



# Universidad Nacional Autónoma de Chota

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Unidad de Investigación

RESOLUCIÓN DE COORDINACIÓN N° 153-2023-FCA/UNACH

“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”



## 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 y la dureza del agua en la cinética de hidratación y propiedades dieléctricas de la arveja (*pisum sativum l.*) variedad blanca criolla**”; desarrollado por la **Bach. Flor De Lina Heredia Rojas** 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 24%** 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-UIFCAFDLHR: Efecto de la temperatura y la dureza del agua en la cinética de hidratación y propiedades dieléctricas de la arveja (pisum sativum L.) variedad blanca criolla

## INFORME DE ORIGINALIDAD

24%

INDICE DE SIMILITUD

23%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1 [www.revistas.unitru.edu.pe](http://www.revistas.unitru.edu.pe) Fuente de Internet 2%

2 [hdl.handle.net](http://hdl.handle.net) Fuente de Internet 2%

3 [www.repositorio.unach.edu.pe](http://www.repositorio.unach.edu.pe) Fuente de Internet 1%

4 [repository.lasallista.edu.co](http://repository.lasallista.edu.co) Fuente de Internet 1%

5 Submitted to Universidad Nacional Autonoma de Chota Trabajo del estudiante 1%

6 [repositorio.upeu.edu.pe:8080](http://repositorio.upeu.edu.pe:8080) Fuente de Internet 1%

7 [www.scielo.org.mx](http://www.scielo.org.mx) Fuente de Internet 1%

[dspace.unitru.edu.pe](http://dspace.unitru.edu.pe)

# ultrasonidos de alta intensidad en procesos de secado a baja temperatura.", Universitat Politecnica de Valencia, 2016

Publicación

122

[eprints.uanl.mx](http://eprints.uanl.mx)

Fuente de Internet

<1 %

123

[scienti.minciencias.gov.co](http://scienti.minciencias.gov.co)

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Activo

Similitud según fuente	
Índice de similitud	
<b>24%</b>	
Internet Sources:	23%
Publicaciones:	7%
Trabajos del estudiante:	7%

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



**“Efecto de la temperatura y la dureza del agua en la cinética de hidratación y propiedades dieléctricas de la arveja (*Pisum sativum L.*) variedad blanca criolla”.**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA  
AGROINDUSTRIAL**

**PRESENTADA POR:**

Bach. FLOR DE LINA HEREDIA ROJAS

**ASESOR:**

M. Sc. TONY STEVEN CHUQUIZUTA TRIGOSO

**COASESOR:**

Dr. HUBERT LUZDEMIO ARTEAGA MIÑANO

**CHOTA – PERÚ**

**2024**

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 026-2023/EPIA - FCA/UNACH

Siendo las 16:00 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 y la dureza del agua en la cinética de hidratación y propiedades dieléctricas de la arveja (*Pisum sativum* L.) variedad blanca criolla", integrado por:

1. Dr. Ricardo Abel Del Castillo Torres - Presidente
2. Ms. Augusto Antonio Mechato Anastasio - Secretario
3. MBA. José Felipe Garrido Julca - Vocal

Sustentada por la Bach. Flor de Lina Heredia Rojas, 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 la Bachiller, luego de deliberar, acuerda APROBAR la tesis, calificándola con la nota de DOCE

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.



Dr. Ricardo Abel Del Castillo Torres  
Presidente

Firmado en: Chota, 29 de diciembre del 2023.



Ds. Augusto Antonio Mechato Anastasio

Secretario



MBA. José Felipe Garrido Julca  
Vocal

## **DEDICATORIA**

A Dios, por el esfuerzo y sabiduría que me dio para cumplir mis metas.

A mi padre, Feliciano Heredia Irigoin, eres ejemplo de seguir adelante, por el apoyo constante, para poder culminar con mi informe final de tesis, te amo papá.

A mis hermanos, Carlos, Edilberto, Soimer, Aladino y Yoner Iván. Quienes son mi fortaleza y los que me aconsejan en todo tiempo.

A mis Hermanas, Elva, Rosa Nely y Yolanda, se desempeñaron como madres inculcando valores.

A mi esposo, Eckon Tonny Cabrera Medina, Con quien comparto mi proyecto de vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente, agradecer a Dios por concederme la vida y l salud, para continuar con el sueño trazado y asimismo a mi padre por apoyarme siempre en incondicionalmente, a mi madre, María Isabel Rojas Quintana, que en paz descansa, diste todo de tu esfuerzo con tu apoyo hasta la secundaria, mujer guerrera ejemplo a seguir.

Agradezco 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 propiedades físico químicas en frutas nativas y derivados de la región Cajamarca, usando propiedades dieléctricas”, con resolución de ganador “Resolución N°432-2018-C, O./ UNACH”, que a través de su 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.

Asesor: MSc. Tony Steven Chuquizuta Trigoso, por el seguimiento constante, hasta la culminación de mi informe final de tesis.

Coasesor: Dr. Hubert Luzdemio Arteaga Miñano.

## Índice de contenidos

<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>11</b>
1.1. Planteamiento del Problema .....	11
1.2. Formulación del Problema.....	12
1.3. Justificación .....	13
1.4. Objetivos.....	14
1.4.1. Objetivo General.....	14
1.4.2. Objetivos Específicos.....	14
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>15</b>
2.1. Antecedentes.....	15
2.2. Bases Teóricas - Científicas.....	19
2.2.1. La Arveja .....	19
2.2.2. Taxonomía .....	19
2.2.3. Composición Química .....	20
2.2.4. Clases Comerciales de Arveja en Cajamarca.....	20
2.2.5. Transferencia de Masa .....	22
2.2.6. Modelización de la Cinética de Hidratación .....	24
2.2.7. Importancia de las Propiedades Físicas en los Alimentos .....	25
2.2.8. Espectroscopia Dieléctrica.....	25
2.3. Marco Conceptual.....	28
2.4. Hipótesis .....	29
2.5. Operacionalización de las Variables.....	30
<b>CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO</b> .....	<b>31</b>
3.1. Tipo y Nivel de Investigación.....	31
3.2. Diseño de Investigación.....	31
3.2.1. Desarrollo experimental.....	32
3.3. Población, Muestra y Muestreo .....	34
3.3.2. Población.....	34
3.3.3. Muestra .....	34
3.3.4. Muestreo .....	34

3.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos .....	34
3.5. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos.....	35
3.5.5. Muestra de Granos de Arveja. ....	35
3.5.6. Acondicionamiento de la Muestra .....	35
3.5.7. Caracterización Granulométrica y Químico Proximal.....	35
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>	<b>41</b>
4.1. Descripción de Resultados.....	41
4.1.1. Caracterización Química Proximal y Granulométrica de Arveja Seca.....	41
4.1.2. Cinéticas de Hidratación y Espectros Dieléctricos de Arveja Variedad Blanca Criollo.....	42
4.1.3. Modelización de Cinéticas de Hidratación. ....	51
4.1.4. Efecto de la temperatura y dureza del agua en la humedad de equilibrio y el factor de pérdidas.....	55
4.2. Contrastación de Hipótesis .....	58
4.3. Discusión de Resultados .....	58
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>63</b>
<b>CAPÍTULO VI. REFERENCIAS.....</b>	<b>64</b>
<b>CAPÍTULO VII. ANEXOS.....</b>	<b>74</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> Taxonomía de la arveja.....	20
<b>Tabla 2</b> Componentes químicos en 100 g de arveja en estado seco. ....	20
<b>Tabla 3</b> Técnicas de medición de propiedades dieléctricas. ....	26
<b>Tabla 4</b> Matriz de operacionalización.....	30
<b>Tabla 5</b> Diseño factorial de superficie de respuesta para evaluar el efecto de la temperatura y dureza de agua en la cinética de hidratación de arveja seca .....	31
<b>Tabla 6</b> Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	35
<b>Tabla 7</b> Análisis de varianza para el diseño experimental $3^k$ .....	40
<b>Tabla 8</b> Análisis proximal de los granos de arveja pre y post hidratada.....	41
<b>Tabla 9</b> Análisis granulométrico de la arveja seca.....	42
<b>Tabla 10</b> Valores de la modelización de cinéticas de hidratación de granos de arveja seca	52

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> Clases comerciales de Arveja en Cajamarca. ....	22
<b>Figura 2</b> Esquema del espectro electromagnético.....	27
<b>Figura 3</b> Diseño experimental para la evaluación de la cinética de hidratación de arveja variedad blanca criolla. ....	32
<b>Figura 4</b> Cinéticas de hidratación de granos arveja a diferentes temperaturas y concentraciones de $\text{CaCO}_3$ .....	43
<b>Figura 5</b> Espectro del tratamiento T1 (20 °C y concentración de 25 ppm de $\text{CaCO}_3$ ) .....	44
<b>Figura 6</b> Espectro dieléctrico del tratamiento T2 (25 °C y concentración de 25 ppm de $\text{CaCO}_3$ ) .....	44
<b>Figura 7</b> Espectro dieléctrico del tratamiento T3 (30 °C y concentración de 25 ppm de $\text{CaCO}_3$ ) .....	45
<b>Figura 8</b> Espectro dieléctrico del tratamiento T4 (20 °C y concentración de 125 ppm de $\text{CaCO}_3$ ).....	46
<b>Figura 9</b> Espectro dieléctrico del tratamiento T5 (25 °C y concentración de 125 ppm de $\text{CaCO}_3$ ).....	46
<b>Figura 10</b> Espectro dieléctrico del tratamiento T6 (30 °C y concentración de 125 ppm de $\text{CaCO}_3$ ).....	47
<b>Figura 11</b> Espectro dieléctrico del tratamiento T7 (20 °C y concentración de 225 ppm de $\text{CaCO}_3$ ).....	48
<b>Figura 12</b> Espectro dieléctrico del tratamiento T8 (25 °C y concentración de 225 ppm de $\text{CaCO}_3$ ).....	48

<b>Figura 13</b> Espectro dieléctrico del tratamiento T9 (30 °C y concentración de 225 ppm de CaCO <sub>3</sub> ).....	49
<b>Figura 14</b> Espectro dieléctrico del tratamiento T10 (25 °C y concentración de 125 ppm de CaCO <sub>3</sub> ).....	50
<b>Figura 15</b> Espectro dieléctrico del tratamiento T11 (25 °C y concentración de 125 ppm de CaCO <sub>3</sub> ).....	50
<b>Figura 16</b> Espectro dieléctrico del tratamiento T12 (25 °C y concentración de 125 ppm de CaCO <sub>3</sub> ).....	51
<b>Figura 17</b> Modelización de granos arveja hidratadas según tratamientos establecidos.....	53

## Resumen

La investigación tuvo por objetivo evaluar el efecto de la temperatura y la dureza del agua en la cinética de hidratación y propiedades dieléctricas de arveja (*Pisum sativum* L.) variedad blanca criolla, de tal forma que, al obtener las características y modelización de la cinética de hidratación de granos de arveja, se desarrollen técnicas de optimización para el uso adecuado de recursos y energía. Las muestras de arveja fueron acondicionadas en bolsas de polietileno por un periodo de 10 días a 18 °C. A continuación, se realizó una caracterización granulométrica y determinación de la humedad y contenido de cenizas de las arvejas. Para la ejecución de la investigación se aplicó un diseño factorial de superficie de respuesta  $3^k$ ,  $k = 2$ , con 12 tratamientos. En el proceso de hidratación se colocaron un aproximado de 20 g de arveja en disoluciones con concentraciones de  $\text{CaCO}_3$  (25, 125 y 225 ppm), 300 ml de agua y temperaturas de 20, 25, 30 °C por un periodo de 12 horas. En cada tratamiento, la cinética de hidratación se realizó mediante la medición de la humedad y determinación de las propiedades dieléctricas, en la frecuencia de 0,5 a 9 GHz, en los granos de arveja cada 30 minutos durante las primeras 2 horas y cada 1 hora en las horas restantes. Los resultados obtenidos mostraron que los tratamientos T6, T8, T9 y T12 tuvieron cinéticas de hidratación con mayor tasa inicial de absorción de agua entre  $0,3427 \times 10^{-2}$  y  $0,4792 \times 10^{-2}$   $\text{gH}_2\text{O/gss min}$ . El modelo de Peleg obtuvo excelentes ajustes en relación a los datos experimentales con  $R^2 > 0,99$  y  $\text{NRMSE} < 0,13$ . En cuanto a los resultados estadísticos mostraron que la variación de temperatura y cantidad de carbonato de calcio no presentan diferencias significativas en la hidratación final de los granos. Por tal motivo, sería recomendable desarrollar investigaciones similares teniendo en cuenta la densidad aparente de los granos.

