

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



T E S I S

VIDA ÚTIL DE HARINA DE TRES VARIEDADES DE ARVEJA,
(*Pisum sativum* L.) SOMETIDAS A TRES TIEMPOS DIFERENTES
DE TOSTADO

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Presentado por el Bachiller:

LILI EDIT CARUAJULCA VARGAS

Asesor:

Ing. Mg. Max Edwin Sangay Terrones

CAJAMARCA - PERÚ

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

Norte de la Universidad Peruana
Fundada por Ley 14015 del 13 de febrero de 1962
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

En Cajamarca, a los veinte días del mes de Agosto del año dos mil diecinueve se reunieron en el ambiente 2H – 204 de la facultad de ciencias Agrarias, los integrantes del Jurado designado por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias, según resolución de Consejo de Facultad N° 154-2019-FCA-UNC, Fecha 31 de Mayo del 2019, con el objetivo de Evaluar la sustentación de la Tesis titulada: “**VIDA ÚTIL DE HARINA DE TRES VARIEDADES DE ARVEJA (*Pisum sativum* L.) SOMETIDAS A TRES TIEMPOS DIFERENTES DE TOSTADO**”, para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**, del Bachiller: **CARUAJULCA VARGAS LILI EDIT**.

A las once horas y cero minutos y de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del Jurado dio por inicio el acto. Después de la exposición del trabajo de Tesis, la formulación de preguntas y de la deliberación del Jurado, el Presidente anunció la Aprobación por unanimidad con el calificativo de Diecisiete (17).

Por lo tanto, el graduado queda expedita para que se le expida el **Título Profesional** correspondiente.

A las Doce horas y tres minutos, el Presidente del Jurado dio por concluido el acto.

Cajamarca 20 de agosto de 2019.

Ing. M.sc. José Gerardo Salhuana Granados

PRESIDENTE

Ing. M. Sc. Jimmy Frank Oblitas Cruz

SECRETARIO

Ing. M.sc. Fanny L. Rimarachín Chávez

VOCAL

Ing. Mg. Max Edwin Sangay Terrones

ASESOR

DEDICATORIA

A Dios por regalarme la oportunidad de vivir con personas que se convierten en la razón de la vida misma.

A mis padres quienes siempre me apoyaron incondicionalmente en la parte moral y económica para poder llegar a ser profesional.

A mis hermanos por el apoyo que siempre me brindaron día a día en el transcurso de cada año de mi carrera universitaria.

A mi esposo por apoyarme en todo momento y mi adorada hija por ser el motivo, impulso e inspiración para seguir adelante en mi vida.

Lili Edit Caruajulca Vargas

AGRADECIMIENTO

Dios, tu amor y bondad no tienen fin, me permites sonreír ante todos mis logros que son resultado de tu ayuda, este trabajo de tesis ha sido una gran bendición y no cesan mis ganas de decir gracias a ti que esta meta está cumplida.

A mis padres y hermanos por su sacrificio, cariño, y confianza, por entregar todo a cambio de nada. Su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mi esposo por su ayuda, amor y apoyo que me brinda, por ser mi compañero de vida, y a mi adorada hija por ser el motivo, impulso e inspiración para seguir adelante en mi vida.

Mi eterno agradecimiento a la Universidad Nacional de Cajamarca y a la facultad de ciencias Agrarias por el conocimiento impartido, por ser la cuna del saber en mis años de estudio.

A los docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias por la entrega de conocimientos durante todo el proceso de mi formación profesional

Expreso mi eterno agradecimiento al Ing. Max Sangay Terrones por ser un apoyo constante como asesor, por su amabilidad y confianza, por su ayuda incondicional, por ser uno de los mejores maestros.

Finalmente agradezco a quien lee este apartado y más de mi tesis, por permitir a mis experiencias, investigaciones y conocimientos, incurrir dentro de su repertorio de información mental.

Lili Edit Caruajulca Vargas

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO	v
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMENxiv
ABSTRACTxv
CAPITULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Problema de la Investigación	2
1.2 Formulación del Problema	3
1.3.1 Objetivo general	3
1.3.2 Objetivos específicos	3
CAPITULO II	4
REVISION DE LITERATURA	4
2.1 Antecedentes de la investigación	4
2.2 Marco conceptual o bases teóricas	6
2.2.1 ARVEJA	6
2.2.1.1 Origen de la Arveja.....	6
2.2.1.2 Producción de arveja en Cajamarca	6
2.2.1.3 Variedades de arveja	7
2.2.1.4 Contenido Nutricional	10

2.2.2 Harina de arveja.....	11
2.2.3 Proceso de tostado	12
2.2.3.1 Temperatura de tueste.....	13
2.2.3.2 Tiempo de tueste.....	13
2.2.3.3 Técnicas de tostado	14
2.2.3.4 Métodos de tostado tradicional	14
2.2.4 Vida útil	15
2.2.5 Isotermas de Adsorción y Desorción.....	22
2.3 Definición de términos.....	27
CAPITULO III.....	29
MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
3.1 Lugar de ejecución.....	29
3.2 Material y equipos de laboratorio	29
3.2.1 Materia prima	29
3.2.2 Reactivos	29
3.2.3 Equipos	29
3.2.4 Materiales.....	30
3.2.5 Material de gabinete.....	30
3.3 Métodos de Análisis	30
3.3.1 Determinación de isotermas de sorción	30
3.4 Diseño experimental.....	31
3.5 Análisis estadístico.....	33
3.6 Descripción del proceso de elaboración de harina de arveja	34

CAPITULO IV	35
RESULTADOS Y DISCUSIONES	35
4.1 Contenido de humedad y actividad de agua	35
4.2 Humedad en equilibrio	36
4.3 Isotermas de adsorción	39
4.4 Modelado de las isotermas de adsorción	45
4.5 Determinación de la Vida Útil	59
CAPITULO V	65
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
5.1 CONCLUSIONES.....	65
5.2 RECOMENDACIONES	65
CAPITULO VI	66
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
ANEXOS	71

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Humedades relativas a diferentes soluciones preparadas	31
Tabla 2.	Valores constantes usados para la estimación de la vida útil de harina de tres variedades de arveja sometida a tres tiempos diferentes de tostado usando la ecuación de Heiss & Eichner, citado por Guevara (2015).	33
Tabla 3.	Porcentaje de humedad y actividad de agua inicial de las muestras de harina utilizadas para el estudio.	36
Tabla 4.	Humedad de equilibrio de a harina de arveja Blanca Criolla	37
Tabla 5.	Humedad de equilibrio de la harina de arveja Azul	38
Tabla 6.	Humedad de equilibrio de la harina de arveja Usui	39
Tabla 7.	Parámetros de los modelos a las temperaturas de 25, 30 y 35°C de la harina de arveja Blanca Criolla sometida a 12 minutos de tostado	46
Tabla 8.	Parámetros del modelos a las temperaturas de 25 30 y 35°C de la harina de arveja Blanca Criolla sometida a 20 minutos de tostado	46
Tabla 9.	Parámetros del modelos a las temperaturas de 25 30 y 35°C de la harina de arveja Blanca Criolla sometida a 25 minutos de tostado	46
Tabla 10.	<i>Parámetros del modelos a las temperaturas de 25, 30 y 35°C de la harina de arveja Azul sometida a 12 minutos de tostado</i>	<i>47</i>
Tabla 11.	Parámetros del modelos a las temperaturas de 25 30 y 35°C de la harina de arveja Azul sometida a 20 minutos de tostado	47
Tabla 12.	Parámetros del modelos a las temperaturas de 25 30 y 35°C de la harina de arveja Azul sometida a 25 minutos de tostado	47
Tabla 13.	Parámetros del modelos a las temperaturas de 25 30 y 35°C de la harina de arveja Usui sometida a 12 minutos de tostado	48
Tabla 14.	Parámetros del modelos a las temperaturas de 25 30 y 35°C de la harina de arveja Usui sometida a 20 minutos de tostado	48
Tabla 15.	Parámetros del modelos a las temperaturas de 25 30 y 35°C de la harina de arveja Usui sometida a 25 minutos de tostado	48
Tabla 16.	Parámetros obtenidos de las isotermas experimentales para el cálculo de la vida útil de la harina de arveja Blanca Criolla.	59

Tabla 17.	Parámetros obtenidos de las isotermas experimentales para el cálculo de la vida útil de la harina de arveja Azul.	59
Tabla 18.	Parámetros obtenidos de las isotermas experimentales para el cálculo de la vida útil de la harina de arveja Usui.	60
Tabla 19.	Estimación de la vida útil de la harina de tres variedades de arveja sometidas a tres tiempos diferentes de tostado	61
Tabla 20.	Análisis de Varianza para vida útil.....	61
Tabla 21.	Prueba de HSD tukey para el factor tiempo de tostado, confianza 95%	62
Tabla 22.	Prueba de HSD tukey para el factor temperatura, confianza 95%	63
Tabla 23.	Prueba de HSD tukey para la interaccion (variedad por tiempo de tostado, confianza 95%	63

INDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Tipos de isothermas de acuerdo a la clasificacion de S. Brunauer	22
Figura 2:	Diagrama de Flujo de Elaboración de Harina de Arveja.....	34
Figura 3:	Isoterma de adsorción experimental de la harina de arveja blanca criolla sometida a 12 minutos de tostado	41
Figura 4:	Isoterma de adsorción experimental de la harina de arveja blanca criolla sometida a 20 minutos de tostado	42
Figura 5:	Isoterma de adsorción experimental de la harina de arveja blanca criolla sometida a 25 minutos de tostado	42
Figura 6:	Isoterma de adsorción experimental de la harina de arveja Azul sometida a 12 minutos de tostado.....	43
Figura 7:	Isoterma de adsorción experimental de la harina de arveja Azul sometida a 20 minutos de tostado.....	43
Figura 8:	Isoterma de adsorción experimental de la harina de arveja Azul sometida a 25 minutos de tostado.....	44
Figura 9:	Isoterma de adsorción experimental de la harina de arveja Usui sometida a 12 minutos de tostado.....	44
Figura 10:	Isoterma de adsorción experimental de la harina de arveja Usui sometida a 20 minutos de tostado.....	45
Figura 11:	Isoterma de adsorción experimental de la harina de arveja Usui sometida a 25 minutos de tostado.....	45
Figura 12:	Modelado de la isoterma de adsorción de la harina de arveja Blanca Criolla sometida a 12 minutos de tostado con la ecuación GAB y experimental.....	50
Figura 13:	Modelado de la isoterma de adsorción de la harina de arveja Blanca Criolla sometida a 20 minutos de tostado con la ecuación GAB y experimental.....	51
Figura 14:	Modelado de la isoterma de adsorción de la harina de arveja Blanca Criolla sometida a 25 minutos de tostado con la ecuación GAB y experimental.....	51
Figura 15:	Modelado de la isoterma de adsorción de la harina de Azul sometida a 12 minutos de tostado con la ecuación GAB y experimental.....	52

Figura 16:	Modelado de la isoterma de adsorción de la harina de Azul sometida a 20 minutos de tostado con la ecuación GAB y experimental.....	52
Figura 17:	Modelado de la isoterma de adsorción de la harina de Azul sometida a 25 minutos de tostado con la ecuación GAB y experimental.....	53
Figura 18:	Modelado de la isoterma de adsorción de la harina de Usui sometida a 12 minutos de tostado con la ecuación GAB y experimental.....	53
Figura 19:	Modelado de la isoterma de adsorción de la harina de Usui sometida a 20 minutos de tostado con la ecuación GAB y experimental.....	54
Figura 20:	Modelado de la isoterma de adsorción de la harina de Usui sometida a 25 minutos de tostado con la ecuación GAB y experimental.....	54
Figura 21:	Modelado de la isoterma de adsorción de la harina de Blanca Criolla sometida a 12 minutos de tostado con la ecuación BET y experimental.....	55
Figura 22:	Modelado de la isoterma de adsorción de la harina de Blanca Criolla sometida a 20 minutos de tostado con la ecuación BET y experimental.....	55
Figura 23:	Modelado de la isoterma de adsorción de la harina de Blanca Criolla sometida a 25 minutos de tostado con la ecuación BET y experimental.....	56
Figura 24:	Modelado de la isoterma de adsorción de la harina de Azul sometida a 12 minutos de tostado con la ecuación BET y experimental.....	56
Figura 25:	Modelado de la isoterma de adsorción de la harina de Azul sometida a 20 minutos de tostado con la ecuación BET y experimental.....	57
Figura 26:	Modelado de la isoterma de adsorción de la harina de Azul sometida a 25 minutos de tostado con la ecuación BET y experimental.....	57

Figura 27:	Modelado de la isoterma de adsorción de la harina de Usui sometida a 12 minutos de tostado con la ecuación BET y experimental.....	58
Figura 28:	Modelado de la isoterma de adsorción de la harina de Usui sometida a 20 minutos de tostado con la ecuación BET y experimental.....	58
Figura 29:	Modelado de la isoterma de adsorción de la harina de Usui sometida a 25 minutos de tostado con la ecuación BET y experimental.....	59

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Cámara hermética para cada ambiente de almacenamiento.....	71
Anexo 2. Equipo AQUALAB usado para la determinación de a_w	71
Anexo 3. Harina de las tres variedades de arveja.....	71
Anexo 4. Humedad de equilibrio Experimental y modelado de harina de arveja blanca Criolla sometida a 12 minutos de tostado, a diferentes a_w	72
Anexo 5. Humedad de equilibrio Experimental y modelado de harina de arveja blanca Criolla sometida a 20 minutos de tostado, a diferentes a_w	72
Anexo 6. Humedad de equilibrio Experimental y modelado de harina de arveja blanca Criolla sometida a 25 minutos de tostado, a diferentes a_w	73
Anexo 7. Humedad de equilibrio Experimental y modelado de harina de arveja Azul sometida a 12 minutos de tostado, a diferentes a_w	73
Anexo 8. Humedad de equilibrio Experimental y modelado de harina de arveja Azul sometida a 20 minutos de tostado, a diferentes a_w	74
Anexo 9. Humedad de equilibrio Experimental y modelado de harina de arveja Azul sometida a 25 minutos de tostado, a diferentes a_w	74
Anexo 10. Humedad de equilibrio Experimental y modelado de harina de arveja Usui sometida a 12 minutos de tostado, a diferentes a_w	75
Anexo 11. Humedad de equilibrio Experimental y modelado de harina de arveja Usui sometida a 20 minutos de tostado, a diferentes a_w	75
Anexo 12. Humedad de equilibrio Experimental y modelado de harina de arveja Usui sometida a 25 minutos de tostado, a diferentes a_w	76

RESUMEN

El trabajo de investigación tuvo como objetivo predecir la vida útil de harina de tres variedades de arveja (*Pisum sativum L.*), sometidas a tres tiempos diferentes de tostado. El proceso de la harina de arveja fue obtenido mediante la etapa de tostado y la etapa de molienda, se empleó tres tiempos diferentes de tostado (12, 20 y 25 minutos) y las variedades de arveja fueron la Blanca Criolla, Azul y Usui. Para obtener las isothermas de adsorción se utilizó el método gravimétrico de soluciones saturadas de sal y la actividad de agua fue medido con el equipo AQUALAB 4 TEV. Los datos experimentales se modelaron utilizando las ecuaciones de GAB y de BET obteniendo isothermas de forma sigmoidea tipo II. El modelo de GAB presento un buen ajuste de los datos experimentales con coeficientes de determinación superiores a 0.9 y un %E menor a 10%, reportando valores de humedad de monocapa (0.0403 y 0.0552 $\text{g}_{\text{agua}}/\text{g}_{\text{m.s}}$) mayores a los calculados con el modelo de BET (0.0119 y 0.0226 $\text{g}_{\text{agua}}/\text{g}_{\text{m.s}}$) para las tres temperaturas evaluadas (25, 30 y 35 °C). La vida útil de la harina se estimó empleando el modelo de Heiss y Eichner, teniendo una vida estimada en rangos de 387 y 178 días para la harina de variedad Blanca Criolla, 398 y 165 días para la variedad Azul y 362 y 140 días para la variedad Usui. El tiempo de tostado y la temperatura influyen en la vida útil ya que presentan diferencias estadísticas, el tiempo de tostado que alarga la vida útil de la harina es 25 minutos y la temperatura de almacenamiento es 25°C, mientras que para la variedad no existen diferencias estadísticas.

Palabras Claves: Arveja, contenido de humedad en equilibrio, actividad de agua, isothermas de adsorción, modelos matemáticos, vida útil, proceso de tostado.

ABSTRACT

The research work aimed to predict the useful life of flour from three pea varieties (*Pisum sativum* L.), subjected to three different roasting times. The pea flour process was obtained through the roasting stage and the grinding stage, three different roasting times (12, 20 and 25 minutes) were used and the pea varieties were Criolla Blanca, Azul and Usui. The gravimetric method of saturated salt solutions was used to obtain the adsorption isotherms and the water activity was measured with the AQUALAB 4 TEV equipment. The experimental data were modeled using the GAB and BET equations obtaining isotherms of type II sigmoid form. The GAB model showed a better fit of the experimental data with coefficients of determination greater than 0.9 and a percentage of relative mean error of less than 10%, reporting humidity values of monolayer (0.0403 and 0.0552 gagua / gm.s) greater than those calculated with the BET model (0.0119 and 0.0226 gagua / gm.s) for the three temperatures evaluated (25, 30 and 35 ° C). The useful life of the flour was estimated using the Heiss and Eichner model, having an estimated life in ranges of 387 and 178 days for the Blanca Criolla variety flour, 398 and 165 days for the Blue variety, and 362 and 140 days for Usui variety. The roasting time and the temperature influence the shelf life since they have statistical differences, the roasting time that extends the useful life of the flour is 25 minutes and the storage temperature is 25 ° C, while for the variety they do not exist statistical differences.

Keywords: Peas, moisture content in equilibrium, water activity, adsorption isotherms, mathematical models, shelf life, roasting process

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

La producción de harina de arveja, ha tenido un crecimiento relativo en relación a la comercialización del producto en grano, toma especial relevancia en la panificación y en la formulación de otros productos debido a la cantidad y calidad de la proteína de esta legumbre. Esto convierte a la harina de arveja en ingrediente excelente para el enriquecimiento de proteínas en productos, para alcanzar el cumplimiento de la demanda actual.

Algunos factores que influyen en la estabilidad de los componentes durante el almacenamiento de la harina de arveja son: temperatura, contenido de humedad, presencia o ausencia de luz, pH, presencia de oxígeno y duración del almacenamiento (Ramírez, 2011). Por lo tanto, conocer el dato del valor adecuado de humedad final a la que la harina debe de almacenarse, así como el intervalo de humedades relativas para su almacenamiento es esencial. Para obtener esta información, es necesario la elaboración de las isoterms de sorción.

La vida útil de un alimento se define como, el periodo en que este retiene un nivel aceptable de calidad desde el punto de vista sensorial y de inocuidad, depende de la formulación, procesamiento, empaçado y de las condiciones de almacenamiento. La estabilidad de la harina de arveja depende en gran medida de su contenido de agua, ya que es necesaria para el crecimiento microbiano, para la germinación de semillas para que se efectúen reacciones tanto indeseables como deseables.

El objetivo de la presente investigación es, predecir la vida útil de harina de tres variedades de arveja, (*Pisum sativum L.*) sometidos a tres tiempos diferentes de tostado. Determinada mediante la construcción de isoterms de adsorción de agua. La estimación de la vida útil de la harina fue evaluada mediante el método de Heiss y Eichner.

En el campo de la ingeniería en alimentos diferentes modelos han sido usados para describir la sorción de agua (Furmaniak et al., 2009) citado por Agama (2018), estos modelos son necesarios para predecir el contenido de humedad a una actividad de agua dada y para evaluar las funciones termodinámicas del agua en los alimentos. Los modelos más comunes son los de BET y GAB, estos modelos describen la forma en que el agua está asociada en la matriz del alimento, por diferentes mecanismos en diferentes regiones de actividad de agua.

1.1 Problema de la Investigación

Las legumbres se cultivan en grandes cantidades en las regiones andinas del país, sin embargo, su consumo está limitado debido a tres razones principales: el tiempo requerido por su preparación y cocción, que se contrapone con la vertiginosa dinámica de vida actual; la percepción negativa que muchos tienen sobre estos productos, a los que definen como alimentos pasados de moda; y la falta de presentaciones innovadoras que faciliten la preparación y consumo (Schneider, 2002). Hoy en día ya se encuentra en los mercados otros alimentos derivados de las legumbres, así por ejemplo las harinas, pero estas son encontradas en presentaciones poco salubres y sin información nutritiva, debido a que no presentan empaques adecuados donde contenga información mínima de su proceso, composición nutricional y vida útil, lo cual hace que este alimento sea poco atractivo y por ende poco comercializado.

La Harina de arveja, (*Pisum sativum L.*) al no tener un proceso estandarizado de elaboración y carecer de empaque hace que la vida útil de este tan nutritivo alimento se vea afectada y sea muy corta. La harina de arveja se estabiliza por medio del tostado y el precocimiento al vapor. Cualquiera de estos procesos gelatiniza parcialmente el almidón, desnaturaliza las proteínas y desactiva las enzimas para incrementar su tiempo de vida útil.

Por lo tanto, es fundamental conocer el tiempo de tostado a la que la harina debe someterse para lograr incrementar su vida útil sin alterar sus componentes nutricionales y además conocer el tipo de arveja con mayor estabilidad y contenido nutricional.

1.2 Formulación del Problema

¿Cuál es la vida útil de harina de tres variedades de arveja, (*Pisum sativum L.*) sometidos a tres tiempos diferentes de tostado?

1.3 Objetivo de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Determinar la vida útil de harina de tres variedades de arveja, (*Pisum sativum L.*) sometidos a tres tiempos diferentes de tostado.

1.3.2 Objetivos específicos

- Conocer el tiempo de tostado, que alarga la vida útil de la harina de arveja
- Identificar la variedad de arveja (*Pisum sativum L.*) que tiene vida útil más prolongada.
- Caracterizar las isotermas de sorción de humedad, modeladas.

CAPITULO II

REVISION DE LITERATURA

2.1 Antecedentes de la investigación

La mayoría de legumbres, entre ellas las arvejas (o guisantes) forman parte de la dieta del hombre desde tiempos inmemoriales, especialmente debido a su alto contenido proteico. Las proteínas representan el nutriente más importante, después de los carbohidratos de las legumbres, las arvejas poseen proteínas de alta calidad, con un contenido de 22.6 % de proteína cruda (Iqbal *et al*, 2005) citado por Alasino (2009).

