CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

La que suscribe, Directora de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, **hace constar** que el Informe Final de Tesis Titulado. **"Efecto de la temperatura en la cinética de hidratación de haba clase comercial moroquito (*vicia faba l.*) y su modelamiento usando propiedades dieléctricas"**; desarrollado por la **Bach. Consuelo Irigoín Torres** de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, **asesor: M. Sc. Tony Steven Chuquizuta Trigoso y coasesor: Dr. Hubert Luzdemio Arteaga Miñano**; presenta un **ÍNDICE DE SIMILITUD DEL 23%** sin incluir bibliografía; por lo tanto, cumple con el criterio de evaluación de originalidad establecido en el REGLAMENTO DE GRADOS Y TÍTULOS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA aprobado mediante RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA N° 120-2022-UNACH.

Se expide la presente, a petición de la parte interesada para los fines que estime conveniente.

Chota, 25 de setiembre de 2023.

Atentamente

Dra. Doris Elena Delgado Tapia
Directora de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ciencias Agrarias

IT-CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD-UIFCACIT: Efecto de la temperatura en la cinética de hidratación de haba clase comercial moroquito (vicia faba l.) y su modelamiento usando propiedades dieléctricas

INFORME DE ORIGINALIDAD

23%	22%	7%	6%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	www.repositorio.unach.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	repositorio.upeu.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	www.researchgate.net Fuente de Internet	1%
6	repositorio.unach.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	rtyc.utn.edu.ar Fuente de Internet	<1%
8	teses.usp.br Fuente de Internet	<1%

	Tsafiqui - Revista Científica en Ciencias Sociales, 2012 Publicación	
113	zaguan.unizar.es Fuente de Internet	<1 %
114	Arturo Barjola Ruiz. "Membranas poliméricas de intercambio iónico con aplicación en pilas de combustible de temperatura intermedia", Universitat Politecnica de Valencia, 2023 Publicación	<1 %
115	Maria De La Creu Chenoll Cuadros. "Relaciones agua-solutos-matriz insoluble en algunos sistemas alimentarios.", Universitat Politecnica de Valencia, 2008 Publicación	<1 %
116	www.nukleonika.pl Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas	Apagado	Excluir coincidencias	Apagado
Excluir bibliografía	Activo		

Índice de similitud	Similitud según fuente	
23%	Internet Sources:	22%
	Publicaciones:	7%
	Trabajos del estudiante:	6%

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Facultad De Ciencias Agrarias

Escuela Profesional De Ingeniería Agroindustrial

Efecto de la temperatura en la cinética de hidratación de haba clase comercial moroquito (V*icia Faba* L.) y su modelamiento usando propiedades dieléctricas

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

BACHILLER EN INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

PRESENTADO POR:

Bachiler Irigoín Torres, Consuelo

ASESOR: "M. Sc. Chuquizuta Trigoso, Tony Steven"

Tony Steven Chuquizuta Trigoso
CIP. 169162
Docente UNACH

COASESOR: "Dr. Arteaga Miñano, Hubert Luzdemio"

Dr. Hubert Luzdemio Arteaga Miñano
CIP N° 86079
Docente UNACH

CHOTA – PERÚ
2023

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA Nº 027-2023/EPIA - FCA/UNACH

Siendo las 17:00 horas, del día 29 de diciembre de 2023, en la Sala de Profesores de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, los miembros del Jurado del Informe Final de Tesis "Efecto de la temperatura en la cinética de hidratación de haba clase comercial moroquito (*Vicia faba* L.) y su modelamiento usando propiedades dieléctricas", integrado por:

1. Dr. Ricardo Abel Del Castillo Torres - Presidente
2. Ms. Augusto Antonio Mechato Anastasio- Secretario
3. Dr. Thony Arce Saavedra - Vocal

Sustentada por la **Bach. Consuelo Irigoín Torres**, con la finalidad de obtener el título profesional en Ingeniería Agroindustrial.

Terminada la sustentación, con las preguntas formuladas por los integrantes del Jurado y las respuestas otorgadas por el Bachiller, luego de deliberar, acuerda APROBAR la tesis, calificándola con la nota de: DIECISEIS.

Se eleva la presente Acta al Coordinador de la Facultad de Ciencias Agrarias, a fin de que se le declare APTO para conferirle el título profesional de INGENIERO AGROINDUSTRIAL.

Firmado en: Chota, 29 de diciembre del 2023.

Dr. Ricardo Abel Del Castillo Torres
Presidente

Ms. Augusto Antonio Mechato Anastasio
Secretario

Dr. Thony Arce Saavedra
Vocal

DEDICATORIA

A mis padres Deciderio y María Jesús por su gran amor y por todo el apoyo brindado, por su lucha constante para lograr verme realizada una mujer profesional, a mis hermanos César, Mávila, Juan, Nery y a mi pareja por creer en mí e incentivarme a nunca decaer y poder cumplir así mi más ansiado sueño.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco,

A nuestro padre celestial, quien me ha brindado vida y salud.

A mis padres y hermanos gracias por su apoyo incondicional, aliento y estímulo, los cuales posibilitaron este logro durante mi formación profesional.

A mi esposo e hija por ser base fundamental para lograr este anhelado sueño.

Al M. Sc. Tony Steven Chuquizuta Trigoso, por aceptar ser mi asesor y darme la oportunidad de realizar esta investigación, por el apoyo y la exigencia brindada para la elaboración y ejecución de dicho proyecto, con conocimientos extensos en el área y gran experiencia me guió y orientó en este arduo trabajo.

Al Dr. Hubert Luzdemio Arteaga Miñano por aceptar ser mi coasesor, y por la ayuda brindada en el desarrollo de este proyecto, por el tiempo y consejos dados en el momento oportuno.

A la Universidad Nacional Autónoma de Chota por el financiamiento otorgado a través del proyecto "Desarrollo de un Sistema no Destructivo para la Determinación de las Propiedades Fisicoquímicas en Frutas Nativas y Derivados de la Región Cajamarca, Usando Espectroscopia Dieléctrica", con resolución de ganador "Resolución N.º 432 – 2018-C.O./UNACH", que a través del equipamiento permitió el respectivo uso de los mismos. Asimismo, al Instituto de Investigación del Mejoramiento Productivo- UNACH por brindar el apoyo, la instalación y el soporte técnico en la ejecución de la presente investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN 13
1.1. Planteamiento del Problema 13
1.2. Formulación del Problema 14
1.3. Justificación 14
1.4. Objetivos 15
1.4.1. Objetivo General 15
1.4.2. Objetivos Específicos 15
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO 17
2.1. Antecedentes 17
2.2. Bases Teóricas - Científicas 22
2.2.1. Origen del Haba 22
2.2.2. Clasificación Taxonomía. 23
2.2.3. Composición Química. 23
2.2.4. Variedades de Haba en Cajamarca 24
2.2.5. Cinética de Hidratación 26
2.2.6. Transferencia de Masa 26
2.2.7. Humedad de Equilibrio 28
2.2.8. Modelización de la Cinética de Hidratación Mediante Ecuación de Peleg y Sigmoidal 28
2.2.9. Importancia de las Propiedades Fisicoquímicas en los Alimentos 29
2.2.10. Espectroscopia Dieléctrica 30
2.2.11. Propiedades Dieléctricas 30
2.2.12. Rango de Interacción Radiofrecuencia y Microondas 31

2.2.13. Técnicas de obtención de propiedades dieléctricas 31

2.3. Marco Conceptual 36

2.3.1. Cinética de Hidratación 36

2.3.2. Coeficiente de Determinación. 36

2.3.3. Espectroscopia Dieléctrica. 36

2.3.4. Modelamiento. 36

2.3.5. Matlab……. 37

2.3.6. Raíz de la Desviación Cuadrática Media (RMSD). 37

2.3.7. Tiempo de Relajación 37

2.3.8. Transferencia de Masa 37

"Es la ciencia que se encarga de estudiar de la manera de como se transfiere la masa de un determinado ambiente hacia otro" (Berrío, 2019). 37

2.4. Hipótesis 37

2.5. *Operacionalización de las Variables* 38

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO 39

3.1. Tipo y Nivel de Investigación 39

3.2. Diseño de Investigación 39

3.2.1. Selección de Muestras 41

3.2.2. Acondicionamiento de los Granos de Haba 41

3.2.3. Caracterización fisicoquímica 41

3.2.4. Proceso de Hidratación de los Granos de Haba 44

3.2.5. Obtención de Propiedades Dieléctricas 45

3.3. Métodos de Investigación 45

3.4. Población, Muestra y Muestreo 45

2.4.1. Población..... 45

3.4.2. Muestra…… 46

3.4.3. Muestreo….. 46

3.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos..... 47

3.6. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos..... 47

3.6.1. Modelización de la cinética de hidratación. 48

3.6.2. Evaluación Estadística 49

3.7. Aspectos Éticos..... 50

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES 52
4.1. Descripción de Resultados..... 52

4.1.1. Obtención de las Propiedades Dieléctricas y Masa de los Granos de Haba Durante el Proceso de Hidratación a Diferentes Temperaturas..... 52

4.1.2. Selección de las Propiedades Dieléctricas Puntuales en Base al Coeficiente de Determinación entre la Humedad y las Propiedades Dieléctricas en el Rango de 0.5 a 9 GHz……..... 57

4.1.3. Cinética de hidratación del haba clase comercial haba Moroquito a partir de su humedad de equilibrio y propiedad dieléctrica puntual a temperaturas de 20, 30 y 40 °C……..... 61

4.1.4. Modelamiento mediante la ecuación de Peleg y Sigmoidal la cinética de hidratación de grano de haba clase comercial haba Moroquito (Vicia Faba L) a partir de la humedad y sus propiedades dieléctricas a su frecuencia puntual. 67

4.2. Contrastación de Hipótesis 71

4.3. Discusión de Resultados 71

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 76
5.1. CONCLUSIONES 76

5.2. RECOMENDACIONES 77

CAPÍTULO VI. REFERENCIAS 78
CAPÍTULO VII. ANEXOS 86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación taxonomía del haba. 23

Tabla 2 Composición química del grano haba seco 24

Tabla 3 Matriz de operacionalización de las variables 38

Tabla 4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos 47

Tabla 5 Análisis de varianza para el diseño experimental 50

Tabla 6 Parámetros fisicoquímicos obtenidos del análisis granulométrico de los granos de habas secas e hidratadas 53

Tabla 7 Resumen de las propiedades dieléctricas y su frecuencias puntuales a temperaturas de 20, 30 y 40°C 60

Tabla 8 Parámetros de ajuste del modelo Peleg y modelo Sigmoidal para el contenido de humedad y propiedades dieléctricas 68

Tabla 9 Análisis de varianza para la constante K_1 del modelo peleg 69

Tabla 10 Análisis de varianza para la constante K_2 del modelo peleg 70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Variedades de haba que se produce en Cajamarca 25

Figura 2 Espectro electromagnético 31

Figura 3 Sistema ensamblado del analizador de platos paralelos..... 32

Figura 4 Sistema de ensamblado del analizador de redes vectoriales 33

Figura 5 Ilustración de la técnica de línea de transmisión..... 34

Figura 6 Ilustración de la técnica de cavidad resonante 35

Figura 7 Ilustración de técnica de espacio libre 36

Figura 8 Diseño experimental para la evaluación de la cinética de hidratación del grano de haba 40

Figura 9 Ubicación geográfica de la procedencia de granos de haba clase comercial Moroquito 46

Figura 10 Algoritmo de decisión de selección de longitud de onda..... 47

Figura 11 Evolución de la constante dieléctrica de los granos de haba durante el proceso de hidratación 54

Figura 12 Evolución del factor de pérdidas de los granos de haba durante el proceso de hidratación 56

Figura 13 Frecuencias puntuales en base al coeficiente de determinación entre la humedad y constante dieléctrica 57

Figura 14 Frecuencias puntuales en base al coeficiente de determinación entre la humedad y el factor de pérdidas 59

Figura 15 Cinética de hidratación a partir de la humedad y la constante dieléctrica según la ecuación de Peleg 61

Figura 16 Cinética de hidratación a partir de la humedad y el factor de pérdidas según la ecuación de Peleg 63

Figura 17 Cinética de hidratación a partir de la humedad y la constante dieléctrica según la ecuación Sigmoidal 64

Figura 18 Cinética de hidratación a partir de la humedad y el factor de pérdidas mediante ecuación Sigmoidal 66

Figura 19 Prueba de Tukey para la constante de velocidad (K_1) con relación a la temperatura 70

Figura 20 Prueba de Tukey para la constante de velocidad (K_2) con relación a la temperatura 71

RESUMEN

El objetivo general de este trabajo de investigación es evaluar el efecto de la temperatura en la cinética de hidratación de haba clase comercial Moroquito (*Vicia Faba* L*)*. y su modelamiento usando propiedades dieléctricas. Para este fin, se determinaron parámetros fisicoquímicos como: Largo, ancho, peso, diámetro medio aritmético, diámetro equivalente (DE), diámetro medio cuadrado (DMC), radio equivalente para cuerpos elipsoidales, área de superficie (A), volumen, actividad de agua, humedad y ceniza, a las 0 horas y a las 12 horas después de la hidratación. Además, durante el proceso de hidratación se determinaron propiedades dieléctricas en el rango de microondas (0,5 a 9 GHz) cada 20 minutos en el transcurso de la hora inicial, cada 30 minutos durante la segunda hora y cada 60 minutos las horas posteriores, hasta obtener una humedad constante. Para el modelamiento de la cinética de hidratación se utilizó el modelo de Peleg y el modelo Sigmoidal; y para evaluar cuál de los modelos matemáticos es más efectivo se utilizó: el coeficiente de determinación R^2 y la raíz de la sumatoria del error cuadrático medio (RSME) con un nivel de confianza del 95%. De estos dos modelos, se comprobó que el modelo de Peleg presenta un alto grado de ajuste para la cinética de hidratación en las temperaturas de 20, 30 y 40 °C, sin embargo, de estas temperaturas la que presenta una mejor correlación de datos es la temperatura de 40 °C.

Palabras claves: Cinética de hidratación, propiedades dieléctricas, modelo de Peleg, modelo sigmoidal, haba.

ABSTRACT

The general objective of this research work is to evaluate the effect of temperature on the hydration kinetics of commercial class Moroquito bean (*Vicia Faba* L). and its modeling using dielectric properties. For this purpose, physicochemical parameters were determined such as: Length, width, weight, arithmetic mean diameter, equivalent diameter (DE), mean square diameter (MCD), equivalent radius for ellipsoidal bodies, surface area (A), volume, activity of water, humidity and ash, at 0 hours and 12 hours after hydration. In addition, during the hydration process, dielectric properties were determined in the microwave range (0.5 to 9 GHz) every 20 minutes during the initial hour, every 30 minutes during the second hour and every 60 minutes during the following hours. until constant humidity is obtained. To model the hydration kinetics, the Peleg model and the Sigmoidal model were used; and to evaluate which of the mathematical models is more effective, the following were used: “the coefficient of determination R2 and the root of the sum of the mean square error” (RSME) with a confidence level of 95%. Of these two models, it was found that the Peleg model presents a high degree of adjustment for the hydration kinetics at temperatures of 20, 30 and 40 °C, however, of these temperatures, the one that presents a better data correlation is the temperature of 40 °C.

Keywords: Hydration kinetics, dielectric properties, Peleg model, sigmoidal model, broad bean.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

Las habas *(Vicia Faba* L.*),* pertenecientes a la familia de las legumbres o fabáceas; es considerado uno de los alimentos más destacados en el mundo, ya que posee un alto valor proteico (Rosario y Carrión, 2019). A nivel nacional, se cultiva aproximadamente 55 989 hectáreas de haba, ubicándose la mayor producción en la sierra central y sierra Sur del País (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MINAGRI], 2023; Quispe et al., 2015).

El haba, es una de las legumbres más frecuentes en la dieta alimenticia de la población, ya que son una fuente importante de nutrientes como proteínas (22,86%), carbohidratos (55%), grasas (1,6%), vitaminas y minerales (3,4%) (Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA], 2013). Sin embargo, su consumo no es impulsado por diferentes motivos, uno de ellos es el tiempo prolongado de cocción y el excesivo gasto energético, debido a que éstos requieren de un previo proceso de hidratación que facilite su cocción (Goyoaga, 2005). La hidratación está relacionada con el proceso de traspaso de masa, que se realiza sumergiendo una matriz alimentaria seca en agua, así mismo, es considerada un fenómeno complejo en legumbres y cereales (Ulloa et al., 2016).

En este sentido, urge la necesidad de estudiar la cinética de hidratación en base seca del haba clase comercial Moroquito, cuyo nivel de hidratación y la presencia de humedad en equilibrio dependerá de su estructura química. Asimismo, es necesario e importante conocer la influencia de las temperaturas sobre la cinética del agua, ya que el uso de altas temperaturas para la hidratación tiende a degradar algunos componentes químicos del haba.

Diversas investigaciones han empleado variables como el peso o la humedad (expresado en base seca) para modelizar y construir la cinética de hidratación. Sin

embargo, la determinación de dichas variables presenta ciertas desventajas como: preparación de muestra, resulta una actividad molestosa, requieren de personal calificado, demanda de tiempo, es más, no es monitoreada en tiempo real o en línea. Ante ello, existe la demanda de observar nuevas variables físicas (propiedades dieléctricas) que permitan realizar el seguimiento de la operación de hidratación, considerando una rápida y precisa toma de datos.

Por tal motivo, el propósito más importante del estudio es realizar la evaluación del efecto de la temperatura en la cinética de hidratación de haba clase (*Vicia Faba* L.) comercial Moroquito y su modelamiento utilizando propiedades dieléctricas.

1.2. Formulación del Problema

¿Cuál es el efecto de la temperatura en la cinética de hidratación de haba clase comercial Moroquito (*Vicia Faba* L.) y su modelamiento usando propiedades dieléctricas?

1.3. Justificación

El haba clase comercial Moroquito (*Vicia Faba* L.), es una de las principales especies de legumbres producidas en la provincia de Chota, su importancia radica en su alto valor nutritivo. Según Leyva (2015) los granos de haba poseen altos niveles de proteínas, vitaminas (Complejo B, Tiamina y Niacina), minerales (Hierro, Fósforo y Calcio), fibra e hidratos de carbono. Además, es considerado un alimento indispensable en la dieta humana ya que posee compuestos que previene y reduce algunas enfermedades como: el cáncer, diabetes, obesidad y enfermedades cardiovasculares (Fuentes et. al, 2020). Es por ello que se recomienda consumir habas de dos a tres veces por semana.

El presente estudio es fundamentado por la importancia que posee la hidratación de los granos de haba para su posterior aprovechamiento y las ventajas que brinda para

la reducción del tiempo de cocción, minimización de pérdidas de nutrientes y además logra conservar la calidad del alimento. Actualmente, existe un limitado estudio de hidratación de granos de haba, clase comercial haba Moroquito, y menos aun utilizando una tecnología no invasiva como la espectroscopia dieléctrica, que tiene la ventaja de obtener y brindar información rápida, precisa y no destructiva. La investigación se centró principalmente en la determinación del efecto de la temperatura (20, 30 y 40 °C) en la cinética de hidratación, con el uso de los modelos matemáticos de Peleg y Sigmoidal.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Evaluar el efecto de la temperatura en la cinética de hidratación de haba clase comercial Moroquito (*Vicia Faba* L*)* y su modelamiento usando propiedades dieléctricas.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Obtener las propiedades dieléctricas en el rango de microondas (0,5 a 9 GHz) y la masa del haba clase comercial Moroquito durante el proceso de hidratación a diferentes temperaturas.
- Seleccionar una propiedad dieléctrica puntual en base al coeficiente de determinación entre la humedad y las propiedades dieléctricas en el rango de 0,5 a 9 GHz.
- Construir la cinética de hidratación del haba clase comercial Moroquito *(Vicia Faba* L*)* a partir de su humedad de equilibrio y propiedad dieléctrica puntual a temperaturas de 20, 30 y 40 ºC.