**Palabras clave:** espectroscopía dieléctrica, modelo de Peleg, cinética de hidratación, dureza de agua.

## Abstract

The objective of the research was to evaluate the effect of temperature and water hardness on the hydration kinetics and dielectric properties of peas (*Pisum sativum* L.) of the Criollo white variety, so that, by obtaining the characteristics and modeling the hydration kinetics of pea grains, optimization techniques can be developed that allow the adequate use of resources and energy. The pea samples were conditioned in polyethylene bags for a period of 10 days at 18 °C. Next, a granulometric characterization and determination of the moisture and ash content of the peas was carried out. A 3k response surface factorial design,  $k = 2$ , with 12 treatments was applied for the execution of the research. In the hydration process, approximately 20 g of peas were placed in solutions with  $\text{CaCO}_3$  concentrations (25, 125 and 225 ppm), 300 ml of water and temperatures of 20, 25, 30 °C for a period of 12 hours. In each treatment, the kinetics of hydration was carried out by measuring the humidity and determining the dielectric properties, at a frequency of 0.5 to 9 GHz, in the pea grains every 30 minutes during the first 2 hours and every 1 hour in the remaining hours. The results obtained showed that treatments T6, T8, T9 and T12 had hydration kinetics with higher initial absorption rate between  $0.3427 \times 10^{-2}$  and  $0.4792 \times 10^{-2}$  gH<sub>2</sub>O/gss min. The Peleg model obtained excellent fits to the experimental data with  $R^2 > 0.99$  and  $\text{NRMSE} < 0.13$ . The statistical results showed that the variation of temperature and amount of calcium carbonate did not present significant differences in the final hydration of the grains. For this reason, it would be advisable to develop similar investigations taking into account the apparent density of the grains.

**Keywords:** dielectric spectroscopy, Peleg model, hydration kinetics, water hardness.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Planteamiento del Problema

La arveja (*Pisum sativum L.*) es una leguminosa, oriunda de Asia (la cuenca del mediterráneo o Etiopía) y tiene un consumo promedio por habitante a nivel mundial de 6 kg/año (Calzada y Treboux, 2019). A lo largo del año 2019, se ha cultivado alrededor de 2,78 millones de hectáreas y se ha cosechado 21,77 millones de toneladas de arveja a nivel mundial; los países con mayor producción de esta legumbre son China (11,3 Mt), India (5,56 Mt), Francia (0,28 Mt), Estados Unidos (0,23 Mt) y Argelia (0,20 Mt)(FAO, 2021).

Perú, cuenta con 80,340 ha destinadas al cultivo de arveja, dicha extensión le ha permitido ocupar el noveno puesto a nivel mundial, posee una producción cercana a 130 mil toneladas de arveja seca y verde por año. Entre las principales regiones productoras de arveja a nivel nacional, se encuentran: Cajamarca (28,3 %), La Libertad (19,1 %), Cusco (9,1 %), Ayacucho (8,4 %), Piura (7,9 %) y Huancavelica (7,8 %)(Ruiz, 2019).

En los últimos años, la arveja ha sido considerada como una gran fuente de nutrientes (Urbano et al., 2005, p. 230), por su contenido de proteínas (17 -22 %) (lisina, alanina, cistina y tirosina) (Fernández y Guivar, 2016); vitaminas (A, E y K), minerales (fósforo, calcio, potasio y sodio) y carbohidratos (18,8 %)(Reyes-García, 2017). El consumo de arvejas se puede dar de manera procesada como: harina, enlatados y congelados; en estado de madurez verde: en guiso y ensaladas; y en grano seco en forma de menestras previamente cocidas (Paolilli et al., 2021). Si consideramos la ventaja de este último, consiste en preservar el alimento al disminuir la humedad, lo que impide el desarrollo de microorganismos, reduce los procesos de degradación y evita la necesidad de emplear sustancias químicas como conservantes o aditivos. (Krokida y Philippopoulos, 2005).

La hidratación constituye un procedimiento complejo que busca recuperar las características estructurales iniciales del material fresco. Esto implica poner en unión el

producto desecado con el agua, lo que da lugar a variados resultados en relación a la la calidad del agua empleada y temperatura en esta acción (ciertos alimentos tienden a endurecerse al cocinarse con agua de alta mineralización). (Paredes et al., 2012). Asimismo, Además, la existencia de iones de calcio en la solución de hidratación suele alterar a las moléculas de la leguminosa, en especial a los carbohidratos, formando una estructura impermeable al agua y por ende afectan a la cinética de hidratación (Traynham et al., 2007).

Para el consumo de arveja seca, es necesario hidratar los granos para restaurar su estructura física o mecánica, eliminar ciertos agentes toxico de cadena corta como rafinosa, estaquiosa y verbascosa (Hayat et al., 2014), así como ablandamiento para mejorar la operación de cocción y otros procesos agroalimentarios en beneficio de la arveja seca (Serna et al., 2019)

No obstante, a pesar de numerosas investigaciones previas sobre el proceso de hidratación en las arvejas, que emplearon el modelo de Peleg para describir la cinética de hidratación (Agudelo y Franco, 2009; Cerón et al., 2015; Jacques-Fajardo et al., 2017), existe una falta de conocimiento acerca de la etapa de latencia de hidratación en algunas semillas, como se ha señalado en el estudio de Ulloa et al. (2016), especialmente en la variedad local como la arveja blanca criolla de la ciudad de Chota. Además, se enfrenta la dificultad de controlar adecuadamente las variables de operación, como el tiempo de remojo (hidratación) y la calidad del agua (pH, dureza del agua, temperatura), que afectan a la cinética de hidratación (Serna et al., 2019) y propiedades dieléctricas de arvejas.

Por lo tanto, es necesario conocer el efecto de la temperatura y dureza del agua en el estudio de la cinética de hidratación y propiedades dieléctricas de la arveja blanca criolla.

## **1.2. Formulación del Problema**

¿Cuál es el efecto de la temperatura y la dureza del agua en la cinética de hidratación y propiedades dieléctricas de arveja (*Pisum sativum* L.) variedad blanca criolla?

### 1.3. Justificación

La arveja es considerada una legumbre muy importante y es producida en la provincia de Chota siendo un alimento indispensable en la dieta alimentaria. La arveja contiene altos niveles de proteínas (17 -22 %) (lisina, alanina, cistina y tirosina) (Fernández y Guivar, 2016); vitaminas (A, E y K), minerales (fósforo, sodio, calcio y potasio) y carbohidratos (18,8 %) (Reyes, 2017). Tal es así que esta legumbre posee compuestos bioactivos con importantes beneficios para la salud de los seres humanos, previniendo problemas de salud crónicos como el sobrepeso, acumulación de azúcar en la sangre, trastornos cardíacos y problemas cancerígenos.

La presente investigación referida al estudio del efecto de la temperatura y la dureza del agua en la cinética de hidratación y propiedades dieléctricas de arveja (*Pisum sativum* L.) variedad blanca criolla, se fundamenta en la importancia que tiene la cinética de hidratación de arveja para su posterior aprovechamiento, y las ventajas que brinda como la reducción del tiempo de cocción, reduce las pérdidas de proteínas y componentes nutricionales, así como también favorece a la obtención de un producto de mejor calidad.

Además, con los parámetros cinéticos de hidratación de la arveja obtenidos se puede estimar el tiempo de hidratación a una cierta temperatura que permita la mejor programación de las operaciones posteriores como: molienda, cocción, germinación, entre otros. Por otro lado, es posible relacionar la humedad contenida en el alimento con las propiedades dieléctricas de la arveja lo que permite tener modelos con parámetros no destructivos como las propiedades dieléctricas, posibilitando el seguimiento rápido de hidratación en línea de procesos.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. *Objetivo General***

Evaluar el efecto de la temperatura y la dureza del agua en la cinética de hidratación y propiedades dieléctricas de arveja (*Pisum sativum* L.) variedad blanca criolla.

### **1.4.2. *Objetivos Específicos***

- Establecer la composición químico proximal de arveja seca y su granulometría
- Obtener las curvas de hidratación y espectros dieléctricos de arveja variedad blanca criolla, de cada tratamiento.
- Modelizar las cinéticas de hidratación de arveja variedad blanca criolla.
- Evaluar el efecto de la temperatura en la humedad de equilibrio y el factor de pérdidas.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

Flores (2019) examinó la rapidez de absorción de agua de los guisantes *Pisum sativum* L a cuatro distintas temperaturas (25, 35, 45 °C y 55 °C) a lo largo de doce intervalos de tiempo variados, cada uno de ellos repetido en dos ocasiones (dos repeticiones para cada temperatura). Los resultados obtenidos señalaron que los modelos de Gompertz, Peleg y Page son capaces de describir el proceso de absorción de agua de este producto en el rango de temperaturas que va desde 25 °C hasta 55 °C. Además, se encontró que las ecuaciones de Arrhenius y exponencial son adecuadas para explicar cómo la temperatura influye en la constante de Page (Kp) y en su valor de velocidad R (Kp 1/n). En resumen, los modelos de Peleg y Page demostraron ser los más adecuados para predecir el proceso de absorción de agua en relación con la temperatura. Esto se debe a que presentan ajustes satisfactorios, con valores de R<sup>2</sup> superiores a 0,906 y un error cuadrático medio (RMSE) inferior al 5 %.

En otro estudio, Cerón et al. (2016) investigaron la rapidez con la que las semillas de guisante (*Pisum sativum* L.) variedades San Isidro y Sureña toman agua. Para esto, llevaron a cabo el proceso de rehidratación a tres temperaturas diferentes (6, 18 °C y 30 °C), utilizando una proporción de una parte de semillas por cada cuatro partes de agua (p/v). Se realizaron mediciones en intervalos de 0, 3, 6, 9, 12 y 24 horas. La influencia de la temperatura se evaluó observando cómo se adsorbe el agua, y para entender cómo sucede el proceso de hidratación, se aplicaron los modelos Exponencial y Peleg. La capacidad para retener agua acrecentó al aumentar la temperatura del agua. Los modelos utilizados lograron describir de manera adecuada cómo ocurre la hidratación de agua. Tanto la tasa de difusión como los parámetros cinéticos experimentaron cambios en función de la temperatura. Al utilizar la ecuación de Arrhenius para su análisis, se determinaron valores de energía de activación de 17,24 kJ/mol para la variedad San Isidro y 9,25 kJ/mol para la variedad Sureña.