En el segmento de arvejas procesadas se destacan tres productos: harina, arvejas congeladas y arvejas enlatadas. Con respecto al uso industrial son las conservas, congelados, el producto deshidratado, las sopas y las harinas (Bernardi, 2017)

La Harina de arveja, (*Pisum sativum L.*) es usada actualmente en el procesamiento de productos cárnicos, donde su estabilidad a las altas temperaturas y resistencia mecánica son determinantes para su funcionalidad. El almidón derivado de arvejas ha ganado popularidad como espesante en sopas, salsas y otros productos (Parzanese s. f)

La harina de arveja tostada es un excelente portador y mejorador de sabor, y un contenido nutricional alto en fibra, proteína vegetal, oligosacáridos, isoflavonas, zinc, selenio y almidón resistente. La harina de arveja se estabiliza por medio del tostado y el precocimiento al vapor. Cualquiera de estos procesos gelatiniza parcialmente el almidón, desnaturaliza las proteínas y desactiva las enzimas para incrementar su tiempo de vida útil (Boletín Técnico s. f)

Alasino. (2009), en virtud a las exigencias nutricionales en los productos industrializados de los consumidores realizo su tesis, la cual tuvo como objetivo analizar el efecto de la incorporación de harina de arveja sobre las características tecnológicas, sensoriales y nutricionales de panes de molde con diferentes niveles de suplementación. Además, estudiar el efecto de emulsionante y oxidantes sobre las características tecnológicas y vida útil. Del estudio del efecto de la incorporación de distintos niveles de harina de arveja en la formulación del pan de molde se observó que altos porcentajes de reemplazo con dicha harina van en detrimento del volumen específico y de los atributos sensoriales del pan encontrando que un nivel de 10 % resulta sensorialmente aceptable.

Jena, *et al* (2012) citado por Basilio (2015) utilizó la ecuación de transferencia de humedad para la predicción de vida útil de polvo de leche de coco, para la cual implementó la ecuación con la isoterma del modelo GAB, realizando la integración por métodos numéricos, obteniendo una predicción satisfactoria de tiempo de vida útil considerando como humedad crítica 0,112 kg agua/kg de materia seca, la vida útil predicha fue de 30,28 días y la experimental 30 días.

Agama (2018) utilizo el modelo de Heiss y Eichner para la predicción de la vida útil de papilla a base de harina de papa nativa con sabor a mora y taxo, donde reporto valores críticos de humedad de almacenamient de 0,13 ($gH_{2O}/gmateria\ seca$) 0,14 y de 0,15 ($gH_{2O}/gmateria\ seca$) a una temperatura de $20^{\circ}C \pm 1$. Mientras que la humedad óptima de almacenamiento está en el rango de 0,040 a 0,042 ($gH_{2O}/gmateria\ seca$) que corresponde a una actividad de agua de 0,2 mismo que representa el valor de la humedad de monocapa. El tiempo de vida útil predicha fue de 372 a 516 días.

2.2 Marco conceptual o bases teóricas

2.2.1 ARVEJA

2.2.1.1 Origen de la Arveja

La arveja o alverja, también conocida como guisante, es una planta herbácea y trepadora que forma parte de la familia de las leguminosas y es considerada como uno de los primeros cultivos domesticados por el hombre debido al hallazgo de restos fosilizados de esta legumbre en Asia Central, que darían cuenta de su consumo por el ser humano desde hace aproximadamente 11,750 años.

Desde allí se habría difundido a todas las regiones templadas y frías del mundo, incluyendo América, durante el periodo colonial, cuando los españoles trajeron este cultivo. Desde entonces, la planta de arveja, al igual que las habas, ha logrado adaptarse muy bien a las condiciones ambientales y climáticas del Perú. Su cultivo se realiza bajo riego en la costa, generalmente en invierno, durante los meses de mayo a setiembre. En la sierra, habitualmente se produce en seco, hasta una altura de 3700 m.s.n.m., durante los meses de setiembre a enero (SEPAR, 2014).

2.2.1.2 Producción de arveja en Cajamarca

En Cajamarca en el 2015 la producción de arveja fue de 28.3% de la producción nacional. Esta menestra se produce en las 13 provincias, de los cuales 02 provincias (San Pablo y Chota) producen en mayor cantidad 7,873 y 6,132 TM, le sigue en importancia la provincia de Cutervo y San Miguel con 4,948 y 4,599 TM respectivamente; es decir, el 63% del total de la producción de arveja se concentra en las 04 provincias (MINAGRI, 2016)

2.2.1.3 Variedades de arveja

- **Blanca Criolla:** también conocida como Cuarentona, Blanca y alverja crema, es el principal tipo de arveja de grano crema claro, cultivada en Cajamarca y en otras zonas productoras. Está conformada por variedades introducidas sin identificación, variedades mejoradas de INIA y variedades de proveedores privados como HORTUS y FARMEX.

Características del grano

Color del grano: Crema claro, opaco.

Forma: Esférica de textura lisa.

Tamaño: Grande, 100 semillas pesan 30 a 35 g.

Calibre: 285 a 333 semillas en 100 gramos

Épocas de siembra

Zona de Producción	Siembra	Cosecha
Secano	Setiembre a Diciembre	Abril a Junio
Bajo riego Costa	Febrero a junio Abril a Junio	Mayo a Setiembre Julio a Octubre

Variedades mejoradas de arveja de la Clase “Rugosa”

Variedad	Año de liberación	HC	Días de cosecha	Zonas de Recomendación
INIA 103 – Remate	INIA – Huancayo, 2004	III	150	Junín (Mantaro), Cajamarca, La Libertad, Costa norte y central.
Blanca Criolla o Cuarentona Selección Junín	Variedad Tradicional	III	150	Cajamarca, La Libertad, Costa norte.
Tarma	Variedad Tradicional	III	130	Junín, Huancavelica.
Alderman	Proveedor HORTUS	III	130	Cajamarca, Junín, Huancavelica.

H.C. = Hábito de crecimiento: Tipo I: Arbustivo determinado; tipo II, indeterminado arbustivo; tipo III, indeterminado semipostrado; tipo IV, indeterminado trepador.

- **Usui:** también conocida como alverja ojo negro y musho negro se distingue por presentar el hilum negro. Tiene buena adaptación a diferentes condiciones agroecológicas, buen potencial de rendimiento, tolerancia a enfermedades, y es preferida para cosecha en grano verde.

Características del grano

Color del grano: Crema, opaco.

Forma: Esférica de textura lisa.

Tamaño: Grande, 100 semillas pesan 30 a 35 g.

Calibre: 285 a 333 semillas en 100 gramos

Épocas de siembra

Zona de Producción	Siembra	Cosecha
Sierra secano	Febrero a Marzo	Junio a Julio
Sierra bajo riego	Abril a Agosto	Junio a Noviembre
costa norte	Abril a Julio	Julio a Noviembre
Costa central	Marzo a Mayo	Junio a Agosto

Variedades mejoradas de arveja de la Clase “Rugosa”

Variedad	Año de liberación	HC	Días de cosecha	Zonas de Recomendación
INIA	INIA -	II	115	Cajamarca, La
USUI	Huaral			Libertad, Piura, Huánuco, Lambayeque, Costa central, desde 0 a 2600 m.s.n.m

H.C. = Hábito de crecimiento: Tipo I: Arbustivo determinado; tipo II, indeterminado arbustivo; tipo III, indeterminado semipostrado; tipo IV, indeterminado trepador.

- **Azul:** conocida también como Palomera, este es otro de los tipos de arveja de gran difusión y aceptación en grano verde por su sabor ligeramente dulce, ausente en las variedades de grano crema; y color atractivo.

La variedad “azul” correspondiente a esta clase comercial, está muy difundida en Cajabamba y San Pablo; y en otras zonas productoras de la Sierra.

Características del grano

Color del grano: Verde azulado, opaco.

Forma: Esférica de textura lisa.

Tamaño: Grande, 100 semillas pesan 35 a 40 g.

Calibre: 250 a 285 semillas en 100 gramos

Épocas de siembra

Zona de Producción	siembra	Cosecha
Sierra	Febrero a Abril	Mayo a Agosto

Variedades mejoradas de arveja de la Clase “Rugosa”

Variedad	Año de liberación	HC	Días de cosecha	Zonas de Recomendación
Azul	Variedad tradicional	III	160 - 190	Cajamarca, La Libertad, Ancash
Alderman	Variedad tradicional	III	170	Cajamarca

H.C. = Hábito de crecimiento: Tipo I: Arbustivo determinado; tipo II, indeterminado arbustivo; tipo III, indeterminado semipostrado; tipo IV, indeterminado trepador.

- **Crema rugosa:** conocida también como alverja crema, este tipo de arveja es especialmente para cosecha en grano verde. El grano en estado verde es grande, atractivo, pero en seco es rugosa y difícil de comercializar. Hay varios cultivares disponibles y adaptados a las principales zonas de producción de la sierra, algunas de las más difundidas son RONDO y UTRILLO.

Características del grano

Color del grano: Crema, opaco.

Forma: Esférica de textura rugosa.

Tamaño: Mediano, 100 semillas pesan 25 a 30 g.

Calibre: 333 a 400 semillas en 100 gramos

Épocas de siembra

Zona de Producción	Siembra	Cosecha
Valles interandinos con riego	Enero a Junio	Abril a Agosto

Variedades mejoradas de arveja de la Clase “Rugosa”

Variedad	Año de liberación	HC	Días de cosecha	Zonas de Recomendación
Rondo	Proveedor FARMEX	III	85 - 90	Junín, Cajamarca, La Libertad
Utrillo	Proveedor FARMEX	III	85 - 90	Junín, Cajamarca, La Libertad

H.C. = Hábito de crecimiento: Tipo I: Arbustivo determinado; tipo II, indeterminado arbustivo; tipo III, indeterminado semipostrado; tipo IV, indeterminado trepador.

(MINAGRI, 2016)

2.2.1.4 Contenido Nutricional

La FAO considera legumbres a los cultivos leguminosos con semillas comestibles secas y con bajo contenido en grasa. Entre las legumbres más conocidas y consumidas en todo el mundo se destacan los frijoles, los frijoles blancos (*Phaseolus vulgaris* L.), el frijol mungo (*Vigna radiata* L.), las habas (*Vicia faba* L.), los garbanzos (*Cicer arietinum* L.), los guisantes o arvejas (*Pisum sativum* L.), y diversas variedades de lentejas (*Lens culinaris* Medik.). Las legumbres suelen contener alrededor del doble de la cantidad de proteínas que se encuentran en los cereales de grano entero como el trigo; de ahí que para la mayoría de las poblaciones de los países en desarrollo pueden constituir una importante fuente de proteínas y tiene un excelente equilibrio de aminoácidos, pese niveles altos de lisina, alto contenido de fibra, vitaminas (folato), minerales (hierro), son ricas en compuestos bioactivos.

Su contenido alto de nutrientes también vuelve a las legumbres ideales para las personas vegetarianas y veganas dado que

aseguran la ingesta suficiente de proteínas, minerales y vitaminas, contienen fibra, vitaminas (folato), hierro, ricas en compuestos bioactivos, (FAO, 2016)

La semilla de arveja, a diferencia de los cereales, no contiene albumen o tejido especializado en la acumulación de reservas. El almidón, que representa el 50% del peso del grano (Grosjean *et al.*, 1998), se almacena en las células del embrión en gránulos ovalados, con un 70% de amilopectina, como las gramíneas (Ramírez, 2015).

Urbano. (2005) citado por Alasino (2009) sostiene que la arveja tiene gran importancia nutricional debido a su alto contenido de proteínas, carbohidratos complejos, fibra dietaria, minerales, vitaminas y compuestos antioxidantes (Deshpande, 1992; Urbano et al, 2005).

Si bien la arveja es ampliamente usada en alimentación animal por sus propiedades nutricionales, el consumo en humanos no se encuentra distribuido ampliamente. Aunque en los últimos años, los beneficios nutricionales y las propiedades funcionales de la arveja han aumentado el interés y demanda de esta legumbre para la preparación de alimentos geriátricos e infantiles.

2.2.2 Harina de arveja

La harina de arveja (*Pisum sativum L.*) es una fuente proteica de relativo bajo costo y escasamente utilizada en la elaboración de productos de consumo masivo.

Las arvejas están dentro de las legumbres más poderosas en cuanto a contenido nutricional se refiere.

Su importancia como alimento básico data desde hace casi 10,000 años atrás, cuando la proteína y energía en las arvejas eran esenciales en el desarrollo de las civilizaciones. Incluso en

estos tiempos, la proteína de alta calidad, la fibra dietética natural y el almidón resistente en las arvejas es difícil de igualar (Lentil Council, 2013) citado por Ramírez (2015).

En la actualidad, los productos derivados de las arvejas, como la harina de arveja en sus dos presentaciones (cruda y tostada), concentrados de proteína, aislados de fibra y almidón de arveja, ha emergido como ingredientes funcionales que ofrecen una imagen atractiva para los consumidores. Alimentos que contienen el 30% de harina de arveja, tienen un gran sabor y un contenido nutricional alto en fibra, proteína vegetal, oligosacáridos, isoflavonas, zinc, selenio y almidón resistente. La harina tostada de arveja amarilla se adapta bien para hacer más nutritivos a productos de panificación y sopas. Con una estabilidad comparada a la harina de trigo, la harina de arveja pre cocida es microbianamente segura (Harina de Arveja, s.f).

2.2.3 Proceso de tostado

Los alimentos y los materiales biológicos se tratan térmicamente con la finalidad de ampliar su vida útil o mejorar aspectos organolépticos, uno de los procesos térmicos utilizados en los alimentos es el tostado, tostar es un método que consiste en cocer un alimento al fuego sin usar grasa o aceite, mediante este proceso se extrae la humedad del alimento de tal modo que adquiere un color dorado y una consistencia crujiente, es decir mejora y obtiene características sensoriales y texturales propias del alimento como por ejemplo realzar el sabor, inactivar enzimas, desnaturalizar proteínas, gelatinizar el almidón, destruir microorganismos y reducir la actividad de agua (Amaral y cols., 2006) Citado por Martínez (2010).

En el tueste se manejan dos variables: la temperatura y el tiempo. De acuerdo a estas dos variables se pueden obtener varios tipos de tueste con el mismo grano. La temperatura no es constante,

sino que varía a lo largo del proceso y los tiempos son inversamente proporcionales a la temperatura (Castillo, *et al.* 2016)

2.2.3.1 Temperatura de tueste

La temperatura de tueste depende del tipo de máquina de tostar, del tiempo de tueste y de la intensidad del color final requerido (Solá, s.f).

2.2.3.2 Tiempo de tueste

Para obtener un buen tostado se debe tener en cuenta: la calidad de la materia prima, conocer el estilo de consumo y uso que se va a dar al producto, material que se utilizará para tostar, la humedad de la materia prima y el tiempo de tostado al que será sometido dicha materia prima.

El tiempo de tostado de granos como es el caso del café oscila según sistemas entre 12 – 25 minutos, dependiendo del tipo de tostadora, no es aconsejable un tostado con muy poco tiempo debido a la velocidad de tueste y la dificultad para controlar el proceso, tampoco es conveniente demasiado tiempo de tueste, debido a que los compuestos volátiles se perderían. Este tiempo depende de varios factores: la costumbre del mercado consumidor (estilo de tueste), el tipo de máquina a emplear para preparar el café, la densidad del grano y proceso postcosecha (Castillo, *et al.* 2016).

Según Solá en su texto publicado tostado y molido del café dice que el tiempo de tueste oscila entre un minuto y un máximo de 25 o hasta 30 minutos, según sistemas:

Sistema lento: de 15 y hasta 20 minutos, es muy apreciado por los tostadores artesanos. Se consigue así un grano con un color oscuro y uniforme, con una óptima presencia para ser vendido al detalle y en grano.

Proceso rápido: de 1 a 3 minutos, tiene detractores que le atribuyen que produce menos calidad que el sistema anterior. Con él se obtiene menos merma al tostar se gana alrededor de un 2% y se utiliza principalmente para tostar los cafés de calidades inferiores, normalmente vendidos molidos.

2.2.3.3 Técnicas de tostado

IICA, en un estudio de prefactibilidad técnica-económica del proyecto establecimiento del proceso de tostado y molido de café, menciona que, existen dos técnicas de tostado, cuya diferencia básica consiste en el hecho de que los granos estén o no en contacto con la fuente de calor:

- **Técnica de tostado indirecto:** en este sistema de tostado el alimento no está en contacto con la llama, ya que se encuentra dentro de un cilindro y este a su vez dentro de un horno.
- **Técnica de tostado directo:** en esta técnica hay dos variantes: por aire caliente, el método consiste en exponer los granos al contacto directo con aire caliente, que es producido por un generador; y por llameado, el grano es sometido a la acción directa de una llama.

2.2.3.4 Métodos de tostado tradicional

Magdalena, en su blog tuste casero de café mencionan que el proceso de tostado casero de café se realiza de acuerdo a los siguientes métodos:

- **Tostado en Horno de Gas:** El horno de gas producirá un asado con más cuerpo y notas graves, pero se perderán algunas de las notas brillantes y buena parte del aroma. Extender los granos en una fina capa y dejarlos a 260° durante unos 10 minutos. El tostado puede ser desigual por lo que también es necesario mover los granos de vez en cuando.

- **Tostado en máquina de palomitas:** El aire se calienta y sopla directamente sobre los granos, manteniéndolos en constante movimiento. El café tostado por este método tiene un buen aroma y notas brillantes, pero puede perder las notas más profundas de un tostado en horno o tambor. El tiempo de tostado será aproximadamente 3 minutos.
- **Tostado en Callana:** olla de barro de forma circular, con abertura al costado, que sirve para tostar granos como el maíz y otros, además tiene el asa arriba, tiene esa forma con la finalidad que los granos no salgan al tostarse, el calor se mantiene dentro lo que permite un tostado uniforme en un tiempo de aproximadamente 18 minutos.
- **Tostado en tiesto:** Para preparar el tostado en el tiesto es necesario calentarlo y agregar el maíz. Se revuelve constantemente para que se tueste de manera uniforme sin que se queme. Cuando el grano esté suave, se retira. El grano es ablandado únicamente por el calor.
- **Tostado en Sartén:** Conviene hacerlo a fuego muy alto. Los granos deben ser extendidos en una capa muy fina, que además será removida constantemente con una cuchara de madera. En una sartén estándar el tiempo de cocción es de 15 a 20 minutos.

2.2.4 Vida útil

Vida útil o durabilidad es el período de tiempo durante el cual el alimento se conserva apto para el consumo desde el punto de vista sanitario y mantiene características sensoriales, físico-químicas, nutricionales y funcionales por encima de un grado límite de calidad, previamente establecido como aceptable (Núñez, 2015). La vida útil de la harina de arveja es el tiempo en que esta mantiene sus características organolépticas

estandarizadas desde que se elabora y cumple correctamente con la función para la cual fue creada.

La vida de anaquel de un producto depende básicamente de su formulación, de la naturaleza química de sus componentes, del proceso al que fue sometido, de su material de envase y /o empaque y sobretodo de las condiciones ambientales (humedad, temperatura, luz) con las que se almacena en el lugar de su elaboración, en su cadena de distribución, en los puntos de venta y en el anaquel del consumidor (Fennema, 2008). La vida útil de la harina está limitada por diversos factores que influyen en su deterioro. Dentro de ellos se encuentran: la propia naturaleza de la harina, el proceso de elaboración de la misma, método de conservación (tiempo de tostado), el tipo de envase, condiciones de envasado y su almacenamiento.

Labuza, (2000a) citado por Basilio (2015) indica que la vida en anaquel depende de 4 factores principales: formulación, procesamiento, empaque y condiciones de almacenamiento. La *formulación* involucra la selección de las materias primas más apropiadas e ingredientes funcionales que permitan incrementar la aceptación y lograr la seguridad e integridad del producto. El *procesamiento* somete las materias e ingredientes formulados a condiciones que son desfavorables o inhibitorias para las reacciones de deterioro y promueven cambios físicos y químicos favorables que dan al alimento su forma y características finales. Una vez que el alimento abandona la etapa del procesamiento sigue manteniendo sus características y el periodo en que el alimento retiene dichos atributos está en función del microambiente del empaque. Los parámetros más importantes son: composición del gas (oxígeno, dióxido de carbono, gases inertes, etileno, etc.), humedad relativa, presión o estrés mecánico, luz y temperatura. Estos parámetros son dependientes tanto del empaque como de las condiciones de almacenamiento.

Una forma en que los consumidores pueden conocer la vida útil del alimento que están adquiriendo, es buscando en la etiqueta del producto la fecha de caducidad o la fecha de consumo preferente; ambas indican el fin de la vida útil del alimento. Fecha de caducidad: es la fecha a partir de la cual un producto no se debe ingerir, con el fin de evitar problemas sanitarios. Fecha de consumo preferente: es la fecha que indica que el contenido ya no ofrece toda su calidad al consumidor (Carrillo y Reyes, 2013)

2.2.4.1 Vida útil de los alimentos empacados

Sharma *et al.* (2003), mantienen que a la vida de anaquel de los alimentos envasados la regulan las propiedades de los alimentos como la actividad de agua, pH, susceptibilidad al deterioro enzimático y microbiológico, así como las propiedades de barrera del envase al oxígeno, la luz, la humedad y el bióxido de carbono. La pérdida o la ganancia de humedad es uno de los factores más importantes que controlan la vida en anaquel de los alimentos. Los cambios en el contenido de humedad dependen de la velocidad de transmisión de vapor de agua del envase. Para controlar el contenido de humedad del alimento dentro de un envase, deben seleccionarse la permeabilidad al vapor de agua del material de empaque, así como el área superficial y el espesor de este, tomando en cuenta el almacenamiento que se requieren o la duración de la vida de anaquel.

La mayoría de los alimentos se deterioran más rápidamente a temperaturas altas.

Pua *et al* (2008) citado por Basilio (2015), manifiestan que los productos deshidratados en polvo requieren protección de la humedad, del oxígeno, de la pérdida de aromas volátiles y color. Porque son parámetros que puede desencadenar

varios mecanismos de reacción que conducen a la degradación de los alimentos.

