturado como borato de amonio y cuya cantidad es cuantificada por titulación Con ácido clorhídrico.

El método asume que todo el nitrógeno de la muestra está en forma de proteína.

Por ello el proceso comprende tres fases:

Digestión, Destilación y Titulación, que incluso con la tecnología desarrollada se puede encontrar equipos automáticos de digestión con eliminación del vapor, ya sea

para muestras acuosas o sólidas; y unidades automáticas de destilación por vapor (Figura 11) que además de determinar nitrógeno amoniacal, nitrógeno nítrico, Kjeldahl total o nitrógeno proteico también es aplicable para la determinación de fenoles, ácidos grasos volátiles, alcohol, etc.

- a. Digestión de la muestra: por ebullición con H₂SO₄ concentrado y en presencia de catalizadores, la materia orgánica se oxida a CO₂ y agua, mientras que una parte del ácido se reduce a SO₂. los compuestos hidroxilados y carboxilados resultantes son detenidos por el H₂SO₄, así el NH₃ resultante es transformado a sulfato de amonio. Se utiliza el digestor visto en Figura 12.



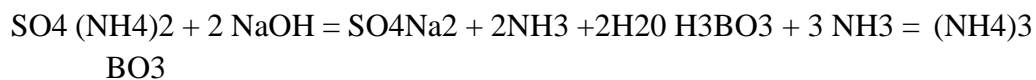
Fig. 12 Digestor Kjeldahl

El CO₂ formado y el azufre excedente se desprenden en forma de gases al combinarse con el oxígeno, formando moléculas de SO₄ y SO₃.

- b. Destilación: El nitrógeno que está en forma de sulfato de amonio, se ataca con un álcali fuerte que es la soda cáustica (NaOH) para liberar el amoniaco,



a destilarlo el vapor de agua arrastra el amoníaco que se recibe en Erlenmeyer que contiene ácido bórico con indicador. Se forma entonces el borato de amonio. (Figura 13)



El Erlenmeyer contiene : ácido bórico, con los siguientes indicadores de pH, rojo de metilo y verde de bromocresol.



Fig. 13. Destilador

- c. Titulación: Se hace con ácido clorhídrico de normalidad conocida. El ácido clorhídrico reacciona con el borato de amonio y un pequeño exceso de ácido clorhídrico provocará un cambio del pH y el consiguiente viraje del color del indicador. (Figura 14)

Por otro lado, existe como alternativa al método de Kjeldahl, un analizador automático para nitrógeno y proteína basado en el proceso de combustión. Es posible analizar 125 muestras en un tiempo total de corrida de 3 a 5 minutos por muestra.



Cuando el forraje es sometido a procesos donde sufre un excesivo calentamiento

(henificación o ensilaje mal procesado) una porción de la proteína cruda se hace no disponible porque se produce la reacción de Maillard; por lo que si se sospecha de este daño debe realizarse un análisis para determinar la cantidad de proteína enlazada o indisponible, como por ejemplo el método del nitrógeno indisponible en detergente ácido (NIDA). Si la proteína enlazada o insoluble es superior al 12 % de la proteína total es indicativo de una baja digestibilidad de la proteína.

EQUIPO5, REACTIVOS Y MATERIALES:

- Ácido Sulfúrico concentrado
- Catalizador (sulfato de potasio 15 gr + sulfato de cobre 1 gr)
- Ácido Bórico + Indicador de pH
- Ácido Clorhídrico, 0.1N
- Hidróxido de sodio al 50%
- Balones de digestión
- Erlenmeyer
- Cocina de digestión
- Aparato de destilación de Kjeldahl
- Bureta

PROCEDIMIENTO

1. 1.Pesar 0.2 - 0.3 gramos de muestra y colocarlo en el balón de digestión
2. 2. Agregarle 1.5 gr. del catalizador de oxidación (mezcla de sulfato de potasio y sulfato de cobre) para acelerar la reacción.
3. 3. Agregar 3.5 ml de ácido sulfúrico concentrado.
4. 4. Colocar el balón en la cocina de digestión iniciando a temperatura baja (5 min. aprox.) dando vueltas al balón.
5. 5. Aumentar la temperatura al máximo. Cuando el contenido del balón muestra transparencia, continuar con la digestión por un tiempo de 45 minutos más aproximadamente. El tiempo total de digestión no debe ser menor a 2 horas.
6. 6. La digestión termina cuando el contenido del balón es completamente cristalino. Cuando la digestión es muy lenta y difícil, puede ser necesario añadir gotas de peróxido.
7. 7. Dejar enfriar la muestra digerida en el aparato de destilación
8. 8. Diluir la muestra digerida con agua destilada y colocarla en el equipo de destilación.
9. 9. Agregar 5 ml de hidróxido de sodio al 50% y colocar un Erlenmeyer conteniendo los 10 ml de mezcla de ácido bórico más indicadores para

recibir el destilado

11. Conectar el vapor para que se produzca la destilación y destilar la muestra por 5 minutos más después de producido el viraje de color.
12. Titular con HCl de normalidad conocida y anotar el gasto y normalidad del ácido.

NOTA: Toda muestra se analiza por duplicado y la diferencia entre los gastos no debe ser mayor de 0.05 ml.

SOLUCION DE ACIDO BORICO CON INDICADOR DE pH :

Ácido Bórico al 4% :

1. Pesar 40 gr de Ácido Bórico y colocarlo en una en fiola de 1 Lt, y diluir con 800 ml de agua destilada.
2. Agregar 20 ml. de verde de bromocresol al 1%. L/o -
3. Añadir 8 ml de rojo de metilo al 0.1%.
4. Enrasar la fiola con agua destilada a volumen de 1 litro.