Cerón (2016) determinó la capacidad de absorción de agua en arvejas (*Pisum Sativum* L.) a distintas condiciones de almacenamiento (6, 18 °C y 30 °C). Para llevar a cabo el experimento, se utilizó agua destilada en una proporción de una parte de semillas por cada cuatro partes de agua (p/v). Esto se realizó durante un período de 24 horas, y se tomaron mediciones en intervalos de 0, 3, 6, 9, 12 y 24 horas. Para este propósito, se emplearon los modelos Exponencial y Peleg, los cuales describieron de manera efectiva cómo se produce la absorción de agua. La velocidad de difusión y los factores cinéticos mostraron variación en relación con la temperatura. Además, el aumento en la humedad causó un incremento en el peso y la porosidad de las semillas, mientras que la esfericidad y la densidad verdadera y aparente disminuyeron. Se observaron resultados estadísticamente significativos respecto al efecto de la temperatura sobre la tasa de rehidratación de semillas de guisante (*Pisum sativum* L.). De todos los modelos evaluados, el modelo exponencial demostró corregir adecuadamente las curvas de rehidratación experimentales, apoyando su uso. Además, el modelo de Peleg describió con precisión la tasa de absorción de agua tanto para San Isidro a 18 °C y 30 °C como para Sureña a 30 °C.

Además, Ulloa et al. (2016), junto con sus colegas en el mismo año (Ulloa y colaboradores, 2016), llevaron a cabo investigaciones sobre las tasas de absorción de agua destilada en diferentes variedades de frijoles (*Phaseolus vulgaris* L.). Para dicho estudio sometieron a los frijoles a tres temperaturas diferentes (25, 40 °C y 55 °C). Utilizaron los modelos Peleg y Sigmoidal en sus análisis. Sus conclusiones destacaron que el modelo de Peleg fue el que mejor se ajustó a las características generales de las diversas variedades de frijoles y las temperaturas de remojo. Los resultados indicaron que los valores de  $k_1$  del modelo de Peleg para cada una de las variedades de frijoles analizadas en función del recíproco de la temperatura se adaptaron de manera satisfactoria a la ecuación de Arrhenius ( $R^2 = 0,9190 -$

0,9980). Asimismo, la energía de activación para el proceso de hidratación varió entre 18,41 kJ mol<sup>-1</sup> y 50,18 kJ mol<sup>-1</sup>, dependiendo de la variedad de frijol en cuestión.

Paredes et al. (2012) realizaron un análisis para determinar cómo la temperatura (que varió entre 5 °C y 40 °C) y la dureza del agua (con concentraciones de 87,9 ppm a 600 ppm) afectaban la rehidratación de los frijoles caballero (*Phaseolus vulgaris*). Con este propósito, utilizaron un diseño compuesto de centro giratorio (CRCD) y encontraron que la temperatura y la dureza del agua tenían una influencia positiva en el aumento de peso durante la fase de rehidratación del frijol. También calcularon las constantes  $k_1$  (s kg H<sub>2</sub>O/kg m s) y  $k_2$  (kg H<sub>2</sub>O/kg m s) del modelo de Peleg. Observaron que el modelo de Peleg, que es específico para cada temperatura y nivel de dureza del agua, mostró una fuerte correlación tanto con la temperatura como con la dureza del agua en términos de aumento de peso. En este estudio, se observó que a medida que aumentaba la temperatura del agua de remojo, la tasa de transferencia de agua ( $k_1$ ) disminuía. Una imagen similar surgió con la capacidad de saturación para la absorción de agua ( $k_2$ ). Tanto  $k_1$  como  $k_2$  muestran diferente comportamiento dependiendo de la concentración de agua de diferente dureza.

Rodriguez-Arisméndiz (2017) en su estudio sobre la espectroscopia dieléctrica aplicada para evaluar el contenido de humedad en productos alimenticios como café y harina de pescado, se determinó que esta técnica puede ser utilizada de manera efectiva para determinar el nivel de humedad en diversos productos agroalimentarios a nivel regional y nacional. Una de las aplicaciones principales de esta técnica es medir el contenido de humedad (CH) en sustancias sólidas y productos procesados, incluyendo alimentos en forma de gránulos o polvo, como es el caso de los cereales. Esto es posible debido a que las moléculas de agua afectan la propiedad de polarización molecular. La investigación concluyó que una de las ventajas significativas de esta técnica es su capacidad para medir instantáneamente el contenido de humedad (CH), lo que posibilita la implementación de sistemas de control en procesos de

fabricación, utilizando el contenido de humedad como parámetro regulador. La implementación de este enfoque puede tener consecuencias muy relevantes, como el ahorro de energía en los procesos de producción.

En cuanto a estudios previos donde se utiliza la espectroscopia dieléctrica para determinar la humedad en alimentos, se tiene la investigación de Li et al. (2003) realizada para determinar la humedad en masa de galletas. Para ello realizaron experimentos con un sensor dieléctrico de anillo concéntrico en el rango de frecuencia de 10 Hz a 10 kHz. donde se determina la dependencia funcional de la capacitancia del contenido de humedad. Con este estudio se pudo obtener un sistema que permite la detección del contenido de humedad en línea como la obtención de imágenes del perfil de distribución de la humedad.

Por su parte, Soltani y Alimardani (2011) mediante el uso de un capacitor cilíndrico midieron la constante dieléctrica de las semillas para determinar la constante dieléctrica y su relación con el contenido de humedad de los granos del guisante y guisante ojo negro. Las propiedades se determinaron a cuatro niveles de contenido de humedad entre 20 °C – 60 °C, y a frecuencias de 10 MHz-1800 MHz. Los resultados obtenidos revelaron que la constante dieléctrica es altamente dependiente del contenido de humedad. Los mejores resultados se obtuvieron a una frecuencia de 1 MHz para guisantes y guisante de ojos negros con un  $R^2$  de 0,994 y 0,999 respectivamente.

Asimismo, McKeown et al. (2012) determinaron las propiedades dieléctricas de las cebollas *Vidalia* cultivadas en el sureste de Georgia mediante el uso de una sonda de línea coaxial de extremo abierto y un analizador de red en el rango de 200 MHz a 20 GHz. Analizaron la dependencia de la frecuencia y la dependencia de la humedad de las propiedades dieléctricas para contenidos de humedad entre 8 % y 91 %. Los resultados obtenidos en esta investigación, mostraron una alta correlación entre el contenido de humedad y la constante dieléctrica a frecuencias más altas para todo el rango de humedad. Como resultados probaron

el uso de una función independiente de la densidad que incorpora tanto la constante dieléctrica como el factor de pérdida en múltiples frecuencias y rangos de humedad con lo cual tuvieron una alta precisión ( $R^2 = 0,99$ ) hasta un 40 % de contenido de humedad.

García-Pascual et al. (2006) evaluaron el proceso de rehidratación de *Morchella esculenta* (morel), para ello utilizaron agua destilada a diferentes temperaturas (15, 20, 25, 30, 45, 55 °C y 70 ° C). Consideraron tres modelos que describieron el proceso de rehidratación correctamente: un modelo de difusión y dos ecuaciones empíricas, Peleg y Weibull. Los parámetros cinéticos de los modelos dependían de la temperatura. Esta influencia se describió en términos de la relación de Arrhenius. La energía de activación promedio para los tres modelos fue de 1,592 kJ kg<sup>-1</sup>.

## **2.2. Bases Teóricas - Científicas**

### **2.2.1. La Arveja**

La *Pisum sativum L.*, llamada comercialmente como arveja, desempeña un papel de gran relevancia en la alimentación de comunidades con recursos limitados, tanto en áreas urbanas como rurales. Esto se debe a la abundante presencia de proteínas, carbohidratos, vitaminas y minerales en sus granos. En la región de la sierra central, este cultivo se establece en una variedad de zonas agroecológicas y microclimas. Además, su presencia en las rotaciones de cultivo no solo contribuye a fijar nitrógeno atmosférico, sino que también actúa como agente de mejora para la calidad del suelo en prácticas agrícolas. (Pinillos, 2009).

### **2.2.2. Taxonomía**

A continuación, en la Tabla 1 se presenta la descripción taxonómica de la arveja.

**Tabla 1***Taxonomía de la arveja.*

<b>Clasificación taxonómica</b>	
Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta (Angiospermas)
Clase:	Dicotiledónea
Orden:	Fabales
Familia:	Fabaceae (Leguminosae)
Género:	Pisum
Nombre científico:	<i>Pisum sativum</i> L
Nombre común:	Arveja, alverja, guisante, chícharo

*Nota.* Descripción taxonómica de la arveja**2.2.3. Composición Química**

La arveja posee una importante fuente de nutrientes como las proteínas y carbohidratos y otros componentes que se muestran a continuación en la Tabla 2.

**Tabla 2***Componentes químicos en 100 g de arveja en estado seco.*

<b>Composición</b>	Alasino (2009)	Rodríguez (2010)	Fernández y Guivar (2016)
Agua (%)	10	13,8	11,2
Proteína (%)	22,6	17	20,7
Grasa total (%)	-	1,5	1,8
Carbohidratos (%)	-	60,1	-
Fibra cruda (%)	5,5	6,4	5,1
Ceniza (%)	3,3	3,1	2,5

**2.2.4. Clases Comerciales de Arveja en Cajamarca.**

Las clases comerciales de arveja están compuestas por variedades que comparten características similares, como el color, la forma, el tamaño y el brillo de sus granos. Este

concepto se adapta a los deseos y requisitos de los consumidores, y se utiliza para simplificar el proceso de comercialización en los mercados. En la región de Cajamarca, las variedades más ampliamente cultivadas incluyen "Blanca criolla", "Usui", "Azul" y "Crema rugosa" (Valladolid, 2016).