Kulchan *et al* (2010) citado por Basilio (2015), investigó a los productos a base de harina de yuca, envasados en bolsas de polietileno de baja densidad (LDPE) o polipropileno orientado (OPP) y almacenados a 30 ± 1 °C y 50 ± 2 por ciento de humedad relativa para simular las condiciones de almacenamiento reales y para determinar la vida útil. Encontrando isotermas de sorción sigmoideal que pueden ser clasificadas como de tipo II ajustándose mejor al modelo GAB, consideró como humedad crítica a 6 por ciento de humedad, cuando la textura del producto comenzó a ser detectado como un poco suave, las vidas útiles estimadas pronosticadas - empleando E_p (Energía de activación) para WVP (permeabilidad al vapor de agua) de LDPE y OPP, y el modelo de GAB - eran cerca de las vidas útiles reales. Por lo tanto, la estimación por los modelos empíricos y energía de activación se encontró que era aplicable para la predicción de la vida útil rápida y precisa.

2.2.4.2 Metodologías para determinar la vida Útil de Alimentos

Posada (2011) considera que la determinación de la vida en anaquel se puede realizar mediante:

- **Predicción y evaluación de la vida útil**
 - a) Modelos matemáticos y programas software para definir crecimiento microbiológico y algunas reacciones de deterioro,
 - b) pruebas en tiempo real y c) pruebas aceleradas.
- **Predicción de la vida útil por métodos acelerados**
 - a) Indispensable conocer bien el producto y sus reacciones de deterioro, b) definición del mecanismo de la reacción principal de deterioro y valor K, c) experimentación y buena correlación de los datos con la ecuación de Arrhenius, d)

establecer graficas de vida útil y e) correlación con paneles sensoriales

- **Método indirecto:** o estudios de vida útil acelerados, este tipo de estudios sobreexponen al alimento a determinadas condiciones, generalmente son mantenidos a temperaturas más altas de lo esperado, la presión de oxígeno o el contenido de humedad son modificadas para acelerar las reacciones de deterioro de un alimento. Con el objetivo de predecir la vida comercial en un periodo corto de tiempo, sin realizar ensayos completos de almacenamiento hasta deterioro en tiempo real. Muy útil para productos de larga duración, sin embargo, los resultados que se obtienen, tienen un cierto margen de error.

Según Labuza (1999) citado por Basilio (2015) menciona que el método de las pruebas aceleradas, requiere del modelaje matemático de la cinética de pérdida de calidad. Emplea condiciones de prueba extremas, examinando el producto periódicamente hasta el final de la vida útil.

Los resultados permiten proyectar la vida útil bajo condiciones verdaderas de distribución (Labuza y Schmidl, 1985). Las pruebas aceleradas isotérmicas han sido usadas extensivamente en la industria. Los alimentos son almacenados a 37 y 51°C, y establecen correlaciones basadas en la ecuación de Arrhenius que permite extrapolar los resultados a otras temperaturas de almacenamiento (Saguy y Karen, 1980) citado por (Condezo, 2002). Para alimentos secos y de humedad intermedia, puede emplearse 0 (control), 23, 30, 35 y 40 °C y los congelados -40 (control), -15, -10 y -5 °C (Labuza y Schmidl, 1985).

Labuza y Schmidl (1985) citado por Basilio (2015), mencionan que algunos problemas del uso de las pruebas aceleradas aplicando la ecuación de Arrhenius genera extrapolaciones erróneas por empleo del factor Q10, involucran:

a) Cambios de fase, que modifican la movilidad de los reactantes orgánicos y la vida útil puede ser sobreestimada a bajas temperaturas, b) Los carbohidratos, en fase amorfa, pueden cristalizarse a altas temperaturas, produciendo agua libre para otras reacciones, c) Dos reacciones de pérdida de calidad con energías de activación diferentes pueden producirse en alimentos a altas temperaturas, d) La fijación de agua en alimentos secos varía con la temperatura. La actividad de agua se incrementa con la temperatura, y con ello la velocidad de reacción, e) Muchas reacciones son dependientes del pH. Para muchos solutos, el pH del sistema es función de la temperatura y f) A altas temperaturas, dependiendo de la naturaleza tridimensional, las proteínas desnaturalizadas pueden ser más o menos susceptibles a reacciones químicas.

Jena *et al.* (2012) citado por Basilio (2015) aseguran que la capacidad de predecir la vida útil del producto es una propuesta compleja. Que depende de la naturaleza del producto, diversas propiedades o índices de calidad deben ser seguidos experimentalmente como una función del tiempo con el fin de evaluar la degradación de la calidad del producto.

Aplicación de la permeación en la predicción de vida útil

Valentas *et al.* (1997) citado por Basilio, (2015) afirman que, para los productos sensibles a la humedad, el contenido de humedad del producto varía con la humedad relativa a la que está en equilibrio y viceversa. La relación entre el contenido de humedad del producto y la humedad relativa del espacio de cabeza está dada por la isoterma de sorción. Suponiendo que la humedad relativa fuera del empaque (humedad relativa de las condiciones de almacenamiento, p_0) es constante, el cambio Δp a través del período de vida útil es una función del contenido de humedad del producto, $\Delta p = p_0 - p_i (M)$, donde

M es el contenido de humedad del producto en una base seca. Una diferencia de cantidad de agua intercambiada a través del empaque es igual al diferencial de contenido de humedad, del peso seco del producto W, $dq = W dM$. Para productos sensibles a la humedad la vida útil puede ser escrito como:

$$t = \frac{IW}{AP} \int_{M_1}^{M_2} \frac{dM}{p_0 - p_i(M)} \dots\dots\dots(1)$$

Donde los límites M_1 y M_2 son los contenidos de humedad inicial y final respectivamente. Cuando hay linealidad en la isoterma como la ecuación (1) la ecuación (2) se puede integrar analíticamente para hallar la vida útil obteniéndose la ecuación (3)

$$Y = a + bM \dots\dots\dots(2)$$

Donde Y es la humedad relativa, la integración de la ecuación (10) se obtiene:

$$t = \frac{IW}{PAp^{sb}} \ln \frac{Y_0 - Y_{i,t=0}}{Y_0 - Y_{i,t}} \dots\dots\dots(3)$$

Donde Y_0 es la humedad relativa externa y Y_i es la humedad relativa en el espacio de cabeza.

Ramírez, (2012) determino los valores de humedad de monocapa de harina de maíz nixtamalizada obtenida de forma industrial y tradicional, mediante la construcción de isotermas de adsorción, por el Métodos de Celda en Equilibrio. Las isotermas obtenidas, presentan una forma de tipo II, de las cinco establecidas por Brunauer. El valor de monocapa se determinó con las ecuaciones de GAB y BET cuyos valores se ubicaron entre 0.06 – 0.14 (g de H₂O/g de sólido seco) para

harina nixtamalizada industrial y 0.11- 0.15 (g de H₂O/g de sólido seco) nixtamalizada tradicional. Se determinó el contenido de humedad de seguridad que indica el contenido de humedad al cual se lograría la máxima estabilidad del alimento durante su almacenamiento con la ecuación de Caurie cuyos valores se ubicaron entre 0.03 y 0.04 (g de H₂O/g de sólido seco).

2.2.5 Isotermas de Adsorción y Desorción

Una isoterma de adsorción es la representación de la relación, en el equilibrio, entre la cantidad adsorbida y la presión a una temperatura constante, representa la cinética con la que un alimento adsorbe humedad y se hidrata, y es importante conocerla ya que refleja el comportamiento de los deshidratados almacenados en atmósferas húmedas (higroscopicidad). De manera semejante, la de desorción equivale al proceso de deshidratación y refleja la forma como pierde agua. Con base en ambas curvas se diseñan los sistemas de almacenamiento, de secado, de rehidratación, etc. Además de que ayuda a predecir la estabilidad de los alimentos almacenados en distintas condiciones (Badui, 2006)

Martínez, (2000) citado por Ramírez, (2012) menciona que con muy pocas excepciones las isotermas pueden clasificarse en cinco tipos de acuerdo con S. Brunauer (Figura 2):

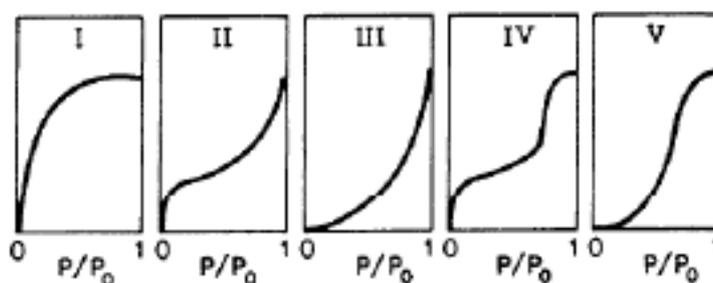


Figura 1. Tipos de isotermas de acuerdo a la clasificación de S. Brunauer

2.2.5.1 Efecto de la temperatura

Para un mismo producto con una humedad definida, la actividad de agua aumenta con la temperatura; es decir las isotermas de sorción de humedad se aproximan al eje de las abscisas (Fennema, 2000).

Fennema, (2000) menciona que la presión de vapor relativa depende de la temperatura, pudiendo determinarse cuantitativamente aplicando la ecuación de Clausius y Clapeyron modificada. Esta ecuación, aunque está basada en la actividad de agua, es aplicable a la presión de vapor relativo y tiene la siguiente forma:

$$\frac{d \ln a_w}{d(1/T)} = \frac{-\Delta H}{R} \dots\dots\dots (13)$$

Donde T es la temperatura absoluta, R es la constante de los gases y ΔH es el calor esotérico neto de sorción al contenido de agua de la muestra.

Labuza *et al.* (1985), señalan que la ecuación de Clausius y Clapeyron permiten relacionar la actividad de agua con la temperatura según la siguiente ecuación:

$$\ln\left(\frac{a_{w2}}{a_{w1}} = \frac{Q_s}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)\right) \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

a_{w1} , a_{w2} : Actividades de agua temperaturas T1 y T2 (K).

R: Constante de gases (1,987 cal/mol K).

Q_s : Calor de adsorción.

Gálvez, *et al* (2006) encontraron que la isoterma de adsorción de humedad de la harina de maíz presentó una clara

dependencia con la temperatura para valores de a_w inferiores a 0,75, no observándose esta dependencia para valores superiores de actividad de agua, donde se presenta la mayor capacidad higroscópica del producto. La humedad de monocapa (X_m) calculada con las ecuaciones de BET y GAB, presentó dependencia con la temperatura, debido a que a una menor temperatura disminuye la energía cinética de las moléculas de agua lo que hace limitar la capacidad higroscópica del producto hasta el valor máximo de X_m , obteniendo también una energía de activación promedio de 13,59 kJ/mol.

2.2.5.2 Importancia de las isothermas de sorción

Basilio, (2015) menciona que las isothermas de sorción de humedad de alimentos permiten determinar: El calor de sorción o desorción, La interacción del agua y sus componentes, Las propiedades estructurales (área superficial específica, volumen de poros, distribución del tamaño de poros y cristalinidad), las condiciones críticas de humedad, y consecuentemente el nivel de protección al vapor de agua y las propiedades de sorción de vapor de agua de biopolímeros.

Ayala, (2011) manifiesta que las isothermas de sorción son muy importantes en la determinación de las condiciones de almacenamiento, predicción de vida útil, diseño de empaques, mezclado, entre otros.

Kulchan *et al.* (2010) citados por Basilio, (2015) mencionan que, el conocimiento de las isothermas de sorción es importante para la predicción de propiedades de sorción de humedad de productos alimenticios altamente sensibles a través de modelos empíricos. Estas isothermas proporcionan información sobre la absorción de humedad del alimento a una humedad relativa determinada, y son un medio útil para analizar el efecto

de plastificación de humedad y el efecto sobre las propiedades de textura (Bell y Labuza,2000).

2.2.5.3 Determinación de las isotermas de sorción

Chowdhury *et al.* (2006) citado por Basilio (2015) aseguran que ningún modelo de isoterma de sorción podría representar a todos los alimentos. Los modelos que pueden ser reclamados como "universales" es el modelo Guggenheim, Anderson y de Boer (GAB) recomendado por el Grupo Europeo COST Proyecto 90 en Física, por otro lado, el Henderson modificado, Chung-Pfost modificado, Halsey modificado, Oswin modificado y ecuaciones GAB se han recomendado como ecuaciones estándar (D245.5) de la American Society of Agricultural.

Giraldo, (1999) menciona que los modelos más utilizados son el de BET y el de GAB.

a. Modelo de Brauner, Emmett y Teller (BET)

Giraldo, (1999) sostiene que el modelo BET se utiliza para A_w entre 0.05 y 0.45, limitado para adsorción de agua en la capa monomolecular.

La ecuación correspondiente a este modelo es:

$$X = \frac{X_m \cdot C \cdot a_w}{(1 - a_w) \cdot (1 + (C - 1) \cdot a_w)} \dots \dots \dots (5)$$

Donde:

X_m : es el contenido de humedad del producto correspondiente a una capa monomolecular de agua absorbida.

C: constante característica del material relacionada con el calor desprendido en el proceso de sorción.

b. Modelo de Guggenheim Anderson de Boer (GAB)

Martínez, (2000) citado por Ramírez (2012) sostiene que el modelo de GAB es una extensión de la ecuación de BET, teniendo en cuenta las propiedades modificadas del agua adsorbida en la región multicapas, siendo el modelo que mejor ajusta los datos de isotermas de adsorción para la mayoría de los alimentos y muy utilizado para predecir datos de niveles de actividad de agua de aproximadamente 0.9.

Está representado por la siguiente ecuación:

$$X = \frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - K \cdot a_w) \cdot (1 + (c - 1) \cdot K \cdot a_w)} \dots \dots \dots (6)$$

Donde:

X_m : humedad de equilibrio, humedad del producto correspondiente a la situación en que los puntos de adsorción primarios están saturados por moléculas de agua.

C : constante de Guggenheim, características del producto y relacionada con el calor de sorción de la monocapa.

K : factor de correlación relacionado con el calor de sorción de la multicapa.

2.3 Definición de términos

2.3.1 Actividad de agua (A_w): La actividad del agua o a_w es la presión de vapor parcial del agua en una sustancia dividida por la presión de vapor parcial del agua del estado estándar. Es la cantidad de agua disponible para el crecimiento de microorganismos y para que se puedan llevar a cabo diversas reacciones químicas que afectan a su estabilidad (Fenema, 2000).

2.3.2 Arveja: la arveja (*Pisum sativum* L.) es una planta diploide que se ha extendido por todo el mundo debido a la gran diversidad genética existente en la especie, lo que ha permitido el desarrollo de esta leguminosa con semillas comestibles secas y con bajo contenido en grasa Bolaños (2001) citado por Ramírez (2015).

2.3.3 Harina: se define como harina, al producto finamente triturado, obtenido de la molturación de grano de trigo, o de cualquier otro grano, la harina es una materia básica en la elaboración de pan, pastas alimenticias y productos de pastelería (Requena, 2013).

2.3.4 Humedad de equilibrio: La humedad de equilibrio se define como el contenido de humedad de un material higroscópico después de estar expuesto a un ambiente en condiciones controladas de temperatura y humedad relativa, durante un lapso prolongado (Badui, 2013) citado por Agama (2018).

2.3.5 Modelo de BET: es la ecuación que se obtiene de una descripción física del proceso de sorción. Este modelo considera solamente la diferencia de energía entre las moléculas en la monocapa, es decir presenta un intervalo limitado de aplicabilidad del 0.05 y 0.45 (Martínez *et al.*, 2011) citado po Agama (2018).

2.3.6 Modelo de GAB: es la ecuación utilizada ampliamente para caracterizar el fenómeno de sorción de agua en alimentos, los parámetros de la ecuación presentan cierta dependencia con la temperatura. El modelo de GAB es aplicable en todo el intervalo de a_w la utilidad de este modelo de ajuste se muestra a través de la predicción de nuevos valores al conocer las constantes obtenidas (Martínez *et al.*, 2011) citado po Agama (2018).

2.3.7 Proceso de tostado: tostar es un método que consiste en cocer un alimento al fuego sin usar grasa o aceite, mediante este proceso se extrae la humedad del alimento de tal modo que adquiere un color dorado y una consistencia crujiente, es decir mejora y obtiene características sensoriales y texturales propias del alimento (Amaral y cols., 2006) Citado por Martínez (2010).

2.3.8 Variedad: El termino variedad hace referencia al conjunto de tipos o modelos con caracteres que diferencian a poblaciones de la misma especie (Martin, 1999).

2.3.9 Vida útil: La vida útil de un alimento se define como el tiempo finito después de su producción en condiciones controladas de almacenamiento, en las que tendrá una pérdida de sus propiedades sensoriales y fisicoquímicas (Badui, S. 2006)

2.3.1 Isotermas de sorcion: una isoterma de adsorción es la representación de la relación, en el equilibrio, entre la cantidad adsorbida y la presión a una temperatura constante, representa la cinética con la que un alimento adsorbe humedad y se hidrata, y es importante conocerla ya que refleja el comportamiento de los deshidratados almacenados en atmósferas húmedas (higroscopicidad) (Badui, 2006).

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de ejecución

El trabajo experimental se realizó en el laboratorio de análisis de alimentos de la Escuelas Académico Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Cajamarca.

3.2 Material y equipos de laboratorio

3.2.1 Materia prima

Como materia prima se utilizó tres variedades de arveja (Blanca Criolla, Azul y Usui) obtenidas de los cultivares de la Provincia de Chota - Cajamarca.

3.2.2 Reactivos

- Cloruro de Sodio
- Tiosulfato de sodio.
- Ácido sulfúrico.
- Cloruro de litio.
- Acetato de potasio.
- Cloruro de magnesio.
- Dicromato de sodio.
- Cromato de potasio.

3.2.3 Equipos

- Determinador de actividad de agua AQUALAB (4 TE Dew Point Water Activity Meter SERIE S40005228)
- Balanza analítica (Mettler Toledo SERIE AB204-S/FACT)
- Estufa (Hot Air Oven DSO-300D, SERIE. 0711259)
- Molino de granos

3.2.4 Materiales

- Campanas de desecación
- Probetas
- Placas Petri
- Cocina industrial
- Callana

3.2.5 Material de gabinete

- Laptop
- *Software* Microsoft Statistica
- *Software* Microsoft Excel 2016
- Memoria USB
- Internet
- Cámara
- Hojas de papel bond
- Libros
- Impresiones

3.3 Métodos de Análisis

3.3.1 Determinación de isothermas de sorción

La determinación de las isothermas de sorción se realizó mediante el método reportado por Bell y Labuza (2000); Perez *et al.* (2006), citado por Basilio, (2015) que consiste en lo siguiente:

Soluciones acuosas de sales saturadas colocadas en la base de desecadores, y en cada una de ellas se colocaron aproximadamente 1.5 g de muestra, pesadas con una precisión de 0.0001 g. (ver anexo 01).

Después de 10 días, se determinó la humedad de equilibrio por balance de materia con el contenido de humedad inicial y la pérdida o ganancia de peso y la actividad de agua fue medido con el equipo AQUALAB 4 TEV (ver anexo 02). En la Tabla 1 se observa valores de distintas sales saturadas y sus respectivos valores de humedad en equilibrio.

Tabla 1. Humedades relativas a diferentes soluciones preparadas

Soluciones	Humedad Relativa (%HR) a las temperaturas de estudio		
	25°C	30°C	35°C
LiCl	11.3	11.3	10.7
CH ₃ COOK	22.5	22.0	21.6
MgCl ₂	32.9	32.5	31.8
Na ₂ Cr ₂ O ₇	55.1	52.5	50.5
NaCl	75.5	75.0	74.47
K ₂ CrO ₇	91.07	90.8	89.5
Na ₂ S ₂ O ₃	97.45	96.76	95.60

Fuente: Labuza et al 1985 citado por Ramírez 2015

Procedimiento para calcular los parámetros del modelo de GAB y BET.

El cálculo de los parámetros del modelo de GAB y de BET se hizo mediante el paquete estadístico STATISTICA versión 10, empleando regresión no lineal de la siguiente manera:

Los datos de A_w y humedad de equilibrio experimental se introdujo en el programa STATISTISCA, luego en la pestaña estadísticas opción modelos no lineales, opción estimación no lineal se insertó los modelos propuestos finalmente se obtuvo el resumen de los resultados. Para obtener el mejor ajuste se empleó el coeficiente de determinación (R^2) y el porcentaje de error medio relativo (%E) con las formulas 8 y 9

3.4 Diseño experimental

Se trabajó con tres variedades de arveja (blanca Criolla, Azul y Usui), la harina se obtuvo en tres tiempos diferentes de tostado 12, 20 y 25 minutos. La predicción de la vida útil se realizó por el modelo de Heiss y Eichner método determinado por las isothermas experimentales, las isothermas se ajustaron a modelos matemáticos de isothermas de sorción. Modelos: BET y GAB.

➤ **Ajuste de isothermas a modelos matemáticos de isothermas de sorción**

Los valores de humedad en base seca (M) y actividad de agua (aw), fueron ajustados a los modelos matemáticos de sorción de GAB y BET, usando el software Statistica 10.

➤ **Método para la determinación de la vida útil**

Se utilizó el modelo de Heiss y Eichner para estimar la vida útil basado en un factor crítico bajo unas condiciones de almacenamiento dadas (ecuación 7). Este modelo se puede utilizar para estimar el potencial de tiempo de almacenamiento basado en una aw crítica, para un sistema particular en condiciones de almacenamiento dado (Ikhu-Omoregbe & Chen, 2005) citado por Guevara (2015).

$$ts = \frac{\ln\left[\frac{X_e - X_i}{X_e - X_c}\right]}{K_s \left(\frac{A}{W_s}\right) \left(\frac{P_0}{S}\right)} \dots \dots \dots (7)$$

Dónde: **Ks** es la permeabilidad del envase al vapor de humedad ($kgH_2O/m^2.Pa.día$); **ts** es la vida útil potencial del producto (tiempo en días para que el producto envasado se estropee debido al deterioro microbiano y bioquímico con pérdida de la calidad sensorial); **A** es la superficie del envase (m²); **ws** es el peso del producto (materia seca, kg); **Po** es la presión de vapor a temperatura de almacenamiento; **S** es la pendiente de la isoterma de los productos entre la humedad crítica y la humedad de equilibrio (el rango lineal), **Xe** es el contenido de humedad en equilibrio ($kg_{agua}/kg_{base\ seca}$); **Xc** es el contenido de humedad de almacenamiento seguro ($kg_{agua}/kg_{base\ seca}$); **Xi** es el contenido de humedad inicial del material cuando fue envasado ($kg_{agua}/kg_{base\ seca}$). Los valores para el estudio se detallan en la tabla 2.