- Modelizar mediante la ecuación de Peleg y Sigmoidal la cinética de hidratación de grano de haba clase comercial Moroquito *(Vicia Faba* L*)* a partir de la humedad y sus propiedades dieléctricas a su frecuencia puntual.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Chuquizuta et al. (2018) utilizaron la técnica de Imagen hiperespectral como herramienta para evaluar la cinética de hidratación de frijoles, para ello realizaron análisis fisicoquímicos (Ancho, largo, espesor, superficie, volumen, superficie específica, humedad, proteína, grasa y ceniza) en habas secas e hidratadas a 20 °C; asi mismo también adquirieron imágenes hiperespectrales en un rango de 400 a 800 nm, a través de una cámara (Pika XC; Resonon Inc. Montana, USA); durante el proceso de hidratación las mediciones fueron realizaron cada 15 min las dos primeras horas y luego cada 30 min hasta que alcance el punto de equilibrio. Para el modelamiento de la cinética de hidratación de las habas utilizaron los modelos matemáticos de Peleg y Sigmoidal, de los cuales obtuvieron un coeficiente de determinación en el rango de 0,974 y 0, 989 para Peleg y 0, 997 y 0,999 para Sigmoidal.

Miano y Duarte (2015) evaluaron la cinética de hidratación del frijol Adzuki (*Vigna angularis*) en funcion de su contenido de agua inicial. Para realizar el proceso de hidratación pesaron 10 g de muestras preseleccionados, para luego remojar las muestras en 250 ml de agua destilada a 35 °C mediante un baño de agua. Para la obtencion de datos las mediciones fueron realizadas cada 20 min durante la primera hora y cada 30 min a lo largo de las horas posteriores hasta encontrar el punto de equilibrio y para el modelamiento de la cinetica de hidratacion utilizaron el modelo dado por Kaptso et. al y el modelo Peleg . Los resultados obtenidos mostraron que la cinética de hidratación de los granos de frijol cambian de forma sigmoidea a forma cóncava hacia abajo (DCS) cuando el contenido de humedad inicial es mayor al 20 %, este cambio se le atribuye principalmente a la

transición del estado vitreo al estado gomoso en las muestras, es decir a bajo contenido de humedad la testa es impermeable y la humedad solo pasa por el hilum; Sin embargo, cuando la cubierta de la semilla tiene un contenido de humedad de más del 20 %, el agua ingresa no solo en el hilio, sino también en la cubierta de la semilla. De estos dos modelos llegaron a concluir que el modelo dado por Kaptso et. al es el que mejor predice el contenido de humedad de los frijoles Adzuki en funcion del contenido de humedad inicial.

Zanella et al. (2014) estudiaron el remojo de frijol tepary (*Phaseolus acutifolius* A. Gray) y frijoles pinto (*Phaseolus vulgari*s L.) en rangos de gradiente de bajo presión (LPG) (26,7 – 66,7 kPa) y alta presión (HPG) (226,7 kPa -266,7 kPa), durante tiempos de hidratación cortos (THC) y tiempos de hidratación largos (THL) a temperatura ambiente (24 ± 2 °C); además desarrollaron ecuaciones polinómicas para describir la hidratación del frijol en función de los gradientes de presión y el tiempo de hidratación. Los resultados evidencian altos niveles de hidratación al someter las muestras a altos gradientes de presión a tiempos prolongados, en este caso solo 3 h fueron suficientes para alcanzar hasta 90 g agua/100 g d.m. en la hidratación en frijoles tepary y en frijoles pintos fueron de 82 g agua/100 g d.m. a comparación de la inmersión simple que demoro 5,83 h, concluyendo que la aplicación de gradientes alta presión a cortó el tiempo de remojo a temperatura ambiente, sería de mucho utilidad en la optimización del proceso de leguminosas.

Bello et al. (2004) realizaron un estudio del proceso de hidratación del grano de arroz crudo, integral y molido, en un rango de temperaturas de 25 °C a 65 °C. Para este fin pesaron aproximadamente 25 g de muestra y lo colocaron en un recipiente de 75 ml para posteriormente remojar las muestras en soluciones acuosas de ácido clorhídrico (HCl), ácido acético (CH_3COOH), ácido fosfórico (PO_4H_3), hidróxido de sodio (NaOH),

bicarbonato de sodio (Na_2CO_3) a través de baños de agua agitada a temperatura constante. Para evaluar la propagación de agua en las muestras aplicaron la segunda ley de difusión de Fick. De los resultados obtenidos se evidenció que las tasas de absorción de arroz crudo en soluciones acuosas de HCl, CH_3COOH, PO_4H_3 a 25 °C fueron similares y mucho más bajas a comparación de las realizadas en agua corriente a la misma temperatura. Para el caso del arroz crudo remojados en soluciones de NaOH el coeficiente de difusión fue más alto a comparación de lo encontrado en las concentraciones de Na_2CO_3, del mismo modo éstas presentaron un coeficiente de difusión mayor a los obtenidos en arroz crudo empapado en agua corriente.

Ibarz et al. (2004) realizaron un estudio sobre los modelos cinéticos para la absorción de agua y el tiempo de cocción en garbanzo común (*Cicer arietinum*). En este experimento para determinar la adsorción se pesaron 10 g de garbanzos, luego adicionaron 30 ml de agua a temperatura ambiente (25 °C) durante 23 h, para el caso de las muestras tratadas a presión se aplicó el mismo método de adsorción, pero solo durante 12 h; finalmente para cocinar los garbanzos, estos fueron sumergidos en agua hirviendo a atmósfera abierta. Los resultados obtenidos indicaron que a mayor tiempo de remojo de las muestras menor es el tiempo de cocción; para el caso de cocción con el tratamiento de alta presión no se logró observar mejora en este proceso, es decir, se observó que los tiempos de cocción con tratamiento alta presión fueron semejantes a las obtenidos en muestras empapadas durante 90 minutos.

Belmiro et al. (2018) investigaron el efecto del procesamiento a alta presión en las curvas de hidratación y secado de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L), para este fin pesaron 5 kg de frejol, los cuales fueron introducidos en bolsas de plástico, posteriormente dichas muestras fueron sometidas a alta presión hidrostática (HPP) hasta 600MPa. Los

resultados mostraron que la HPP mejora la hidratación del frijol hasta 4,7 veces más rápido a comparación de una hidratación normal, en lo respecta al secado la difusión del agua fue 27% más alto para la muestra procesada a 600 MPa e incluso la rehidratación fue 2,1veces más rápido. Por lo tanto, concluyeron que la HPP puede reducir el tiempo de secado, hidratación y cocción de los frejoles.

Li et al. (2020) estudiaron la aplicación de la resonancia magnética nuclear (RMN) para evaluar la cinética de hidratación de frijol negro durante el remojo. Para este fin, los frejoles fueron remojados en agua desionizada (proporción 1:5) durante 10, 20, 30, 60, 180, 240 y 360 min a temperaturas de 30, 40, 50, 60 y 70 °C, posteriormente determinaron la humedad y la migración de protones de hidrogeno a través de RMN; para el modelamiento de la cinética de hidratación utilizaron el modelo de Peleg. Los resultados arrojaron que la ecuación de Peleg puede simular el cambio del contenido de agua de los frejoles durante el tiempo de remojo en el rango de temperatura de 30 a 70°C. En lo referente a la constante K_1 y K_2 han podido observar que estas disminuyen al aumentar la temperatura; así mismo, también han observado tres fracciones de protones con diferente movilidad en frijoles negros durante el remojo, reflejando macromoléculas, aceite y agua en diferentes microambientes, además de los cambios significativos producidos por la distribución de las fracciones de protones.

Ulloa et al. (2016) evaluaron modelos cinéticos de hidratación para cuatro leguminosas (Azufrado, peruano bola, Mayakoba y Canario). Los estudios se realizaron utilizando modelos matemáticos de Peleg y Sigmoidal a 25, 40 y 55 °C. El tiempo necesario para alcanzar el equilibrio de humedad depende del tipo de grano y de la temperatura de remojo. Los resultados mostraron que a medida que la temperatura aumentó de 25 °C a 55 °C, el tiempo de hidratación del frijol peruano bola disminuyó en un 45,5%,

mientras que el tiempo de hidratación del frijol canario disminuyó en un 60,9%. Además, observaron que el modelo de Peleg se ajusta mejor a los valores de la cinética de hidratación de los cuatro cultivares a 25, 40 y 55 °C en comparación con el modelo en forma Sigmoidal.

Oroian (2015) evaluó la cinética de hidratación de lentejas (*Lens culinaris*) a temperaturas de 25, 32,5, 40, 55, 70 y 80 °C. Para este propósito las muestras fueron introducidas en recipientes que contenían 300 ml de agua destilada y tapadas con papel aluminio para evitar pérdidas de humedad, después de transcurrir 3 horas las muestras fueron retiradas cada 10 minutos. Para el modelamiento de la cinética de hidratación utilizó los modelos de Peleg, Sigmoidal, Weibull y exponencial. De estos modelos lograron determinar que el modelo Peleg presenta mejor ajuste (R2 0.984) para los valores experimentales en las 6 temperaturas a diferencia del resto de modelos.

Ramírez et al. (2005) utilizaron la técnica de infrarrojo cercano (NIRS), para predecir la composición química del grano de sorgo, para este fin utilizaron 216 muestras de tres años (1996, 1997 y 1998), a las cuales se les determinó densidad, humedad, proteína cruda, fibra detergente neutro (FDN) y taninos, además se determinó las NIRS. Para obtener los resultados del análisis químico se cometió un estudio de estadística descriptiva; es decir, (promedio, mínimo, máximo, desviación estándar y coeficiente de variación) y procedieron a compararon las muestras de cada año mediante un modelo completamente al azar. Los resultados muestran que el contenido de taninos tuvo diferencias significativas (P 0.05) obteniendo un resultado de 8.18 % el contenido promedio. El resultado para el coeficiente de determinación (R^2) obtenidas mediante la técnica NIRS fue alto para humedad (0.96), proteína cruda (0.93) y FDN (0.74). Para determinar taninos se realizó mediante dos ecuaciones: la primera para sorgos con bajas concentraciones de taninos (0.12

a 0.45 %) y la segunda para niveles de 0.47 a 1.07 %; en las dos ecuaciones la R^2 fue baja, 0.58 y 0.52 respectivamente. Concluyendo que las NIRS es una buena herramienta para la predicción del contenido de humedad, proteína cruda y el FDN en sorgo.

Reyes (2018) en su investigación utilizó la espectroscopia dieléctrica para el análisis de calidad de manzanas y camotes morados de variedad Red Delicius y Jonathan, respectivamente. En esta investigación analizaron propiedades fisicoquímicas (pH, textura, color, aroma, sabor, tensión superficial, propiedades coloidales, valor nutricional, humedad, cenizas, grasas, proteínas entre otros) y propiedades dieléctricas en el rango de 500 MHz a 3 GHz. Para la validación de datos utilizaron la relación del Kramers-Kronig y para la correlación utilizaron la Regresión de mínimos cuadrados parciales (PLSR). Los resultados arrogaron valores en el coeficiente de determinación iguales a 0,876 para SSC, 0,840 para pH, 0,826 en la coordenada L*, 0,836 en la coordenada a* y 0,843 en la coordenada b* en el caso de la manzana; para el caso del camote obtuvieron valores de 0,361 para SSC, 0,413 para pH y 0, 436 para humedad. Finalmente concluyeron que existe una alta correlación entre las propiedades dieléctricas y fisicoquímicas de la manzana, sin embargo, para el caso del camote no existe una buena correlación entre las propiedades.

2.2. Bases Teóricas - Científicas

2.2.1. Origen del Haba

El haba es una de las legumbres con mayor antigüedad a nivel mundial, que aún no existen reportes certeros de su origen; siendo así que distintos autores mencionan que este producto es proveniente del Suroeste de Asia y Norte de África, pero otros mencionan que se originó en los países como Europa, Norte de África, Etiopía y China (Infante, 2017).

En el Perú, esta leguminosa fue introducida por españoles y fue cultivada principalmente en las regiones con climas templados y fríos (Quispe et al., 2015). El haba desde que fue traída al Perú, ha cumplido una función sustancial en la sociedad, debido a que posee cualidades nutritivas como: proteína, vitaminas, carbohidratos, fibras y minerales; las mismas que hacen que esté presente en la dieta alimenticia de la población (Villalobos, 2023).

2.2.2. Clasificación Taxonomía.

En la Tabla 1, se describe detalladamente la clasificación taxonómica del cultivo de haba.

Tabla 1

Clasificación taxonomía del haba.

CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA			
Reino	Plantae	**Familia**	Fabáceae
División	Magnoliophyta	**Género**	Vicia
Clase	Magnoliopsida	**Nombre científico**	*Vicia Faba* L.
Orden	Fabales	**Nombre común**	Haba, guisante, etc

Nota. La información fue recopilada de (Alvrado, 2022).

2.2.3. Composición Química.

Según algunos autores el haba, es una legumbre rica en proteínas, grasas, carbohidratos, fibra y ceniza; sin embargo, sus cantidades varían según el estado fisiológico (verde o seco) y variedad, mejor detallado en la Tabla 2 (Enjamio et al. (2017); Reyes (2017); Leyva (2015)).

Tabla 2

Composición química del grano de haba seco

Composición química	Reyes (2017)	Enjamio et al. (2017)	Leyva (2015)
Agua (%)	11,5	0	-
Energía (Kcal)	340	372	331
Proteína (g)	23,8	23	23 - 34
Grasa total (g)	1,5	2	1 - 2
Carbohidratos (g)	60,1	56	55 -60
Fibra cruda (g)	6,4	19	17 - 21
Ceniza (g)	3,1	-	-

Nota. Datos tomados de Enjamio et al. (2017); Reyes (2017); Leyva (2015).

2.2.4. Variedades de Haba en Cajamarca

En el Perú existe diferentes clases de haba, dentro de las más conocidas está el haba clase comercial Blanca gigante, Verde pacae, Chiqui, Moroquito, Cusqueñita, Chacha, Quelcao y Haba roja; sin embargo, las más cultivadas en la región de Cajamarca son: la variedad Verde pacae, Chiqui y Moroquito (Valladolid, 2016).

2.2.4.1. El haba verde pacae. Esta variedad de haba presenta un color oscuro lustroso con hilum largo color verde claro o negro, tiene una forma ovalada aplanada y un tamaño que puede variar de mediano o grande, así como se observa en la Figura 1; dentro del tipo haba verde pacae están las variedades: INIA 429-Fortaleza, INIA 421 – Antoniana, INIA 409 – Muñay Angélica y Verde Anta (Valladolid, 2016).

2.2.4.2. El haba Chiqui. También conocida como haba pequeña, presenta un color oscuro lustroso con hilum negro muy largo, una forma ovalada aplanada y un tamaño mediano; dentro de esta clase de haba se encuentra la variedad mejorada Chiqui, para una mejor apreciación ver Figura 1(Valladolid, 2016.)

2.2.4.3. Haba Moroquito. Este tipo de haba presenta un color verde oscuro (pacae) con hilum negro muy largo, es de forma ovoide y de tamaño pequeño (ver Figura 1); dentro de esta se encuentra la variedad mejorada haba clase comercial Moroquito (Valladolid, 2016).

Figura 1

Variedades de haba que se produce en Cajamarca

a) **b)** **c)**

Nota: Las variedades de habas se especifica según: a) Haba Verde Pacae, b) Haba Pequeña y c) Haba Moroquito.

2.2.5. Cinética de Hidratación

La dinámica de hidratación es un proceso de transferencia de masa en el que los cuerpos, como los alimentos, absorben agua. Este proceso se caracteriza por la determinación de la absorción de agua, la humedad de equilibrio y el tiempo de ablandamiento del grano. La absorción de agua por los materiales se rige por isotermas de absorción, que son curvas que unen una serie de mediciones realizadas a temperatura constante (Berrio, 2019; Chuquizuta et al., 2018).

2.2.6. Transferencia de Masa

Este proceso se centra principalmente en el fenómeno que se produce cuando dos sustancias con diferente composición química entran en contacto, es decir, la sustancia que se difunde abandona la región de alta concentración y pasará a otra de concentración menor; este fenómeno puede llevarse a cabo tanto en sustancias sólidas, líquidas y gaseosas (Rodríguez et al., 2017). Asimismo, en este intercambio ocurrido, los líquidos, gases y sólidos se transfieren en orientación de la gradiente direccional utilizando un medio determinado; para la aplicación de la transferencia de masa en los alimentos es necesario tener en cuenta las características fisicoquímicas, bioquímicas y funcionales de los alimentos (Berrocal, 2011).

2.2.6.1. Transferencia de masa en estado estacionario. Así como existen leyes para distintos estudios, la transferencia de masa en estado estacionario presenta una ecuación básica (Ecuación 1), se representa en unidades molares o másicas (Pumacahua, 2011).

$$J_1 = -D\frac{dC}{dz} \qquad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

J_1= flujo difusivo, (Kg/m2 s)

D= Coeficiente de difusión, (m2/s)

dC=Diferencial de concentración, (Kg/m3)

dz= Distancia a recorrer, (m)

Cabe señalar que en la fórmula no se muestra el valor que representa al tiempo, por lo que esta variable está en régimen constante dependiendo de la distancia.

2.2.6.2. Transferencia de masa en estado transitorio. El estado transitorio que está determinado por el coeficiente de difusividad efectiva que se basa en la ecuación de difusión de Fick en estado transitorio en 1-D (Ecuación 2). En este estado se considera el factor tiempo, inicia con un balance de velocidad de transferencia de masa de un volumen de control (Pumacahua, 2011).

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_{ef} \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \qquad 2)$$

Dónde:

C: densidad

t: duración

D_{ef}: factor de propagación efectiva o supuesta

x: grado en que se produce la difusión, la distancia desde el centro de la placa.

Sobre los siguientes supuestos y condiciones de contorno:

$C = C_0$ a $t = 0$ $-a < x < +a$ en el cual, a es la semiarista del material (placa, cubo, etc.) y C_0 es la concentración inicial.

C = C_1 a t > 0 x = ± a donde, C_1 es la concentración en el seno del fluido a un tiempo t1.

2.2.7. Humedad de Equilibrio

Cuando la presión de vapor del grano es igual a la presión de vapor del ambiente, el contenido de humedad del grano alcanza un estado de equilibrio con el ambiente; Los granos son higroscópicos, por lo que pueden ganar o perder humedad dependiendo de la presión de vapor del grano y del ambiente, o del contacto con la presión de vapor del grano de cualquier otro material (Carnero, 2012; Guillén, 2019).

2.2.8. Modelización de la Cinética de Hidratación Mediante Ecuación de Peleg y Sigmoidal

2.2.8.1. Modelo de Peleg. Es considerado uno de los modelos empíricos utilizados con mayor frecuencia en la descripción del proceso de hidratación de los alimentos; este modelo contiene dos cuantificaciones (K_1 y K_2), su fin principal es describir la variación continua de la cinética de primera orden ($a\ t \rightarrow 0$) a una cinética de orden cero ($a\ t \rightarrow \infty$), ver Ecuación 3; a pesar que el modelo Peleg es muy empleado para describir la cinética de hidratación de los alimentos, este posee limitaciones en la descripción en la fase de retardo o latencia de algunas alimentos (Armando et al., 2016).

$$M_t = M_0 + \frac{t}{K_1 + K_2 t} \qquad 3)$$

Donde:

M_t = porcentaje de humedad

t = tiempo (min)

M_o= porcentaje inicial de humedad

K_1= Constante de velocidad (s. kg m.s/kg H_2O)

K_2= Constante de capacidad (kg H_2O/kg m.s)

2.2.8.2. Modelo Sigmoidal. Este modelo matemático está compuesto por tres etapas o fases, la primera es fase lag o estacionaria, la segunda es la fase de absorción y la tercera es la fase estacionaria (Armando et al., 2016). Este modelo a diferencia del modelo Peleg va a permitir describir fase de retardo o latencia de hidratación de algunos alimentos (algunas semillas), la ecuación aplicada es la siguiente (ver Ecuación 4) (Oliveira et al., 2013).

$$M_t = \frac{Meq}{1 + exp\,[-k1(t-1)]} \quad (4)$$

Donde:

M_t = Porcentaje de humedad en un tiempo *t* (min).

M_{eq} = Porcentaje de humedad en equilibrio.

K_1 = (min^{-1}) es la constante de velocidad de rehidratación.

t = (min) es el tiempo necesario para conseguir la rehidratación media.

2.2.9. Importancia de las Propiedades Fisicoquímicas en los Alimentos

Las propiedades físicas de los alimentos pueden medirse, controlarse y correlacionarse con otras propiedades fisicoquímicas que intervienen en las operaciones de transformación y conservación, posibilitando el diseño o selección de equipos y procesos para la industria alimentaria (Velazco y Vélez, 2008).