CALCULOS

La cantidad de nitrógeno de la muestra se obtiene por la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de nitrógeno} = \frac{\text{ml de HCl} \times \text{Normalidad} \times \text{meq del N}_2}{\text{Gramos de muestra}} \times 100$$

Gramos de muestra

Para obtener la cantidad de proteína bruta, se multiplica el porcentaje de nitrógeno por el factor

6.25 (promedio)

$$\% \text{ Proteína} = \% \text{ Nitrógeno} \times 6.25$$

Sin embargo, se tiene factores de conversión específicos para los siguientes tipos de alimento:

➤ Harina de Trigo y sus productos	5.70
➤ Trigo, grano completo	5.83
➤ Centeno, Avena y Cebada	5.83
➤ Arroz pilado	5.95
➤ Almendras	5.18
➤ Nueces del Brasil	5.46
➤ Maní	5.46
➤ Frejol de soya y sus productos	5.71
➤ Coco, Castañas y oleaginosas	5.30
➤ Leche y sus productos	6.38
➤ Gelatina	5.55

EJEMPLO:

Muestra : Maíz grano ml de HCL = 74 HCL = 0.0251 N

meq de N₂ = 0.014 Gramo de muestra = 0.2

$$\% \text{ de Nitrógeno} = \frac{7.4 \times 0.0251 \times 0.014 \times 100}{0.2} = 1.3$$

$$\% \text{ de Proteína Total} = 1.3 \times 6.25$$

$$\% \text{ de Proteína Total} = 8.125$$

LÍPIDOS

Moléculas orgánicas insolubles en agua, pero solubles en solventes orgánicos: benceno, éter etílico, hexano. Comprende: los ácidos grasos libres indispensables O no, esteroides, terpenoides, ceras y fosfolípidos.

Las grasas y los aceites constituyen cuantitativamente la fracción más abundante de los lípidos en la mayoría de las sustancias comestibles y se caracteriza por su elevado valor energético. Es la principal forma en que los tejidos animales almacenan energía. Un gramo de grasa produce aproximadamente 9.45 kcal de calor cuando se somete a combustión total, comparado con 4.1 kcal y 5.65 kcal, producido por los glúcidos y proteínas respectivamente.

Los ácidos grasos están constituidos por cadenas de átomos de carbono, que contiene desde 2 hasta 24 átomos de carbonos de longitud, pudiendo presentar dobles enlaces y se caracterizan por tener en su extremo un grupo carboxilo. Así, tenemos al ácido acético (C₂:0) que es uno de los productos de la fermentación microbiana, el ácido graso mirístico (C₁₄:0) constituyente de la grasa de la leche, el ácido graso linoleico (C₁₈:2) presente en el aceite de maíz, soya y otros aceites vegetales, mientras que en las grasas de origen animal y el coco abunda el ácido graso esteárico (C₁₈:0).

Anexo 31. Cuadro resultados de Análisis Químico Proximal

FECHA	24/03/2022
PROPIETARIO	MARIA ESTELA TOLENTINO SANTILLAN
MUESTRA	JERGON SACHA
PROCEDENCIA	LAMAS
ANALISIS A REALIZAR	QUÍMICO PROXIMAL

HUMEDAD - MATERIA SECA A 105 °C						
MUESTRA	PESO DEL CRISOL VACIO	PESO DE LA MUESTRA	PESO DEL CRISOL + MUESTRA SECA	PESO DE LA MUESTRA SECA SOLA	% H	% MATERIA SECA
JERGON SACHA	54.7455	5.0093	56.2647	1.5192	69.68	30.32
	44.5287	5.0098	46.0478	1.5191	69.68	30.32
	36.4622	5.0099	37.9695	1.5192	69.68	30.32

CENIZA					
MUESTRA	PESO DEL CRISOL VACIO	PESO DE LA MUESTRA	PESO DEL CRISOL + CENIZA	CENIZA	% CENIZA
JERGON SACHA	40.6425	3.0004	40.6884	0.0456	1.52
	39.0391	3.0005	39.0846	0.0455	1.52
	38.8251	3.0005	38.8706	0.0455	1.52

PROTEINA TOTAL				
MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA	G. T.	% N	% PROTEINA TOTAL
JERGON SACHA	0.3004	0.84	0.3915	2.45
	0.3004	0.84	0.3915	2.45
	0.3004	0.84	0.3915	2.45

EXTRACTO ETereo								
MUESTRA	PESO DEL FILTRO	PESO DE LA MUESTRA	PESO DESPUES DEL SECADO	PESO DE LA GRASA	PESO DESPUES DE LA EXTRACCIÓN	% GRASA	\bar{X}	DEV. STD.
JERGON SACHA	0.5263	2.0000	1.2588	0.0016	1.2572	0.08	0.08	0.00
	0.5073	2.0000	1.2492	0.0016	1.2476	0.08		
	0.5210	2.0000	1.2412	0.0016	1.2396	0.08		

FIBRA CRUDA										
MUESTRA	PESO DEL FILTRO	PESO DE LA MUESTRA	PESO DESPUES DEL SECADO	PERDIDA DE LA MATERIA ORGANICA	PESO DE LA CENIZA	PESO DEL CRISOL VACIO	PESO DEL CRISOL + CENIZA	% FIBRA CRUDA	\bar{X}	DEV. STD.
JERGON SACHA	0.5648	0.9500	0.5729	0.5724	0.0005	40.6474	40.6479	2.0366	2.04	0.00
	0.5481	0.9500	0.5570	0.5565	0.0005	39.0426	39.0431	2.0366		
	0.5882	0.5141	0.5866	0.5861	0.0005	38.8268	38.8273	2.0365		