Tabla 2. Valores constantes usados para la estimación de la vida útil de harina de tres variedades de arveja sometida a tres tiempos diferentes de tostado usando la ecuación de Heiss & Eichner, citado por Guevara (2015). (LDPE 50 µm)

Temperatura ^a (°C)	25	30	35
HR ^a (%)	90	90	90
Ws ^b (Kg m.s)	0.500	0.500	0.500
A ^a (m ²)	0.0459	0.0459	0.0459
K _s ^c (Kg agua/ m ² .dia. Pa)	1.85 x 10 ⁻⁶	1.85 x 10 ⁻⁶	1.85 x 10 ⁻⁶
P ₀ ^d	3169.8	4246.9	5629.1

^acondiciones de estudio; ^b fichas técnicas de alimentos, Qali Warma, 2014; ^c Guevara, 2015; ^d Yunes, Michael, 2009

3.5 Análisis estadístico

La información se tabuló y analizó mediante la utilización de STATGHAPICS. Los datos se reportaron como el promedio de las repeticiones. La comparación entre tratamientos se efectuó utilizando el análisis de varianza Anova.

La bondad de ajuste de la isoterma fue cuantificada a través del coeficiente de determinación (R²), el que debe ser superior a 0,85 para conseguir un buen modelado de los datos experimentales y el porcentaje de error medio relativo (%E) parámetro estadístico ampliamente utilizado en isotermas de alimentos, un (%E) menor al 10%, es indicativo que el modelo explica de manera adecuada la variación de los datos experimentales (Mongomery, 2005), citado por Guevara, 2015.

$$R^2 = \frac{\sum (\hat{Y} - \bar{Y})^2}{(Y - \bar{Y})^2} \dots\dots\dots(8)$$

$$(\%)E = \frac{100}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{|X_{ei} - X_{ci}|}{X_{ei}} \dots\dots\dots(9)$$

Donde: X_{ei} es el contenido de humedad experimental ($g_{\text{agua}}/g_{\text{m.s.}}$); X_{ci} es el contenido de humedad calculada a partir de cada modelo ($g_{\text{agua}}/g_{\text{m.s.}}$), y n es el número de observaciones.

3.6 Descripción del proceso de elaboración de harina de arveja

La obtención de harina de arveja empieza con la recepción de la materia prima, para ser clasificada y posteriormente llevar a cabo la etapa de limpieza, finalizada esta etapa se procede a la etapa de tostado, que consiste en exponer a los granos enteros, sin descascarar, al calor seco. Después de haber tostado los granos de arveja se deja enfriar a temperatura ambiente o mediante la utilización de ventilación, para luego ser llevadas al molino donde se lleva a cabo la etapa de molienda que consiste en tamizar los granos para convertirlo en harina. Finalmente se procede al empaclado y almacenamiento en condiciones adecuadas (Parzanese, s.f).

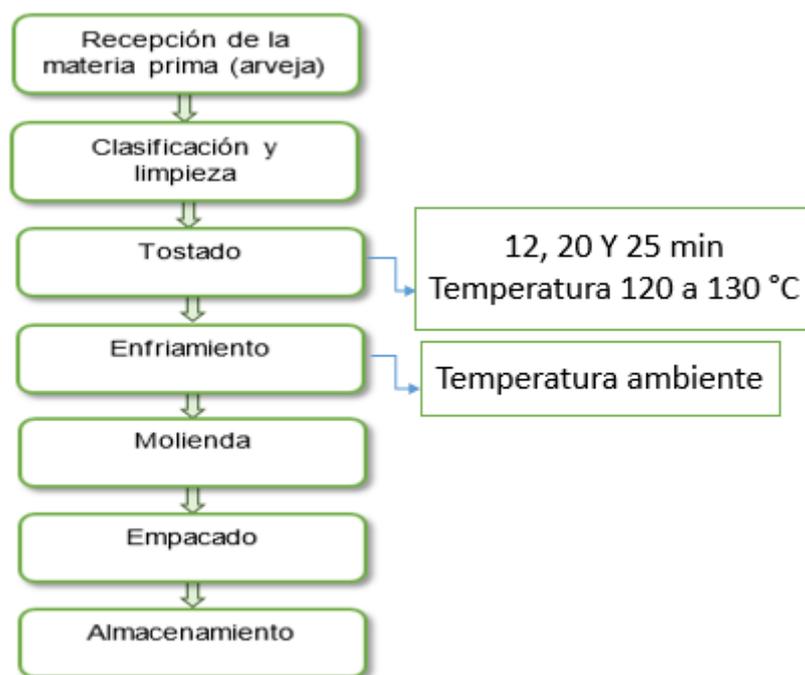


Figura 2: Diagrama de Flujo de Elaboración de Harina de Arveja

Adaptado de (FAO, s. f), y (Parzanese, s.f)

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Contenido de humedad y actividad de agua

En las nueve muestras de harina de arveja se determinó la proporción de agua en forma cuantitativa, es decir la proporción de agua contenida en el producto (%H); y cualitativa, es decir, el agua disponible en el producto (a_w), este valor es un dato esencial en el campo agroalimentario, porque condiciona la intensidad de las reacciones enzimáticas, químicas y el desarrollo microbiano (**Dauvillier, 2000**) citado por Agama (2018). En la Tabla 3 se observa los valores del % de humedad y a_w para las muestras estudiadas.

Los valores de humedad del producto están por debajo del contenido de “agua de alarma” que **Ramirez (2011)** reportó para harina de Maíz Nixtamalizada (9.36 al 10.83%) y harina de trigo (13 al 15%) según la ficha técnica para harinas (Fao, 2012). La humedad es un parámetro importante, porque está relacionado con la vida de anaquel de las harinas. Cuando estas tienen un contenido de humedad del 10 al 12%, son estables frente a la contaminación microbiana, si supera al 12% es fácilmente atacada por mohos y levaduras (Mendez *et al.*, 2004) citado por Ramirez, 2011.

La a_w obtenida luego del proceso de elaboración de la harina de arveja está en el rango de 0.40 a 0.45 para la harina de arveja Blanca Criolla, 0.41 a 0.46 para la harina de arveja Azul y entre 0.43 a 0.46 para la harina de arveja Usui. Esto significa que en el caso de la harina de arveja Blanca Criolla hay menos agua libre, mientras que la harina de arveja Usui será más susceptible a la contaminación microbiológica y a los cambios fisicoquímicos de tal manera que la vida en anaquel disminuye. sin embargo, según **Jay (2002) citado por Agama (2018)**, a una a_w de 0,65 crecen muy pocos microorganismos y es muy improbable que los alimentos desecados se alteren durante un tiempo de incluso 2 años.

Tabla 3. Porcentaje de humedad y actividad de agua inicial de las muestras de harina utilizadas para el estudio.

	Tiempo de tostado 12 min		Tiempo de tostado 20 min		Tiempo de tostado 25 min	
	Humedad (%)	Aw	Humedad (%)	Aw	Humedad (%)	Aw
Blanca Criolla	6.450%	0.448	5.120%	0.423	4.520%	0.398
Azul	6.750%	0.463	5.540%	0.436	4.940%	0.411
Usui	6.530%	0.458	5.900%	0.438	5.230%	0.432

4.2 Humedad en equilibrio

Cuando se parte de un producto seco y se somete a atmósferas de humedad relativa elevadas, se observa una transferencia de masa del gas al sólido hasta llegar a un equilibrio, al repetir este experimento con diferentes humedades, se tienen de nuevo pares de valores que al graficarse crean la isoterma de adsorción **(Badui, 2013) citado por Agama (2018)**. En las tablas 4, 5 y 6 se registra la humedad en equilibrio de las harinas en estudio en diferentes disoluciones saturadas de sal de actividad de agua conocida.

Para determinar la humedad en equilibrio se utilizó el método gravimétrico, el cual se basa en la determinación gravimétrica de la pérdida o ganancia de masa de la muestra hasta masa constante a una temperatura determinada y la actividad de agua AQUALAB 4TV.

Tabla 4. Humedad de equilibrio de a harina de arveja Blanca Criolla

12min					
25 °C		30 °C		35 °C	
Wa	Xeq	Wa	Xeq	Wa	Xeq
0.072	0.013	0.063	0.010	0.068	0.012
0.234	0.033	0.224	0.031	0.211	0.027
0.334	0.047	0.323	0.045	0.307	0.040
0.533	0.086	0.523	0.078	0.517	0.071
0.755	0.112	0.744	0.101	0.737	0.098
0.865	0.178	0.858	0.171	0.847	0.162
0.953	0.248	0.933	0.226	0.927	0.212
20 min					
0.062	0.013	0.058	0.010	0.059	0.010
0.232	0.030	0.220	0.025	0.213	0.019
0.323	0.046	0.313	0.041	0.299	0.036
0.525	0.081	0.510	0.073	0.502	0.067
0.745	0.106	0.737	0.101	0.730	0.096
0.860	0.171	0.852	0.169	0.843	0.156
0.943	0.231	0.925	0.212	0.913	0.199
25 min					
0.062	0.011	0.056	0.009	0.054	0.010
0.221	0.030	0.215	0.027	0.204	0.021
0.325	0.040	0.310	0.033	0.291	0.029
0.518	0.077	0.495	0.070	0.478	0.065
0.726	0.099	0.722	0.093	0.715	0.088
0.841	0.171	0.822	0.150	0.805	0.145
0.926	0.214	0.903	0.201	0.891	0.182

Tabla 5. Humedad de equilibrio de la harina de arveja Azul

12 min					
25 °C		30 °C		35 °C	
Wa	Xeq	Wa	Xeq	Wa	Xeq
0.077	0.017	0.073	0.013	0.069	0.010
0.247	0.041	0.231	0.033	0.223	0.027
0.360	0.056	0.342	0.049	0.321	0.041
0.542	0.095	0.531	0.088	0.524	0.083
0.770	0.121	0.751	0.118	0.746	0.110
0.875	0.185	0.865	0.175	0.853	0.169
0.961	0.251	0.948	0.231	0.934	0.228
20 min					
0.069	0.016	0.062	0.012	0.061	0.010
0.237	0.040	0.224	0.036	0.219	0.031
0.335	0.048	0.331	0.042	0.314	0.038
0.536	0.082	0.525	0.077	0.511	0.069
0.753	0.113	0.740	0.106	0.734	0.099
0.861	0.174	0.855	0.170	0.848	0.158
0.955	0.249	0.945	0.232	0.923	0.213
25 min					
0.063	0.012	0.060	0.010	0.056	0.010
0.223	0.030	0.217	0.030	0.208	0.025
0.327	0.042	0.321	0.036	0.311	0.031
0.523	0.080	0.513	0.074	0.506	0.067
0.742	0.108	0.731	0.100	0.725	0.094
0.847	0.171	0.832	0.156	0.816	0.149
0.946	0.233	0.923	0.213	0.907	0.201

Tabla 6. Humedad de equilibrio de la harina de arveja Usui

12 min					
25 °C		30 °C		35 °C	
Wa	M*	Wa	M*	Wa	M*
0.0752	0.0155	0.0665	0.0111	0.0691	0.0113
0.2361	0.0405	0.2258	0.0322	0.2168	0.0270
0.3505	0.0502	0.3322	0.0452	0.3192	0.0404
0.5403	0.0872	0.5267	0.0804	0.5203	0.0724
0.7597	0.1153	0.7481	0.1087	0.7402	0.1011
0.8689	0.1806	0.8613	0.1734	0.8522	0.1658
0.9596	0.2506	0.9405	0.2311	0.9315	0.2262
20 min					
0.0672	0.0139	0.0594	0.0104	0.0601	0.0103
0.2350	0.0299	0.2221	0.0254	0.2156	0.0201
0.3315	0.0457	0.3211	0.0410	0.3070	0.0361
0.5304	0.0822	0.5180	0.0756	0.5060	0.0684
0.7491	0.1119	0.7380	0.1035	0.7310	0.0983
0.8682	0.1733	0.8542	0.1700	0.8448	0.1563
0.9532	0.2478	0.9375	0.2275	0.9205	0.2120
25 min					
0.0625	0.0116	0.0578	0.0096	0.0552	0.0086
0.2224	0.0296	0.2161	0.0275	0.2062	0.0210
0.3263	0.0405	0.3166	0.0335	0.3051	0.0300
0.5199	0.0789	0.5098	0.0709	0.4962	0.0656
0.7357	0.1034	0.7284	0.0975	0.7163	0.0940
0.8450	0.1707	0.8275	0.1539	0.8123	0.1486

4.3 Isotermas de adsorción

La isoterma de adsorción representa la cinética con la que un alimento adsorbe humedad y se hidrata, esta refleja el comportamiento de los deshidratados almacenados en atmósferas húmedas (higroscopicidad), en base a estas curvas se conoce las condiciones de almacenamiento, el sistema de secado, deshidratación, diseño de empaque, etc., además ayudan a predecir la estabilidad de los alimentos almacenados. (Badui, 2006).

Las Figuras 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11 constituyen la relación entre la a_w y el contenido de humedad en equilibrio de las diferentes harinas de arveja, para tres temperaturas de trabajo (25, 30 y 35°C). Se observa que según la clasificación de Brunnauer, Deming y Teller las isothermas corresponden al Tipo II, por la forma sigmoide que caracteriza a los productos solubles y secos, que es indicativo de una adsorción física en la multicapa. Las isothermas muestran una forma asintótica conforme la isoterma se acerca a la unidad (Viades, 2014; Heldman & Singh, 1998) citado por Agama (2018). Isothermas del mismo tipo fueron encontradas por (Ramirez, 2011) en su investigación que realizó con harina de maíz.

El incremento de la temperatura origina una disminución del contenido de humedad de equilibrio de harina de arveja. Esto posiblemente debido a que, con el aumento de la temperatura las moléculas de agua se activan, incrementando su nivel de energía, haciéndose menos estables lo que conlleva a un rompimiento de los enlaces de los sitios activos del alimento (Cassini *et al*, 2005) citado por Guevara, (2015). De otra manera puede decirse que, para un valor fijo de humedad, la actividad de agua fue mayor con el aumento de la temperatura. Esto indica que la harina de arveja es menos higroscópica a mayor temperatura de almacenamiento.

Algunos investigadores han explicado este comportamiento, argumentando que un incremento en la temperatura produce cambios químicos y físicos en el producto, que pueden reducir el número de sitios activos donde se unen las moléculas de agua con la superficie del sólido del alimento. Ayala, 2011 sostiene que al aumentar la temperatura de sorción se incrementa el estado de excitación de las moléculas de agua, originando que se aumenten las distancias entre las moléculas de agua y por consiguiente exista un decrecimiento de las fuerzas de atracción entre ellas. La dependencia entre la humedad y la temperatura de sorción tiene efecto práctico en las reacciones químicas y microbiológicas asociadas con el deterioro del alimento.

A partir de una a_w de 0.70 la pendiente de la curva se incrementa, lo que significa que la adsorción de agua es mayor si la harina se almacena a valores de humedad relativa por encima de 70%. Por otro lado, de estas figuras se puede deducir que sobre un valor de actividad de agua de 0.7, existe un aumento de la actividad enzimática y del movimiento entre moléculas de agua, carbohidratos y proteínas (Zona II en el mapa de Labuza). (Ramírez, 2011). Por lo que es recomendable, que el almacenamiento de estos alimentos, sea en ambientes de humedad relativa menores a 70%.

También se puede observar que las muestras presentaron una isoterma ligeramente más baja a medida que la temperatura aumenta, debido al carácter exotérmico del fenómeno de adsorción (Martínez *et al*, 1999) citado por Ramírez, (2011). Por lo general, para alimentos en polvo el contenido de humedad a una cierta actividad de agua, decrece a medida que aumenta la temperatura. Lo que se observa en esta investigación con la harina de tres variedades de arveja. Por otra parte (Badui, 2006) menciona que el valor de actividad de agua se incrementa cuando se eleva la temperatura, ya que igualmente lo hace la presión de vapor.

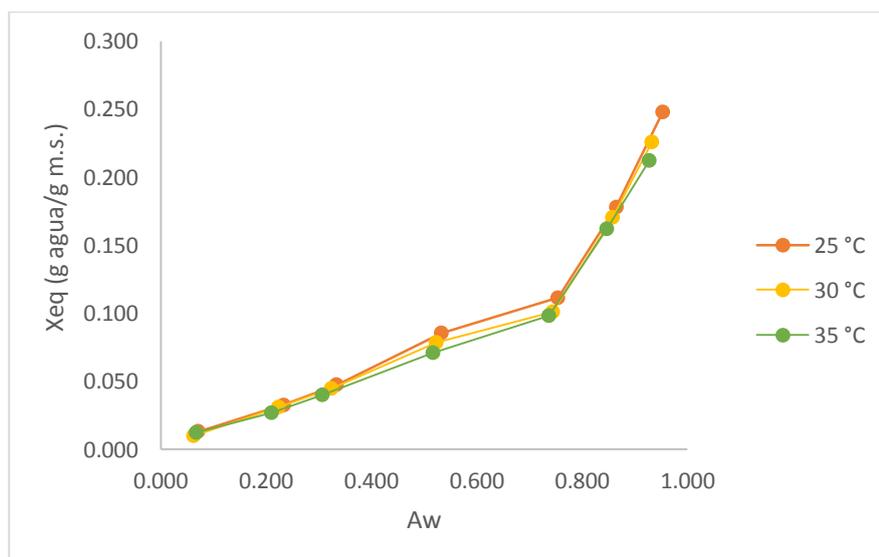


Figura 3: Isoterma de adsorción experimental de la harina de arveja blanca criolla sometida a 12 minutos de tostado

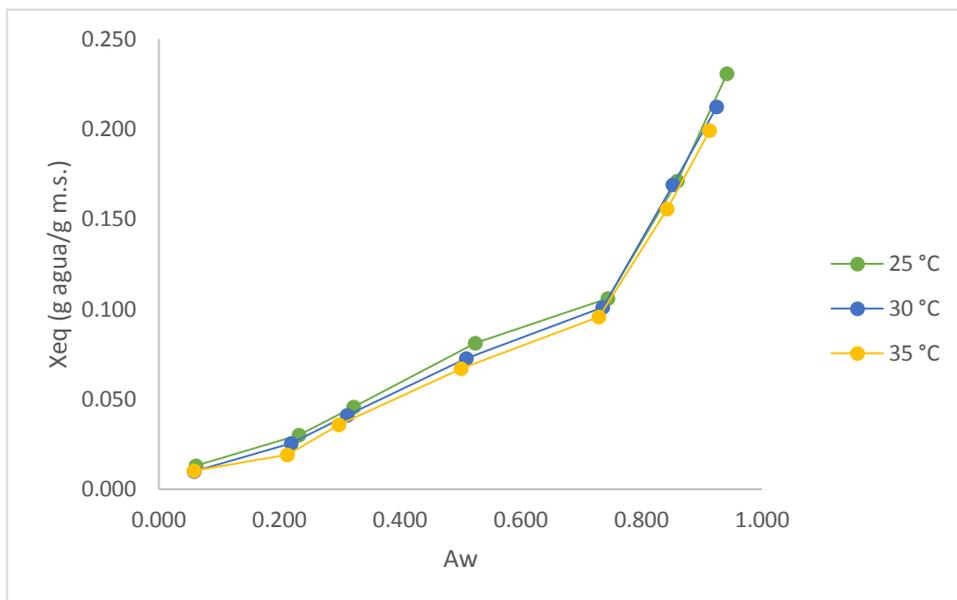


Figura 4: Isotherma de adsorción experimental de la harina de arveja blanca criolla sometida a 20 minutos de tostado

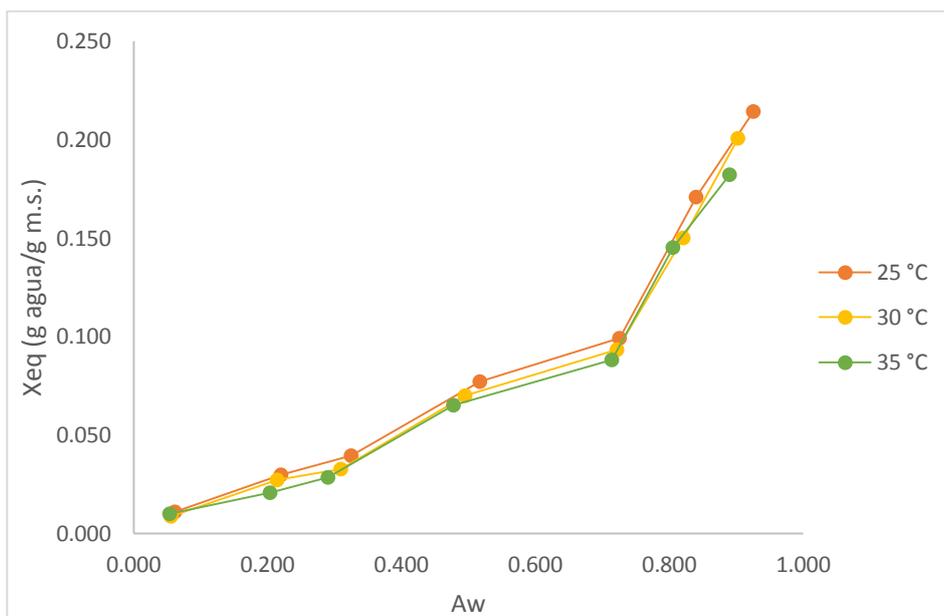


Figura 5: Isotherma de adsorción experimental de la harina de arveja blanca criolla sometida a 25 minutos de tostado

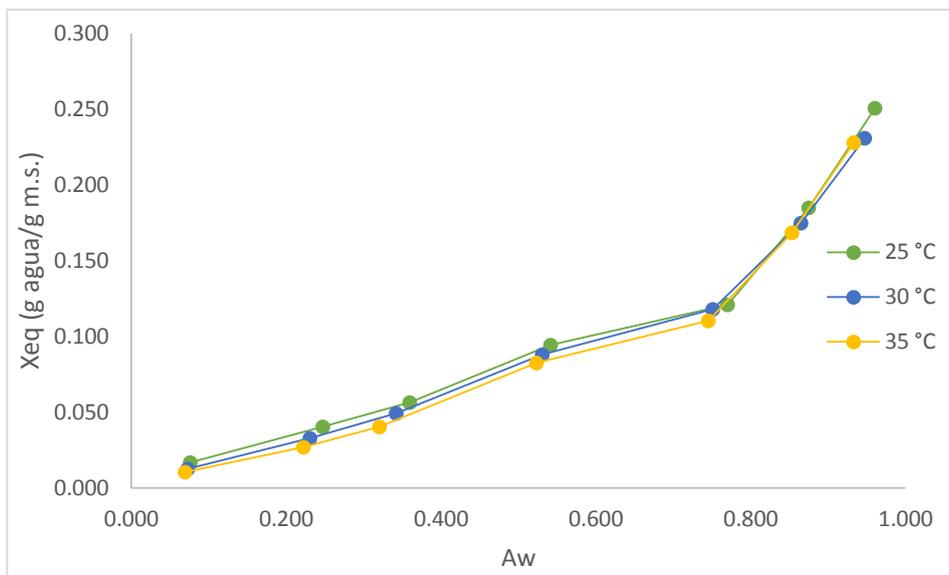


Figura 6: *Isoterma de adsorción experimental de la harina de arveja Azul sometida a 12 minutos de tostado*