2.2.10. Espectroscopia Dieléctrica

Es un método indirecto, no invasivo que permite determinar la presencia de componentes de un alimento, siendo el agua el más importante; permite obtener resultados de manera rápida y precisa; su principal función es estudiar el comportamiento dieléctrico de un material cuando éste es inducido a un campo eléctrico externo (Rodríguez, 2017).

2.2.11. Propiedades Dieléctricas

Son parámetros importantes en los alimentos, denominadas también como permitividad compleja (ε_r); dichos parámetros son considerados características físicas que describen la interacción del alimento con el campo eléctrico externo (Rodriguez, 2017). Por lo general estas propiedades se encuentran determinadas por dos parámetros, el primero de ellos hace referencia a la constante dieléctrica y el segundo corresponde al factor de pérdida, así como se observa en la Ecuación 5. La constante dieléctrica es la parte real relacionada con la capacidad que un alimento posee para acumular energía, el factor de pérdidas es la parte imaginaria relacionada con la capacidad que posee el material para absorber y eliminar esta energía en otro tipo de energía, como la energía térmica (Castro, 2010).

$$\varepsilon_r = \varepsilon_r' - j\,\varepsilon_r'' \qquad 5)$$

Donde

ε_r = Permitividad absoluta o compleja

ε'_r = Constante dieléctrica

ε''_r = Factor de pérdida

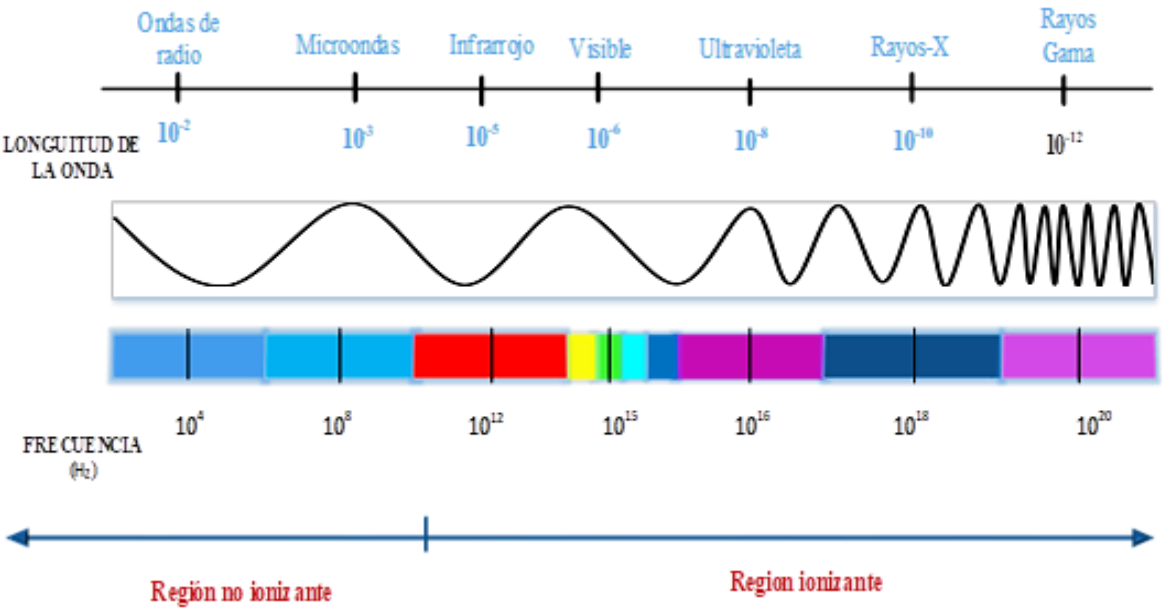
$j = \sqrt{-1}$

2.2.12. Rango de Interacción Radiofrecuencia y Microondas

El espectro electromagnético está compuesto por un conjunto de frecuencias, las cuales se dividen en varias regiones, entre las cuales predominan y son utilizadas con mayor frecuencia para el análisis de alimentos el calentamiento en radiofrecuencias y en microondas, así como se observa en la Figura 2. Dentro estas las más importantes son las frecuencias pertenecientes a las radiaciones no ionizantes (radiofrecuencia y microondas), estas frecuencias al momento de interaccionar con el alimento no son capaz de romper enlaces químicos ni mover electrones o átomos (Del Valle y Picouet, 2005; Merletti, 2016).

Figura 2

Espectro electromagnético



2.2.13. Técnicas de obtención de propiedades dieléctricas

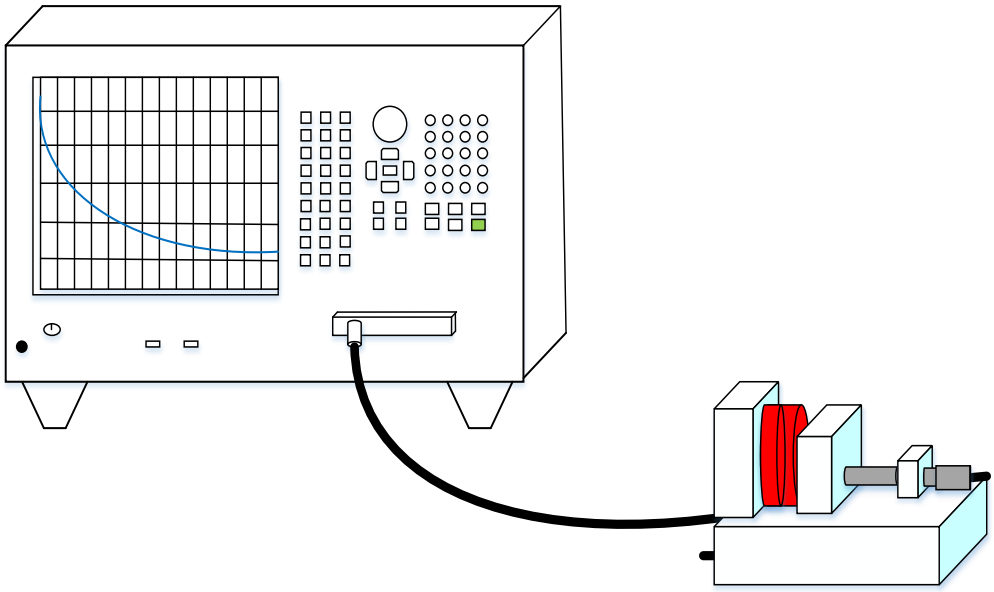
En los últimos años se ha logrado desarrollar diferentes técnicas para la medición de las propiedades dieléctricas de productos alimentarios y no alimentarios, su uso depende de

las frecuencias, precisión deseada, naturaleza física y eléctrica del alimento a estudiar (Khaled et al., 2015). De estas técnicas las más utilizadas son:

2.2.13.1. Platos paralelos. Esta técnica permite obtener valores en un rango menor a los 100 MHz. Los platos paralelos es una técnica que se utilizada en materiales que tienes facilidad de transformación (hojas finas y suaves), debido a que la muestra analizada es colocada entre dos electrodos los cuales forman un capacitador, tal como se evidencia en la Figura 3 (Khaled et al., 2015).

Figura 3

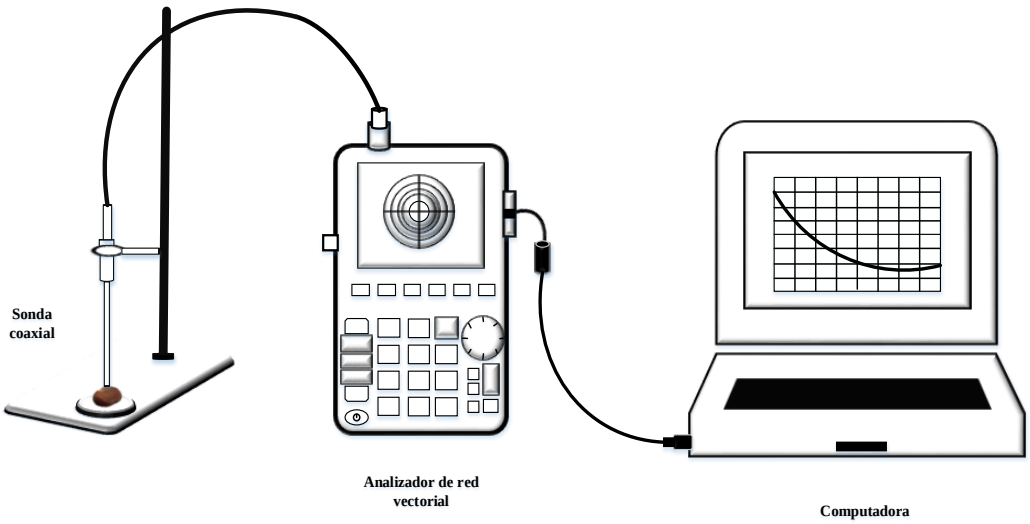
Sistema ensamblado del analizar de platos paralelos



2.2.13.2. Sonda coaxial. Esta técnica permite obtener valores en rangos de 200 MHz a 20 GHz, es utilizada principalmente en materiales líquidos y semisólidos, pero también se puede utilizar en materiales sólidos de superficie plana. Este complejo sistema está compuesto por una sonda coaxial de terminación abierta, un analizador de red vectorial y una computadora, así como se observa en la Figura 4 (Khaled et al., 2015).

Figura 4

Sistema de ensamblado del analizador de redes vectoriales

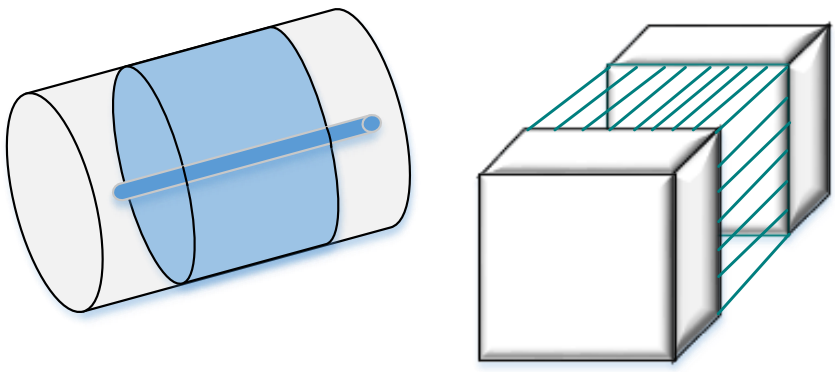


2.2.13.3. Circuitos reactivos. En esta técnica la muestra es parte del aislador en un circuito reactivo; es utilizado en cualquier material menos gases y los resultados obtenidos están en frecuencia menores a 100 MHz. La principal ventaja con que cuenta esta técnica es que todos los materiales con excepción de los gases pueden ser medidos, sin embargo, su principal desventaja es su rango de frecuencia limitado que no es apropiado para materiales con bajas pérdidas (Khaled et al., 2015).

2.2.13.4. Líneas de transmisión. En esta técnica la muestra en forma rectangular llena el dispositivo transversal de una línea de transmisión en un ambiente cerrado, produciendo una alteración de impedancia, así como se ve en la Figura 5; además es considerada una de las técnicas más exactas que trabaja en un rango > 100 MHz, su principal desventaja es la difícil preparación de muestra (Khaled et al., 2015).

Figura 5

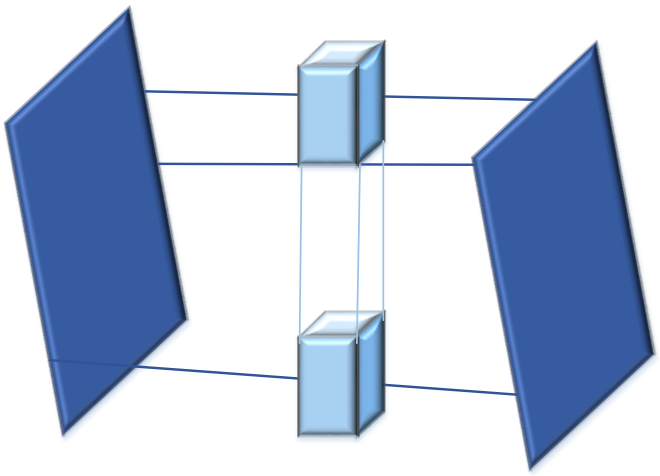
Ilustración de técnica línea de transmisión



2.2.13.5. Cavidad resonadora. Esta técnica es utilizada solo en sólidos, con rangos de frecuencia entre 1 MHz y 100 GHz. Para su uso, el alimento es colocado en la cavidad, influyendo la frecuencia central y el factor de calidad de la cavidad, ver Figura 6; su principal ventaja es que es fácil de usar y además se puede trabajar en un amplio rango de temperatura. Su principal limitación es el análisis complejo de la toma de datos (Khaled et al., 2015).

Figura 6

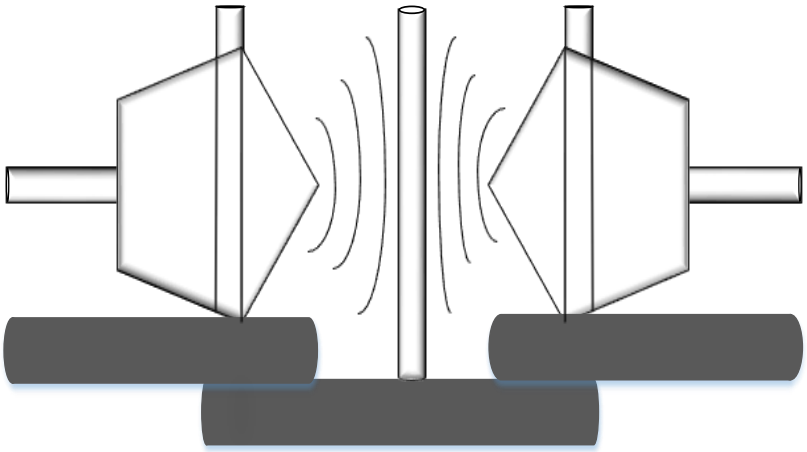
Ilustración de la técnica de cavidad resonante



2.2.13.6. Espacio libre. Al igual que la cavidad resonante es utilizada en materiales sólidos en rangos de microondas, para su funcionamiento se utilizan antenas para direccionar las ondas electromagnéticas a través del material, tal y como se evidencia en la Figura 7. Entre las limitaciones que posee esta técnica es que es necesaria una calibración especial y que las muestras a medir deben ser grandes y delgadas (Khaled et al., 2015).

Figura 7

Ilustración de técnica de espacio libre



2.3. Marco Conceptual

2.3.1. Cinética de Hidratación

Proceso en el cual se lleva cabo la transferencia de masa de un líquido como el agua hacia los alimentos (Berrío, 2019).

2.3.2. Coeficiente de Determinación.

Es la medida estadística que estudia la correlación de las variables; además es muy utilizada por los investigadores para realizar análisis de tendencias.

2.3.3. Espectroscopia Dieléctrica.

Es una técnica que mide las señales eléctricas obtenidas de un alimento como respuesta al campo eléctrico aplicado (Gomez, 2016).

2.3.4. Modelamiento.

Es una estructura matemática abstracta y simplificada asociada a un fragmento real creado teniendo en cuenta un fin específico y único (Cervantes, 2015).

2.3.5. Matlab.

Es un sistema informático importante para desarrollar integradamente el procesamiento de datos estadísticos utilizando un lenguaje adecuado y de programación propia (Casado, 2007).

2.3.6. Raíz de la Desviación Cuadrática Media (RMSD).

Es también conocida como error raíz media cuadrática (RMSE), es usada para comparar diferencias entre dos conjuntos de datos que presentan una serie de tiempo homogénea (Mohamad, 2016).

2.3.7. Tiempo de Relajación

Es el tiempo que demoran las moléculas para volver a redistribuirse, cuando cesa el campo eléctrico (Castro, 2010).

2.3.8. Transferencia de Masa

Es la ciencia que se encarga de estudiar de la manera de como se transfiere la masa de un determinado ambiente hacia otro (Berrío, 2019).

2.4. Hipótesis

H_o: No existe efecto significativo de la temperatura en la cinética de hidratación de haba Moroquito (*Vicia Faba* L.) usando espectroscopia dieléctrica entre los modelos de Peleg y Sigmoidal

H_a: Existe efecto significativo de la temperatura en la cinética de hidratación de haba Moroquito (*Vicia Faba* L.) usando espectroscopia dieléctrica entre los modelos de Peleg y Sigmoidal

2.5. *Operacionalización de las Variables*

En la Tabla 3, se detallan cada una de las variables utilizadas para la estructuración y desarrollo adecuado del presente estudio.

Tabla 3

Variable	Definición Conceptual	Indicador	Nivel de medición	Unidad de valor
Variable independiente 1 Temperatura de hidratación	Magnitud escalar referida a la noción de calor medible de un medio utilizado para incrementar el contenido de humedad de equilibrio en un alimento (Badui, 2016)	Temperatura	Numérica	°C
Variable dependiente 1 Humedad en base húmeda	"Es la relación entre la masa de agua de una sustancia y su masa húmeda" (Martínez y Lira, 2010. p. 2)	Humedad	Numérica	g H_2O/ g sólido seco
Variable dependiente 2 Propiedades dieléctricas	Parámetros que determinan el ajuste y distribución de la energía electromagnética durante la exposición de un producto a ondas de microondas o radiofrecuencia Sosa et al. (2016)	Constante dieléctrica (ε')	Numérica	-
		Factor de perdidas (ε″)		-

Matriz de operacionalización de las variables

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y Nivel de Investigación

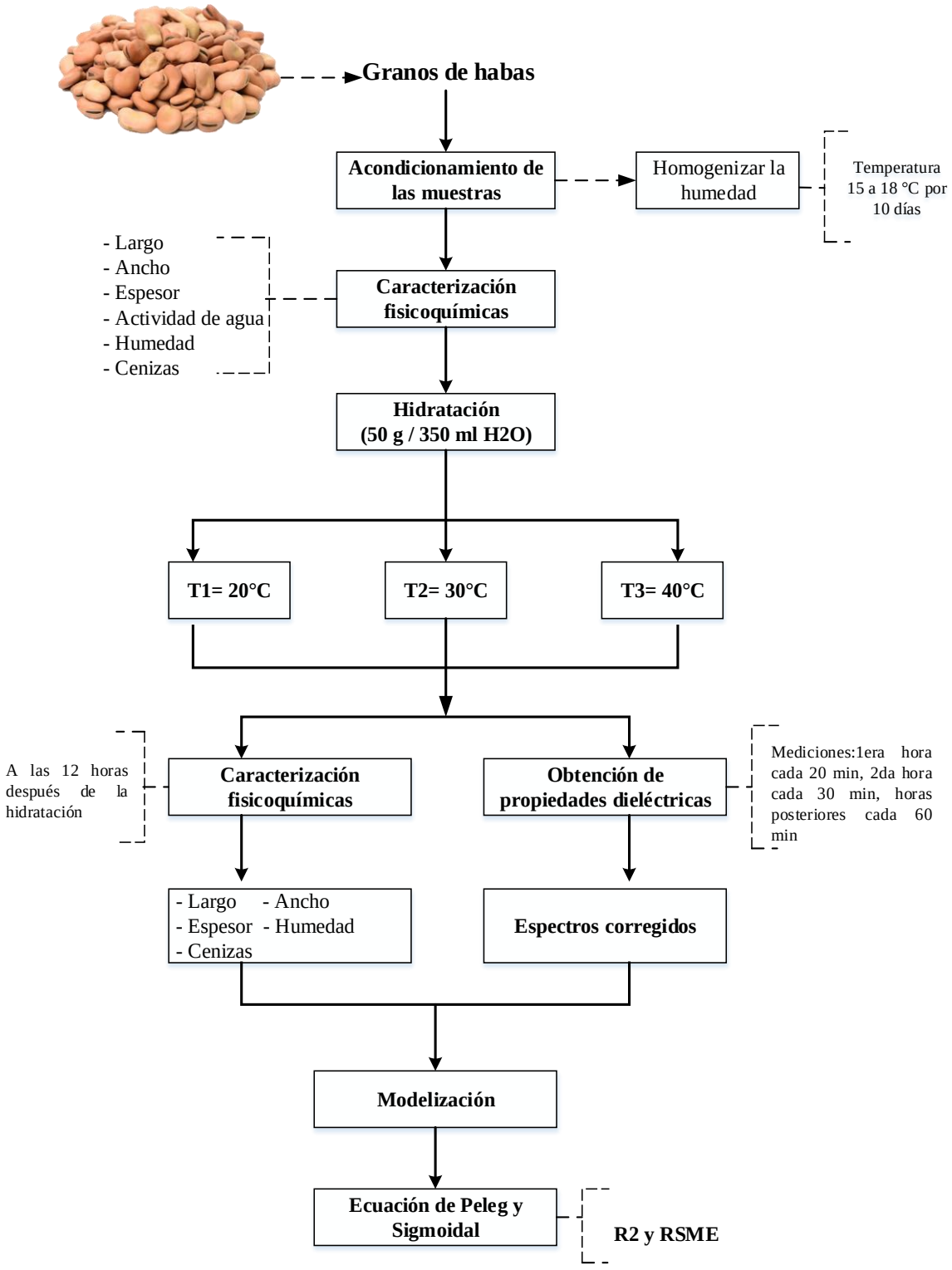
Esta investigación fue de tipo aplicada por el fin que persiguió dicho trabajo de mejorar el funcionamiento de un proceso y por el desarrollo de nuevos conocimientos científicos expresados en determinar el efecto de temperatura en la cinética de hidratación de haba clase comercial Moroquito (Briceño et al., 2021). En cuanto al nivel de investigación se considera experimental por la manipulación de la variable independiente temperatura de hidratación donde se medirá el efecto en la variable dependiente (humedad en base seca y propiedades dieléctricas) y por la importancia de instaurar la procedencia y el resultado de un fenómeno (Guevara, 2020).