La arveja de clase comercial "Blanca Criolla" presenta granos de color crema claro opaco, de forma esférica y textura lisa, cultivada principalmente en el departamento cajamarquino y demás zonas productoras. Esta categoría está compuesta por diversas variedades que abarcan introducciones sin identificación, mejoras desarrolladas por el INIA y selecciones ofrecidas por proveedores privados como HORTUS y FARMEX. También se le conoce comúnmente como "Cuarentona", "Blanca", "Alverja crema" y "Yellow peas" (Valladolid, 2016)

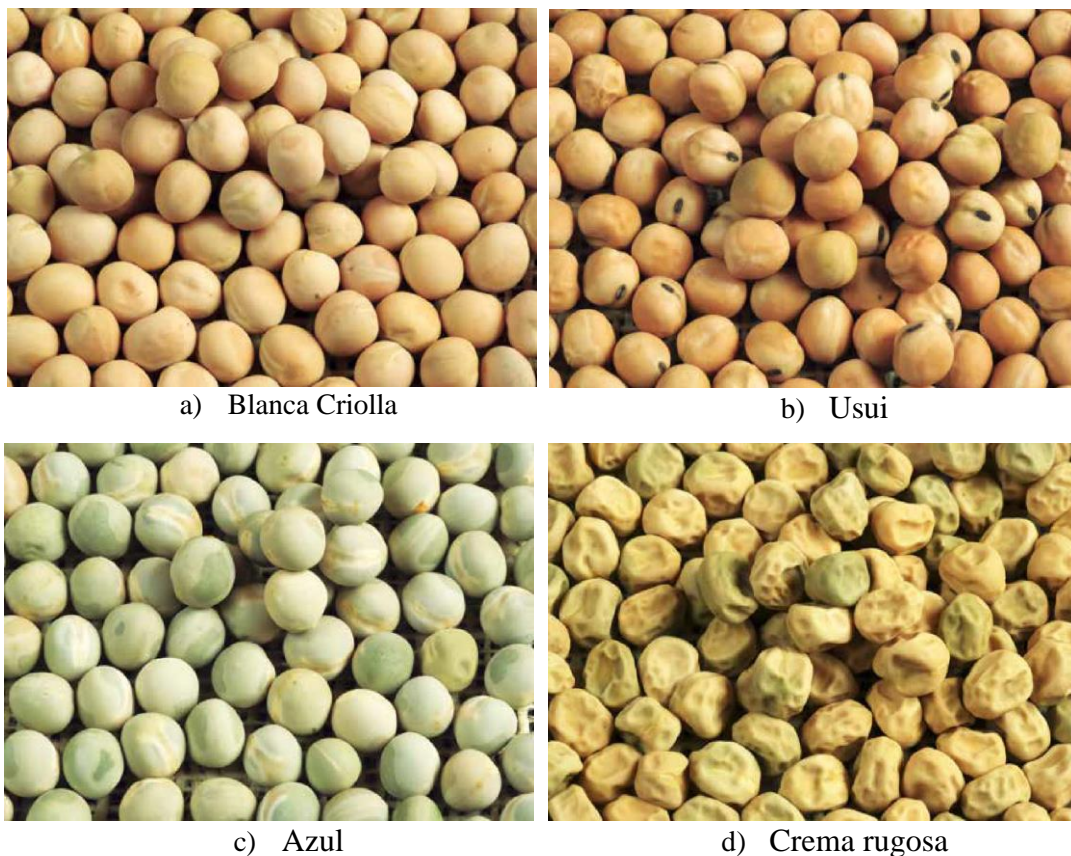
La Arveja de clase comercial "Usui" presenta granos de color crema opaco y se caracteriza por el hilum negro presente en sus granos, de forma esférica y textura lisa. Presenta una excelente capacidad para adaptarse a diversas condiciones agroecológicas, mostrando un alto potencial de producción y mostrando resistencia a enfermedades. Es especialmente valorada por su idoneidad en la cosecha de granos verdes. Es también reconocida con los nombres de "Arveja ojo negro" y "musho negro" (Valladolid, 2016).

La variedad de arveja "Azul", clasificada dentro de la categoría comercial, es otro tipo de arveja ampliamente difundida y apreciada por su sabor ligeramente dulce cuando se encuentra en estado de grano verde. Sus granos presentan un tono verde azulado opaco, una forma esférica y una textura suave. Esta variedad específica, asociada a la clase comercial "azul", es especialmente popular en zonas como Cajabamba y San Pablo, así como en otras áreas productoras de la región montañosa. Es conocida de manera común como "arveja azul", "Palomera" en Cajamarca y también como "Green peas" (Valladolid, 2016).

La variedad de arveja "Crema rugosa", exhibe granos de tono crema opaco, con una forma esférica y una textura rugosa. Este tipo de arveja está destinado principalmente para la cosecha cuando los granos aún están en su etapa verde. En esta fase, los granos son de tamaño considerable y presentan una apariencia atractiva. Sin embargo, una vez que están secos, adquieren una superficie rugosa que dificulta su comercialización. Comúnmente se le conoce como "arveja crema" (Perú) y "Yellow peas" (Valladolid, 2016). En la Figura 1 se muestran las diferentes variedades de arveja.

### Figura 1

*Clases comerciales de Arveja en Cajamarca.*



*Nota.* variedades de arvejas en Cajamarca obtenida de Valladolid, (2016)

#### 2.2.5. *Transferencia de Masa*

La transferencia de masa es un proceso en el que las moléculas de una sustancia se mueven al azar para igualar la concentración en un medio. Este proceso puede ser impulsado por varias fuerzas, siendo la más común el gradiente de concentración. Sin embargo, también

puede ser resultado de gradientes de presión, de temperatura o de fuerzas externas que actúan sobre las especies químicas que conforman la mezcla (Lobo, 2007).

**2.2.5.1. Transferencia de masa en una fase estacionaria.** El análisis del traspaso de masa en una fase estable se fundamenta en la determinación del perfil de concentraciones, el flujo difusivo y el flujo molar de un soluto. En otras palabras, implica identificar cómo cambia espacialmente la concentración del soluto dentro de la película y cuánto del soluto se difunde a través de esta. Para lograrlo, se emplea la Ecuación 1, que se basa en la ley de conservación de la materia, en conjunto con la ley de Fick. (Lobo, 2007).

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

Donde:

$J_1$ = flux difusivo, (Kg/m<sup>2</sup> s)

$D$ = Coeficiente de difusión, (m<sup>2</sup> /s)

$dC$ =Diferencial de concentración, (Kg/m<sup>3</sup>)

$dz$ = Distancia de recorrido (m)

En la ecuación no se muestra la variable tiempo.

**2.2.5.2. Transferencia de masa en estado transitorio.** Cuando se habla de sistemas en régimen transitorio, estamos hablando de sistemas dinámicos, es decir que su comportamiento varía con el tiempo. A pesar de que la formulación matemática del estado transitorio resulta más intrincada, su investigación resulta fundamental para establecer los cimientos que permitan comprender la dinámica de los sistemas de transferencia de masa (según se describe en la Ecuación 2), con el propósito de anticipar su conducta y, cuando proceda, ajustarla para propósitos beneficiosos. Este análisis se apoya en la ecuación de difusión de Fick. (Lobo, 2007).

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_{ef} \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad \text{Ecuación 2}$$

Dónde:

C: concentración.

t: tiempo.

Def: coeficiente de difusión efectiva o aparente.

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

Para los siguientes supuestos y condiciones límites de contorno:

$C = C_0$  a  $t = 0$   $-a < x < +a$  donde  $a$  es la mitad del borde del material (placa, cubo, etc.)  
y  $C_0$  es la concentración inicial.

$C = C_1$  en  $t > 0$   $x = \pm a$  donde  $C_1$  es la concentración en el líquido en el tiempo  $t_1$ .

### 2.2.6. Modelización de la Cinética de Hidratación

#### A. Ecuación de Peleg

Es uno de los modelos ampliamente utilizado para predecir la absorción de agua en alimentos y también se ha aplicado para describir las variaciones en la humedad durante procesos de hidratación y secado, es el modelo empírico más utilizado para describir el fenómeno de hidratación en alimentos y consiste en un modelo de dos constantes (Corzo et al., 2008). Dicho modelamiento se calcula tomando en cuenta la Ecuación 3.

$$M_t = M_0 + \frac{t}{K_1 + K_2 t} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

$M_t$ = Masa en el tiempo (g)

$M_0$ = Masa inicial (g)

t= tiempo de hidratación (min)

$K_1$ = Constante de velocidad de Peleg (s.kg H<sub>2</sub>O/kg m.s)

$K_2$ = Constante de capacidad de Peleg (kgH<sub>2</sub>O/kg m.s)

### **2.2.7. *Importancia de las Propiedades Físicas en los Alimentos***

Las propiedades físicas de los alimentos permiten conocer la medida, control y correlación con otras propiedades físico-químicas que intervienen en operaciones de transformación y conservación, de tal forma se puede realizar el diseño o selección de equipos y procesos para la industria alimentaria.

### **2.2.8. *Espectroscopia Dieléctrica***

La espectroscopia dieléctrica es una técnica que permite determinar de manera no destructiva la cantidad de humedad en los alimentos, al detectar las propiedades dieléctricas del material. Esta técnica mide además la interacción de un campo eléctrico con la muestra, y la propiedad dieléctrica que describe esta interacción es la permitividad compleja ( $\epsilon^*$ ), que está compuesta por una parte real denominada constante dieléctrica ( $\epsilon'$ ) y una parte imaginaria llamada factor de pérdida ( $\epsilon''$ ). La constante dieléctrica está relacionada con la capacitancia del material para almacenar energía, mientras que el factor de pérdida dieléctrica está vinculado retención y liberación de la energía del campo eléctrico convertidos en otras formas de energía (Fito et al., 2010).

#### **2.2.8.1. *Técnicas de obtención de propiedades dieléctricas.***

Actualmente, existen diversas técnicas para medir las propiedades dieléctricas de diversos materiales que se han desarrollado a lo largo de las últimas décadas. Las técnicas de medición apropiadas para una aplicación particular van a depender de la frecuencia a aplicar, la naturaleza física y eléctrica del material dieléctrico que se mide y el nivel de precisión requerido. La Tabla 3 muestra los principales métodos para medir las propiedades dieléctricas. (Khaled et al., 2015)

**Tabla 3***Técnicas de medición de propiedades dieléctricas*

<b>Técnica</b>	<b>Descripción</b>	<b>Rango de frecuencia</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Platos paralelos	El material debe colocarse entre dos electrodos para formar un condensador. Es recomendable para materiales con capacidad para formarse como una hoja plana lisa	<100 MHz	Económico, alta precisión	Rango de frecuencia limitado, muestra de hoja muy delgada (<10 mm de espesor)
Sonda coaxial	Una línea coaxial cortada formando un límite plano en contacto con los alimentos. Se necesita un analizador de vectores para medir la reflexión. Recomendable para sustancias líquidas o semi-sólidos	200 MHz–20 GHz, aún >100 GHz	Fácil de usar, no destructivo para algunos materiales, no se requiere preparación de muestras	Precisión limitada ( $\pm 5\%$ ). Resolución de pérdida baja, muestras grandes y sólidos deben mostrar una superficie plana
Circuito agrupado	La muestra es parte del aislante en un circuito agrupado. Adecuado para todos los materiales a excepción de los gases	<100 MHz	Se pueden medir materiales líquidos y sólidos	Rango de frecuencia limitado, no apto para materiales de muy baja pérdida
Línea de transmisión	La muestra en forma de ladrillo llena la sección transversal de la línea de transmisión cerrada y provoca una alteración de la impedancia. Recomendable para líquidos y sólidos	<100 MHz	Más precisa y sensible que el método de la sonda.	Menos precisión que los resonadores, la preparación de la muestra es difícil y requiere mucho tiempo
Resonador de cavidad	La muestra se introduce en la cavidad, lo que afecta la frecuencia central y el factor de calidad de la cavidad del resonador. Adecuado para sólidos	1 MHz–100 GHz	Fácil preparación de muestras, adaptable a una amplia gama de temperaturas	No se proporcionan datos de frecuencia de banda ancha y el análisis puede ser complejo
Espacio libre	Las antenas se utilizan para dirigir un haz de MW hacia o a través del material. Un analizador de redes vectoriales mide los coeficientes de reflexión y transmisión de sólidos. Adecuado para sólidos	Rango de MW	No destructivo, se puede utilizar a altas temperaturas	Se requiere una gran muestra plana, delgada, de caras paralelas y una calibración especial
Espectroscopia en el dominio del tiempo	Pulsos cortos de radiación THz dentro de un esquema de generación y detección que es sensible al efecto tanto de la amplitud como de la fase de la radiación. Ideal para productos homogéneos	10 MHz–10 GHz.	Medición rápida y de alta precisión, muestra pequeña	Costoso

*Nota.* Técnicas de obtención de propiedades dieléctricas obtenida de (Khaled et al., 2015b).