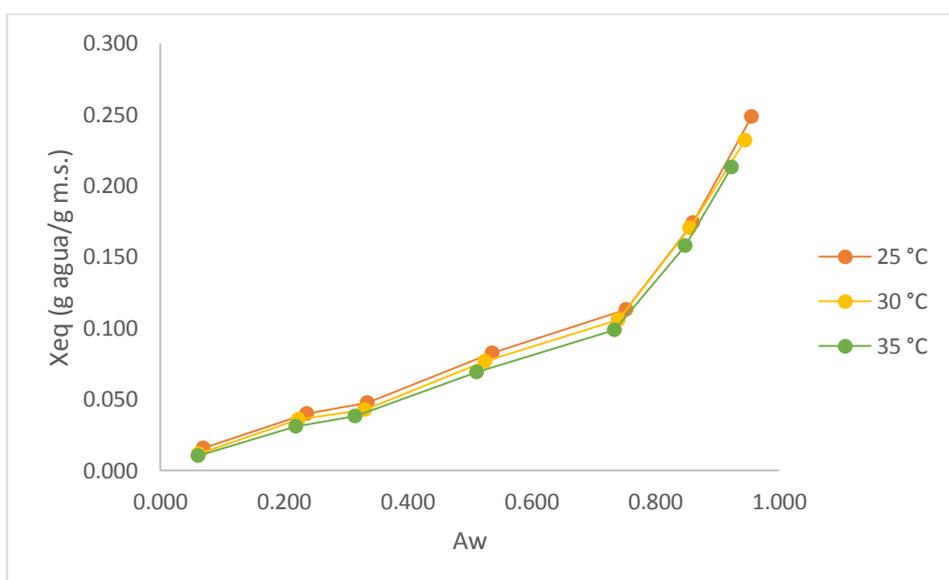


Figura 7: *Isoterma de adsorción experimental de la harina de arveja Azul sometida a 20 minutos de tostado*

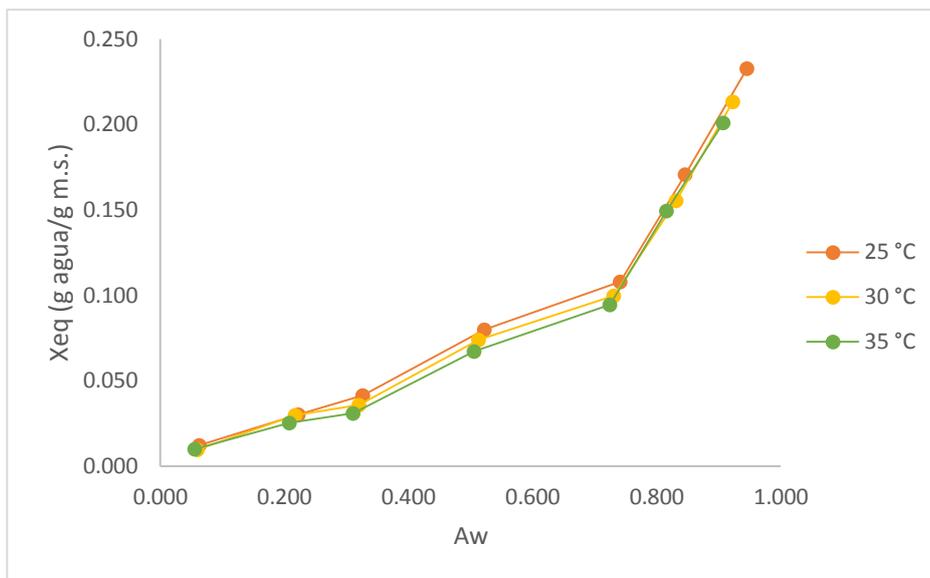


Figura 8: Isotherma de adsorción experimental de la harina de arveja Azul sometida a 25 minutos de tostado

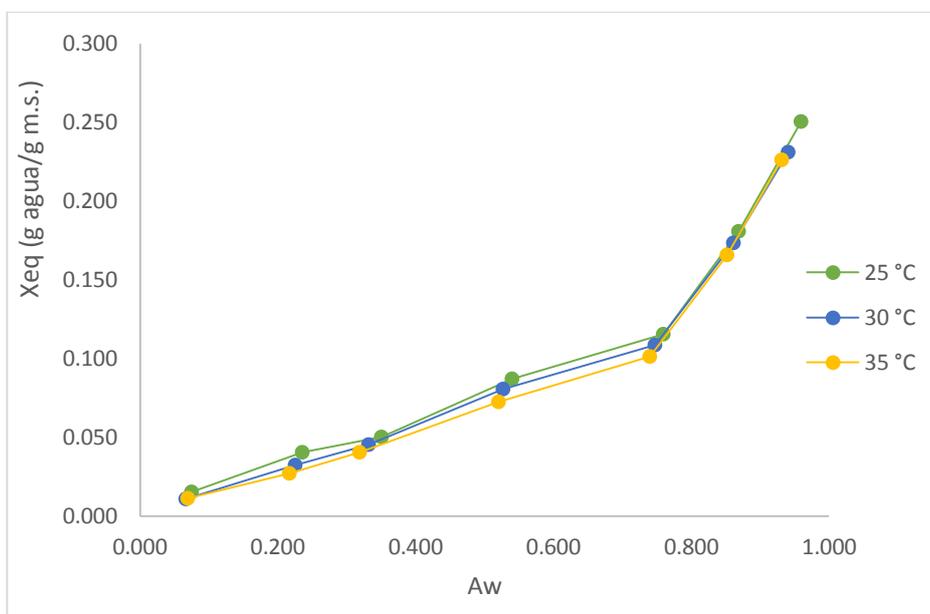


Figura 9: Isotherma de adsorción experimental de la harina de arveja Usui sometida a 12 minutos de tostado

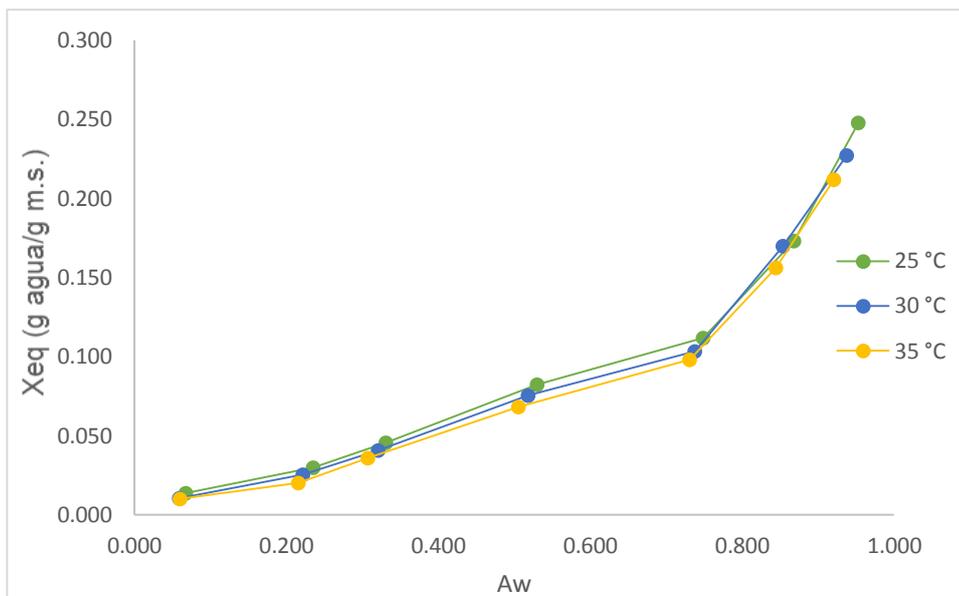


Figura 10: Isoterma de adsorción experimental de la harina de arveja Usui sometida a 20 minutos de tostado

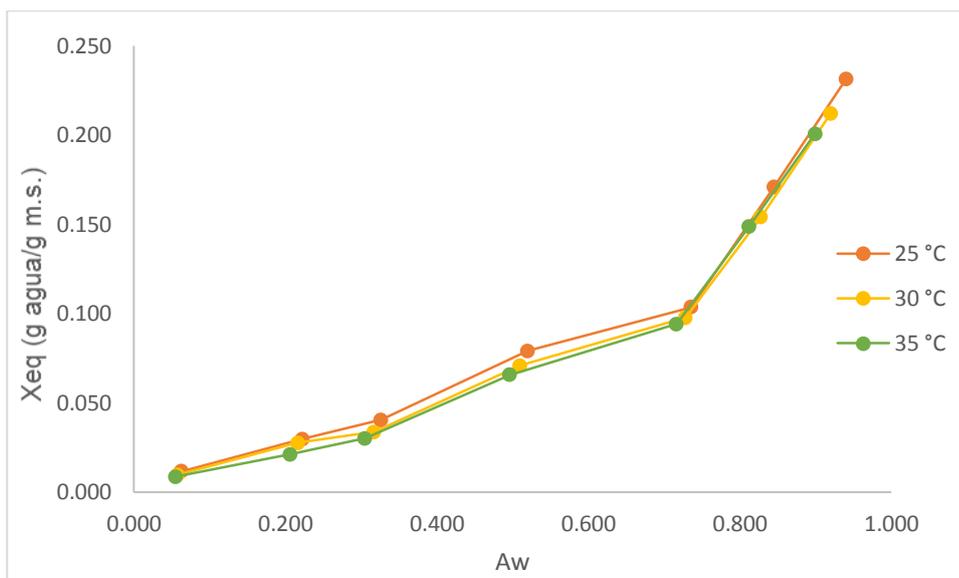


Figura 11: Isoterma de adsorción experimental de la harina de arveja Usui sometida a 25 minutos de tostado

4.4 Modelado de las isotermas de adsorción

En las siguientes tablas se presentan los resultados del cálculo de los parámetros obtenidos para los dos modelos matemáticos propuestos, empleados ampliamente para caracterizar el fenómeno de sorción de agua en alimentos, evaluados por el coeficiente de determinación (R^2) el porcentaje de error medio relativo (%E), a las tres temperaturas evaluadas, obtenidos mediante el paquete estadístico STATISTICA versión 10, empleando regresión no lineal.

Tabla 7. Parámetros de los modelos a las temperaturas de 25, 30 y 35°C de la harina de arveja Blanca Criolla sometida a 12 minutos de tostado

Modelo	Constante	Temperatura		
		25°C	30°C	35°C
GAB	Xm	0.0478	0.0427	0.0429
	C	6.1385	7.0226	5.7007
	K	0.8548	0.8766	0.8714
	R ²	0.9924	0.9908	0.9929
	%E	7.0205	9.6864	5.6619
BET	Xm	0.0139	0.0177	0.0180
	C	5.65E+05	2.07E+07	1.9788E+06
	R ²	0.6563	0.8183	0.8362
	%E	32.2590	11.1695	32.6203

Tabla 8. Parámetros del modelos a las temperaturas de 25 30 y 35°C de la harina de arveja Blanca Criolla sometida a 20 minutos de tostado

Modelo	Constante	Temperatura		
		25°C	30°C	35°C
GAB	Xm	0.0463	0.0468	0.0436
	C	6.1271	4.4890	3.9920
	K	0.8566	0.8582	0.8710
	R ²	0.9924	0.9624	0.9925
	%E	6.8248	9.8613	9.0890
BET	Xm	0.0157	0.0187	0.0198
	C	2.11E+06	4873.0000	90.5089
	R ²	0.7330	0.8397	0.8978
	%E	23.9435	32.5397	20.2544

Tabla 9. Parámetros del modelos a las temperaturas de 25 30 y 35°C de la harina de arveja Blanca Criolla sometida a 25 minutos de tostado

Modelo	Constante	Temperatura		
		25°C	30°C	35°C
GAB	Xm	0.0514	0.0416	0.0464
	C	3.9868	4.8892	3.2620
	K	0.8413	0.8891	0.8638
	R ²	0.9872	0.9963	0.9833
	%E	7.5352	7.2600	6.6245
BET	Xm	0.0188	0.0219	0.0226
	C	5.72E+05	53.1700	33.2917
	R ²	0.7978	0.9703	0.9183
	%E	32.0062	28.4392	23.6489

Tabla 10. Parámetros del modelos a las temperaturas de 25, 30 y 35°C de la harina de arveja Azul sometida a 12 minutos de tostado

Modelo	Constante	Temperatura		
		25°C	30°C	35°C
GAB	Xm	0.0511	0.0552	0.0493
	C	7.9282	4.9062	4.3152
	K	0.8352	0.8176	0.8518
	R ²	0.9911	0.9943	0.9927
	%E	6.7274	1.4434	7.1889
BET	Xm	0.0119	0.0145	0.0177
	C	8.46E+05	1.27E+12	105.7800
	R ²	0.4720	0.6167	0.7958
	%E	44.5096	29.4762	36.5053

Tabla 11. Parámetros del modelos a las temperaturas de 25 30 y 35°C de la harina de arveja Azul sometida a 20 minutos de tostado

Modelo	Constante	Temperatura		
		25°C	30°C	35°C
GAB	Xm	0.0460	0.0464	0.0403
	C	8.3821	6.1662	6.6228
	K	0.8586	0.8560	0.8855
	R ²	0.9960	0.9947	0.9961
	%E	4.6106	5.9663	5.4184
BET	Xm	0.0132	0.0152	0.0200
	C	2.10E+06	3.95E+05	71964.1100
	R ²	0.6129	0.7120	0.8598
	%E	38.8385	25.1481	27.7902

Tabla 12. Parámetros del modelos a las temperaturas de 25 30 y 35°C de la harina de arveja Azul sometida a 25 minutos de tostado

Modelo	Constante	Temperatura		
		25°C	30°C	35°C
GAB	Xm	0.0522	0.0452	0.0443
	C	4.3129	4.7769	3.7533
	K	0.8355	0.8663	0.8766
	R ²	0.9924	0.9971	0.9906
	%E	7.5855	6.1512	10.1976
BET	Xm	0.0150	0.0190	0.0213
	C	1.31E+06	1825.1850	61.8469
	R ²	0.6770	0.9409	0.9037
	%E	26.2811	0.4862	24.8259

Tabla 13. Parámetros del modelos a las temperaturas de 25 30 y 35°C de la harina de arveja Usui sometida a 12 minutos de tostado

Modelo	Constante	Temperatura		
		25°C	30°C	35°C
GAB	Xm	0.0484	0.0469	0.0424
	C	7.6476	5.8393	5.5029
	K	0.8472	0.8566	0.8809
	R ²	0.9937	0.9940	0.9946
	%E	6.4572	6.8706	5.6461
BET	Xm	0.0120	0.0163	0.0179
	C	7.83E+05	6.89E+05	5.13E+05
	R ²	0.5356	0.7505	0.8449
	%E	47.8627	40.9236	30.2485

Tabla 14. Parámetros del modelos a las temperaturas de 25 30 y 35°C de la harina de arveja Usui sometida a 20 minutos de tostado

Modelo	Constante	Temperatura		
		25°C	30°C	35°C
GAB	Xm	0.0462	0.0479	0.0428
	C	6.1192	4.3076	4.1893
	K	0.8599	0.8556	0.8791
	R ²	0.9952	0.9933	0.9945
	%E	6.0237	7.5700	10.1848
BET	Xm	0.0136	0.0168	0.0192
	C	1.11E+06	3.89E+05	150.8887
	R ²	0.6806	0.7861	0.8904
	%E	32.9447	12.9767	32.6600

Tabla 15. Parámetros del modelos a las temperaturas de 25 30 y 35°C de la harina de arveja Usui sometida a 25 minutos de tostado

Modelo	Constante	Temperatura		
		25°C	30°C	35°C
GAB	Xm	0.0502	0.0449	0.0460
	C	4.3459	4.2136	3.0711
	K	0.8470	0.8711	0.8786
	R ²	0.9966	0.9923	0.9924
	%E	7.6530	7.5591	10.1762
BET	Xm	0.0163	0.0196	0.0226
	C	6.29E+05	190.2408	31.6501
	R ²	0.9065	0.8661	0.9285
	%E	19.5167	29.4422	16.5496

En las tablas 7 al 15 se puede observar que el modelo de GAB ajusta bien con un coeficiente de determinación (R^2) mayor de 0.99 con una excepción en el caso de la harina de arveja blanca criolla que presenta un coeficiente de determinación de 0.96, pero que está dentro del rango establecido ya que es mayor al 0.85, con un porcentaje de error menor a 10% y una dependencia con la temperatura donde el valor de la monocapa disminuye al aumentar la temperatura. En algunos estudios se han encontrado cierta dependencia de los parámetros de la ecuación de GAB respecto a la temperatura. Teóricamente estos parámetros están relacionados con la entalpia de adsorción y la temperatura (Ramírez, 2011). Ayala, (2011) explica este comportamiento que con el aumento de la temperatura ocurren daños en los puntos activos de unión entre el agua y la fase sólida del alimento, ocasionando la pérdida absorbente.

El modelo de BET se obtiene a partir de una descripción física del proceso de sorción, por este motivo los parámetros que se obtienen tienen un sentido físico. Este modelo presenta un intervalo limitado de aplicabilidad del orden de 0,4 a 0,6, por lo que cuando los fenómenos de disolución soluto – solvente empiezan a ser importantes el modelo deja de ser aplicable. Por otro lado, el modelo de GAB se aplica en todo el intervalo de a_w (Martinez *et al.*, 2011) citado por Agama (2018).

Para todos los casos, el valor de C de ambos modelos, es mayor que 1, en el caso del modelo de GAB varía entre (3.0711 y 8.3821), y para el modelo de BET es mucho mayor los valores varían entre (31.6501 y 2114700). La constante K tiene valores menores que 1 (varían entre 0.8176 y 0.8891) de acuerdo a Chirife *et al* (1992) citado por Guevara, (2015) este parámetro debe ser inferior a la unidad. K considera las propiedades modificadas del sorbato en la región de la multicapa y las propiedades del líquido (Ramirez, 2011). Valores similares se reportan en estudios realizados en leche en polvo (Gil *et al*, 2012), harina de yuca (Ayala, 2011) y kiwicha en hojuelas (Rodriguez, 2015).

Los valores de monocapa (X_m) calculados con el modelo de GAB (varían entre 0.0403 y 0.0552) y son mayores que los calculados con el modelo de BET (varían entre 0.0119 entre 0.0226), resultados similares obtuvo Gálvez *et al.*, (2006), para harina de maíz, reportando que los valores de monocapa para los modelos GAB Y BET no son similares.

El modelo de BET no presento buen ajuste de los valores experimentales, pero los valores de monocapa son menores por lo que es rescatable, ya que el valor de monocapa indica la cantidad de agua que está fuertemente adsorbida en los sitios activos del solido del alimento y se considera como el valor en el cual el alimento es más estable durante el almacenamiento (Badui, 2006).

En las figuras 13 a la 30 se pueden observar que las isoterma modeladas muestran un comportamiento de tipo II de forma sigmoidea o tipo S que es indicativo de una adsorción física en multicapas igual a las isoterma obtenidas experimentalmente. La utilidad de los modelos de ajuste se muestra a través de la predicción de nuevos valores al conocer las constantes obtenidas (Timmermann *et al.*, 2001) citado por Agama, (2018).

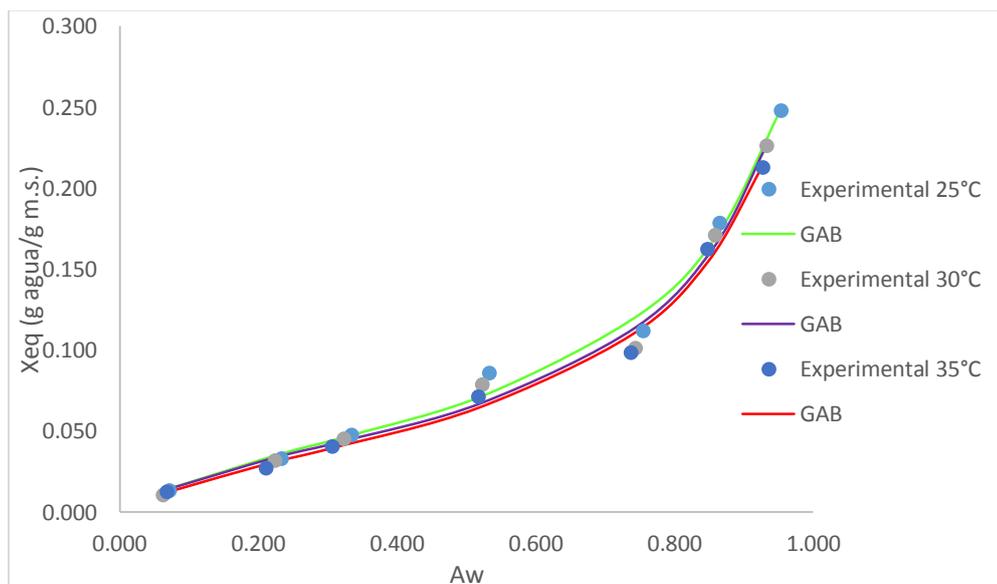


Figura 12: Modelado de la isoterma de adsorción de la harina de arveja Blanca Criolla sometida a 12 minutos de tostado con la ecuación GAB y experimental.