3.2. Diseño de Investigación

Para la obtención de datos se siguió el diagrama experimental de la Figura 8, el mismo que es descrito a mayor detalle en los párrafos siguientes.

Figura 8

Diseño experimental para la evaluación de la cinética de hidratación del grano de haba



3.2.1. Selección de Muestras

Las muestras una vez que fueron compradas se seleccionaron según la uniformidad de su tamaño (calibración) y su buen estado visual (sin daños mecánicos). (Siccha, 2015).

3.2.2. Acondicionamiento de los Granos de Haba

Una vez seleccionado las muestras, se procedió al acondicionamiento de los granos de habas con la finalidad de homogenizar la humedad, para ello las muestras se introdujeron en bolsas de polietileno a una temperatura de acorde al ambiente (15 – 18 ºC) por un lapso de tiempo de 10 días (Miano & Duarte, 2015).

3.2.3. Caracterización fisicoquímica

La caracterización fisicoquímica de las muestras de haba fue realizada en granos secos e hidratados. En los granos secos el análisis fue llevado a cabo a temperatura ambiente en un rango de temperatura de 15 a 18 ° C y en los granos hidratados las mediciones fueron realizados a temperaturas de 20, 30 y 40 °C, a las 12 horas después de la hidratación, cabe mencionar que todas las mediciones fueron realizadas por triplicado.

3.2.3.1. Determinación granulométrica. Para la caracterización granulométrica de los granos de haba se emplearon 600 granos al azar, de los cuales se midieron: Largo, ancho y espesor mediante la regla Vernier; así como peso a través de la balanza analítica. Posteriormente estos datos fueron utilizados para encontrar el diámetro medio aritmético (MA) (Ecuación 6), el diámetro equivalente (DE) (Ecuación 7), el diámetro medio cuadrado (DMC) (Ecuación 8), el radio equivalente para cuerpos elipsoidales (Ecuación 9), el área de superficie (A) (Ecuación 10) y el volumen (V) (Ecuación 11) (Galedar et al., 2008).

$$MA=\frac{l+a+e}{3} \quad (6)$$

$$DE=(l\times a\times e)^{1/3} \quad (7)$$

$$DMC=\left(\frac{l\times a+a\times e+l\times e}{3}\right)^{1/2} \quad (8)$$

$$R=\frac{1}{2}\left(\frac{MA+DE+DMC}{3}\right) \quad (9)$$

$$A=\frac{\pi\times a\times l^2}{2l-a} \quad (10)$$

$$V=\frac{\pi\times a^2\times l^2}{6(2L-3)} \quad (11)$$

Donde, a = Ancho, l = Longitud, e = Espesor y L = 2. r.π

3.2.3.2. Determinación de actividad del agua (Aw). Este análisis se llevó a cabo utilizando un higrómetro de punto de rocío de la marca Aqualab ® 4TE. Para la medición se utilizó 3 granos de habas secas e hidratados, las cuales fueron llevadas al Aqualab por un tiempo de 3 min, para que posteriormente el equipo realice la medición del porcentaje de actividad de agua, cabe mencionar que todas las mediciones fueron realizadas por triplicado.

3.2.3.3. Determinación de humedad. La humedad fue determinada mediante el método 930.15 de la norma A.O.A.C. (2000). Para la medición se calentó el recipiente a una temperatura 100 °C por un lapso de 30 min, transcurrido este tiempo se dejó en el desecador para que la temperatura se reduzca, posteriormente se pesó 2 g de haba y se llevaron a la estufa previamente programada a una temperatura de 130 °C por 2 horas, transcurrido el periodo de tiempo se extrajo las muestras y se dejó en un desecador por media hora para que se reduzca la temperatura, para luego pesar de la muestra y se determinaron el porcentaje humedad de acuerdo a la Ecuación 12.

$$H = \frac{W_2 - W_1}{W_0} x\ 100 \qquad 12)$$

Donde:

W_0 = Peso de la muestra (g)

W_1 = Peso del recipiente más la muestra después del secado

W_2 = Peso del recipiente más la muestra antes del secado

3.2.3.4. Determinación de cenizas. La determinar de ceniza se realizó mediante el método de secado. Para la medición se pesaron 3 g de haba en un recipiente aporcelanado, luego se colocaron en una Mufla a una temperatura 500 °C por un periodo de 5 horas, transcurrido el tiempo se sacaron las muestras y pesaron, finalmente se realizó los cálculos para obtener el porcentaje de cenizas a través de la Ecuación 13.

$$\mathrm{Ccm}(\%) = \frac{W_2 - W_1}{S} \mathrm{x}100 \qquad 13)$$

Donde:

C_{cm} (%) = Porcentaje de cenizas

W_1 = Peso inicial del recipiente vacío (g)

W_2 =Peso del recipiente posterior a la incineración (g)

S = Peso de muestra húmeda (g)

3.2.4. Proceso de Hidratación de los Granos de Haba

El procedimiento de hidratación de granos haba Moroquito se realizó de acuerdo al método reportado por Miano y Duarte (2015). Se pesaron 50 g de haba y se llevaron a remojar en 350 ml de agua destilada calentada a temperaturas constantes de 20, 30 y 40 °C, realizando tres repeticiones para cada temperatura. Las muestras fueron analizadas cada 20 minutos en el transcurso de la primera hora, cada 30 minutos durante segunda hora y cada 60 minutos las horas posteriores hasta obtener un peso constante; en cada intervalo de tiempo designado se tomaron 3 granos de haba, luego se secaron superficialmente con ayuda de papel toalla para excluir el agua de la superficie de grano que no ha sido absorbida y seguido se determinó la humedad del grano mediante balance de masa

3.2.5. Obtención de Propiedades Dieléctricas

El análisis para determinar los espectros dieléctricos de los granos de haba fue adquirido utilizando una sonda coaxial de terminación abierta (N1501A-001) conectada a un analizador de redes vectoriales de la marca Keysight N9915A, en un rango de 0,5 a 9 GHz.

Para medir las propiedades dieléctricas, primero se calibró el equipo utilizando tres tipos de cargas: aire, cortocircuito y agua destilada, una vez calibrado el equipo se procedió a medir las propiedades dieléctricas del agua destilada con la finalidad de comprobar la idoneidad y garantizar la calibración. Posteriormente se realizó la medición de los granos de haba, para ello se seleccionaron 3 granos de haba, posteriormente estos fueron secados con papel toalla para eliminar el exceso de agua; las mediciones se realizaron cada 20 minutos durante la primera hora, cada 30 minutos durante la segunda hora y cada 60 minutos las horas posteriores hasta obtener un peso constante (Chuquizuta et al., 2020).

3.3. Métodos de Investigación

Para el desarrollo de este trabajo de investigación se empleó el método hipotético-deductivo. Este método, consiste en generar una hipótesis para llevarla a la contrastación (Sánchez, 2019).

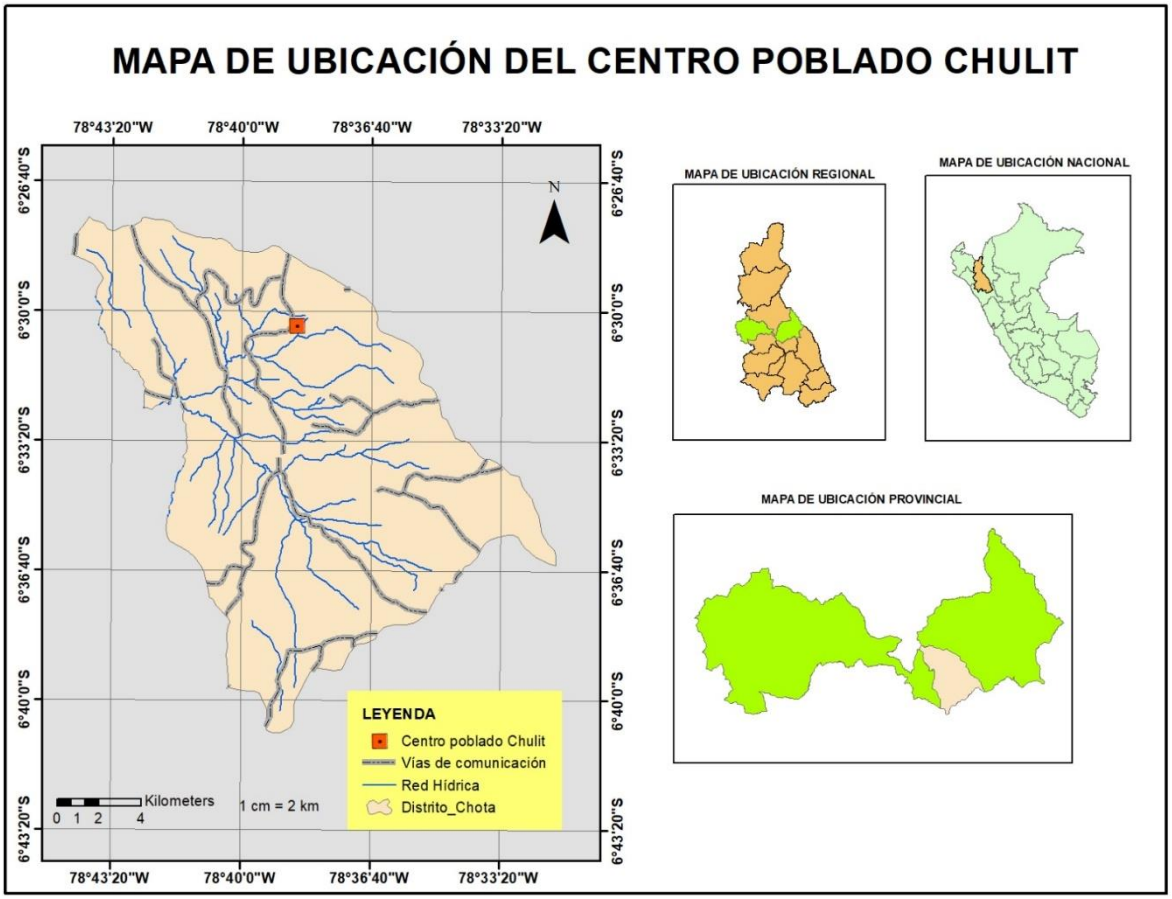
3.4. Población, Muestra y Muestreo

2.4.1. Población

La población estuvo constituida por los granos de haba seca de clase comercial Moroquito cultivadas en el caserío de Chulit, distrito de Chota, provincia Chota, región de Cajamarca – Perú, así como se observa en la Figura 8.

Figura 9

Ubicación geográfica de la procedencia de granos de haba clase comercial Moroquito



3.4.2. Muestra

Para el presente estudio se utilizó 10 kilogramos de haba clase comercial Moroquito cultivadas en el distrito de Chota y comprados en el mercado local de la ciudad de Chota, provincia de Chota, Región Cajamarca.

3.4.3. Muestreo

Para la selección de muestra se consideró la uniformidad, aspecto físico y microbiológico de la muestra.

3.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

A continuación, describimos las técnicas e instrumentos utilizados para la recaudación de información de la presente investigación, los mismos que se puntualizan en la Tabla 4.

Tabla 4

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

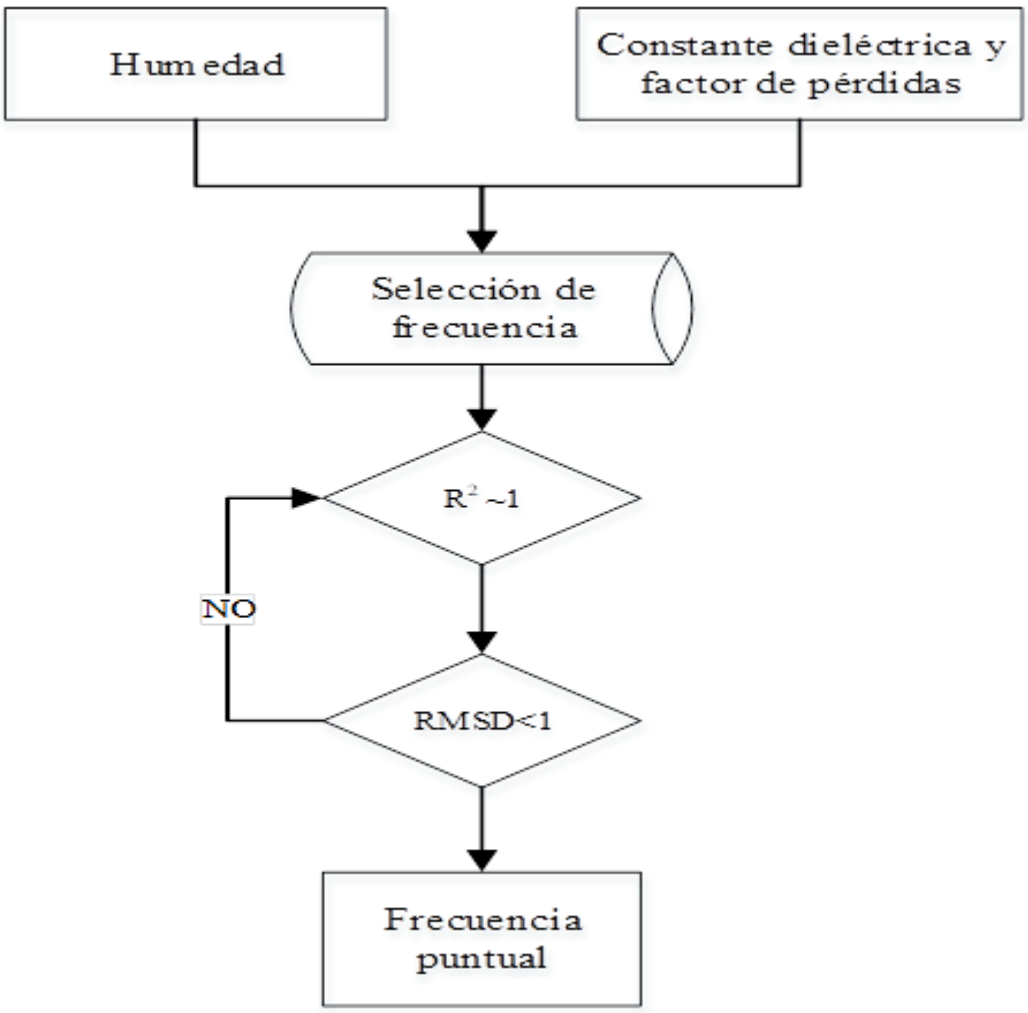
TÉCNICAS	INSTRUMENTOS	RECOLECCIÓN DE DATOS
Observación directa	Ficha de observación	Calidad de haba
Mediciones físicas	Balanza analítica, regla de vernier, picnómetro	Peso, longitud, ancho, grosor y volumen del haba clase comercial Moroquito
Mediciones químicas	Mufla y estufa	Humedad y ceniza
Cinética de hidratación	Humedad	H_2O/g ss
Espectroscopia dieléctrica	Analizador de redes vectorial	ε'' ε'

3.6. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

Previo al modelamiento de la cinética de hidratación se seleccionaron las frecuencias puntuales a través del algoritmo de decisión presentado en la Figura 10. Este algoritmo desarrollado en el programa Matlab 2020b, permitió encontrar los valores máximos y mínimos de la relación lineal entre las variables de humedad – constante dieléctrica y humedad - factor de pérdidas.

Figura 10

Algoritmo de decisión de selección de longitud de onda



3.6.1. Modelización de la cinética de hidratación.

Para la modelización de la cinética de hidratación de los granos de haba Moroquito se utilizaron los modelos matemáticos de Peleg (Ecuación 12) y Sigmoidal (Ecuación 13). Estos modelos estadísticos son los que mejor describen el proceso de hidratación en los alimentos (Berrio, 2019; Chuquizuta et al., 2018; Quicazán et al., 2012; Ulloa et al ., 2016)

$$M_t = M_0 + \frac{t}{K_1 + K_2 t} \qquad 12)$$

Donde:

Mt = Masa en el tiempo (g)

Mo = Contenido de humedad inicial (g)

K_1 = Constante de velocidad de Peleg (kg H_2O/ s.kg m.s)

K_2 = Constante de capacidad (kg H_2O/kg m.s)

$$M_t = \frac{Meq}{1 + \exp\left[-\mathrm{k1}(\mathrm{t} - 1)\right]} \quad (13)$$

Donde:

Mt = porcentaje de humedad en un tiempo t (min)

Meq = Porcentaje de humedad en equilibrio

k (min-1) = es la constante de velocidad de rehidratación

t (min) = periodo de tiempo que se necesita para la rehidratación media.

3.6.2. Evaluación Estadística

Para evaluar cuál de los modelos matemáticos es más efectivos en la modelización de la cinética de hidratación se utilizó: el coeficiente de determinación R^2 y la raíz del error cuadrático medio (RMSE), con una confiabilidad del 95%, descrita en la Ecuación 14.

$$RMSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(M_{experimental} - M_{modelo})^2}{n}} \quad (14)$$

Donde:

$M_{experimental}$= Valores de humedad obtenidos experimentalmente

M_{modelo}= Valores de humedad obtenidos del modelo.

Para apreciar el efecto de la temperatura en la cinética de hidratación, se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) con un grado de confiabilidad del 95%. Dicho análisis estadístico es utilizado cuando existen una cantidad de grupos de variables mayor a dos comparándolas una con otra, cuando hay mediciones reiteradas en más de dos ocasiones, cuando las muestras varían en una o más características o también para estudiar paralelamente la influencia de dos o más tratamientos. Así mismo, se utilizó la prueba de Tukey para poder identificar y definir las diferencias existentes entre los tratamientos e identificar cuál de los modelos es el más efectivo para la modelización de la cinética de hidratación (ver Tabla 5) (Gutiérrez y De La Vara, 2008).

Tabla 5

Análisis de varianza para el diseño experimental

Fuente de Variabilidad	**Suma de Cuadrados**	**G. L.**	**Cuadrado Medio**	**Fo**	**VALOR -p**
Tratamientos	$SC_{TRAT} = \sum_{i=1}^{K} \frac{Y^2 i..}{n_i} - \frac{Y^2..}{N}$	K-1	$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{\mathrm{K}-1}$	$\frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$	P(F> F_O)
Error	$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$	N-K	$CM_E = \frac{SC_E}{N-K}$		
TOTAL	$SC_T = \sum_{i=1}^{k} \sum_{j-1}^{n_i} Y_{ij}^2 - \frac{Y^2..}{N}$	N-1			

Nota. Obtenida de Gutiérrez y De La Vara (2008).