### 2.2.8.2. Rangos de determinación de propiedades dieléctricas.

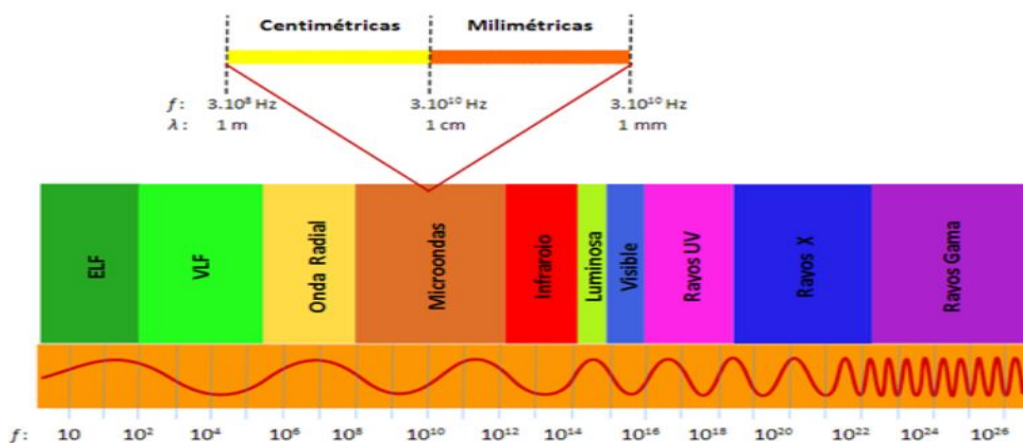
Los espectros dieléctricos se pueden obtener fácilmente utilizando un espectrómetro de dominio de frecuencia automatizado con alta precisión en el rango de frecuencia de 1 Hz a 10 GHz. De esta manera se pueden aplicar los instrumentos antes mencionados que proporcione valores confiables de los parámetros eléctricos requeridos que involucren el material desconocido en el rango de frecuencia de interés. Pudiendo utilizar frecuencias de radio o microonda (Khaled et al., 2015).

Las características dieléctricas en las gamas de microondas y radiofrecuencia están emergiendo como una técnica de control. Esta metodología se utiliza para obtener información valiosa sobre las transformaciones que tienen lugar en los sistemas biológicos al ser expuestos a diversos procesos. Esta es una herramienta prometedora ya que las radiaciones que interactúan con los seres biológicos no tienen la suficiente energía fotónica como para inducir la ionización de la materia o alterar la configuración electrónica, dado su contacto con estos sistemas biológicos (Merletti, 2016); por ejemplo, en la elaboración de productos alimenticios (Velázquez, 2014).

La Figura 2 muestra las regiones del espectro electromagnético correspondientes a las radiofrecuencia y microondas (Castillo et al., 2014).

**Figura 2**

*Esquema del espectro electromagnético*



Nota. Obtenido de (Castillo-Aranibar et al., 2014).

### 2.3. Marco Conceptual

- ***Dureza del agua:*** El término "dureza del agua" se refiere a la proporción de minerales, específicamente sales de magnesio y calcio, presentes en una determinada cantidad de agua. El agua que a menudo se denomina "agua dura" contiene altas concentraciones de estas sales, mientras que el "agua blanda" contiene una cantidad significativamente menor de las mismas (FACSA, 2016).
- ***Cinética de hidratación:*** Este parámetro cuantifica la rapidez con la que ocurre la transferencia de sustancias durante el proceso de hidratación. Por lo general, al principio de la hidratación, el agua es absorbida de manera más veloz, disminuyendo progresivamente esta velocidad para finalmente alcanzar un punto de equilibrio. En este punto, todos los espacios internos o entre las células están completamente saturados con agua (Melquíades et al., 2009).
- ***Raíz de la desviación cuadrática media (RMSD):*** Este concepto se refiere a la medida de la discrepancia entre dos conjuntos de información. En otras palabras, se compara un valor estimado o pronosticado con un valor observado o previamente conocido.
- ***Análisis de la varianza (ANOVA):*** Es una herramienta estadística usada cuando se desea estimar la diferencia entre los promedios de varios subgrupos cada uno localizado dentro de un grupo. (Guillen et al., 2014,p.1).
- ***Error estadístico:*** La magnitud en la que una observación se aparta de su valor anticipado se conoce como error. Por otro lado, un residuo es la medida de cuánto una observación difiere del valor que el estimador del valor anticipado asume basándose en una muestra específica, también conocida como predicción.
- ***Matlab:*** Es una de las numerosas herramientas avanzadas de computación que están disponibles en el mercado para resolver problemas matemáticos, tal como Maple, Mathematica y MathCad.

- **Propiedades dieléctricas:** Las propiedades dieléctricas son características que definen cómo interactúa y se distribuye la energía electromagnética cuando un material es expuesto a ondas de microondas o radiofrecuencia. Estas propiedades han sido empleadas como enfoques no destructivos para evaluar la humedad y densidad de granos y alimentos en forma de gránulos (Reyes et al., 2017).

#### 2.4. Hipótesis

**H<sub>0</sub>:** La temperatura y la dureza del agua no afectan significativamente a la cinética de hidratación y propiedades dieléctricas de arveja (*Pisum sativum* L.) variedad blanca criolla.

**H<sub>a</sub>:** La temperatura y la dureza del agua afectan significativamente a la cinética de hidratación y propiedades dieléctricas de arveja (*Pisum sativum* L.) variedad blanca criolla.

## 2.5. Operacionalización de las Variables

En la Tabla 4 se muestra las variables debidamente ordenadas a través de una matriz de operacionalización que se emplearon para el desarrollo eficiente de este trabajo de investigación.

**Tabla 4**

*Matriz de operacionalización de las variables*

Variable	Tipo de variable	Def. Conceptual	Indicador	Unidad de valor	Nivel de medición
<b>Variable independiente 1</b> Dureza del agua	Cuantitativa continua	Presencia de minerales y metales pesados en el agua, en su gran mayoría de Calcio (Ca) y Magnesio (Mg), originados por la disolución de minerales y rocas (Rodríguez, 2010)	Concentración de Carbonato de calcio	mgCaCO <sub>3</sub> /l	Numérica
<b>Variable independiente 2</b> Temperatura de hidratación	Cuantitativa continua	Es la temperatura del entorno de hidratación que posibilita la absorción de humedad en un alimento del ambiente al que es sometido (Marín et al., 2006)	Temperatura	°C	Numérica
<b>Variable dependiente 1</b> Cantidad de agua absorbida	Cuantitativa continua	Agua retenida en un material por su capacidad de interaccionar con los sitios de adsorción (Velázquez et al., 2000).	humedad	g H <sub>2</sub> O/ g sólido seco	Numérica
<b>Variable dependiente 2</b> Propiedades dieléctricas	Cuantitativa continua	Son las características que influyen en la manera en que se distribuye la energía electromagnética en presencia de un campo eléctrico aplicado. Esto engloba la constante dieléctrica y el factor de pérdida dieléctrica, que viene a ser la capacidad de liberar energía (Basaran-Akgul et al., 2008)	Factor de pérdidas - ε''	-	Numérica

## CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

### 3.1. Tipo y Nivel de Investigación

El propósito de este estudio fue aplicar el conocimiento existente. Es por tanto de carácter aplicado, y por el diseño de contrastación es experimental, en el presente proyecto se aplicaron distintos tipos de ensayos como la manipulación de las variables independientes para controlar y evaluar su efecto en las variables de respuesta cinética de hidratación.

### 3.2. Diseño de Investigación

Se utilizó el diseño factorial de superficie de respuesta  $3^k$ ,  $k = 2$  (Temperatura y dureza del agua), con tres puntos centrales no replicados. En la Tabla 5 se presentan las combinaciones para la formación de los tratamientos, en donde para cada tratamiento se determinó la humedad por un periodo de 12 horas, cada 30 minutos en las 2 primeras horas y después de 1 hora en las horas restantes.

**Tabla 5**

*Diseño factorial para evaluar el efecto de la temperatura y dureza de agua en la cinética de hidratación de arveja seca*

Trat.	Temperatura (°C)	Dureza del agua (ppm CaCO <sub>3</sub> )	Humedad (g H <sub>2</sub> O/g S.S.)	FP (2450 MHz) (ε'')
1	20	25		
2	25	25		
3	30	25		
4	20	125		
5	25	125		
6	30	125		
7	20	225		
8	25	225		
9	30	225		
10	25	125		
11	25	125		
12	25	125		

El diseño estadístico  $3^2$ , se utilizó para observar el efecto individual y la interacción del factor A y el factor B sobre las variables de respuesta (Gutiérrez & de La Vara, 2016), la misma que se expresa en la Ecuación 4.

$$Y_{ijk} = \mu + \gamma_i + \delta_j + (\gamma\delta)_{ij} + \epsilon_{ijk} \quad \text{Ecuación 4}$$

Con  $i=1, 2, 3; j= 1, 2, 3; k = 1 \dots, n$

Los efectos independientes e interacción se calcularon a partir de las ecuaciones 5, 6 y 7.

$$SC_A = \sum_{i=1}^3 \frac{Y_{i..}^2}{3n} - \frac{Y^2_{...}}{n3^2} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$SC_B = \sum_{j=1}^3 \frac{Y_{.j..}^2}{3n} - \frac{Y^2_{...}}{n3^2}. \quad \text{Ecuación 6}$$

$$SC_{AB} = \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^3 \frac{Y_{ij..}^2}{3n} - \frac{Y^2_{...}}{n3^2} - SC_A - SC_B \quad \text{Ecuación 7}$$

**Dónde:**

$\gamma_i$  = Es el efecto del factor A (*temperatura*) en su nivel *i*.

$\delta_j$  = Representa el efecto del factor B (*dureza del agua*) en su nivel *j*.

$(\gamma\delta)_{ijk}$  = Es el efecto de interacción de ambos en los niveles *ij*

$n$  = Es el número de repeticiones de cada tratamiento.

$SC_A$  = Suma de cuadrados de A.

$SC_B$  = Suma de cuadrados de B.