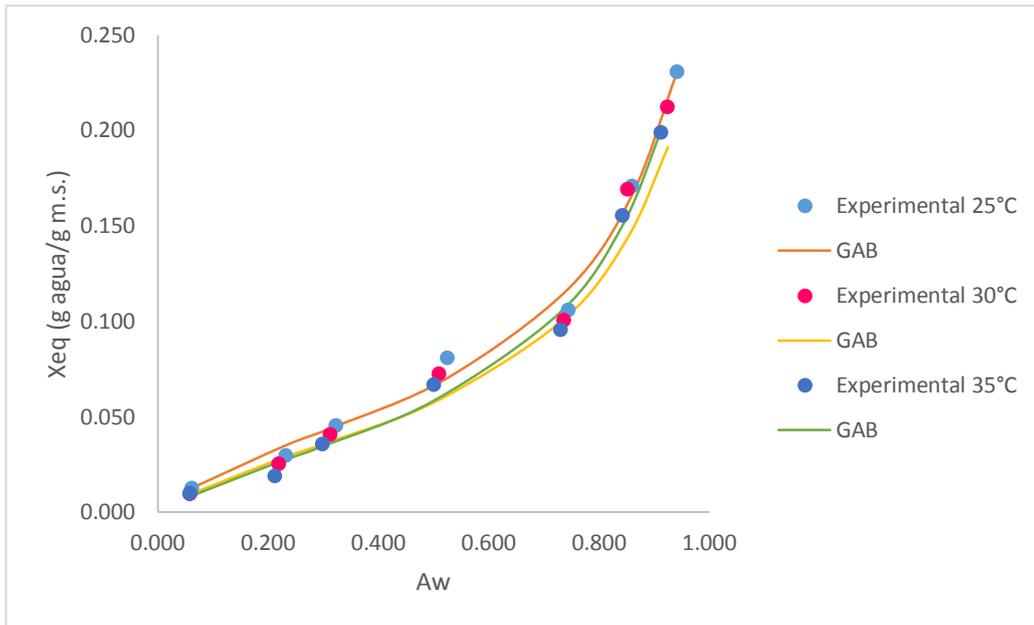


Figura 13: Modelado de la isoterma de adsorción de la harina de arveja Blanca Criolla sometida a 20 minutos de tostado con la ecuación GAB y experimental.

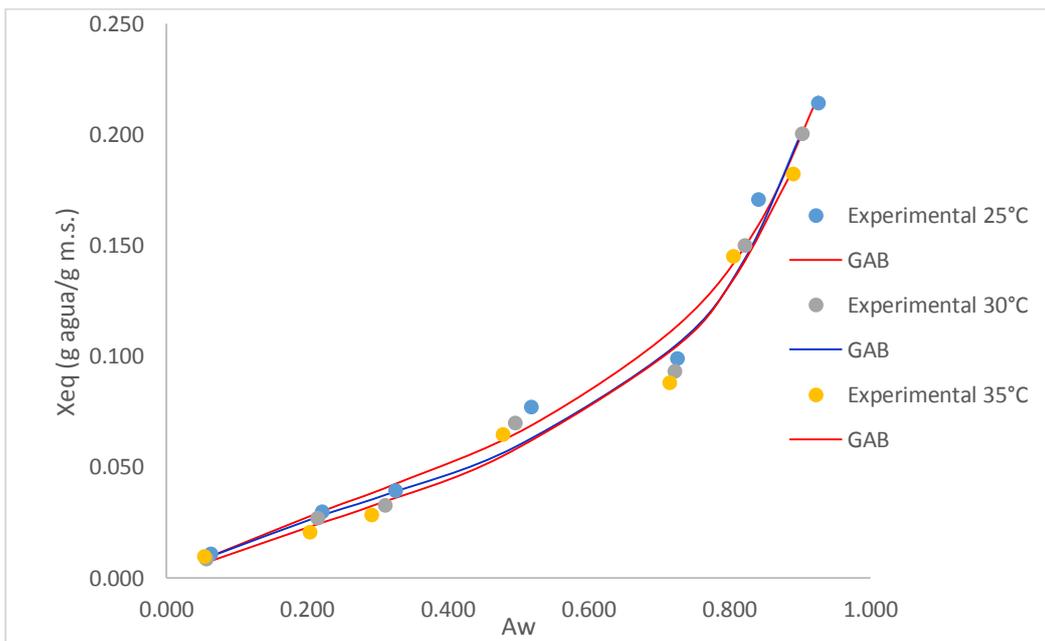


Figura 14: Modelado de la isoterma de adsorción de la harina de arveja Blanca Criolla sometida a 25 minutos de tostado con la ecuación GAB y experimental.

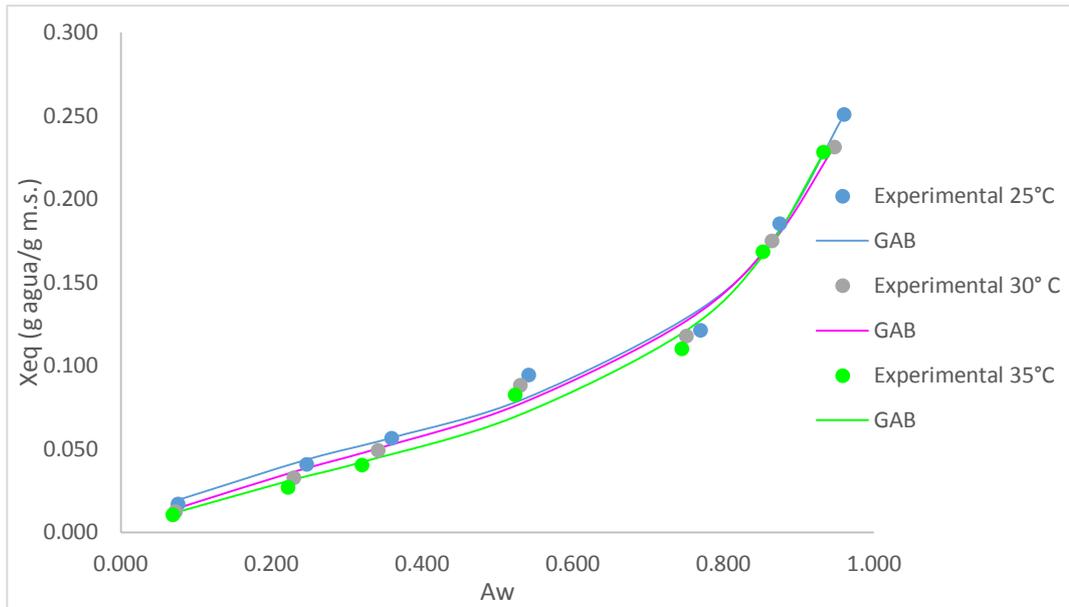


Figura 15: Modelado de la isoterma de adsorción de la harina de Azul sometida a 12 minutos de tostado con la ecuación GAB y experimental.

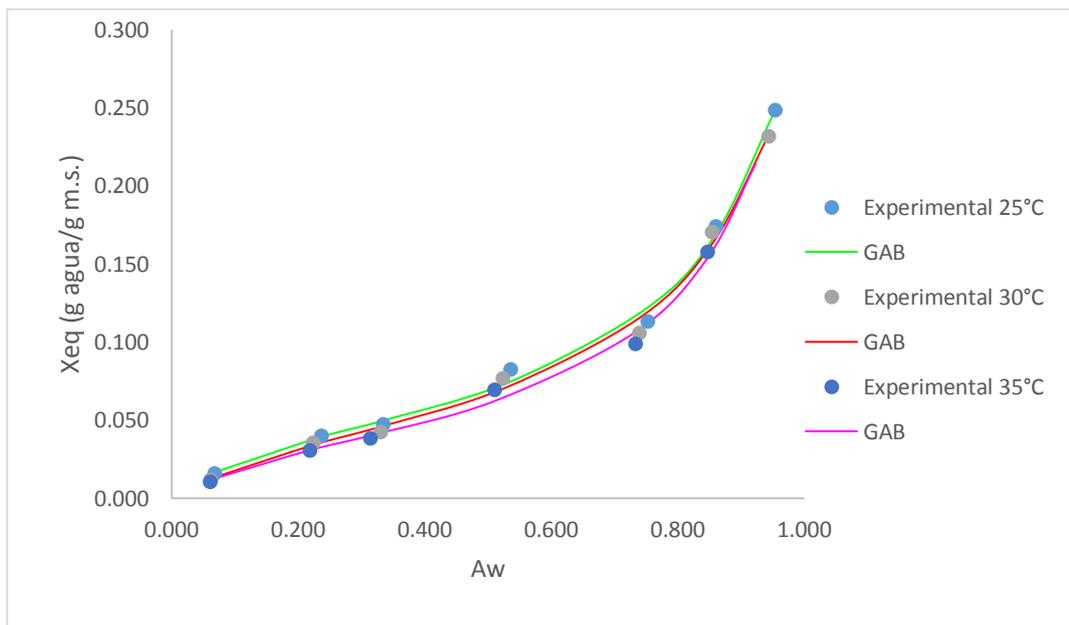


Figura 16: Modelado de la isoterma de adsorción de la harina de Azul sometida a 20 minutos de tostado con la ecuación GAB y experimental.

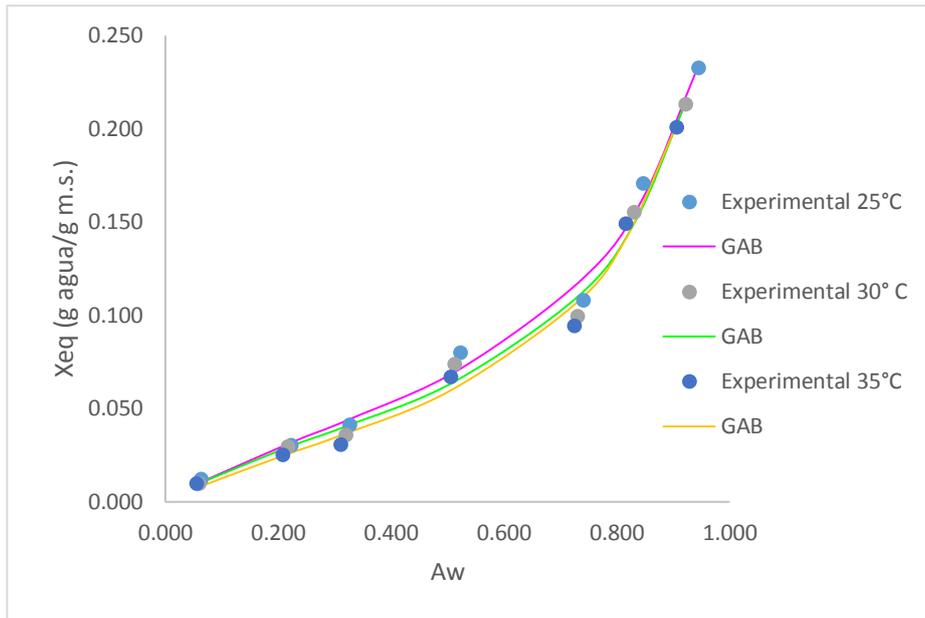


Figura 17: Modelado de la isoterma de adsorción de la harina de Azul sometida a 25 minutos de tostado con la ecuación GAB y experimental.

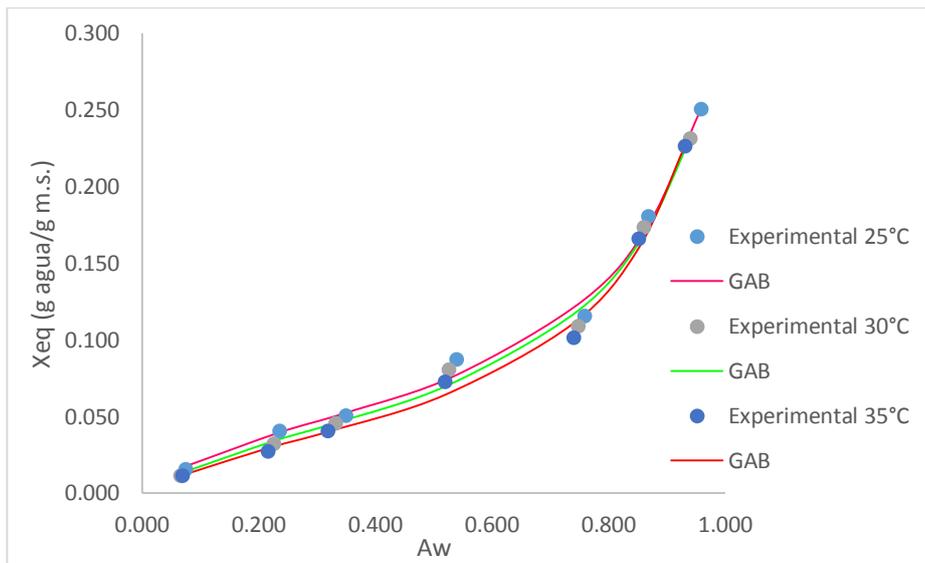


Figura 18: Modelado de la isoterma de adsorción de la harina de Usui sometida a 12 minutos de tostado con la ecuación GAB y experimental.

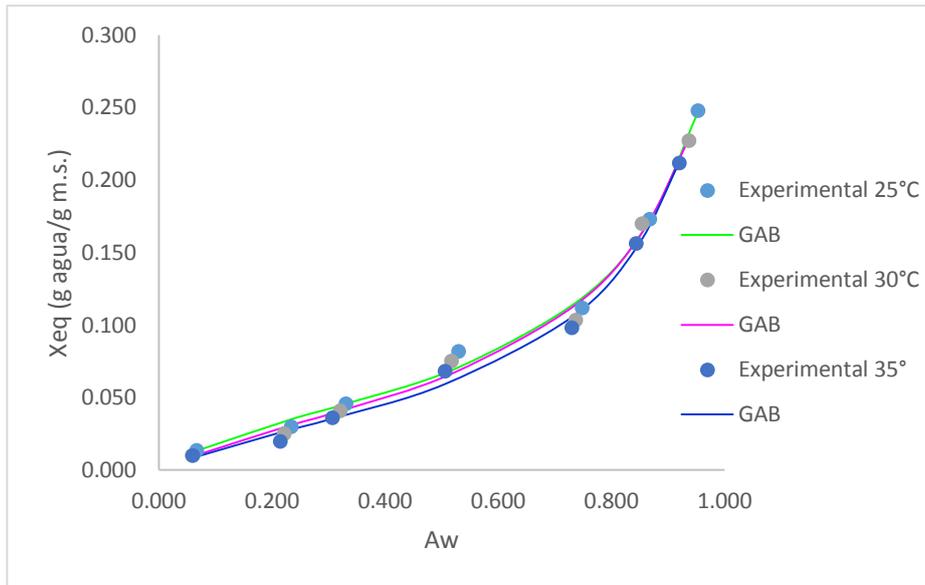


Figura 19: Modelado de la isoterma de adsorción de la harina de Usui sometida a 20 minutos de tostado con la ecuación GAB y experimental.

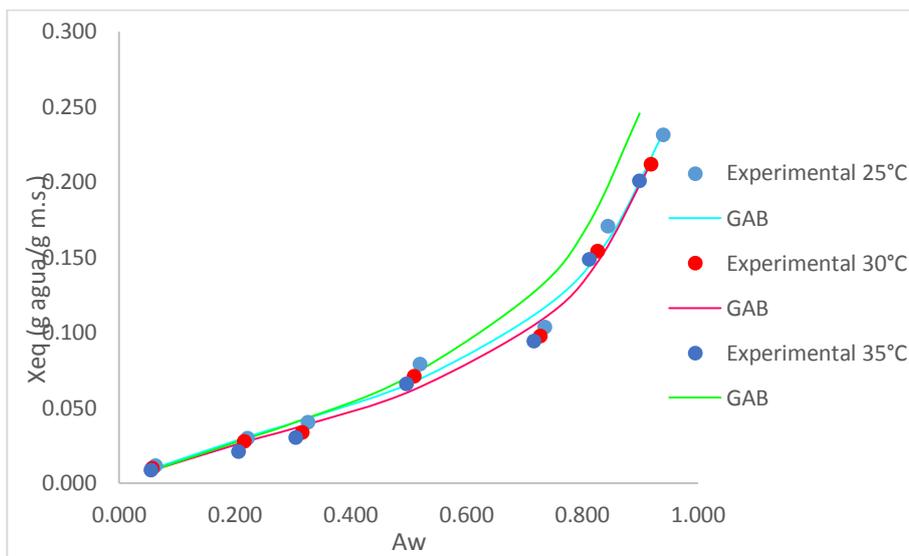


Figura 20: Modelado de la isoterma de adsorción de la harina de Usui sometida a 25 minutos de tostado con la ecuación GAB y experimental.

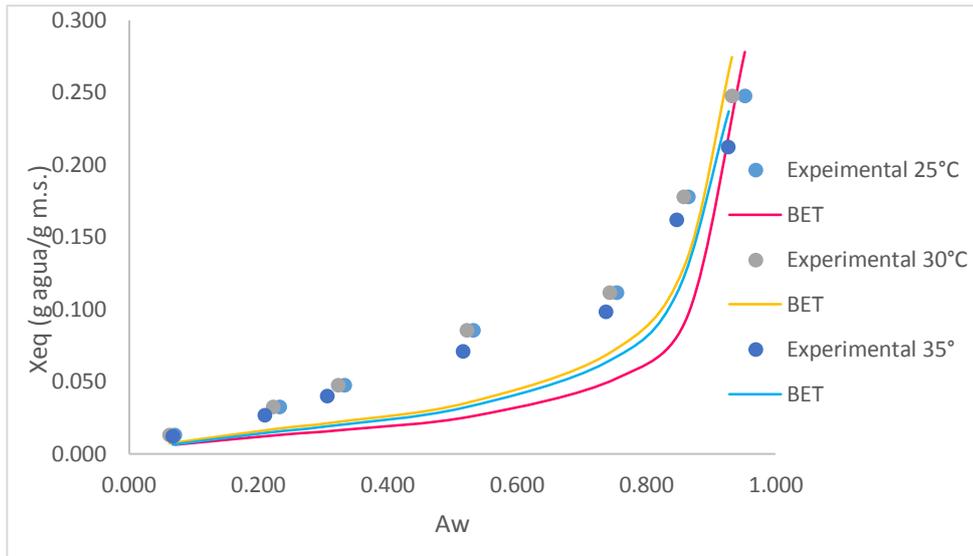


Figura 21: Modelado de la isoterma de adsorción de la harina de Blanca Criolla sometida a 12 minutos de tostado con la ecuación BET y experimental.

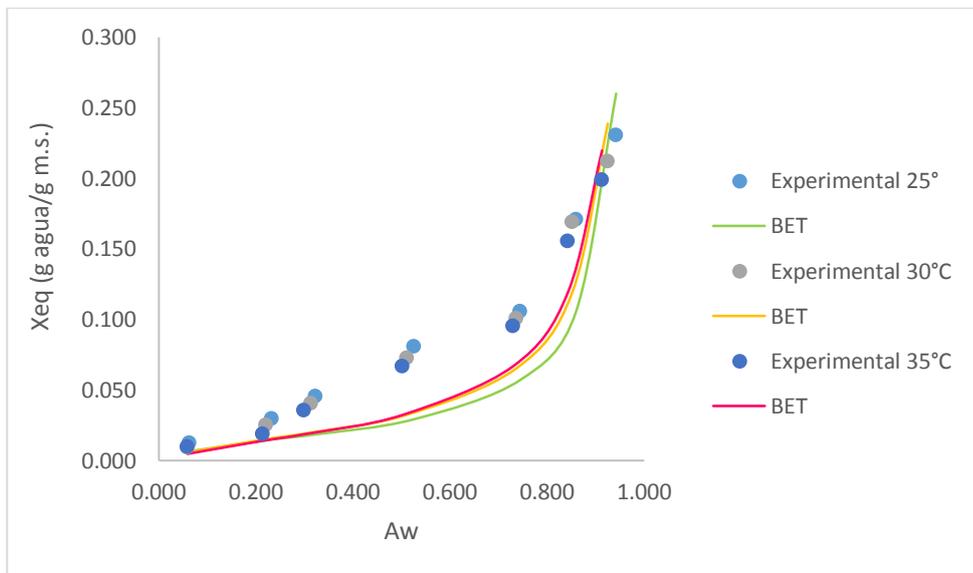


Figura 22: Modelado de la isoterma de adsorción de la harina de Blanca Criolla sometida a 20 minutos de tostado con la ecuación BET y experimental.

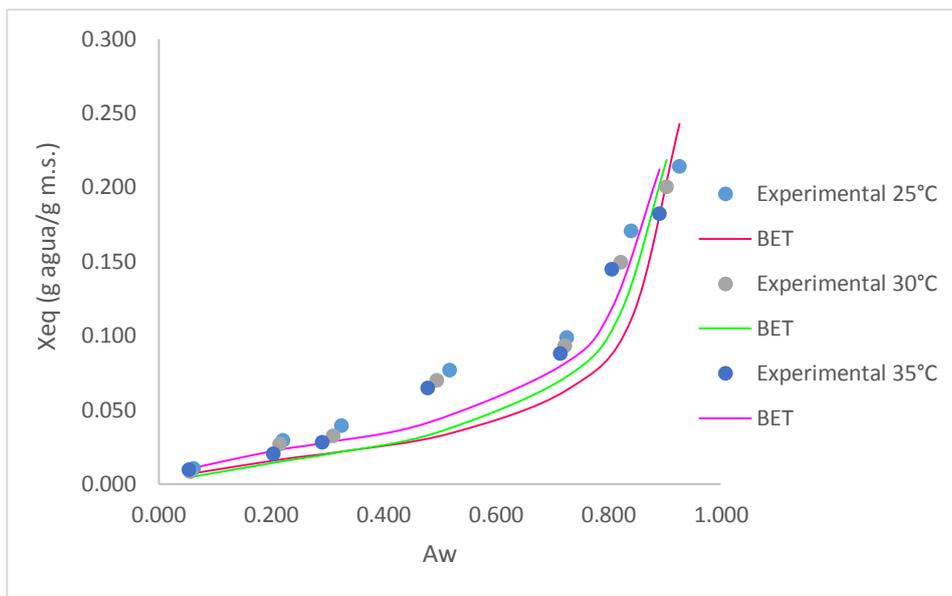


Figura 23: Modelado de la isoterma de adsorción de la harina de Blanca Criolla sometida a 25 minutos de tostado con la ecuación BET y experimental.

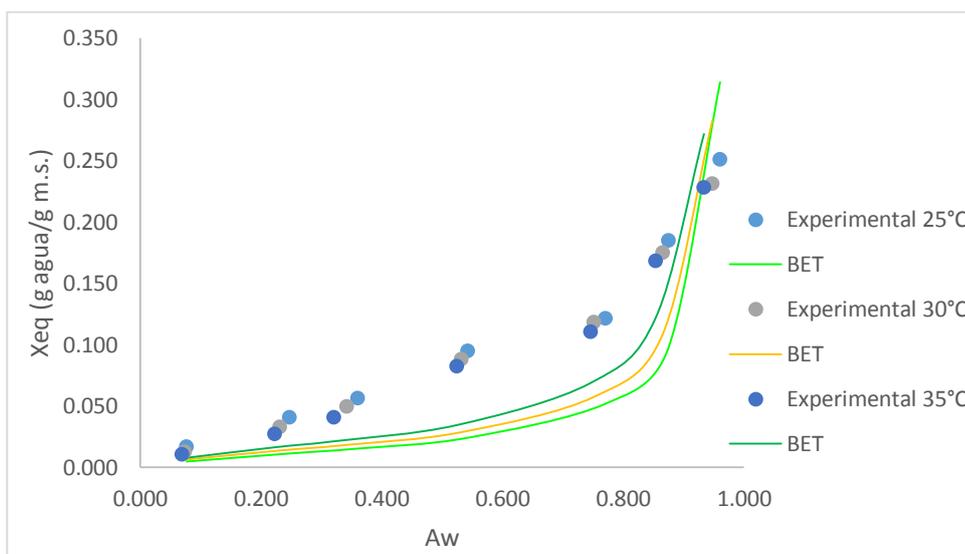


Figura 24: Modelado de la isoterma de adsorción de la harina de Azul sometida a 12 minutos de tostado con la ecuación BET y experimental.