3.7. Aspectos Éticos

Este trabajo de investigación se realizó dentro de un marco de la ética profesional, respetando los métodos científicos para proporcionar datos fiables; los análisis y toma de

datos se realizaron sin ocasionar daños a la población o al medio ambiente, puesto que no utilizó ningún insumo químico. Las citas y referencias bibliográficas fueron realizadas respetando la autoría de acuerdo a las normas APA 7ma edición.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Descripción de Resultados

4.1.1. Obtención de las Propiedades Dieléctricas y Masa de los Granos de Haba Durante el Proceso de Hidratación a Diferentes Temperaturas

4.1.1.1. Caracterización Fisicoquímica de los Granos de Haba

Con respecto a la absorción de agua por parte los granos de habas, se menciona que es un proceso evidenciado a través del incremento de los parámetros fisicoquímicos, especialmente en el contenido de humedad y actividad de agua; y en la disminución del contenido de ceniza. Los resultados evidencian un incremento en el contenido de humedad en las tres temperaturas (20, 30 y 40 °C), siendo la temperatura de 40 °C la que posee mayor absorción de agua (55,79 ± 2,17); en lo que respecta a la actividad de agua también se observa un incrementa en las tres temperaturas (20, 30 y 40 °C) desde 0,71 hasta 0,99. En lo que refiere al contenido de ceniza esta disminuye en las tres temperaturas, siendo la temperatura de 40 °C la que posee menor cantidad de ceniza (1,53 ± 0,24), para una mejor apreciación ver Tabla 6.

Tabla 6

Parámetros fisicoquímicos obtenidos del análisis granulométrico de los granos de habas secas e hidratadas

PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS	HABA SECA	HABA HIDRATADA		
	T° AMBIENTE	20 °C	30 °C	40 °C
Peso (g)	1,98 ± 0,28	3,12 ± 0,09	3,31 ± 0,05	3,23 ± 0,04
Largo (mm)	24,54 ± 1,68	28,54 ± 0,75	28,39 ± 0,09	28.48 ± 0,10
Ancho (mm)	15,70 ± 1,86	18,90 ± 0,37	18,55 ± 0,14	18,37 ± 0,09
Espesor(mm)	6,54 ± 0,80	9,64 ± 0,03	9,73 ± 0,12	9,69 ± 0,19
Diámetro medio aritmético (mm)	15,60 ± 1,00	19,03 ± 0,32	18,89 ± 0,10	18,85 ± 0,08
Diámetro equivalente (mm)	13,56 ± 0,96	17,27 ± 0,23	17,20 ± 0,19	17,09 ± 0,04
Diámetro medio cuadrado (mm)	14,68 ± 1,01	18,20 ± 0,28	18,08 ± 0,11	18,01 ± 0,07
Radio equivalente (mm)	7,31 ± 0,49	9,08 ± 0,13	9,03 ± 0,06	8,99 ± 0,03
Área de superficie (mm^2)	898,73 ± 153,52	1286,50 ± 49,58	1237,51 ± 17,32	1223,49 ± 6,27
Volumen (mm^3)	1717,69 ± 171,76	6281,17 ± 1084,49	5525,60 ± 96,14	5424,97 ± 46,52
Esfericidad (ø)	0,55 ± 0,67	0,61 ± 1,47	0,60 ± 0,36	0,60 ± 0,18
A_w	0,71 ± 0,01	0,99 ± 0,00	0,99 ± 0,01	0,99 ± 0,00
Humedad (H_{bh})	12,38 ± 0,29	55,51 ± 1,64	55,53 ± 2,38	55,79 ± 2,17
Ceniza (%)	3,31 ± 0,19	1,81 ± 0,10	1,75 ±0,16	1,53 ± 0,24

Nota: Valores promedios de 600 granos de haba secos e hidratados

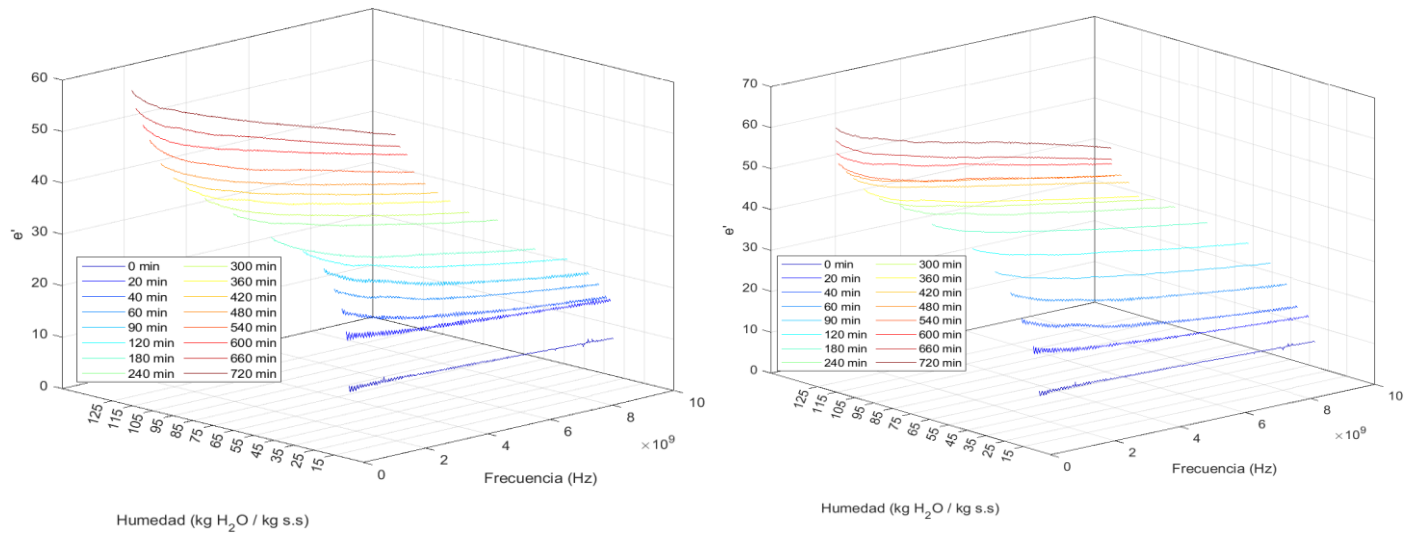
4.1.1.2. *Espectros dieléctricos medios de los granos de haba hidratados a temperaturas de 20, 30 y 40 °C*

En la Figura 11, se muestran los valores medios de la constante dieléctrica (ε') de los granos de haba durante el proceso de hidratación en el rango de 0,5 a 9 GHz, desde su estado previo a la hidratación (tiempo cero) hasta la obtención del grano hidratado (12 horas), a temperaturas de 20, 30 y 40° C; cabe recalcar que durante las doce horas de hidratación el grano de haba no logro llegar a una humedad constante puesto que los granos de haba seguían hidratando. Los resultados evidencian que a medida que aumenta el tiempo de hidratación los valores de cada espectro dieléctrico tienden a incrementar y por ende tienden a desplazarse hacia arriba, a temperatura de 20, 30 y 40 °C respectivamente; asimismo, se observa que cuando el tiempo de hidratación y la frecuencia aumenta los espectros dieléctricos tienden a disminuir ligeramente en las tres temperaturas, tal como se muestra en la figura 11 - a, 11 - b y 11 – c.

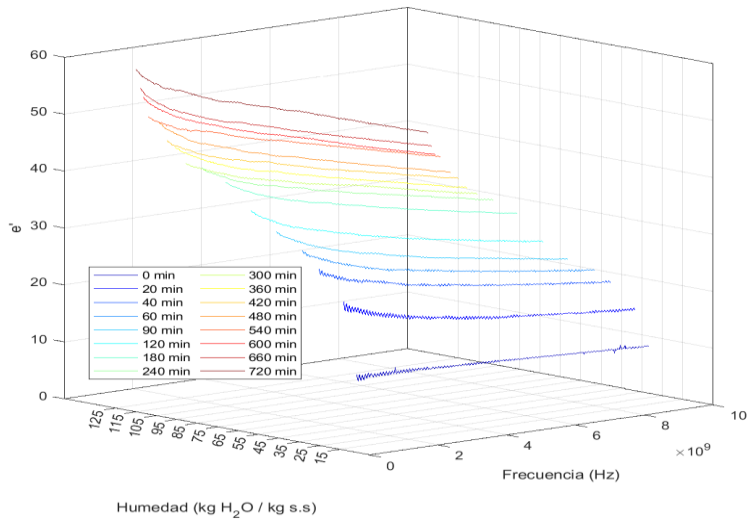
Figura 11

Evolución de la constante dieléctrica de los granos de haba durante su hidratación

a)



c)

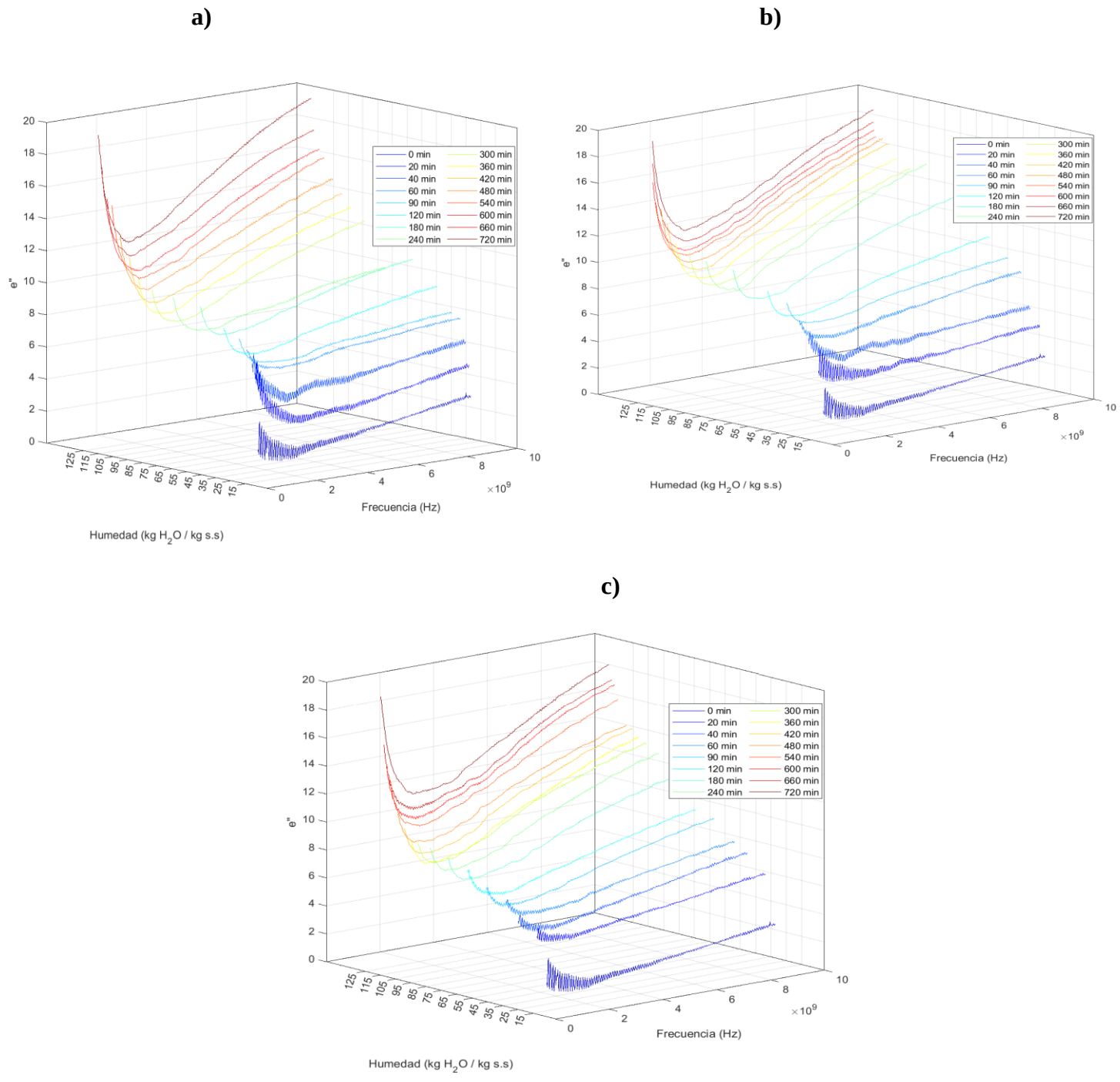


Nota. Los resultados se especifican según las temperaturas: a) 0 °C, b) 30 °C y c) 40 °C.

En la Figura 12, se plasman los resultados con respecto a la intensidad del factor de pérdidas (ε'') de los granos de haba durante la absorción de agua a temperaturas de 20, 30 y 40 °C, en un rango de 0,5 a 9 GHz. Los resultados evidencian que en las tres temperaturas los espectros dieléctricos tienden a incrementar su valor de intensidad a medida que se extiende el tiempo de hidratación; así mismo, se observa que cuando incrementa el tiempo de hidratación y la frecuencia del espectro electromagnético el valor intensidad de los espectros dieléctricos tienden a disminuir desde 0.5 hasta 3 GHz y posteriormente incrementan hasta los 9 GHz, tomando el espectro una la forma de "U". Esta forma de U se debe principalmente a los fenómenos de conductividad iónica y al fenómeno dipolar.

Figura 12

Evolución del factor de pérdidas de los granos de haba durante su hidratación



Nota. Los resultados se especifican según las temperaturas: a) 20 °C, b) 30 °C y c) 40 °C.

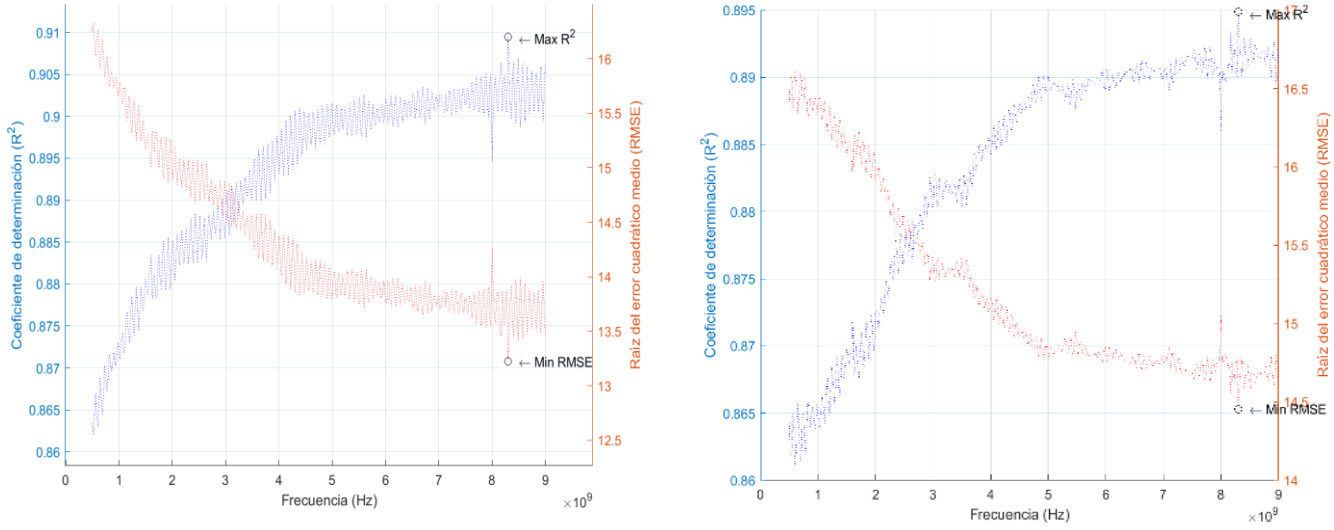
4.1.2. Selección de las Propiedades Dieléctricas Puntuales en Base al Coeficiente de Determinación entre la Humedad y las Propiedades Dieléctricas en el Rango de 0.5 a 9 GHz

En la Figura 13, se presentan los valores máximos y mínimos resultantes obtenidos del coeficiente de determinación (R^2) y la raíz del error cuadrático medio (RMSE), a partir de las 401 variables discretas, es decir 401 valores de la constante dieléctrica. Esta correlación entre la humedad y la constante dieléctrica permitieron obtener la máxima colinealidad de las diferentes frecuencias dentro del rango de 0,5 a 9 GHz, a temperaturas de 20, 30 y 40 °C. A temperatura de 20 °C se ha encontrado una frecuencia puntual de 8,29 GHz con R^2 = 0,91 y un RMSE = 13,22; a 30 °C se encontrado una frecuencia puntual de 8,29 GHz con R^2 = 0,90 y un RMSE = 14,46 y a 40°C se ha determinado una frecuencia puntual de 8,29 GHz con R^2 = 0,97 y un RMSE = 6,82, tal como se observa en la Figura 13 - a, 13 - b y 13 - c, respectivament

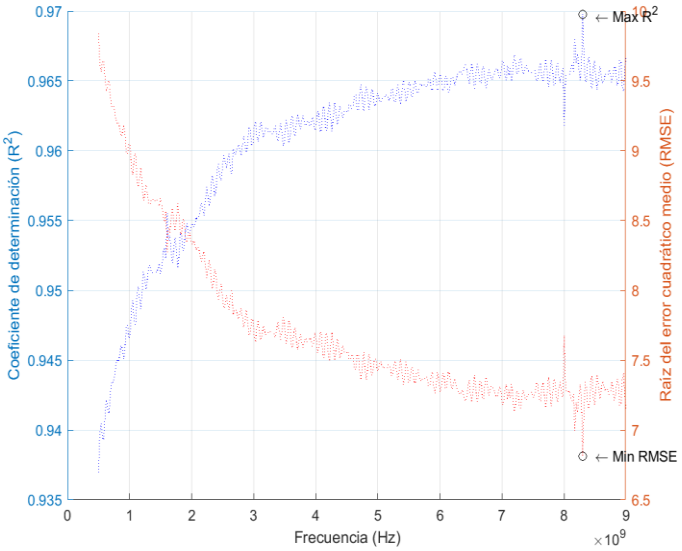
Figura 13

Frecuencias puntuales en base al coeficiente de determinación entre la humedad y constante dieléctrica

a) **b)**



c)



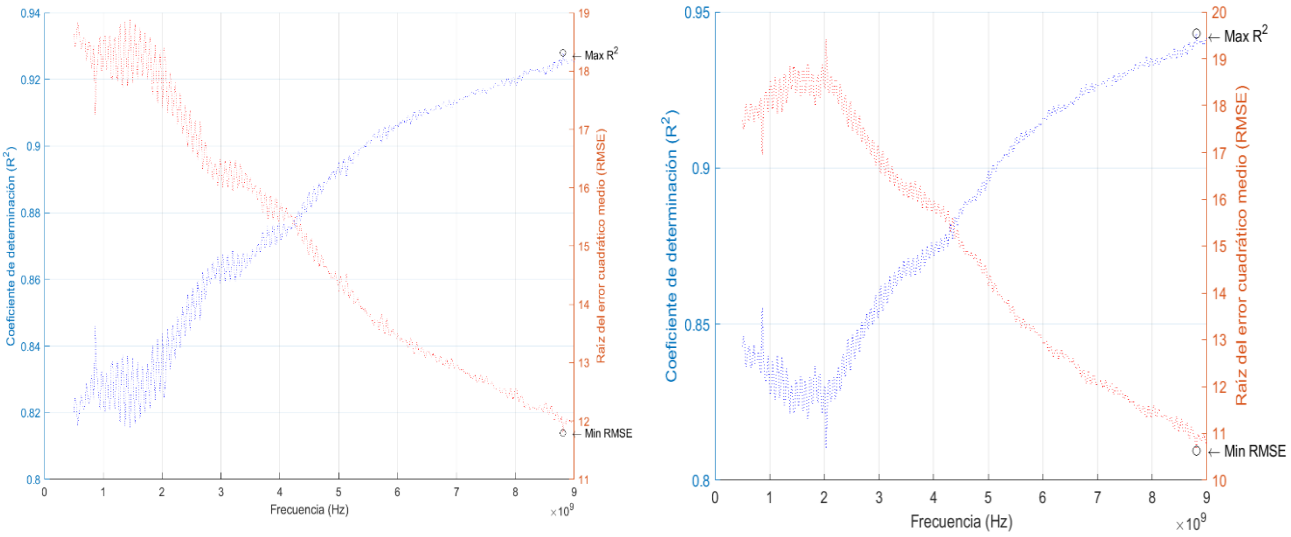
Nota. Los resultados se especifican según las temperaturas: a) 20 °C, b) 30 °C y c) 40 °C.