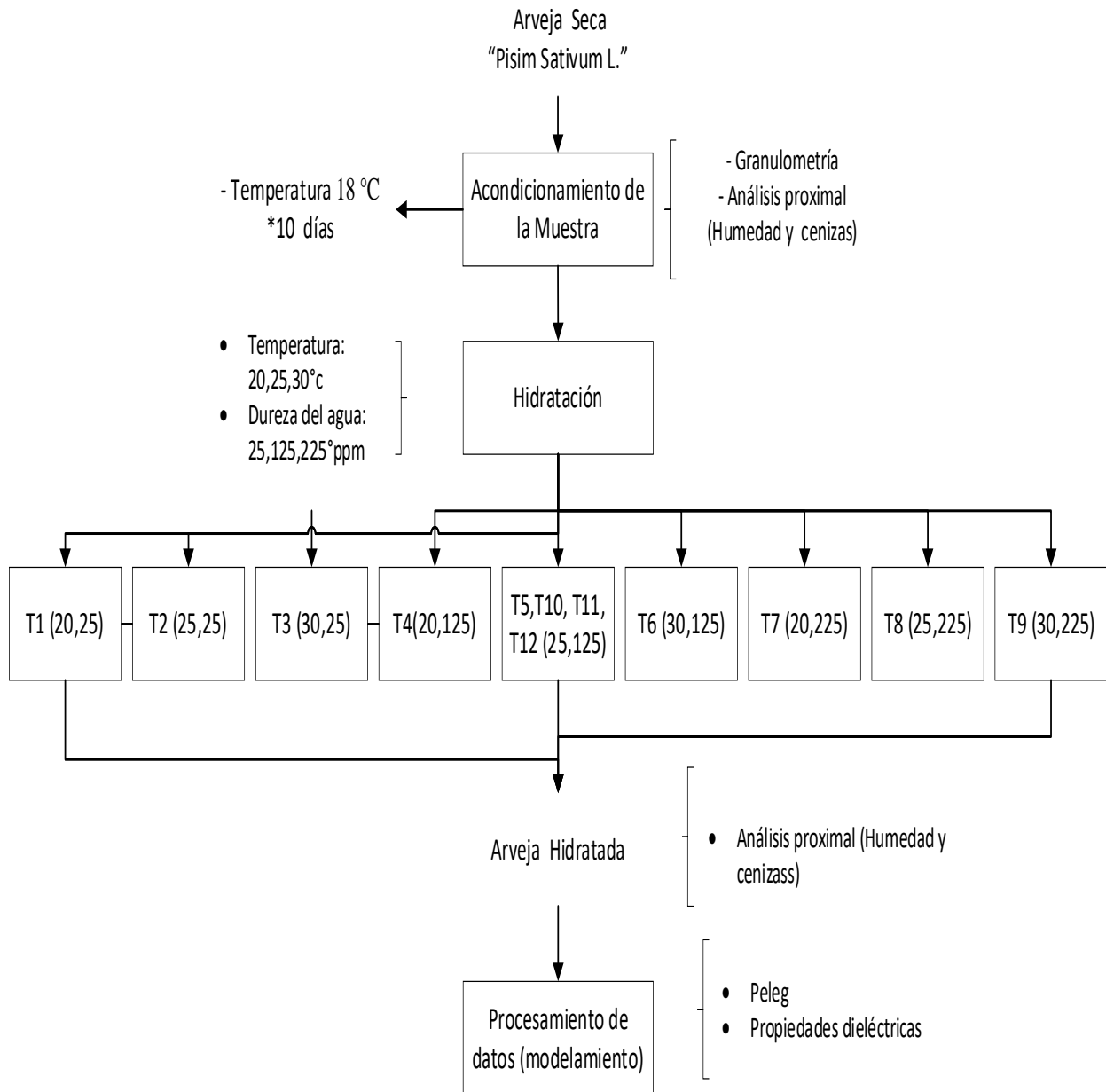
$SC_{AB}$  = Suma de cuadrados de A\*B.

**3.2.1. Desarrollo experimental**

El proceso experimental fundamentado en el diseño experimental  $3k$ , el cual fue empleado para obtener los resultados necesarios en la investigación se ilustra a continuación mediante un diagrama en la Figura 3.

**Figura 3**

*Diseño experimental para la evaluación de la cinética de hidratación de arveja variedad blanca criolla.*



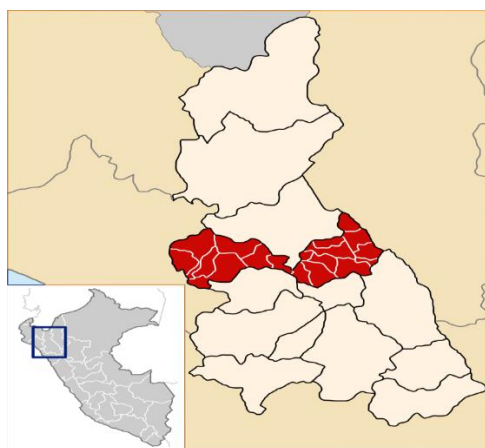
### **3.3. Población, Muestra y Muestreo**

#### **3.3.2. Población**

La población se conformó por los granos de arveja seca procedentes del distrito de Chota y comercializadas en el mercado local de Chota, provincia Chota, región de Cajamarca - Perú.

#### **Figura 4.**

*Ubicación geográfica de la procedencia de granos de arveja seca*



#### **3.3.3. Muestra**

La muestra de estudio a analizar estuvo conformada por 5 kilogramos de arveja seca variedad blanca criolla del mercado local de la ciudad de Chota.

#### **3.3.4. Muestreo**

Una vez obtenidas las arvejas, se aplicó un muestreo por juicio a través de la selección uniforme relacionado a su tamaño y otros aspectos como la ausencia de golpes y microorganismos patógenos que pueden alterar las características físicas y químicas del alimento.

### **3.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

En la Tabla 6 se muestra una descripción detallada de las técnicas e instrumentos aplicados con el fin de recopilar datos en el contexto del estudio de investigación.

**Tabla 6***Técnicas e instrumentos de recolección de datos*

<b>Técnicas</b>	<b>Instrumentos</b>	<b>Datos obtenidos</b>
Mediciones físicas	balanza analítica, regla de vernier,	Peso, longitud, ancho, grosor de arveja blanca criolla
Cinética de hidratación	Balanza	g
propiedades dieléctricas	analizador de redes vectorial	$\epsilon''$
Análisis proximal	Análisis químicos	Humedad y cenizas.

**3.5. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos****3.5.5. Muestra de Granos de Arveja.**

La arveja seca variedad blanca criolla se adquirió, libre de defectos y/o daños mecánicos, en el distrito de Chota, provincia de Chota, departamento de Cajamarca.

**3.5.6. Acondicionamiento de la Muestra**

Una vez seleccionada la arveja de acuerdo a la uniformidad de su tamaño y considerando la ausencia perjuicios mecánicos y/o biológicos, las muestras fueron acondicionadas, antes de su procesamiento, en envases de polietileno de baja densidad por un periodo de 10 días a 18 °C (Siccha, 2015), terminado dicha operación se procedió a caracterizar la humedad en base seca, mediante método gravimétrico.

**3.5.7. Caracterización Granulométrica y Químico Proximal****3.5.7.1. Caracterización granulométrica del grano de arveja.**

Para determinar la granulometría de arveja se seleccionaron al azar 360 arvejas secas, las cuales fueron evaluadas de forma individual en función a su peso, usando una balanza

analítica, así como longitud (l), ancho (a) y espesor (d) mediante la utilización de una regla de vernier manual.

Una vez obtenidos los datos de las mediciones se procedió a la determinación del diámetro medio aritmético – MA (Ecuación 8), el diámetro equivalente – DE (Ecuación 9), y el diámetro medio cuadrado DMC (Ecuación 10) y el radio equivalente para cuerpos elipsoidales – R (Ecuación 11), para ellos se utilizaron las siguientes relaciones (Nazari et al., 2008)

$$MA = \frac{l+a+e}{3} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$DE = (l * a * e)^{1/3} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$DMC = \left( \frac{l*a+a*e+l*e}{3} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ecuación 10}$$

$$R = \frac{1}{2} \left( \frac{MA+DE+DMC}{3} \right) \quad \text{Ecuación 11}$$

Asimismo, se calculó el área de superficie A (Ecuación 12) y volumen V (Ecuación 13) promedio de las semillas se calculó utilizando:

$$A = \frac{\pi \times q \times l^2}{2l - q} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$V = \frac{\pi \times q^2 \times l^2}{6(2l - 3)} \quad \text{Ecuación 13}$$

### 3.5.7.2. Mediciones de la humedad.

Para la determinación de la humedad se empleó el método 930.15 de la norma A.O.A.C. (2005). Consistiendo en calentar el recipiente que iba a contener la muestra por 30 minutos a 100°C, transcurrido este tiempo se colocó en un desecador para que se enfrié.

Posteriormente, la muestra de arveja fue colocada en un recipiente y se llevó a la estufa a 130 °C por dos horas. Transcurrido este tiempo se sacó y dejó enfriar en el desecador por media hora, luego se realizó el pesado de la muestra y se realizó los cálculos correspondientes en la Ecuación 14.

$$H = \frac{W_2 - W_1}{W_0} \times 100$$

Ecuación 14

Donde:

$W_0$  = peso de la arveja (g)

$W_1$  = peso del recipiente más arveja posterior al secado

$W_2$  = peso del recipiente más arveja antes del secado

H = Humedad.

### 3.5.7.3. Medición de ceniza.

Para determinar las cenizas presentes en la arveja se utilizó el método 942.05 de la norma A.O.A.C. (2005), para ello, se lavó el crisol de porcelana y se dejó secar en la estufa a 30 °C por 30 minutos, luego se realizó un enfriamiento a temperatura ambiente en el desecador, para luego ser pesado.

En el crisol se colocó aproximadamente 2 g de muestra y se colocaron en la entrada de la mufla sin cerrarlo aproximadamente 2 minutos, con la finalidad de impedir pérdidas por proyección de material. Luego se introdujo el crisol en la mufla a 500 °C en 5 horas. Los cálculos para obtener los resultados del porcentaje de humedad se llevaron a cabo empleando la Ecuación 15.

$$C\% = \frac{W_2 - W_1}{W_0} \times 100$$

Ecuación 15

Donde:

$W_2$  = Peso de la muestra (g)

$W_1$  = Peso de crisol vacío (g)

$W_0$  = Peso del crisol más la muestra calcinada (g)

C (%) = Contenido de cenizas en la muestra (%)

### 3.5.7.4. Obtención de la cinética de hidratación.

Para llevar a cabo esta medición se colocaron un aproximado de 20 g de arveja en disoluciones con concentraciones de  $\text{CaCO}_3$  (25, 125 y 225 ppm), 300 ml de agua y

temperaturas de (20 °C, 25 °C y 30 °C) por un periodo de 12 horas. Para obtener la cinética de hidratación, los granos de arveja se analizaron cada 30 minutos a lo largo de 2 primeras horas; cada una 1 hora en las siguientes, hasta obtener una masa constante. En cada intervalo de tiempo designado se pesaron las arvejas hidratadas, previamente secadas con un papel toalla la diferencia o sobrante de agua superficial en las arvejas para la determinación de humedad mediante balance de masa y medición de espectroscopía dieléctrica

#### **3.5.7.5. Obtención de propiedades dieléctricas.**

Para obtener las propiedades dieléctricas se utilizó la metodología propuesta por Chuquizuta et al. (2020, p. 2), para lo cual se cogieron tres granos de arveja hidratada en cada intervalo de tiempo de hidratación (30 min durante las dos primeras horas y cada 1 hora en las restantes). Los granos fueron secados suavemente con papel toalla con la finalidad de absorber el agua contenida en la parte superficial del grano y con la ayuda de una sonda coaxial de terminación abierta (colocada sobre la parte externa de la arveja), conectado a un analizador de redes vectorial (siglas en ingles VNA) (modelo N9912A Fieldfox, Keysight) se extrajeron las propiedades dieléctricas en un rango de 0,5 a 9 GHz. Previamente a su determinación de las propiedades dieléctricas, se realizó la calibración del equipo en aire, cortocircuito y agua según el procedimiento de Chen et al. (2015).