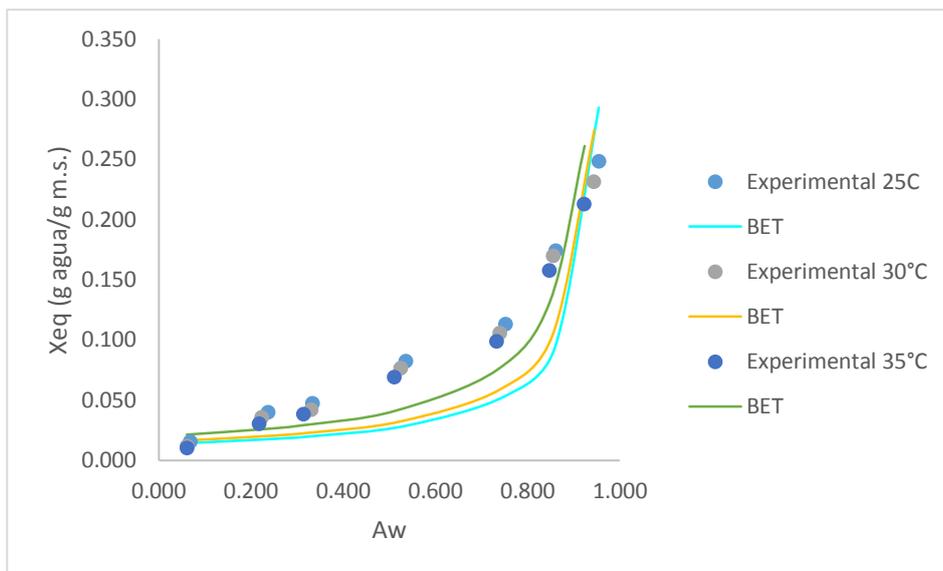


Figura 25: Modelado de la isoterma de adsorción de la harina de Azul sometida a 20 minutos de tostado con la ecuación BET y experimental.

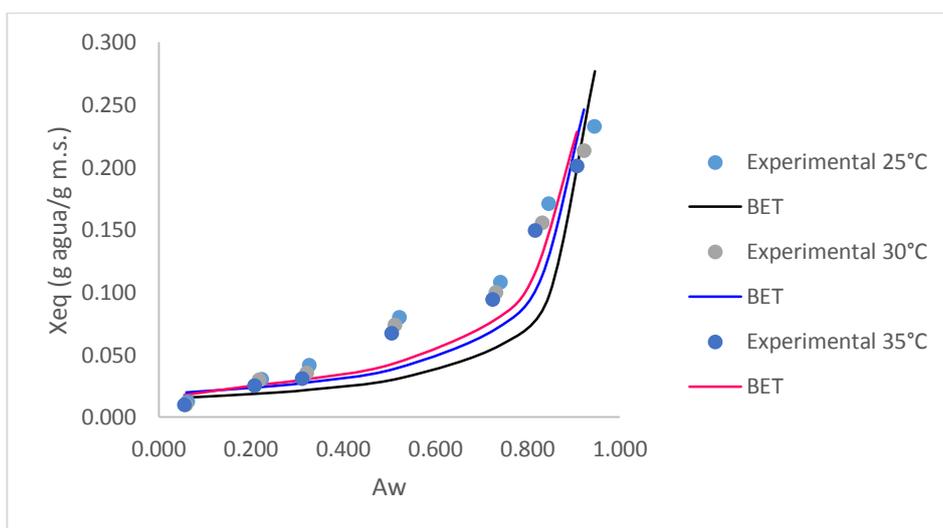


Figura 26: Modelado de la isoterma de adsorción de la harina de Azul sometida a 25 minutos de tostado con la ecuación BET y experimental.

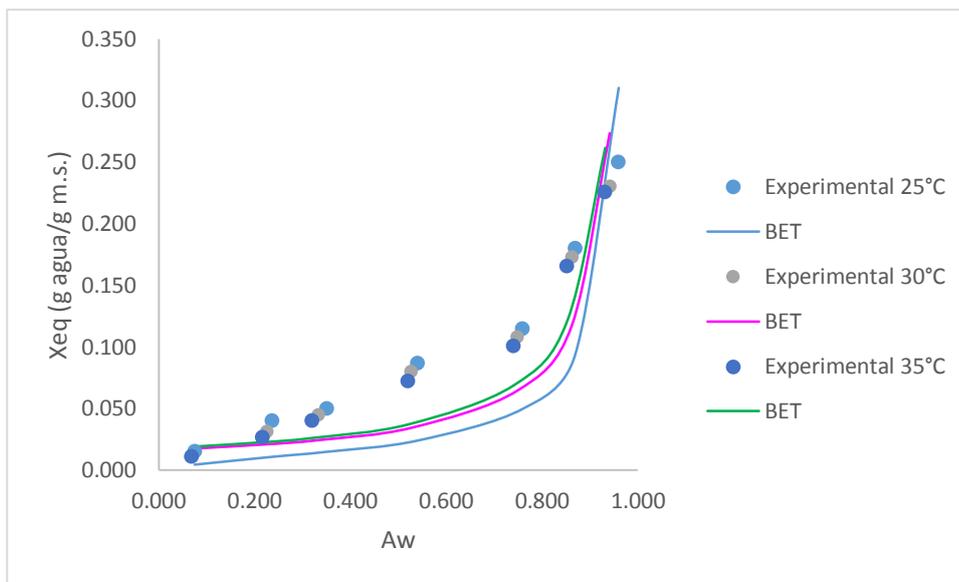


Figura 27: Modelado de la isoterma de adsorción de la harina de Usui sometida a 12 minutos de tostado con la ecuación BET y experimental.

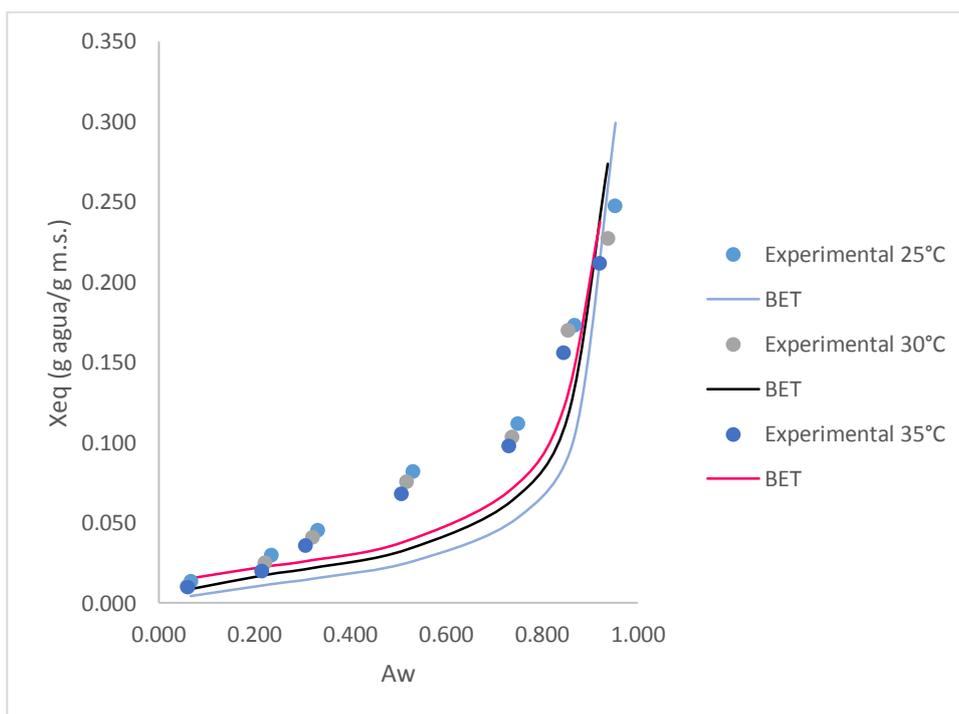


Figura 28: Modelado de la isoterma de adsorción de la harina de Usui sometida a 20 minutos de tostado con la ecuación BET y experimental.

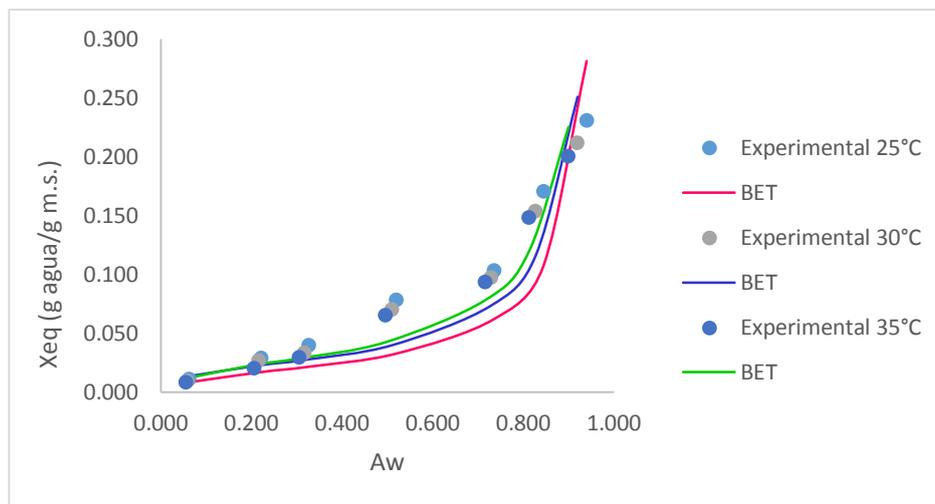


Figura 29: Modelado de la isoterma de adsorción de la harina de Usui sometida a 25 minutos de tostado con la ecuación BET y experimental.

4.5 Determinación de la Vida Útil

Los parámetros usados para el cálculo del tiempo de vida útil utilizando la ecuación 8 se muestran en la tabla 16, 17 y 18

Tabla 16. Parámetros obtenidos de las isotermas experimentales para el cálculo de la vida útil de la harina de arveja Blanca Criolla.

Parámetros	25°C			30°C			35°C		
	Tiempo de tostado (min)			Tiempo de tostado (min)			Tiempo de tostado (min)		
	12	20	25	12	20	25	12	20	25
$X_e(\text{KgH}_2\text{O}/\text{Kg}_{\text{m.s.}})$	0.2059	0.2000	0.2010	0.2017	0.1975	0.1984	0.1953	0.1910	0.1863
$X_i(\text{KgH}_2\text{O}/\text{Kg}_{\text{m.s.}})$	0.0645	0.0512	0.0452	0.0645	0.0512	0.0452	0.0645	0.0512	0.0459
$X_c(\text{KgH}_2\text{O}/\text{Kg}_{\text{m.s.}})$	0.1051	0.1009	0.0963	0.0966	0.0963	0.0910	0.0936	0.0919	0.0866
S	0.5039	0.4552	0.5233	0.5254	0.5062	0.5372	0.5085	0.4956	0.4985

Tabla 17. Parámetros obtenidos de las isotermas experimentales para el cálculo de la vida útil de la harina de arveja Azul.

Parámetros	25°C			30°C			35°C		
	Tiempo de tostado (min)			Tiempo de tostado (min)			Tiempo de tostado (min)		
	12	20	25	12	20	25	12	20	25
$X_e(\text{KgH}_2\text{O}/\text{Kg}_{\text{m.s.}})$	0.2044	0.2050	0.2041	0.1988	0.2010	0.1988	0.2032	0.1960	0.1969
$X_i(\text{KgH}_2\text{O}/\text{Kg}_{\text{m.s.}})$	0.0675	0.0544	0.0494	0.0675	0.0544	0.0544	0.0675	0.0494	0.0494
$X_c(\text{KgH}_2\text{O}/\text{Kg}_{\text{m.s.}})$	0.1130	0.1057	0.1027	0.1111	0.1005	0.0960	0.1046	0.0944	0.0912
S	0.4568	0.4963	0.5071	0.4384	0.5025	0.5140	0.4929	0.5084	0.5284

Tabla 18. Parámetros obtenidos de las isotermas experimentales para el cálculo de la vida útil de la harina de arveja Usui.

Parámetros	25°C			30°C			35°C		
	Tiempo de tostado (min)			Tiempo de tostado (min)			Tiempo de tostado (min)		
	12	20	25	12	20	25	12	20	25
Xe(KgH₂O/Kg_{m.s})	0.2046	0.2012	0.2056	0.2016	0.2016	0.1995	0.2022	0.1969	0.2009
Xi (KgH₂O/Kg_{m.s})	0.0653	0.0590	0.0523	0.0653	0.0590	0.0523	0.0653	0.0590	0.0523
Xc(KgH₂O/Kg_{m.s})	0.1077	0.1052	0.0994	0.1026	0.0987	0.0941	0.0959	0.0941	0.0919
S	0.4845	0.4798	0.5310	0.4950	0.5144	0.5272	0.5316	0.5138	0.5451

Para el cálculo de la vida útil se tomó como referencia de humedad crítica (Xc) a los valores obtenidos de a_w de 0.7 debido a que los productos deshidratados no deben superar dicho valor (Barreiro & Sandoval 2006; Mossel et al., 2003) citado por Agama (2018). El valor crítico de agua es el valor más elevado en el cuál no habrá contaminación microbiana durante el tiempo de almacenamiento. Esto supondría valores críticos de humedad que varían de 0.0866 a 0.1057 para el caso de la harina de variedad Blanca Criolla, de 0.0912 a 0.1130 para la harina de la variedad Azul, y de 0.0919 a 0.1077 para el caso de la harina de variedad Usui, para las tres temperaturas de trabajo.

Mientras que la humedad inicial varía entre 0.0452 y 0.0675 que corresponden a actividades de agua de 0.3 a 0.5, y son similares a los valores de humedad de monocapa. Sin embargo, en las fichas técnicas de alimentos del servicio alimentario del programa nacional de alimentación escolar Qali Warma (2014) dice que la humedad de la harina de arveja extruida debe ser menor o igual al 5%, en este trabajo de investigación la harina se elaboró con todo la cascara de la arveja posiblemente se deba a los componentes presentes en la cascara que hace que la harina tenga mayor contenido de humedad cabe destacar que también se llevó a cabo el proceso de tostado. Según (Amaral y cols., 2006) Citado por Martínez (2010). Mencionan que el proceso de tostado extrae la humedad del alimento de tal modo reduce la actividad de agua y prolonga la vida en anaquel. En la tabla 19 se puede observar que la vida útil disminuye cuando la temperatura de almacenamiento se incrementa, debido esencialmente a que, los polímeros como el polietileno, al ser sometidos a un incremento de temperatura, presentan una disminución del coeficiente de solubilidad

(concentración del vapor de agua en el film en equilibrio con la presión externa) y un aumento del coeficiente de difusión (movilidad de las moléculas del vapor de agua en el polímero). En general la temperatura influye en el comportamiento viscoelástico en el sentido de influir sobre los enlaces por fuerzas de Van der Waals entre las cadenas. Cuando la temperatura aumenta los enlaces se desenrollan y tiene lugar el flujo viscoso más fácilmente con menor tensión aplicada. los enlaces covalentes de la cadena principal pueden destruirse. Como resultado, la permeabilidad de la película plástica se incrementa (Graciano *et al.*, 2006) citado por Guevara (2015). En tal sentido la humedad de la harina durante el almacenamiento podría incrementarse, implicando valores de a_w favorables para el crecimiento microbiano y ocasionando que el tiempo de vida en anaquel disminuya.

Tabla 19. Estimación de la vida útil de la harina de tres variedades de arveja sometidas a tres tiempos diferentes de tostado en días

		Temperatura								
		25°C			30°C			35°C		
		tiempo de tostado (min)			tiempo de tostado (min)			tiempo de tostado (min)		
variedad		12	20	25	12	20	25	12	20	25
	v1	317	374	387	194	258	264	134	178	181
	v2	343	384	398	245	263	267	165	176	184
	v3	326	351	362	219	233	244	141	158	176

V1 = Blanca Criolla
V2 = Azul
V3 = Usui

Tabla 20. Análisis de Varianza para vida útil

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:variedad	346.076	1	346.076	4.35	0.0523
B:tiempo tostado	7874.87	1	7874.87	99.06	0.0002
C:temperatura	169892.	1	169892.	2137.08	0.0000
INTERACCIONES					
AB	646.798	1	646.798	8.14	0.0110
AC	37.8533	1	37.8533	0.48	0.4995
BC	298.375	1	298.375	3.75	0.0695
ABC	80.7943	1	80.7943	0.23	0.6402
Error total	1351.45	19	79.4973		
Total (corr.)	185981.	26			

R-cuadrada = 99.2733 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 98.8886 por ciento

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) para la variable vida útil de la harina de arveja (tabla 20), muestran una alta significación estadística para los factores en estudio (tiempo de tostado y temperatura) puesto que $p < 0.05$, lo cual indica que estos factores producen un efecto en la vida útil de la harina de arveja. La interacción (variedad por tiempo de tostado) presenta significación al 5% lo cual indica que estos factores actúan conjuntamente.

Tabla 21. prueba de HSD tukey para el factor tiempo de tostado, confianza 95%

tiempo de tostado	N	Media	Agrupación
25	9	273.446	A
20	9	264.322	A
12	9	231.614	B

Los resultados obtenidos con el análisis Tukey (Tabla 21) realizada con la finalidad de encontrar diferencias estadísticas entre los promedios de vida útil, y determinar el mejor tiempo de tostado muestra que 25 minutos de tostado, presenta mayor tiempo de vida útil 273.446 días, siendo superior estadísticamente a demás tratamientos.

El tiempo de tostado es un factor altamente significativo que produce efectos en la vida útil de la harina, en la tabla 19 se observa que a medida que el tiempo de tostado el tiempo de vida útil es mayor para todas las variedades, ya que el proceso de tostado es un tratamiento térmico el cual extrae la humedad del alimento y de esta manera hace más estable al producto. Esto coincide con Agama (2018) que estimó el tiempo de vida útil de papilla reportando valores superiores a un año, en el boletín técnico de harina de arveja (2016) menciona que la harina de arveja pre-cocida es microbianamente seguro y que almacenada a temperatura ambiente durante tres meses no pierde color, sabor y no se oxida, y almacenada a temperaturas por debajo de 27°C se puede esperar una vida de anaquel de un año.

Tabla 22. Prueba de HSD tukey para el factor temperatura, confianza 95%

temperatura	N	Media	Agrupación
25	9	360.282	A
30	9	243.122	B
35	9	165.978	C

Los resultados obtenidos con el análisis Tukey (Tabla 22) realizada con la finalidad de encontrar diferencias estadísticas entre los promedios de vida útil, y determinar la mejor temperatura muestra que 25°C es estadísticamente superior (360.282 días) que a 30 y 35°C (243.122 y 165.978 días).

La temperatura es un parámetro importante en el almacenamiento de alimento debido a que la estabilidad o durabilidad de un alimento depende de la temperatura en la tabla 19 se observa que la vida útil se reduce cuando la temperatura aumenta, valores similares se reportaron para la quinua en hojuelas (Guevara, 2015).

Tabla 23. prueba de HSD tukey para la interacción (variedad por tiempo de tostado, confianza 95%

variedad*tiempo de tostado	N	Media	Agrupación
2 25	3	282.978	A
1 25	3	276.554	A
2 20	3	274.529	A
1 20	3	271.308	A B
3 25	3	260.807	A B C
2 12	3	251.011	B C D
3 20	3	247.127	C D
3 12	3	228.725	D E
1 12	3	215.105	E

Los resultados obtenidos con el análisis Tukey (Tabla 23) realizada con la finalidad de encontrar diferencias estadísticas entre los promedios de vida útil, y determinar la mejor combinación de los niveles de los factores en estudio, muestra que la combinación de la variedad 2 (Azul) y 25 minutos, presenta mejor combinación con 282.978 días de vida útil siendo estadísticamente superior a los demás tratamientos. Los efectos que no son significativos del modelo planteado son las interacciones (variedad por temperatura y tiempo de tostado por temperatura) ya que los p-valores correspondientes a estos efectos son: 0.4995, 0.0695 mayores que el nivel de significación y el factor variedad donde $p > 0.05$.

Esto explica que la variedad es un factor que no influye en la vida útil de la harina, esto coincide en parte con Mera (1994) ya que menciona que hay variedades de arvejas que deben ser cosechadas para su consumo en grano inmaduro entre ellas están las de grano tipo rugoso son las que tienen mayor concentración de azúcar y menor acumulación de almidón, mientras que las variedades de granos lisos la concentración de azúcar es menor estas serían las que son destinadas para producción de grano seco o maduro, por lo que capta menos agua del ambiente lo que hace que el polvo deshidratado sea más estable y menos higroscópico (Chen, 2007) citado por Agama (2018). En este trabajo de investigación las variedades utilizadas son de grano liso, por lo que se deduce que no hay diferencias de componentes que afecten la vida útil, sin embargo, De Bernardi (2017) menciona que la arveja de granos lisos verdes es adecuada para enlatados y MINAGRI (2016) describe que la arveja Usui es preferida para cosecha en grano verde, en la tabla 19 se observa que la variedad con vida útil más alargada es la Azul seguida por Blanca Criolla.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Aplicando el modelo matemático de Heiss y Eichner, se estimó el tiempo de vida útil para la harina de tres variedades de arveja, bajo unas condiciones de almacenamiento dadas (90% RH), oscila entre 134 a 398 días, disminuyendo el tiempo de vida cuando aumenta la temperatura.
- El tiempo de tostado que alarga la vida útil de la harina es 25 minutos, teniendo como resultado para la harina de arveja Azul 184 a 398 días, harina de arveja Blanca Criolla 101 a 387 días y para la harina de arveja Usui 177 a 362 días.
- La variedad de arveja, no presento diferencias significativas en la vida útil de la harina.
- Las isotermas modeladas muestran un comportamiento de tipo II de forma sigmoidea o tipo S que es indicativo de una adsorción física en multicapas igual a las isotermas obtenidas experimentalmente. Se encontró que el valor humedad de monocapa de GAB y BET se ubica entre 0.0403-0.055) y 0.0119-0.0226. El modelo de GAB es el más apropiado para la harina de arveja debido a que es eficiente en todo el rango de actividad de agua lo que se evidenció en el valor del coeficiente de determinación superior a 0.96 con un error medio relativo inferior a 10.