En la Figura 14, se plasman los valores máximos y mínimos resultantes del coeficiente de determinación (R^2) y la raíz del error cuadrático medio (RMSE) respectivamente, a partir de las 401 variables discretas del factor de pérdidas. Esta relación entre la humedad y el factor de pérdidas permitió obtener frecuencias exactas a temperaturas de 20, 30 y 40 °C. Estos resultados muestran un R^2 = 0,93 y un RMSE = 11,79 para la temperatura de 20 °C, R^2 = 0,90 y un RMSE = 14,46 para la temperatura de 30 °C y R^2 = 0,96 y un RMSE = 7,66 para la temperatura de 40 °C, todos estos resultados a una frecuencia puntual de 8,81 GHz, así como se presenta en la Figura 14 – a, 14 – b y 14 – c.

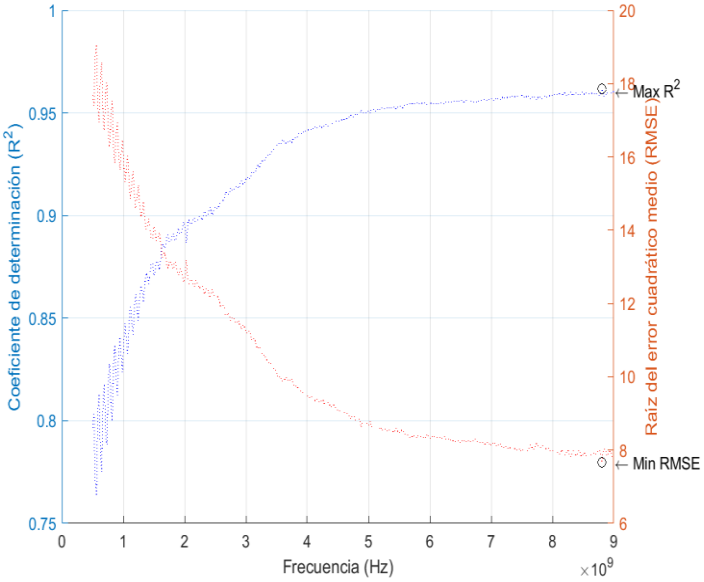
Figura 14

Frecuencias puntuales en base al coeficiente de determinación entre la humedad y el factor de pérdidas

a) **b)**



c)



Nota. Los resultados se especifican según las temperaturas: a) 20 °C, b) 30 °C y c) 40 °C.

En la Tabla 7, se muestra resumidamente aquellas frecuencias puntuales encontradas en las propiedades dieléctricas (e’ y e’’) en el rango de 0,5 a 9 GHz, a temperaturas de 20, 30 y 40 °C. Los resultados obtenidos muestran una frecuencia puntual de 8,299 GHz en la constante dieléctrica y 8,809 GHz en el factor de pérdidas, en las tres temperaturas; sin embargo a pesar que es la misma frecuencia puntual existe diferencias significativas en el coeficiente de determinación y el en la sumatoria de la raíz del error cuadrático medio; siendo la temperatura de 40 °C la que presenta mejor correlación de datos.

Tabla 7

Resumen de las propiedades dieléctricas y sus frecuencias puntuales a temperaturas de 20, 30 y 40 °C

TEMPERATURA	PROPIEDAD DIELÉCTRICA	FRECUENCIA (GHz)	R^2	RMSE
20°C	e’	8,299	0,909	13,224
	e’’	8,809	0,928	11,797
30°C	e’	8,299	0,895	14,455
	e’’	8,809	0,943	10,632
40°C	e’	8,299	0,969	6,819
	e’’	8,809	0,962	7,660

4.1.3. Cinética de hidratación del haba clase comercial haba Moroquito a partir de su humedad de equilibrio y propiedad dieléctrica puntual a temperaturas de 20, 30 y 40 °C.

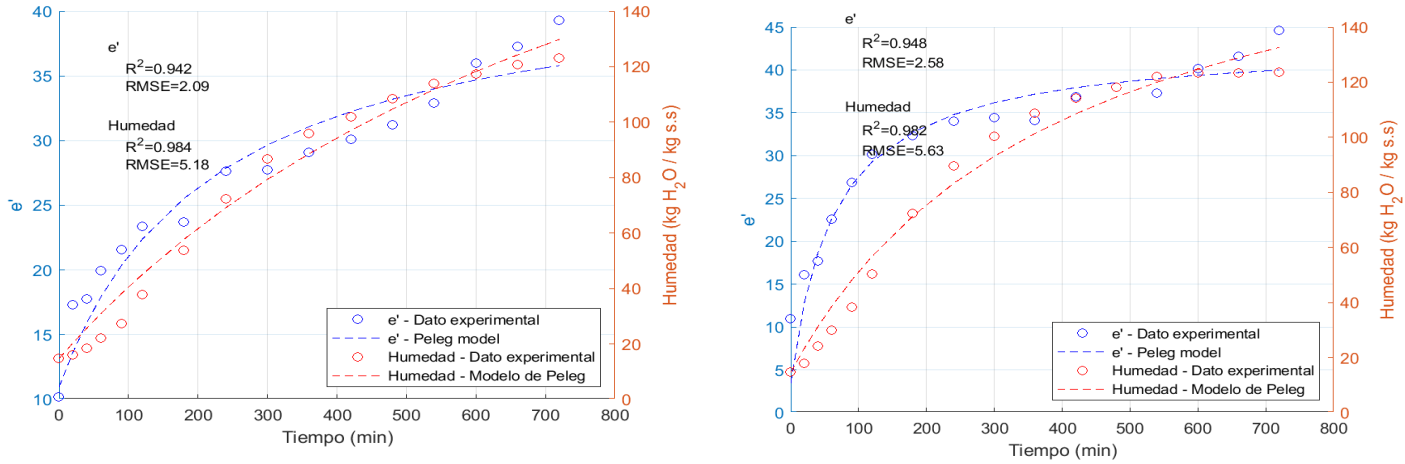
4.1.3.1. Cinética de hidratación a partir de la humedad y la constante dieléctrica, mediante ecuación de Peleg

El la Figura 15, se detallan los resultados obtenidos del modelamiento de la cinética de hidratación tomando como base la humedad y la constante dieléctrica según el modelo de Peleg. Los resultados obtenidos muestran un R^2 = 0,942 y un RMSE = 2,09 para la constante dieléctrica y R^2 = 0,984 y un RMSE = 5,18 para la humedad a temperatura de 20 °C, a temperatura de 30 °C muestran un R^2 = 0,948 y un RMSE = 2,58 para la constante dieléctrica y R^2 = 0,982 y un RMSE = 5,63 para la humedad y a temperatura de 40 °C un R^2 = 0,977 y un RMSE = 1,42 para la constante dieléctrica y R^2 = 0,998 y un RMSE = 1,900 para la humedad.

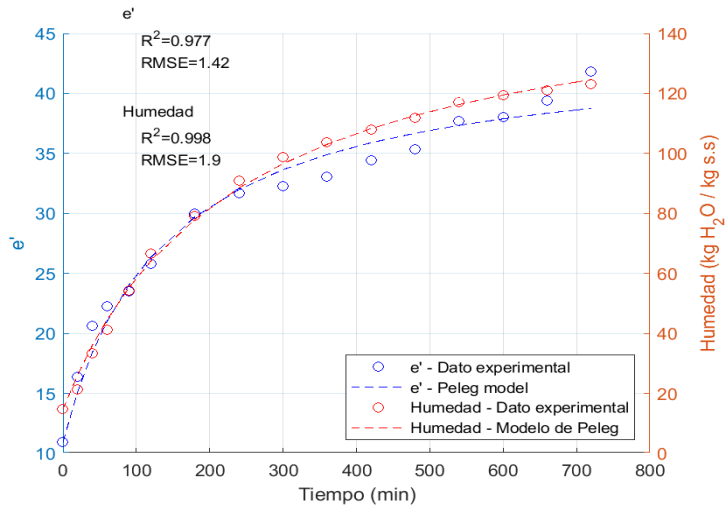
Figura 15

Cinética de hidratación a partir de la humedad y la constante dieléctrica según la ecuación de Peleg

a) **b)**



c)



Nota. Los resultados se especifican según las temperaturas: a) 20 °C, b) 30 °C y c) 40 °C.

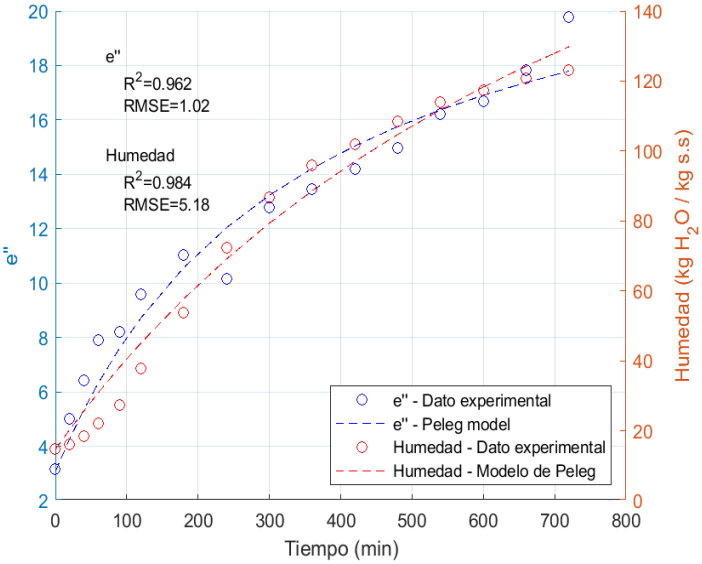
4.1.3.2. Cinética de hidratación a partir de la humedad y el factor de pérdidas mediante ecuación de Peleg

En la figura 17, se presenta los valores resultantes del modelamiento de la cinética de hidratación a partir de la humedad y el factor de pérdidas según el modelo de Peleg. Los resultados obtenidos muestran un R^2 = 0,962 y un RMSE = 1,02 para el factor de perdida y un R^2 = 0,984 y un RMSE = 5,18 para la humedad a 20 °C, a 30 °C muestran un R^2 = 0,99 y un RMSE = 0,503 para el factor de perdida y R^2 = 0,982 y un RMSE = 5,63 para la humedad y 40 °C un R^2 = 0,968 y un RMSE = 0,51 para el factor de perdida y R^2 = 0,998 y un RMSE = 1,900 para la humedad.

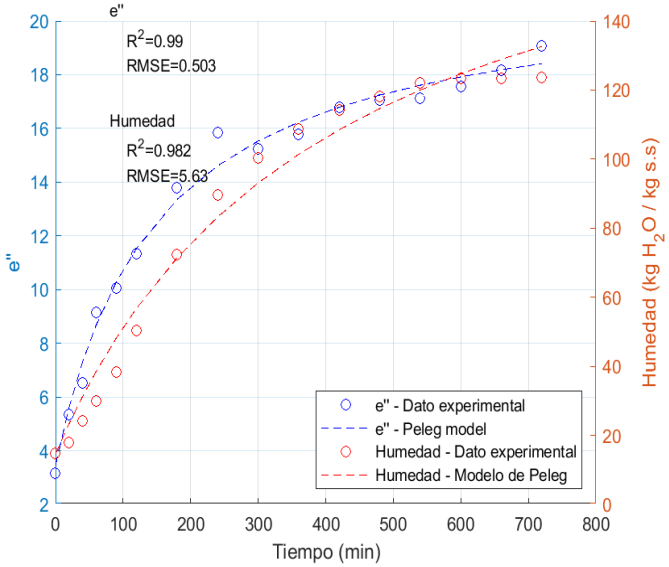
Figura 16

Cinética de hidratación a partir de la humedad y el factor de pérdidas según la ecuación de Peleg

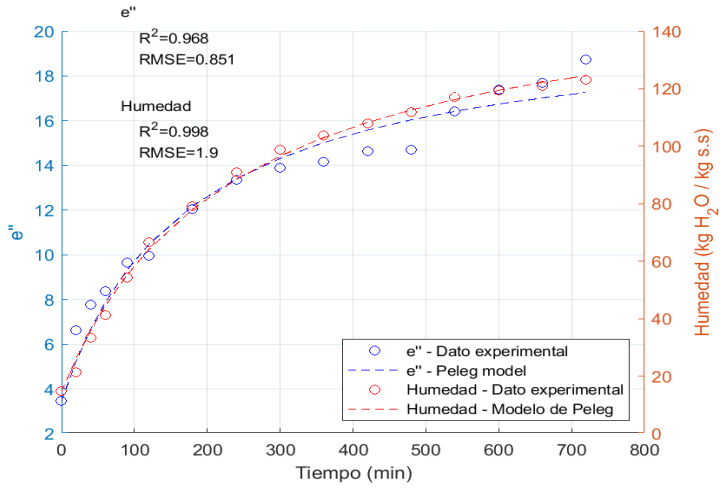
a)



b)



c)



Nota. Los resultados se especifican según las temperaturas: a)20 °C, b) 30°C y c) 40°C.

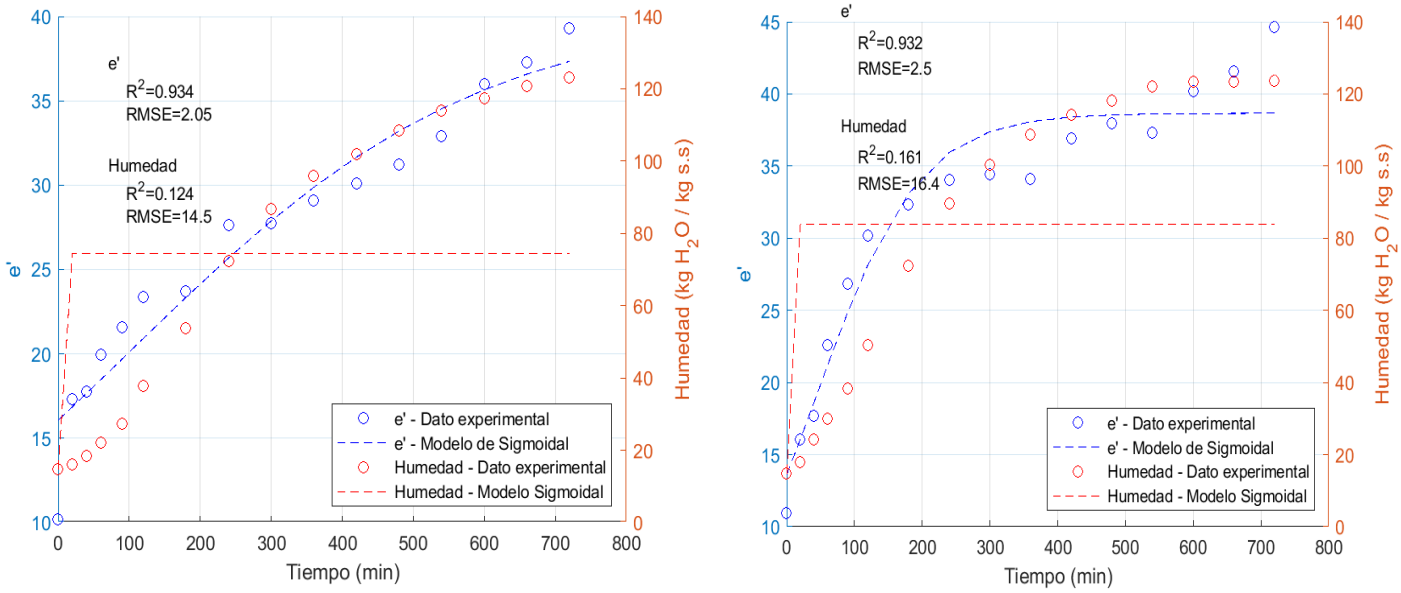
4.1.3.3. Cinética de hidratación a partir de la humedad y la constante dieléctrica, mediante ecuación Sigmoidal

En la Figura 18, se ilustran los resultados adquiridos del modelamiento de la cinética de hidratación a partir de la humedad y la constante dieléctrica. Los resultados arrogaron a temperatura 20 °C valores de R^2 = 0,934 y un RMSE = 2,05 para la constante dieléctrica y R^2 = 0,124 y un RMSE = 14, 5 para la humedad; a temperatura de 30 °C valores de R^2 = 0,932 y un RMSE = 2,50 para la constante dieléctrica y R^2 = 0,161 y un RMSE = 16,4 para la humedad; y a temperatura de 40 °C valores de R^2 = 0,944 y un RMSE = 2,07 para la constante dieléctrica y R^2 = 0,222 y un RMSE = 16, 30 para la humedad.

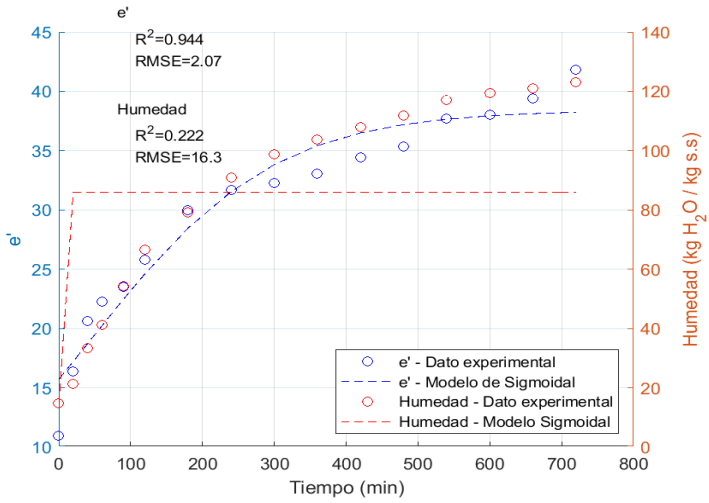
Figura 17

Cinética de hidratación a partir de la humedad y la constante dieléctrica según la ecuación Sigmoidal

a)



c)



Nota. Los resultados se especifican según las temperaturas: a) 20 °C, b) 30°C y c) 40°C.

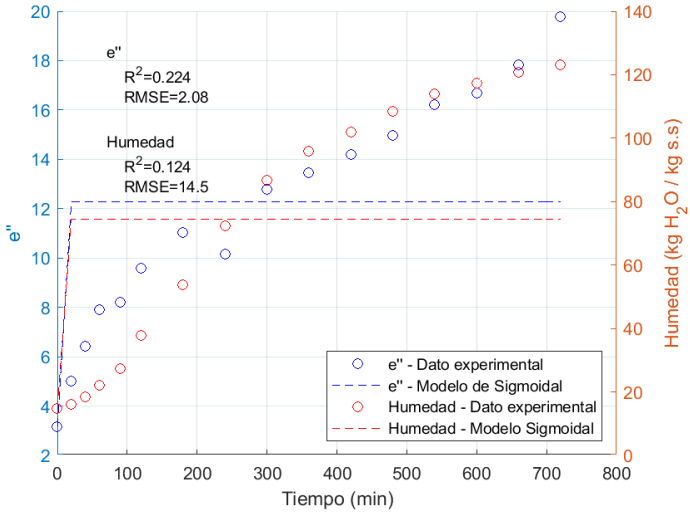
4.1.3.4. Cinética de hidratación a partir de la humedad y el factor de pérdidas mediante ecuación de Sigmoidal.

En la figura 19, se plasman los valores adquiridos del modelamiento de la cinética de hidratación a partir de la humedad y el factor de pérdidas según el modelo sigmoidal. Los resultados muestran para el factor de pérdidas un R^2 = 0,224 y un RMSE = 2,08 y para la humedad un R^2 = 0,124 y un RMSE = 14, 50 a temperatura de 20 °C; a temperatura 30 °C muestran para el factor de pérdidas un R^2 = 0,288 y un RMSE = 2,35 y para la humedad un R^2 = 0,161y un RMSE = 16,40; finalmente para la temperatura de 40 °C muestra para el factor de pérdidas un R^2 = 0,305 y un RMSE = 2,13 y para humedad un R^2 = 0,222 y un RMSE = 16,30.