Obtenido los valores dieléctricos en el rango establecido, se procedió a identificar la frecuencia puntual (2450 MHz) con su valor de intensidad para esta investigación

#### **3.5.7.6. Modelización de la cinética de hidratación.**

Para el modelamiento de las cinéticas de hidratación de granos de arveja en base seca (bs), se utilizó el modelo de Peleg, que permite describir mediante sus constantes físicas y la masa inicial en un tiempo “t”, la masa final en la Ecuación 16.

$$M_t = M_0 + \frac{t}{K_1 + K_2 t} \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde:

$M_t$ = Masa en el tiempo (g)

$M_o$ = Masa inicial (g)

$t$ = tiempo de hidratación (min)

$K_1$ = Constante de velocidad de Peleg (s. kg m.s/ kg H<sub>2</sub>O)

$K_2$ = Constante de capacidad de Peleg (kg H<sub>2</sub>O/kg m.s)

### 3.5.7.7. Evaluación estadística.

En el caso del modelamiento de la cinética de hidratación, se llevó a cabo a través de los modelos matemáticos del valor de regresión  $R^2$ , los valores de la desviación media de la raíz cuadrada (RMSD) con un 95% de confiabilidad y la raíz del error cuadrático normalizado (NRMSD), ambas descritas en la Ecuación 17 y 18. Además, del algoritmo Levenberg – Marquardt utilizando el software Matlab 2018b – Mathwork.

$$RMSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_{experimental} - M_{modelo})^2}{n}} \quad \text{Ecuación 17}$$

$$NRMSD = 100 \times \frac{RMSD}{(M_{experimental})_{\text{máximo}} - (M_{experimental})_{\text{mínimo}}} \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde:

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

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

Asimismo, se empleó un análisis de varianza (ANOVA) con el propósito de evaluar el impacto de la temperatura y la dureza. Además, se empleó la prueba de Tukey para identificar las diferencias significativas existentes entre los tratamientos, en relación con la humedad de equilibrio y el factor de pérdida ante las variaciones de temperatura y dureza; dicho análisis se llevó a cabo con un grado de confiabilidad del 95%.

El funcionamiento de dicho análisis (ANOVA) se describe de forma detallada en la Tabla 7, el mismo que fue procesado mediante el software Statgraphics Centurión XVI. El modelo estadístico que resultó, representado por una región polinómica con su respectivo

coeficiente de determinación, permitió construir una superficie de respuesta. Esto se hizo con el propósito de validar o no la hipótesis planteada en esta investigación, para luego determinar si se acepta o se rechaza. Si el p- valor era menor a 0,05 se rechazaba la hipótesis nula y se aceptaba la alternativa, mostrando la región adecuada en las variables dependientes donde se ubicaba el punto deseado dentro del rango experimental (Castro et al., 2017).

**Tabla 7**

*Análisis de varianza para el diseño experimental  $3^k$ ,  $k=2$*

Fuente de Variabilidad	Suma de Cuadrados (SC)	Grados de Libertad (GL)	Cuadrado Medio (CM)	F <sub>0</sub>	VALOR -p
(A): Temperatura	SC <sub>A</sub>	2	CM <sub>A</sub>	CM <sub>A</sub> / CM <sub>E</sub>	P(F> F <sub>0</sub> )
(B): Dureza	SC <sub>B</sub>	2	CM <sub>B</sub>	CM <sub>B</sub> / CM <sub>E</sub>	P(F> F <sub>0</sub> )
(AB): Interacción	SC <sub>AB</sub>	4	CM <sub>AB</sub>	CM <sub>AB</sub> / CM <sub>E</sub>	P(F> F <sub>0</sub> )
Error	SC <sub>E</sub>	$3^2(n - 1)$	CM <sub>E</sub>		
TOTAL	SC <sub>T</sub>	$n3^k - 1$			

*Nota.* Información recopilada de Cerón et al., (2016).

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1. Descripción de Resultados

#### 4.1.1. Caracterización Química Proximal y Granulométrica de Arveja Seca

En la ejecución de este estudio, se utilizó la variedad de arveja (*Pisum sativum L.*) conocida como "blanca criolla". Los resultados del análisis químico próximo, que abarca los valores de ceniza y humedad, para esta variedad de arveja se exponen en la Tabla 8. Para el estudio se analizaron un total de doce muestras, en el cual se evaluó la proporción de agua presente en el producto.

**Tabla 8**

*Análisis proximal de los granos de arveja pre y post hidratada*

Trat.	Humedad en base húmeda (H <sub>bh</sub> ) - %		Ceniza %	
	Pre trat.	Post trat.	Pre trat.	Post trat.
T1	12,15 ± 1,09	51,28 ± 3,45	<b>2,96 ± 0,13</b>	0,67 ± 0,08
T2	11,19 ± 0,50	53,77 ± 1,24	2,96 ± 0,13	0,78 ± 0,22
T3	12,38 ± 0,08	54,65 ± 0,49	2,12 ± 0,09	0,65 ± 0,11
T4	12,30 ± 0,85	<b>56,21 ± 1,28</b>	2,88 ± 0,28	0,77 ± 0,07
T5	12,93 ± 0,27	53,38 ± 0,35	2,55 ± 0,48	0,28 ± 0,08
T6	12,47 ± 0,75	55,58 ± 0,58	2,84 ± 0,19	0,42 ± 0,15
T7	12,58 ± 0,20	52,88 ± 1,15	2,88 ± 0,20	0,42 ± 0,13
T8	11,47 ± 1,29	55,07 ± 1,55	2,73 ± 0,23	<b>1,11 ± 0,16</b>
T9	12,00 ± 1,00	54,99 ± 0,55	2,75 ± 0,38	1,05 ± 0,30
T10	12,38 ± 2,19	55,15 ± 0,82	2,48 ± 0,40	0,94 ± 0,30
T11	11,46 ± 0,64	54,60 ± 0,62	2,61 ± 0,52	0,82 ± 0,08
T12	12,68 ± 1,80	53,11 ± 1,77	2,50 ± 0,17	0,85 ± 0,24

Valores promedio (n=3) ± desviación estándar

En la Tabla 9 se presenta los resultados granulométricos para analizar su origen y propiedades mecánicas de las arvejas secas. En general, las semillas presentan una forma globosa de color café, con textura rugosa; los valores granulométricos se obtuvieron a partir de

los valores relativos de las dimensiones de: largo ( $8,23 \pm 0,38$  mm), ancho ( $7,53 \pm 0,44$  mm) y espesor ( $7,35 \pm 0,06$  mm) de cada unidad. De acuerdo a las desviaciones presentes en los diferentes valores granulométricos, permiten mostrar el riesgo bajo de dispersión entre las unidades analizadas.

**Tabla 9**

*Análisis granulométrico de la arveja seca*

<b>Parámetros</b>	<b>Valor</b>
Peso	$0,3406 \pm 0,0341$ g
Largo	$8,24 \pm 0,38$ mm
Ancho	$7,53 \pm 0,44$ mm
Espesor	$7,34 \pm 0,06$ mm
Diámetro medio aritmético	$7,71 \pm 0,35$ mm
Diámetro equivalente	$7,69 \pm 0,35$ mm
Diámetro medio cuadrado	$3,90 \pm 0,12$ mm
Radio equivalente para cuerpos	$3,22 \pm 0,14$ mm
q = raíz(ancho*espesor)	$7,45 \pm 0,41$ mm
Área de superficie	$176,29 \pm 18,48$ mm <sup>2</sup>
Volumen	$146,62 \pm 19,56$ m <sup>3</sup>
Esfericidad ( $\phi$ )	$0,9344 \pm 0,0337$

Valores promedio (n=360)  $\pm$  desviación estándar

#### **4.1.2. Cinéticas de Hidratación y Espectros Dieléctricos de Arveja Variedad Blanca Criolla**

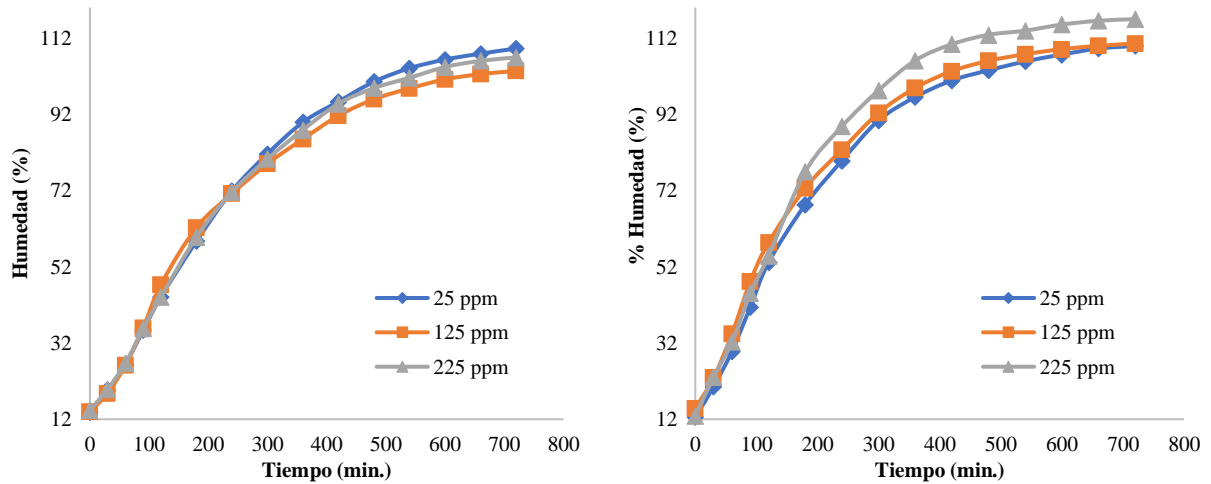
En la Figura 5 se presenta las cinéticas de granos arveja a diferentes temperaturas y concentraciones de CaCO<sub>3</sub>, según el diseño experimental propuesto.

Los diferentes tratamientos presentaron una conducta típico inicial de hidratación, con un incremento acelerado de su humedad que decrecía con el transcurso del tiempo hasta alcanzar el equilibrio. Asimismo, en las primeras 6 horas de hidratación la velocidad de hidratación de las arvejas fue mayor en los tratamientos con temperaturas de 30 °C. Sin

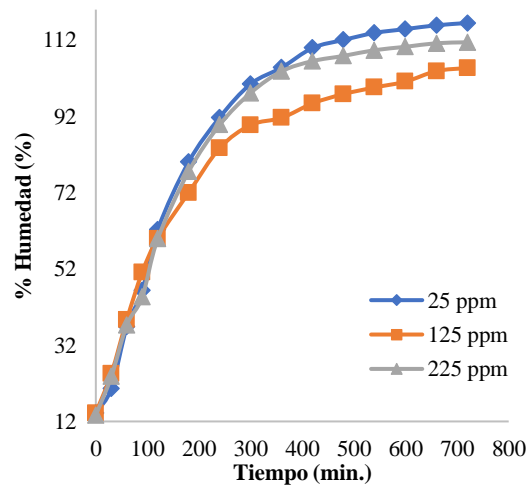
embargo, el tratamiento con 25 °C y 225 ppm  $\text{CaCO}_3$  alcanzó una mayor concentración de agua 1,169  $\text{gH}_2\text{O/gss}$ .