5.2 RECOMENDACIONES

- Realizar investigaciones futuras, un estudio de tiempo de vida útil del producto en tiempo real para relación con los valores obtenidos teóricamente con pruebas aceleradas.
- Evaluar el contenido nutricional de la harina de las 3 variedades de arveja con el fin de comercializarlo como producto envasado.

CAPITULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alasino, M. 2009. Harina de arveja en la elaboración de pan. Estudio del efecto de emulsionantes como mejoradores de volumen u vida útil. (en línea). Tesis para optar el grado de Magister en ciencia y tecnología de los alimentos. Universidad Nacional del Litoral. Argentina. Consultado 18 feb. 2018. Disponible en: <http://web10.unl.edu.ar:8080/tesis/bitstream/handle/11185/145/tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Agama, A. 2018. Estudio de las condiciones óptimas de almacenamiento de papilla para niños de 6 a 36 meses a base de harina de papa nativa (*solanum tuberosum ssp.*), variedades Yema de Huevo y Santa Rosa con sabor a mora (*Rubus glaucus*) y Taxo (*Passiflora tripartita*). (en línea). Tesis para optar el grado de ingeniero en alimentos. Universidad técnica de Ambato. Ecuador. Consultado 17 ene. 2019. Disponible en: <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/28025/1/AL%20676.pdf>
- Ayala, A. 2011. Estimación de las isotermas de adsorción y del calor esotérico en harina de yuca. (en línea). Revista virtual de Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 9(1). Consultado 3 mar. 2018. Disponible en: <http://revistabiotecnologia.unicauca.edu.co/revista/index.php/biotecnologia/article/viewFile/170/144>
- Badui, S. (2006). Química de los Alimentos. 4ª ed. Pearson México.
- Basilio, A. (2015). Predicción de la vida útil de chifles de plantanos (*Musa paradisiaca*) mediante modelos matemáticos. (en línea). Tesis para optar el grado de Magister Scientiae en Tecnología de alimentos. Universidad Agraria la Molina. Lima – Perú. Consultado 27 feb. 2018. Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM>

- Bello, G. 2000. Ciencia bromatológica. España.
- Bolaños, V. Lutz, C. Herrera, R (2003). Química de los alimentos. Costa Rica.
- Carrillo, I. Reye, M. 2013. Vida útil de los alimentos. (en línea). Revista virtual Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias. 2(3). Consultado 18 feb. 2018. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5063620.pdf>
- Castillo, M. Muñoz, M. Engler, F (2016) Manual básico de buenas prácticas
- De Bernardine, L. 2017. Perfil de las Arvejas (*Pisum Sativum*). (en línea). Consultado 18 de feb. 2018. Disponible en: http://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/ss_mercados_agropecuarios/areas/regionales/_archivos/000030_Informes/000040_Legumbres/000012_Perfil%20de%20las%20Arvejas%20-%202017.pdf
- Estudio de prefactibilidad técnica-económica del proyecto establecimiento del proceso de tostado y molido de café para la Asociación Cooperativa de la Reforma Agraria Cafetalera Florencia de R.L. s.f. Venezuela.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2016. Beneficios Nutricionales de las Legumbres. (en línea). Consultado 3 mar. 2018. disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i5384s.pdf>
- Fennema, O. 2000. Química de los alimentos. 3ª ed. Editorial Acribia S.A. Zaragoza.
- Fennema, O. 2008. Química de los alimentos.
- Gálvez, A. Aravena, E. Mondaca, R. 2006. Isotermas de adsorción de harina de maíz. (en línea). Cienci. Tecnol. Aliment., Campinas, 26(4). Consultado 3 mar. 2018. Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/cta/v26n4/16.pdf>
- Gil, J. Muratona, S. Yacanto, P. Soteras, EM. Abaca, C. Sustersic. MG. 2013. Isotermas de adsorción y desorción de agua en leche descremada en polvo. (en línea). Avances en Ciencias e Ingeniería, 4(1), 51-59.

Argentina. Consultado 17 feb. 2018. Disponible en:
<http://www.redalyc.org/pdf/3236/323627689005.pdf>

Giraldo, G. 1999. Métodos de estudio de vida útil de anaquel de los alimentos. (en línea). Colombia. Consultado 2 de mar. 2018. Disponible en:
<http://www.bdigital.unal.edu.co/51276/1/metodosdeestudiodevidadeanaqueldelosalimentos.pdf>

Guevara, C. 2015. Efecto de la temperatura en isoterms de adsorción de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) en hojuelas. (en línea). Informe de tesis para optar el grado de ingeniero Agroindustrial. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo. Consultado 15 de ene. 2019. Disponible en:
<http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/3397/GUEVARA%20PAREDES%20CIRO%20JAVIER.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Harina de Arveja (Boletín Técnico). S.f. (en línea). Consultado 18 feb. 2018) disponible en:
<http://www.mercalimentos.com/mediaKit/TechPea/techPea.pdf>

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura – organismo consultor). Estudio de prefactibilidad técnica-económica del proyecto establecimiento del proceso de tostado y molido de café para la Asociación Cooperativa de la Reforma Agraria Cafetalera Florencia de R.L. Venezuela.

Magdalena. S.f. Blogspot. (en línea). Consultado 20 de feb. 2018. Disponible en:
<http://infusionistas.com>

Martínez, I. 2010. Efecto del proceso de tostado en el desarrollo de pasta untable de semillas de Zapallo (Cucurbita Máxima Duch). (en línea). Tesis para optar el grado de Ingeniera en Alimentos. Universidad de Chile. Santiago – Chile. Consultado 25 feb. 2018. Disponible en:
http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/115852/martinez_aa.pdf;sequence=1

MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego). 2016. Legumbres: ¿Cuánto se produce en Perú y en qué regiones? (en línea) consultado 21 de feb. 2018. Disponible en: <https://gestion.pe/economia/legumbres-produce-peru-regiones-146863>

MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego). 2016. Leguminosas de Grano: “Semillas nutritivas para un futuro sostenible” (en línea) consultado 21 de feb. 2018. Disponible en: <http://minagri.gob.pe/portal/download/legumbres>.

Núñez, M. 2015. Métodos de estimación de la vida útil de los alimentos. (en línea). Cuba. consultado el 28 de feb. 2018 disponible en: https://www.researchgate.net/publication/264933994_METODOS_DE_ESTIMACION_DE_LA_VIDA_UTIL_DE_LOS_ALIMENTOS

Operaciones unitarias y prácticas de laboratorio. Edit. Limusa. México. para el tostado del café. (En línea). Ecuador consultado el 21 de feb. 2018. Disponible en: http://www.swisscontact.org/fileadmin/user_upload/COUNTRIES/Ecuador/Documents/Content/ManualTuesteCafe.pdf

Parzanese, M. s.f. Procesamiento de legumbres. (en línea). Argentina. Consultado 20 feb. 2018. Disponible en: http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/sectores/tecnologia/Ficha_25_ProcesamientoLegumbres.pdf

Posada, C. 2011. Recopilación de estudios de tiempos de vida útil de productos nuevos y ya existentes de la compañía de galletas Noel S.A.S. (en línea). informe de práctica empresarial para optar el Título de Ingeniería de Alimentos. Corporación Universitaria las Allistas. Caldas. Consultado 26 feb. 2018. Disponible en: http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/683/1/Recopilacion_estudios_vida_util.pdf.pdf

- Ramírez, M. 2015. Elaboracion de sopa deshidratada a partir de germinado y hojas de Quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) Y Arveja (*Pisum sativum*). (en línea). Tesis para optar el grado de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Universidad Agraria la Molina. Lima – Perú. Consultado 19 feb. 2018. Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2178/Q02-R355-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ramírez, M.M (2012). Determinación de isothermas de sorción en harina de Maíz a tres temperaturas y su ajuste a modelos matemáticos. (en línea). Tesis para optar el grado de magister en ciencias de alimentos. Instituto Politécnico Nacional. México. Consultado 17 feb. 2018. Disponible en: http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/18355/TESIS%20MONICA%20RAMIREZ%20MIRANDA_211.pdf?sequence=1
- Rodríguez, J. 2015. Efecto de la temperatura en isothermas de adsorción de kiwicha (*Amaranthus caudatus*) en hojuelas. (en línea). Informe de tesis para optar el grado de ingeniero Agroindustrial. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo. Consultado 15 de ene. 2019. Disponible en: <http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/4380/RODRIGUEZ%20AVILA%20JORGE%20OSWALDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- SEPAR (Servicios Educativos Promoción y Apoyo Rural). 2014. Una experiencia de desarrollo sostenible en cuatro distritos de la provincia de Churcama. 1a ed. Huancayo.
- Sharma, S.K., Mulvaney, S.J., Rizui, S.S. (2003). Ingeniería de alimentos: Operaciones unitarias y prácticas de laboratorio. Edit. Limusa. México.
- Solá, A. tostado y molido del café. (en línea). Consultado 20 de feb. 2018. Disponible en: <http://www.infocafes.com/descargas/biblioteca/18.pdf>
- Viades, T.J. s.f. Adsorción de agua en alimentos. Seminario de Investigación. (en línea). Universidad Nacional Autónoma de México. Consultado 20 feb. 2018. Disponible en: http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/11AwGABJV_14227.

ANEXOS

Anexo 1. Cámara hermética para cada ambiente de almacenamiento.



Anexo 2. Equipo AQUALAB usado para la determinación de a_w



Anexo 3. Harina de las tres variedades de arveja



Anexo 4. Humedad de equilibrio Experimental y modelado de harina de arveja blanca Criolla sometida a 12 minutos de tostado, a diferentes a_w .

25°C				30°C				35°C			
a_w	Xeq (g agua/g materia seca)			a_w	Xeq (g agua/g materia seca)			a_w	Xeq (g agua/g materia seca)		
	Exp	GAB	BET		Exp	GAB	BET		Exp	GAB	BET
0.0715	0.0131	0.0145	0.0149	0.0627	0.0102	0.0131	0.0189	0.0678	0.0123	0.0120	0.0194
0.2335	0.0327	0.0361	0.0181	0.2237	0.0313	0.0335	0.0228	0.2109	0.0269	0.0295	0.0229
0.3342	0.0474	0.0475	0.0208	0.3234	0.0449	0.0438	0.0262	0.3068	0.0401	0.0395	0.0260
0.5325	0.0855	0.0734	0.0296	0.5226	0.0785	0.0674	0.0372	0.5170	0.0709	0.0642	0.0374
0.7546	0.1115	0.1235	0.0565	0.7438	0.1011	0.1140	0.0692	0.7373	0.0982	0.1092	0.0687
0.8651	0.1781	0.1734	0.1027	0.8583	0.1707	0.1647	0.1252	0.8475	0.1620	0.1543	0.1183
0.9527	0.2479	0.2482	0.2933	0.9328	0.2261	0.2269	0.2638	0.9272	0.2125	0.2142	0.2479

Anexo 5. Humedad de equilibrio Experimental y modelado de harina de arveja blanca Criolla sometida a 20 minutos de tostado, a diferentes a_w .

25°C				30°C				35°C			
a_w	Xeq (g agua/g materia seca)			a_w	Xeq (g agua/g materia seca)			a_w	Xeq (g agua/g materia seca)		
	Exp	GAB	BET		Exp	GAB	BET		Exp	GAB	BET
0.0621	0.0129	0.0125	0.0167	0.0585	0.0097	0.0092	0.0197	0.0588	0.0102	0.0081	0.0179
0.2323	0.0299	0.0349	0.0205	0.2200	0.0253	0.0276	0.0239	0.2133	0.0191	0.0255	0.0242
0.3231	0.0456	0.0449	0.0232	0.3129	0.0410	0.0368	0.0271	0.2985	0.0358	0.0344	0.0275
0.5250	0.0810	0.0702	0.0331	0.5103	0.0728	0.0588	0.0381	0.5015	0.0669	0.0585	0.0393
0.7447	0.1060	0.1171	0.0615	0.7369	0.1008	0.1011	0.0709	0.7304	0.0957	0.1049	0.0731
0.8602	0.1711	0.1663	0.1123	0.8524	0.1692	0.1439	0.1263	0.8428	0.1556	0.1504	0.1256
0.9425	0.2309	0.2314	0.2732	0.9250	0.2123	0.1912	0.2488	0.9132	0.1992	0.2003	0.2277

Anexo 6. Humedad de equilibrio Experimental y modelado de harina de arveja blanca Criolla sometida a 25 minutos de tostado, a diferentes a_w .

25°C				30°C				35°C			
aw	Xeq (g agua/g materia seca)			aw	Xeq (g agua/g materia seca)			aw	Xeq (g agua/g materia seca)		
	Exp	GAB	BET		Exp	GAB	BET		Exp	GAB	BET
0.0623	0.0110	0.0098	0.0201	0.0560	0.0087	0.0089	0.0176	0.0539	0.0098	0.0067	0.0157
0.2207	0.0299	0.0301	0.0241	0.2149	0.0270	0.0276	0.0261	0.2039	0.0208	0.0232	0.0254
0.3248	0.0395	0.0424	0.0278	0.3102	0.0328	0.0374	0.0304	0.2910	0.0286	0.0324	0.0297
0.5177	0.0772	0.0687	0.0390	0.4952	0.0701	0.0591	0.0425	0.4781	0.0649	0.0551	0.0420
0.7256	0.0990	0.1138	0.0685	0.7223	0.0933	0.1045	0.0782	0.7145	0.0880	0.1019	0.0783
0.8407	0.1707	0.1591	0.1180	0.8215	0.1499	0.1436	0.1220	0.8055	0.1451	0.1346	0.1154
0.9260	0.2143	0.2172	0.2540	0.9033	0.2005	0.2015	0.2258	0.8906	0.1822	0.1843	0.2060

Anexo 7. Humedad de equilibrio Experimental y modelado de harina de arveja Azul sometida a 12 minutos de tostado, a diferentes a_w .

25°C				30°C				35°C			
aw	Xeq (g agua/g materia seca)			aw	Xeq (g agua/g materia seca)			aw	Xeq (g agua/g materia seca)		
	Exp	GAB	BET		Exp	GAB	BET		Exp	GAB	BET
0.0766	0.0170	0.0192	0.0128	0.0731	0.0126	0.0140	0.0157	0.0693	0.0104	0.0112	0.0169
0.2473	0.0407	0.0434	0.0157	0.2306	0.0328	0.0362	0.0189	0.2227	0.0270	0.0306	0.0221
0.3599	0.0564	0.0565	0.0185	0.3421	0.0494	0.0503	0.0221	0.3209	0.0405	0.0420	0.0256
0.5418	0.0946	0.0810	0.0259	0.5313	0.0882	0.0771	0.0310	0.5240	0.0825	0.0692	0.0370
0.7705	0.1212	0.1340	0.0516	0.7513	0.1180	0.1269	0.0585	0.7456	0.1103	0.1193	0.0695
0.8750	0.1851	0.1814	0.0948	0.8650	0.1750	0.1739	0.1077	0.8533	0.1685	0.1661	0.1208
0.9606	0.2510	0.2507	0.3011	0.9479	0.2312	0.2316	0.2790	0.9336	0.2281	0.2273	0.2669

Anexo 8. Humedad de equilibrio Experimental y modelado de harina de arveja Azul sometida a 20 minutos de tostado, a diferentes a_w .

25°C				30°C				35°C			
aw	Xeq (g agua/g materia seca)			aw	Xeq (g agua/g materia seca)			aw	Xeq (g agua/g materia seca)		
	Exp	GAB	BET		Exp	GAB	BET		Exp	GAB	BET
0.0687	0.0159	0.0131	0.0139	0.0618	0.0118	0.0095	0.0162	0.0613	0.0105	0.0087	0.0189
0.2369	0.0399	0.0352	0.0169	0.2236	0.0357	0.0296	0.0196	0.2185	0.0308	0.0265	0.0236
0.3345	0.0475	0.0464	0.0194	0.3307	0.0424	0.0421	0.0227	0.3143	0.0383	0.0365	0.0271
0.5362	0.0825	0.0731	0.0279	0.5245	0.0768	0.0682	0.0320	0.5113	0.0693	0.0603	0.0381
0.7529	0.1132	0.1222	0.0523	0.7400	0.1059	0.1159	0.0584	0.7338	0.0988	0.1066	0.0702
0.8609	0.1740	0.1699	0.0929	0.8554	0.1703	0.1645	0.1051	0.8480	0.1579	0.1548	0.1229
0.9550	0.2485	0.2490	0.2870	0.9445	0.2317	0.2328	0.2738	0.9234	0.2132	0.2135	0.2442

Anexo 9. Humedad de equilibrio Experimental y modelado de harina de arveja Azul sometida a 25 minutos de tostado, a diferentes a_w .

25°C				30°C				35°C			
aw	Xeq (g agua/g materia seca)			aw	Xeq (g agua/g materia seca)			aw	Xeq (g agua/g materia seca)		
	Exp	GAB	BET		Exp	GAB	BET		Exp	GAB	BET
0.0631	0.0124	0.0106	0.0160	0.0595	0.0098	0.0093	0.0199	0.0556	0.0099	0.0068	0.0171
0.2231	0.0303	0.0317	0.0193	0.2174	0.0298	0.0285	0.0243	0.2078	0.0252	0.0234	0.0250
0.3268	0.0415	0.0442	0.0223	0.3206	0.0357	0.0398	0.0280	0.3111	0.0308	0.0344	0.0296
0.5229	0.0800	0.0713	0.0315	0.5129	0.0740	0.0641	0.0392	0.5058	0.0672	0.0590	0.0422
0.7416	0.1081	0.1201	0.0581	0.7311	0.0997	0.1101	0.0710	0.7249	0.0943	0.1057	0.0767
0.8467	0.1707	0.1627	0.0979	0.8316	0.1555	0.1498	0.1134	0.8162	0.1494	0.1413	0.1151
0.9458	0.2328	0.2342	0.2767	0.9228	0.2133	0.2141	0.2474	0.9070	0.2009	0.2023	0.2280

Anexo 10. Humedad de equilibrio Experimental y modelado de la harina de arveja Usui sometida a 12 minutos de tostado, a diferentes a_w .

25°C				30°C				35°C			
a_w	Xeq (g agua/g materia seca)			a_w	Xeq (g agua/g materia seca)			a_w	Xeq (g agua/g materia seca)		
	Exp	GAB	BET		Exp	GAB	BET		Exp	GAB	BET
0.0752	0.0155	0.0177	0.0130	0.0665	0.0111	0.0130	0.0174	0.0691	0.0113	0.0119	0.0192
0.2361	0.0405	0.0397	0.0157	0.2258	0.0322	0.0339	0.0210	0.2168	0.0270	0.0296	0.0229
0.3505	0.0502	0.0526	0.0185	0.3322	0.0452	0.0458	0.0244	0.3192	0.0404	0.0403	0.0263
0.5403	0.0872	0.0773	0.0261	0.5267	0.0804	0.0707	0.0344	0.5203	0.0724	0.0644	0.0373
0.7597	0.1153	0.1266	0.0500	0.7481	0.1087	0.1191	0.0646	0.7402	0.1011	0.1110	0.0689
0.8689	0.1806	0.1752	0.0917	0.8613	0.1734	0.1686	0.1174	0.8522	0.1658	0.1603	0.1212
0.9596	0.2506	0.2512	0.2977	0.9405	0.2311	0.2317	0.2736	0.9315	0.2262	0.2272	0.2615

Anexo 11. Humedad de equilibrio Experimental y modelado de harina de arveja Usui sometida a 20 minutos de tostado, a diferentes a_w .

25°C				30°C				35°C			
a_w	Xeq (g agua/g materia seca)			a_w	Xeq (g agua/g materia seca)			a_w	Xeq (g agua/g materia seca)		
	Exp	GAB	BET		Exp	GAB	BET		Exp	GAB	BET
0.0672	0.0139	0.0134	0.0146	0.0594	0.0104	0.0094	0.0178	0.0601	0.0103	0.0086	0.0185
0.2350	0.0299	0.0352	0.0178	0.2221	0.0254	0.0297	0.0215	0.2156	0.0201	0.0261	0.0239
0.3315	0.0457	0.0458	0.0204	0.3211	0.0410	0.0409	0.0247	0.3070	0.0361	0.0356	0.0273
0.5304	0.0822	0.0711	0.0290	0.5180	0.0756	0.0665	0.0348	0.5060	0.0684	0.0594	0.0386
0.7491	0.1119	0.1191	0.0543	0.7380	0.1035	0.1143	0.0639	0.7310	0.0983	0.1057	0.0712
0.8682	0.1733	0.1727	0.1034	0.8542	0.1700	0.1638	0.1149	0.8448	0.1563	0.1535	0.1236
0.9532	0.2478	0.2473	0.2912	0.9375	0.2275	0.2286	0.2679	0.9205	0.2120	0.2122	0.2413

Anexo 12. Humedad de equilibrio Experimental y modelado de harina de arveja Usui sometida a 25 minutos de tostado, a diferentes a_w .

25°C				30°C				35°C			
aw	Xeq (g agua/g materia seca)			aw	Xeq (g agua/g materia seca)			aw	Xeq (g agua/g materia seca)		
	Exp	GAB	BET		Exp	GAB	BET		Exp	GAB	BET
0.0625	0.0116	0.0104	0.0174	0.0578	0.0096	0.0086	0.0192	0.0552	0.0086	0.0065	0.0155
0.2224	0.0296	0.0310	0.0210	0.2161	0.0275	0.0273	0.0245	0.2062	0.0210	0.0227	0.0254
0.3263	0.0405	0.0433	0.0242	0.3166	0.0335	0.0382	0.0284	0.3051	0.0300	0.0332	0.0304
0.5199	0.0789	0.0694	0.0340	0.5098	0.0709	0.0622	0.0398	0.4962	0.0656	0.0573	0.0435
0.7357	0.1034	0.1169	0.0617	0.7284	0.0975	0.1080	0.0720	0.7163	0.0940	0.1041	0.0788
0.8450	0.1707	0.1617	0.1052	0.8275	0.1539	0.1472	0.1135	0.8123	0.1486	0.1420	0.1197
0.9403	0.2311	0.2328	0.2731	0.9196	0.2119	0.2130	0.2438	0.8996	0.2007	0.2018	0.2246