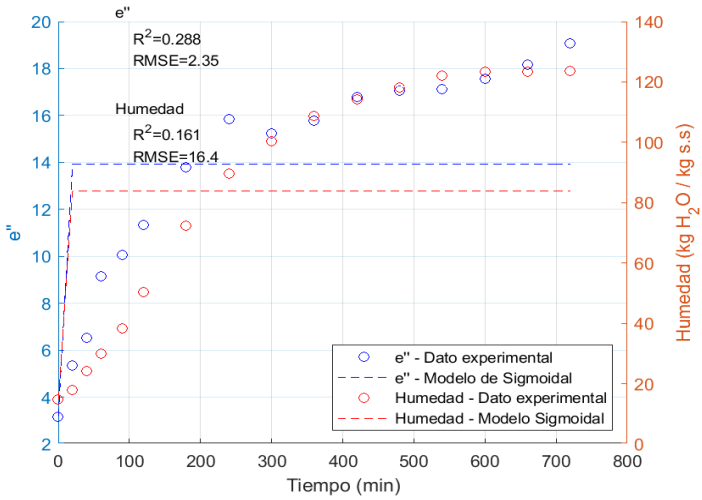
Figura 18

Cinética de hidratación a partir de la humedad y el factor de pérdidas mediante ecuación Sigmoidal

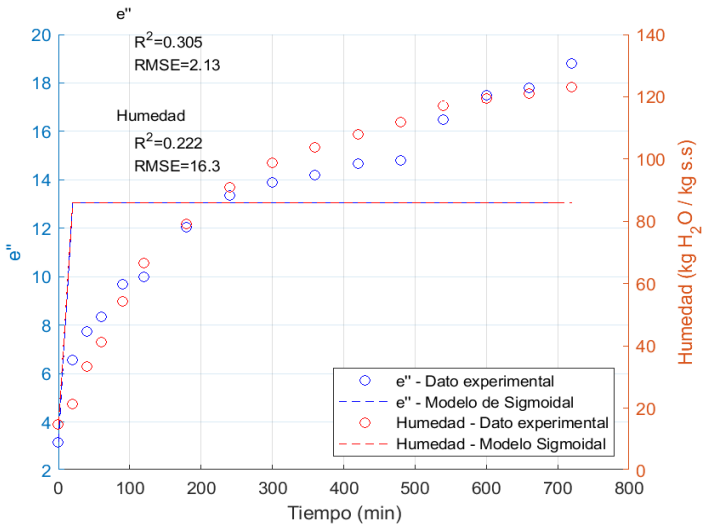
a)



b)



c)



Nota. Los resultados se especifican según las temperaturas: a) 20 °C, b) 30°C y c) 40°C.

4.1.4. Modelamiento mediante la ecuación de Peleg y Sigmoidal la cinética de hidratación de grano de haba clase comercial haba Moroquito (Vicia Faba L) a partir de la humedad y sus propiedades dieléctricas a su frecuencia puntual.

En la Tabla 8, se presentan los parámetros obtenidos del modelamiento de la cinética de hidratación mediante la ecuación Peleg y Sigmoidal, a temperaturas de 20, 30 y 40 °C. Para la humedad, a temperaturas de 20, 30 y 40 °C, observamos que el modelo de Peleg muestra mejores valores para el coeficiente de determinación (R^2) y la raíz del error cuadrático medio (RMSE) en comparación con el modelo sigmoidal. Para la constante dieléctrica a temperatura de 20, 30 y 40 °C, observamos que tanto el modelo de Peleg como el sigmoidal presentan valores altos en R^2 y RMSE, sin embargo, el modelo Peleg presenta un mejor ajuste para los datos. Para el factor de pérdidas observamos que el modelo Peleg presenta valores superiores para el coeficiente de determinación y la raíz del error cuadrático medio a comparación del sigmoidal, en las tres temperaturas.

Tabla 8

Parámetros de ajuste del modelo Peleg y modelo Sigmoidal para el contenido de humedad y propiedades dielectricas

Temperatura	Propiedad física	Modelo de Peleg					Modelo Sigmoidal			
		K_1	K_2	R^2	RMSE	t	K_1	M_{eq}	R^2	RMSE
	Humedad	3,487	0,004	0,984	5,180	1,275	1,099	74,419	0,124	14,500
20°C	**e´**	6,783	0,031	0,942	2,090	102,358	0,004	40,402	0,934	2,050
	e’’	15,692	0,046	0,962	1,020	1,038	1,019	12,283	0,224	2,080
	Humedad	2,196	0,005	0,982	5,630	1,338	1,158	83,774	0,161	16,400
30°C	**e’**	1,631	0,025	0,948	2,580	45,815	0,013	38,665	0,932	2,500
	e’’	8,209	0,056	0,990	0,203	1,117	1,094	13,924	0,288	2,250
	Humedad	1,599	0,007	0,998	1,900	1,353	1,168	85,961	0,222	16,300
40°C	**e’**	4,156	0,030	0,977	1,420	46,604	0,008	38,426	0,944	2,070
	e’’	10,110	0,059	0,968	0,851	1,072	1,063	13,061	0,305	2,120

4.1.4.1. *Análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey*

El ANOVA y prueba de tukey se realizó solo en el modelo Peleg, debido a que éste fue el mejor modelo que se acopló al modelamiento de la cinética de hidratación de los granos de haba.

En la tabla 9 y 10, se presentan los valores obtenidos del análisis de varianza para las constante K_1 y K_2 del modelo peleg, a temperaturas de 20, 30 y 40 °C. De acuerdo a los resultados adquiridos se logra evidenciar la existencia de una significancia $P< 0,05$ entre los datos de la constante de velocidad de transferencia de masa (K_1) y entre los datos de la constante de capacidad de absorción de agua (K_2), a temperaturas de 20, 30 y 40 °C.

Tabla 9

Análisis de varianza para la constante K_1 del modelo peleg

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados Medio	F-Relación	P-Valor
Entre grupos	5,61229	2	2,80615	174,90	0,0000
Dentro de los grupos	0,096263	6	0,0160438	-	-
Total (Corr.)	5,70856	8	-	-	-

Tabla 10

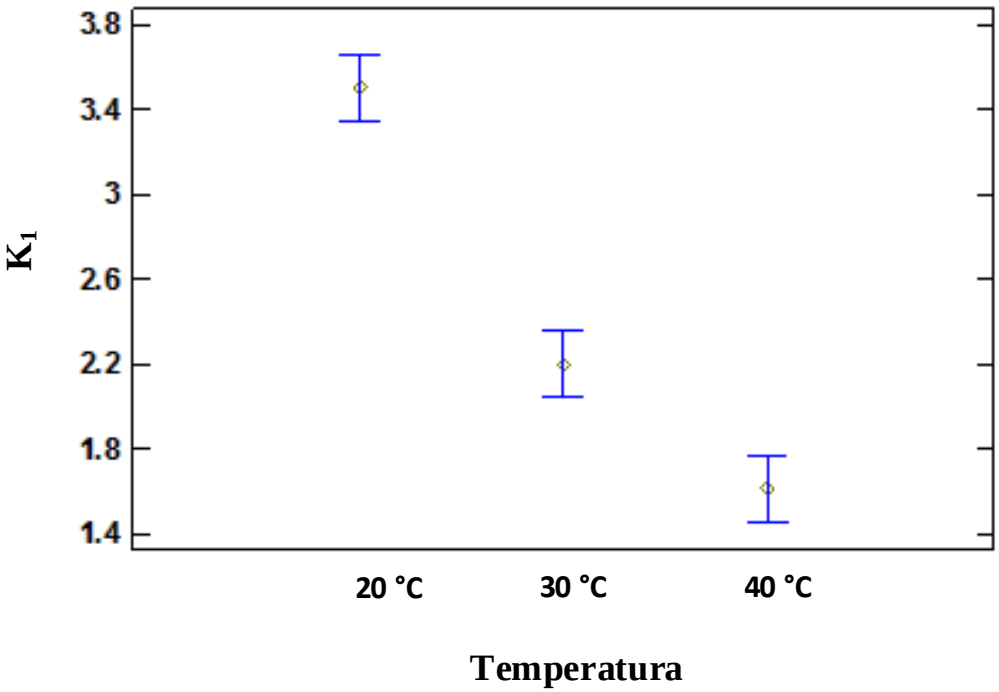
Análisis de varianza para la constante K_2 del modelo peleg

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados Medio	F-Relación	P-Valor
Entre grupos	0,0000138561	2	0,0000069280	129,35	0,0000
Dentro de los grupos	3,21359E-7	6	5,35599E-8	-	-
Total (Corr.)	0,0000141775	8	-	-	-

En la Figura 19, se presentan los valores resultantes obtenidos de la prueba de tukey para la constante de velocidad (K_1) con relación al efecto de la temperatura en la cinética de hidratación. Observándose 3 grupos diferentes, con valores de 3,487; 2, 196 y 1,599 para la temperatura de 20, 30 y 40 °C respectivamente. Siendo la temperatura de 40 °C la que presenta mejor ajuste para la cinética de hidratación.

Figura 19

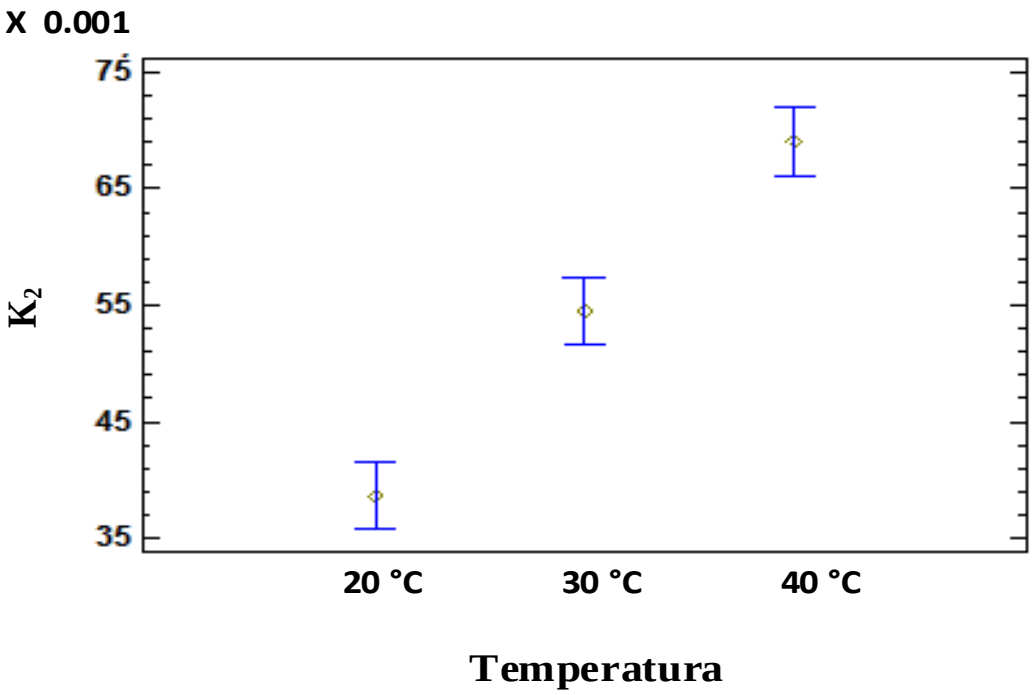
Prueba de Tukey para la constante de velocidad (K_1) con relación a la temperatura



En la Figura 20, se muestran los resultados obtenidos de la prueba de Tukey para la constante de capacidad de absorción (K_2) con relación al efecto de la temperatura en la cinética de hidratación. Observándose 3 grupos diferentes, con valores de 0,0038; 0,0054 y 0,0069 para la temperatura de 20, 30 y 40 °C respectivamente. Siendo la temperatura de 40 °C la que presenta mayor velocidad de absorción para la cinética de hidratación.

Figura 20

Prueba de Tukey para la constante de velocidad (K_2) con relación a la temperatura



4.2. Contrastación de Hipótesis

Después de realizados los distintos análisis en el laboratorio y obtenidos los datos necesarios, podemos afirmar que la temperatura tiene efectos altamente significativos en la cinética de hidratación de haba Moroquito (*Vicia Faba* L.) usando espectroscopia dieléctrica entre los modelos de peleg y sigmoidal.

4.3. Discusión de Resultados

La hidratación de las habas, ocurre cuando el alimento absorbe agua. Este proceso se relaciona directamente con la alteración de los parámetros fisicoquímicos,

especialmente en la actividad de agua y humedad; y en la disminución del contenido de ceniza, lo contrario a lo que sucede en el proceso de deshidratación (Castro et al., 2011). Esto se debe a que, a lo largo del proceso de hidratación, se produce un aumento de masa debido a que el alimento absorbe agua a través de las moléculas de almidón y dilución de los solutos las cuales generan la disminución del contenido de ceniza (Paredes et al., 2012; Quicazán et al., 2012). En cuanto al contenido inicial de humedad (12,38 ± 0,29 %) y ceniza (3,31 ± 0,19) nuestros valores obtenidos fueron similares a reportados por Huaman (2019) quien obtuvo en humedad valores de 11,16 ± 0,15 y 10,23 ± 0,012 % y en ceniza valores 3,47 ± 0,05 y 3,35 ± 0,07% en habas variedad sincos y amarilla molinera, y a los de Berrio (2019) quien obtuvo 9,79 ± 0,03 % de humedad en haba variedad gigante, en tanto a los datos obtenidos de la humedad final de los granos de haba clase comercial moroquito hidratadas a temperaturas de (20, 30 y 40 ºC), ha habido un incremento de la humedad en las tres temperaturas, siendo la temperatura de 40 ºC la presenta mayor incremento con un valor de 55.79 ± 2,17 %.

Con respecto a las propiedades dieléctricas podemos observar que a medida que incrementa el tiempo de hidratación los valores de cada espectro dieléctrico de la constante dieléctrica, tienden a incrementar y por ende tienden a desplazarse hacia arriba. Según Castro (2010) este incremento se debe principalmente al aumento del contenido de las moléculas de agua en el alimento, producto del proceso de hidratación. Asimismo, también se ha podido observar que conforme se aumenta la humedad y frecuencia, la tendencia de los espectros dieléctricos tiende a decrecer; este comportamiento se debe principalmente la presencia de iones y macromoléculas (hidratos de carbono, proteínas, ácidos nucleicos) en la parte intra y extracelular de las muestras, las cuales generan el aumento del tiempo de relajación y la conductividad eléctrica (Castro, 2010). Comparando nuestros resultados con los reportados en el

proceso de deshidratación, veremos que el comportamiento de los espectros dieléctricos es inversamente proporcional a los obtenidos por Castro et al. (2011).

En el factor de pérdidas, podemos observar que los espectros dieléctricos tienden a incrementar su valor de intensidad a medida que se extiende el tiempo de hidratación; asimismo, también se puede observar que cuando incrementa la humedad y la frecuencia la tendencia de los espectros dieléctricos tienden a disminuir desde 0.5 hasta 3 GHz y posteriormente incrementa hasta los 9 GHz; tomando la forma de U; comportamiento inverso a los ocurrido en el proceso de deshidratación (Castro et al., 2011). La disminución de los espectros dieléctricos se debe principalmente al fenómeno iónico, el mismo que es producido por la presencia de iones (Calcio, hierro, potasio, fósforo,) en la parte extracelular de la muestra, debido al proceso de hidratación (Castro, 2010). El incremento en la tendencia de los espectros dieléctricos se debe al fenómeno dipolar, este fenómeno es causado por el aumento de la cantidad de agua en el alimento y la orientación de éstas, producto del proceso de hidratación (Castro, 2010).

En el modelamiento de la cinética de hidratación se puede observar que las curvas de hidratación presentan dos comportamientos (Sigmoidal y cóncava hacia abajo) similares a los obtenidos en haba variedad gigante (Berrio, 2019), frijol Mucuma (Ajibola et al., 2021), frijol pinto (Chuquizuta et al., 2018), frijol (azufrado, peruano y mayakoba) (Ulloa et al., 2016), soya (Li et al., 2019), lenteja (Kuna et al., 2020) y Chocho, frijol adzuki, granos sorgo y maíz (Miano, 2015). El comportamiento de forma cóncava hacia abajo (DCS) se caracteriza por una alta tasa absorción de agua inicial, que luego disminuye cuando el grano alcanza la humedad de equilibrio. A diferncia del comportamiento sigmoidal, este presenta una baja tasa de absorcion de agua inicial, que luego incrementa en un tiempo de inflexion comienza a disminuir hasta alacanzar la humedad de equilibrio (Miano, 2015). Según Ajibola et al. (2021); Berrio (2019); Ulloa

et al. (2016) estos comportamientos se deben principalmete al incremento de la temperatura, es decir a mayor temperatura mayor es la tasa inicial de absorcion de agua. El incremento de la temperatura genera la reducción de la viscosidad del agua, al aumento del tamaño de los poros aumenten y a la disminución de la compacidad (Miano, 2015).

En lo referente a los datos obtenidos del modelamiento de las cinéticas de hidratratación según la ecuación peleg (humedad de equilibrio), nuestros resultados fueron similares a los reportados por Berrio, (2019) quien obtuvo valores $R^2 > 0,98$ en las temperaturas de 20, 30,40 y 50 °C en haba gigante; a los de Chuquizuta et al. (2018) quienes obtuvieron $R^2 = 0,974$ a temperatura de 20 °C en frijol pinto; a los de Ajibola et al., (2021) quienes obtuvieron valores R^2 en el rango de 0,01 a 0,25 a temperatura de 30 °C; a temperatura 40°C valores en el rango de 0,57 a 0,95 y a temperatura de 50°C valores en el rango de 0,88 a 0,96 en frijol Mucuma; a los de Quicazán et al. (2012) quienes obtuvieron un $R^2 > 0,99$ a temperaturas de 20,40 y 80°C en granos de soya; a los de Kuna et al. (2020) quienes obtuvieron en lenteja valores $R^2 > 0,99$ a temperaturas de 25, 50 y 75 °C. Con respecto al modelamiento de la cinética de hidratación según la ecuación sigmoidal, nuestros resultados presentaron un bajo nivel de ajuste a comparación de los obtenidos por Chuquizuta et al. (2018) quienes reportaron $R^2 = 0,999$ a temperatura de 20°C en frijol pinto; a los reportados por Cubillo et al. (2020) quienes encontraron valores de $R^2 > 0,956$ a temperaturas de 20, 30, 40, 50, 60 y 70°C en frijol. Las diferencias producidas en el coeficiente de determinación se atribuyen a la dureza de las semillas, característica que genera una tasa lenta de absorción de agua, especialmente a temperaturas bajas.

Por otro lado, en el modelamiento de la cinética de hidratación relacionado con las propiedades dieléctricas se ha obtenido valores $R^2 > 0,948$ en la constante dieléctrica

y valores R^2 > 0,962 en el factor de pérdidas, a través de la ecuación de Peleg; sin embargo, a través la ecuación sigmoidal se ha obtenido valores R^2 > 0,932 en la constante dieléctrica y valores R^2 < 0,305 en el factor de pérdidas. Si comparamos nuestros resultados con los obtenidos a través de la técnica de Imágenes Hiperespectrales, podemos observar que nuestros resultados vienen a ser idénticos a los reportados por Chuquizuta et al. (2018) quien obtuvo valores R^2 > 0,974 en la ecuación de Peleg y valores de R^2 > 0,997 en la ecuación Sigmoidal, en frijol pinto.

En el modelo de Peleg, la constante K_1 y la constante K_2 son inversamente proporcional; es decir, a mayor K_1 menor será la tasa inicial de absorción de agua. Al analizar el efecto de la temperatura en la cinética de hidratación se evidenció que la constante K_1 se reduce al aumentar la temperatura de 3, 487 a 1,599. Según Berrio (2019) esto se debe al aumento de la tasa de absorción, la misma que es inversamente proporcional a la temperatura. Por otro lado, se ha observado que la constante K_2 incrementa al aumentar la temperatura de 0,0038 a 0,0069; esto se debe a que a mayor temperatura mayor es la capacidad de absorción de agua; sin embargo, esta característica dependerá de composición de la muestra, la estructura de la pared celular y la compacidad de sus células (Berrio, 2019).

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se evaluó el efecto de la temperatura en la cinética de hidratación de haba clase comercial Moroquito (*Vicia Faba* L*)* y su modelamiento estadístico utilizando las propiedades dieléctricas, y se demostró que la temperatura de 40 °C es la temperatura que presenta la máxima capacidad de hidratación.
- Se logró determinar las propiedades dieléctricas (rango de 0,5 a 9 GHz) durante el proceso de hidratación del haba clase comercial haba Moroquito a temperaturas de 20, 30 y 40 °C y se logró demostrar que los espectros dieléctricos incrementan al aumentar el tiempo de hidratación en cada temperatura. Asimismo, también se determinó el contenido que la humedad de las habas Moroquito durante proceso hidratación incrementan al aumentar el tiempo de hidratación y la temperatura.
- Se seleccionaron las propiedades dieléctricas puntuales en base al coeficiente de determinación entre la humedad y las propiedades dieléctricas en el rango de 0,5 GHz a 9 GHz. Los resultados obtenidos evidencian una frecuencia puntual de 8,299 GHz en la constante dieléctrica y 8,809 GHz en el factor de pérdidas, en las tres temperaturas.
- Se construyó las curvas de cinética de hidratación del haba clase comercial haba Moroquito *(Vicia Faba* L*)* a partir de su humedad de equilibrio y propiedad dieléctrica puntual a diferentes temperaturas (20, 30 y 40 ºC), y se logró observar que estas presentan un comportamiento sigmoidal y una forma cóncava hacia abajo.
- Se realizó el modelamiento de la cinética de hidratación de los granos de habas clase comercial haba Moroquito mediante la ecuación de Peleg y Sigmoidal y se logró determinar que el mejor ajuste para los datos experimentales de la cinética de hidratación corresponde al modelo de Peleg.

5.2. RECOMENDACIONES

Realizar más estudios relacionados con la cinética de hidratación y la espectroscopia dieléctrica, en otros tipos de legumbres (lentejas, alverja, frijol, soya, etc.).

Realizar el modelamiento de la cinética de hidratación con otros modelos estadísticos (ecuación Arrhenius, Page, Lewis, etc.) y corroborar cuál de los modelos es mejor para el modelamiento de la cinética de hidratación.

Realizar la predicción del tiempo de hidratación de las habas Moroquito a través de la espectroscopia dieléctrica.

CAPÍTULO VI. REFERENCIAS

Ajibola, O., Olajide, S., Ezekiel, G., & Oluwafemi, A. (2021). Physical propertie and water absortion kinetics of three varieties of Mucuma beans. Scientific reports, 5450. https://doi: 10.1038/s41598-021-85087-8

Alvarado, M. (2022). Niveles de concentración de Biol en Rendimiento del Cultivo de haba (Vicia Faba L.) Variedad Amarilla en la Comunidad de Pomacocha - Huaraz. Huacho: Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Obtenido de https://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/6686/TESIS%20ALVARADO%20ESPINOZA%20MARCO%20ANTONIO.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Armando, J., Rosales, P., Ramírez, J., & Ulloa, B. (2016). Biotecnología y Ciencias Agropecuarias. Ciencia UAT, 10(2). Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-78582016000100052#:~:text=La%20ecuaci%C3%B3n%20de%20Peleg%20(Ecuaci%C3%B3n,(a%20t%20%E2%86%92%20%E2%88%9E).

Bello, M., Tolaba, M. P., & Suarez, C. (2004). Factors affecting water uptake of rice grain during soaking. LWT - Food Science and Technology, 37(8), 811–816. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.02.014

Belmiro, R. H., Tribst, A. A. L., & Cristianini, M. (2018). Impacto del procesamiento a alta presión en las curvas de hidratación y secado de frijol común (*Phaseolus vulgaris L*.). Ciencia de los alimentos innovadora y tecnologías emergentes, 47, 279–285. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.03.013

Berrío, S. (2019). Cinética de hidratación de habas (Vicia faba l.) de la variedad gigante de Yunguyo y propiedades termodinámicas [Tesis para obtener el título profesional de

Ingeniero de Alimentos]. Universidad Peruana Unión. http://hdl.handle.net/20.500.12840/4230

Carnero, S. (2012). Calidad intrínseca de los granos en la postcosecha. Universidad Tecnológica Nacional. Obtenido de http://www.edutecne.utn.edu.ar/tesis/calidad_intrinseca_granos.pdf

Caruajulca, L. (2019). Vida útil de harina de tres variedades de arveja (Pisum sativum L.) sometidas a tres tiempos diferentes de tostado. Para optar el título profesional. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú. https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-del-centro-del-peru/maquinaria-y-equipo-para-la-industria-alimentaria/vida-util-de-harina-de-tres-variedades-de-arveja-pisum-sativum-l-sometidas-a-tres-tiempos-dif/35194548

Casado, C. (2007). Manual básico de Matlab. Servicios Informáticos U.C.M. https://es.scribd.com/doc/62620425/manual-basico-de-matlab

Castro, Marta. (2010). Estudio de los espectros dieléctricos para el control de calidad de alimentos. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

Cervantes Gomez, L. (2015). Modelización matemática: Principios y aplicaciones (Primera ed.). México: Dirección de Fomento Editorial. Obtenido de https://www.fcfm.buap.mx/assets/docs/publicaciones/Modeliza.pdf

Chuquizuta, T., Chávez, s., Miano, C., Castro Giráldez, M., Fito, P., Arteaga, H., & Castro, W. (2018). Imagen Hiperespectrales como herramienta para evaluar la cinética de hidratación de frijoles. 1 - 6.

Cordero, L., Matus, I., González, J., & Castillo, D. (2020). Cultivo de cereales anuales: trigo, arroz, avena y maíz. En I. d. Agricultura, & J. González (Ed.), Agricultura de la nueva región de Ñuble: una caracterización sectorial. (págs. 151-186). Chillan. https://hdl.handle.net/20.500.14001/3629

Cubillo, O., Vargas, G., & Barboza, L. (2020). Modelling Matambú bean (Phaseolus vulgaris) hydration kinetics using an automated digital image analysis. Ingeniería.resista de la Universidad de Costa Rica, 30(2), 2215 - 2652. doi:10.15517/ri. v30i2.39588

Enjamio, L., Rodríguez, P., Valero, T., Ruiz, E., Ávila, J., & Valera, G. (2017). Informe sobre Legumbres, Nutrición y Salud. España: Fundación Española de la Nutrición

Espinoza, E. (2017). Cultivo de habas: como alternativa para la exportación. Blog de Agricultura Andina. http://edgarespinozamontesinos.blogspot.com/2017/09/cultivo-de-habas-como-alternativa-para.html

Fuentes, P. B., Delgado, A., Herrera, B. E., Olvera, J. I., & Luna, M. L. (2020). Percepción del consumo y uso de haba: Apote nutricional en la ciudad Serdán, puebla, México. Agricultura, Sosiedad y Desarrollo, 17(1). Obtenido de file:///C:/Users/user/Downloads/Dialnet-PercepcionDelConsumoYUsoDeHaba-7556618%20(1).pdf

Golonka, P., Dryzek, J., & Kluna, M. (2002). Bean cotyledons microporosity under hydration conditions. NukleoniKa, 47(4), 137 - 140. file:///C:/Users/user/Downloads/Bean_cotyledons_microporosity_under.pdf

Gomez, J. (2016). Medición de terneza de carne vacuna usando espectroscopia dieléctrica. Tucuman: Universidad Nacional de Tucumán.

Goyoaga, C. (2005). Estudio de Factores no Nutritivos en “Vicia faba I.”: Influencia de la Germinación Sobre su Valor Nutritivo [Tesis doctoral]. In Universidad Complutense de Madrid. Universidad Complutense de Madrid.

Guillén, A. (2019). Influencia de la humedad en las propiedades físicas del lupino andino (Lupinus mutabilis Sweet) para los procesos de recepción, limpieza y selección”. Lima: Universidad Mayor de San Marcos. Obtenido de

https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/15988/Guillen_ba.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gutiérrez, H., & De la Vara, R. (2012). Análisis y diseño de experimentos (Tercera ed.). México, D.F.: Mc Graw-Hill.

Huamán, L. (2019). Caracterización fisicoquímica y propiedades funcionales de harina de dos variedades de habas (Vicia faba) Sincos y Amarilla Molinera. Trujillo: Universidad cesar Vallejo.

Ibarz, A., González, C., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2004). Kinetic models for water adsorption and cooking time in chickpea soaked and treated by high pressure. Journal of Food Engineering, 63(4), 467–472. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2003.09.008

Infante, E. (2017). Incidencia y Severidad de Fitoenfermedades del Haba (vicia faba L.) en la provincia de Cajamarca. Cajamarca: Universidad nacional de Cajamarca.

Khaled, D. El, Novas, N., Gazquez, J. A., Garcia, R. M., & Manzano-Agugliaro, F. (2015). Fruit and vegetable quality assessment via dielectric sensing. In Sensors (Vol. 15, Issue 7). https://doi.org/10.3390/s150715363

Kuna, I., Blicharz, A., Andrejko, D., Kubik, A., kobus, Z., Pecyna, A., . . . Rydzak, L. (2020). Modelling Water Absorption in Micronized Lentil Seeds with the Use of Peleg's Equation. Sustainability, 12(261). https://doi:10.3390/su12010261

Leyva, G. (2015). Efecto de la harina de haba (Vicia faba.L) sobre las propiedades reológicas y calidad de pastas alimenticias. Tarma: Universidad Nacional del centro del Perú. Obtenido de https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/1951/Leyva%20Barzola.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Li, P., Li, Y., Wang, L., Zhang, H., Qi, X., & Qian, H. (2020). Study on water absorption kinetics of black beans during soaking. Journal of Food Engineering, 110030. Obtenido de https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110030

Li, X., Liu, X., Hua, Y., Chen, Y., Kong, X., & ZHang, C. (2019). Effects of water absorption of soybean seed on the quality of soymilk and the release of flavor compounds. The Royal Society of Chemistry, 906–2918. https:// doi:101039/c8ra08029a

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2023). Marco Orientador de Cultivos Campaña Agrícola 2022/2023. Lima: Dirección de Estudios Económicos.

Miano Pastor, A. (2015). Description of grains hydration kinetics and its enhancement using the ultrasound technology. Universidad de San Pablo. Obtenido de http://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/196240

Miano, A. C., & Duarte, P. (2015). From the sigmoidal to the downward concave shape behavior during the hydration of grains: Effect of the initial moisture content on Adzuki beans (Vigna angularis). Food and Bioproducts Processing, 96, 43–51. https://doi.org/10.1016/j.fbp.2015.06.007

Mohamad, N. A., Shamsudin, R., & Fard, H. (2015). The Use of D-Optimal Mixture Design in Optimizing Development of Okara Tablet Formulation as a Dietary Supplement". The Scientific World Journal. doi: https://doi.org/10.1155/2015/684319

Nazari Galedar, M., Jafari, A., & Tabatabaeefar, A. (2008). Some physical properties of wild pistachio (Pistacia vera L.) nut and kernel as a function of moisture content. International Agrophysics, 22(2), 117–124. http://www.international-agrophysics.org/Some-physical-properties-of-wild-pistachio-Pistacia-vera-L-nut-and-kernel-as-a-function,106481,0,2.html

Oroian, M. (2015). The temperature hydration kinetics of Lens culinaris. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 1–7. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.08.004

Paredes, E., Quiroz, M., Quispe, K., Reyes, B., Velásquez, L., Zavaleta, N., & Sánchez, J. (2012). Application Peleg's model for study the effect of temperature and water hardness during the rehydration of caballero bean (Phaseolus vulgarias). Agroindustrial Science. Obtenido de file:///C:/Users/user/Downloads/Dialnet-AplicacionDelModeloDePelegParaEstudiarElEfectoDeLa-6583485.pdf

Perugachi, M. (2017). Análisis de la sustitución de proteína animal por concentrado proteínico de haba (*Vicia faba*) en salchichas tipo vienesa. Tesis de Licenciatura. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

Pumacahua, A. (2011). Estudio de la absorción de agua de cuatro variedades de quinua (Chenopodium quinoa Willd) en el proceso de molienda húmeda. [Tesis de Licenciatura]. Universidad Peruana Unión.

Quicazán, M., Caicedo, L., & Cuenca, M. (2012). Aplicación de la ecuación de Peleg para modelar la cinética de hidratación y de migración de sólidos durante el remojo de soya. Ingeniería e Investigación, 32(3), 53 - 57. Obtenido de https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/71106/35941-148103-1-PB.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Quispe, A., Castro, R., & Cabrera, T. (2015). Influencia de densidades de siembra en el rendimiento del cultivo de haba (Vicia faba L.) Variedad Agua Dulce, a condiciones agroecologicos de Pillao, Chinchao - 2015. Huánuco: Universidad Nacional " Hermilio Valdizan" Huanuco.

Ramírez, E., María, A., Escalera, A., & Mariscal, G. (2005). Predicción de la composición química del grano de sorgo mediante espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS). *Tecnologias Pecuárias Mexico*, 43(1), 1–11.

Reyes, A. (2018). Determinación De Constantes Dieléctricas Por Espectroscopia De Microondas Para El Análisis De Calidad De Productos Hortofrutícolas [Tesis para optar el título de ingeniería de las telecomunicaciones]. In Lima, noviembre. Pontificia Universidad Católica del Perú.

Ramos, M., Jordán, O., Marcial, J., & Salvá, B. (2019). Optimización de la formulación de cabanossi con carne de llama (Lama glama) y papa (Solanum tuberosum) mediante el diseño de mezclas. Revista de Investigaciones Altoandinas, 21(1), 15-28.

Reyes, M., Gómez-Sánchez, I., & Espinoza, C. (207). Tablas peruanas de composición de alimentos (Décima ed.). Lima: Ministerio de Salud, Instituto Nacional de Salud.

Rodríguez, R., Alfaro, S., & Jamanca, N. (2017). Transferencia de masa. Lima: Universidad Nacional de Barranca.

Rodriguez, R. A. (noviembre de 2017). Estudio de la Espectroscopía Dieléctrica para la Medición del Contenido de Humedad en Productos Alimenticios: UNIVERSIDAD DE PIURA.

Rosario, A., & Carrión, D. (2019). Adaptación de variedades Mejoradas de habas (Vicia faba) en condiciones Agroecológicas del Centro Poblado de Huaylasjirca Distrito de Yanahuanca. Yanahuanca: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

Sánchez, F. (2019). Fundamentos Epistémicos de la Investigación Cualitativa y Cuantitativa: Consensos y Disensos. Revista Digital de Investigación en Docencia Universitaria, 13(1), 102 -122. doi:d10.19083/ridu.2019.644

Siccha, D. B. (2015). Propiedades físicas y cinética de hidratación de Ñuña (Phaseolus Vulgaris) variedad “Unalm 19” [Universidad Nacional de Trujillo]. http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/4305/SICCHA REYES DEYCI BETZAIDA.pdf?sequence=3

Ulloa, J. A., Rosas-Ulloa, P., Ramírez-Ramírez, J. C., & Ulloa-Rangel, B. E. (2016). Modelación matemática de las cinéticas de hidratación a diferentes temperaturas de cuatro variedades de frijol (Phaseolus vulgaris L) producidas en México. CienciaUAT, 10(2), 52–62. https://doi.org/10.29059/cienciauat.v10i2.542

Velazco, K., & Vélez, J. (2008). Estudios de propiedades físicas de alimentos mexicanos durante la congelación y el almacenamiento. Revista Mexicana de Ingeniería Química, 7, 41–54.

Villalobos, L. (2023). Elaboración de mortadela a base de cerdo con sustitución parcial de Harina de Haba (Vicia faba L.), Lenteja (Lens culinaris) como mejorado proteico. Guayaquil: Universidad Agraria del Ecuador.

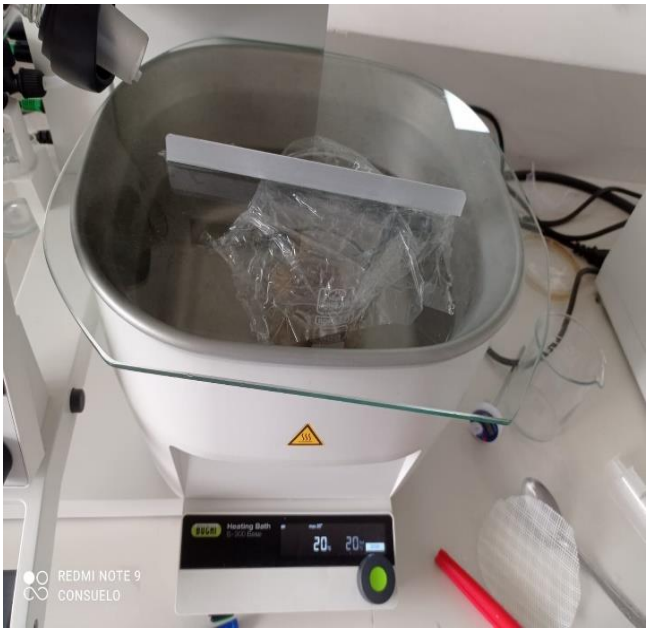
Zanella, E., Mújica-Paz, H., Soto-Caballero, M. C., Welti-Chanes, J., & Valdez-Fragoso, A. (2014). Quick hydration of tepary (Phaseolus acutifolius A. Gray) and pinto beans (Phaseolus vulgaris L.) driven by pressure gradients. LWT - Food Science and Technology, 59(2P1), 800–805. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.05.042

CAPÍTULO VII. ANEXOS

- **Selección de las habas**

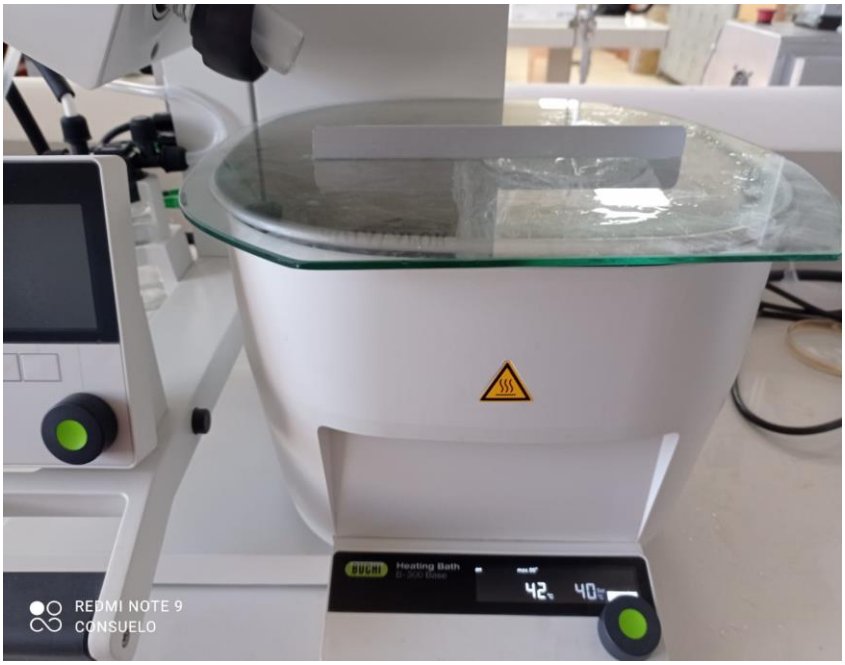
❖ **Acondicionamiento de las habas**

❖ **Hidratación de las habas a temperaturas de 20, 30 y 40 °C**



20°C

30°C



40 ºC

❖ Caracterización fisicoquímica

1. Determinación granulométrica

2. Medición de actividad de agua

3. Determinación de humedad

4. Determinación de ceniza

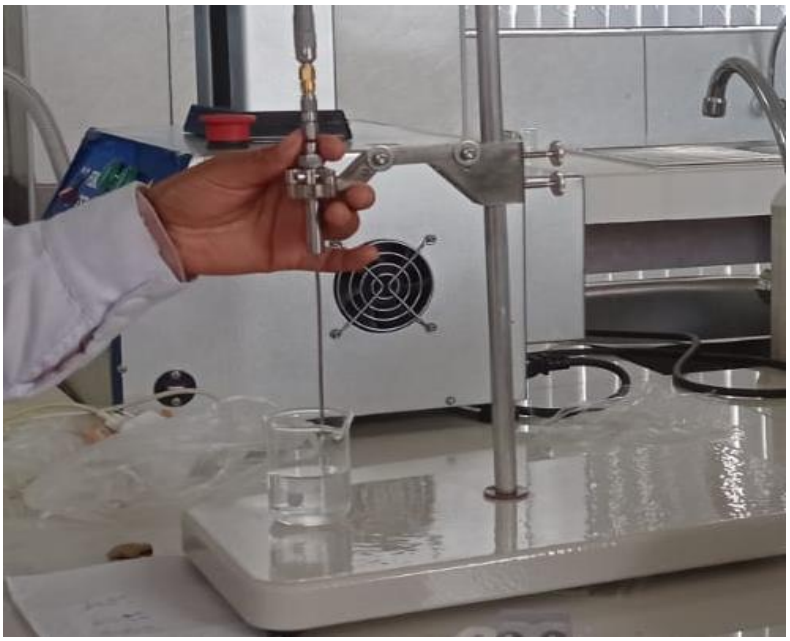
❖ **Medición de los espectros dieléctricos**

1. Calibración de equipo

Aire

Corto circuito

Agua destilada



2. Medición de las propiedades dieléctricas