**Figura 5**

*Cinéticas de hidratación de granos arveja a diferentes temperaturas y concentraciones de  $\text{CaCO}_3$*



a) Granos arveja a 20 °C y diferentes concentraciones de  $\text{CaCO}_3$       b) Granos arveja a 25 °C y diferentes concentraciones de  $\text{CaCO}_3$



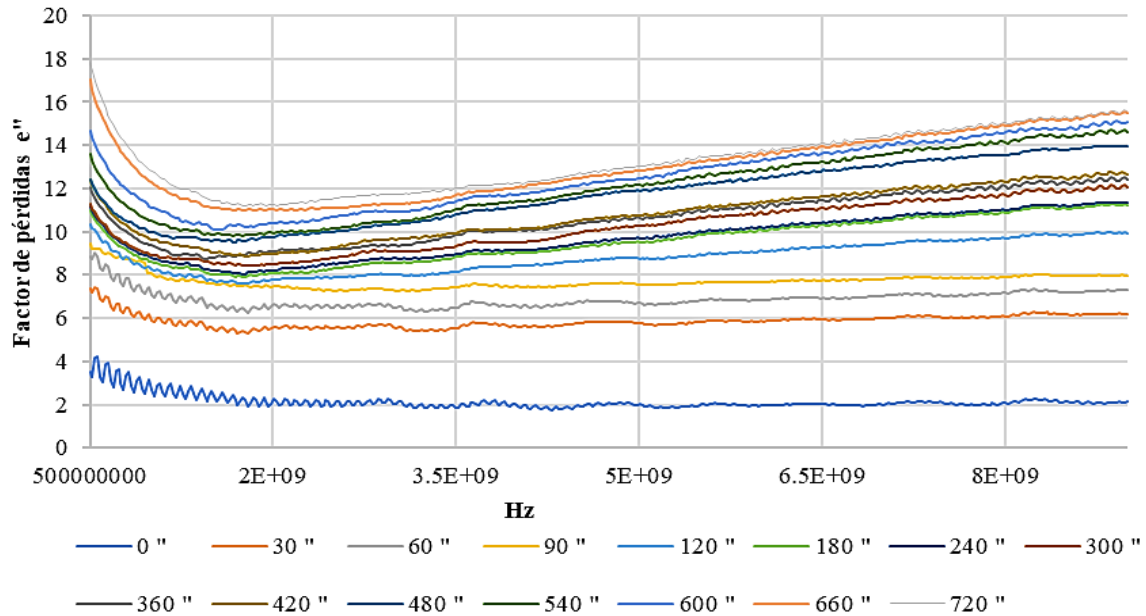
c) Granos arveja a 30 °C y diferentes concentraciones  $\text{CaCO}_3$

En las Figuras 6, 7 y 8 se presentan los espectros medios del factor de pérdida ( $\epsilon''$ ) obtenidas de los granos arveja durante los procesos de hidratación con agua a 25 ppm  $\text{CaCO}_3$  y temperaturas de 20 °C, 25 °C y 30 °C respectivamente. Las pérdidas dieléctricas obtenidas se midieron en un rango de 500 MHz a 9 GHz, las pérdidas más elevadas se obtuvieron a 500 MHz. Se observó la existencia de una transición de la región de conducción iónica, primera etapa con  $\epsilon''$  decreciente, a la región dipolar con valores de  $\epsilon''$  en aumento. Asimismo, los

espectros medios  $\epsilon''$  se incrementan a medida que los granos tienen un mayor tiempo de hidratación y, por consiguiente, presentan un mayor contenido de agua en su estructura.

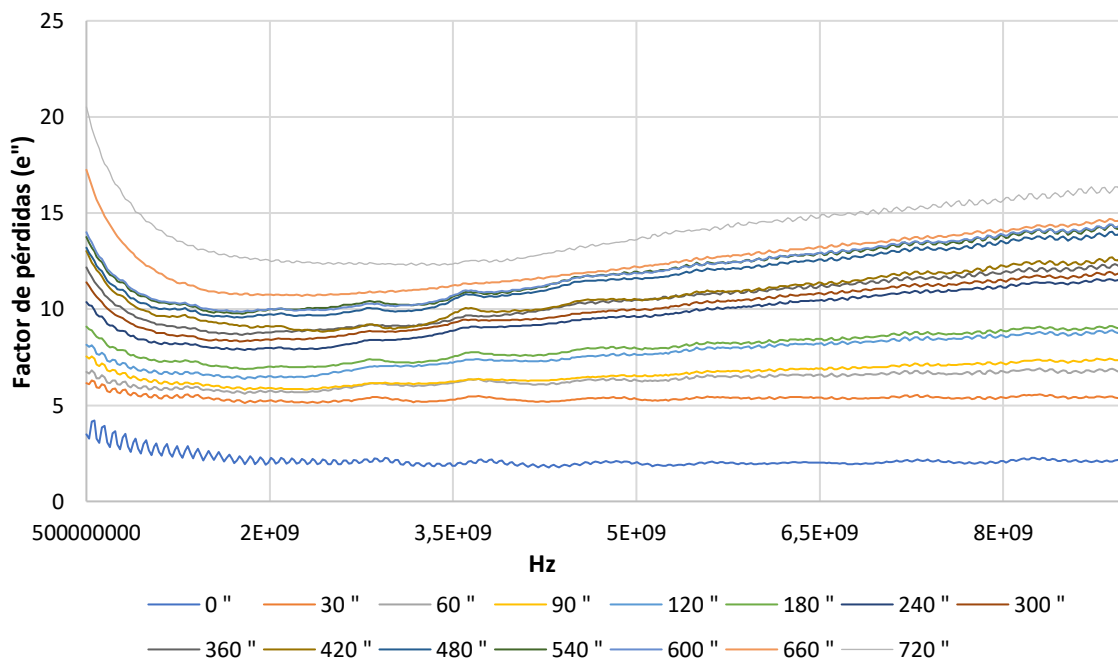
**Figura 6**

*Espectros medios de  $\epsilon''$  correspondiente al tratamiento T1 (20 °C y concentración de 25 ppm de  $\text{CaCO}_3$ )*



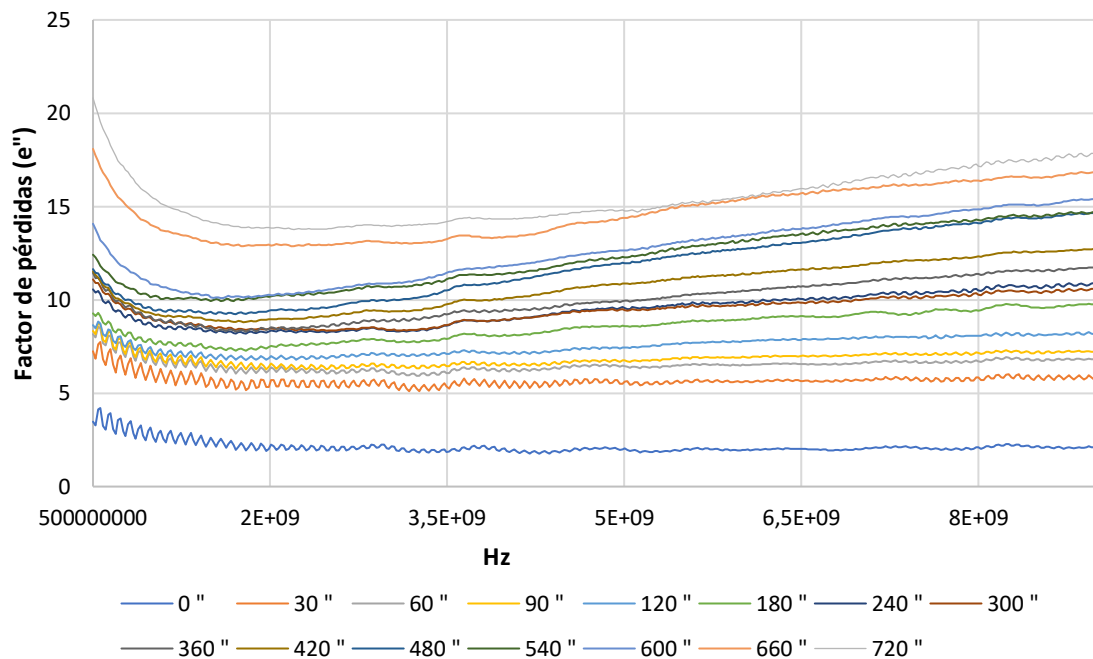
**Figura 7**

*Espectros medios de  $\epsilon''$  correspondiente al tratamiento T2 (25 °C y concentración de 25 ppm de  $\text{CaCO}_3$ )*



**Figura 8**

*Espectros medios de  $\epsilon''$  correspondiente al tratamiento T3 (30 °C y concentración de 25 ppm de  $\text{CaCO}_3$ )*



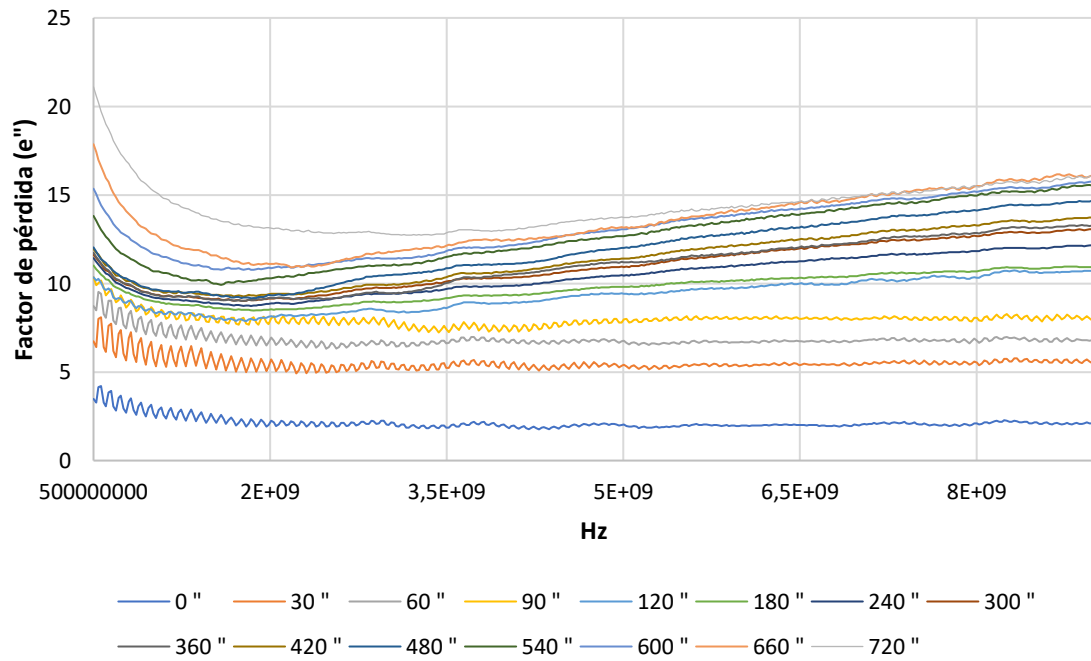
En las Figuras 9, 10 y 11 se presentan los espectros dieléctricos del factor de pérdida ( $\epsilon''$ ) obtenidas de los granos arveja durante los procesos de hidratación T4, T5 y T6, agua a 125 ppm  $\text{CaCO}_3$  y temperaturas de 20, 25 y 30 °C respectivamente.

Las pérdidas dieléctricas obtenidas se midieron en un rango de 0,5 a 9 GHz. Al igual que en los tratamientos de hidratación con agua a 25 ppm  $\text{CaCO}_3$ , los tratamientos T4, T5 y T6 mostraron un mayor factor de pérdida en los granos de arveja hidratados por 12 horas, siendo su máximo valor de pérdidas el correspondiente a 0,5 GHz.

En cuanto a la variación del factor de pérdida con respecto al tiempo de hidratación, en este caso se observa que existe una tendencia a incrementar a medida que el tiempo de hidratación del grano de arveja es mayor.

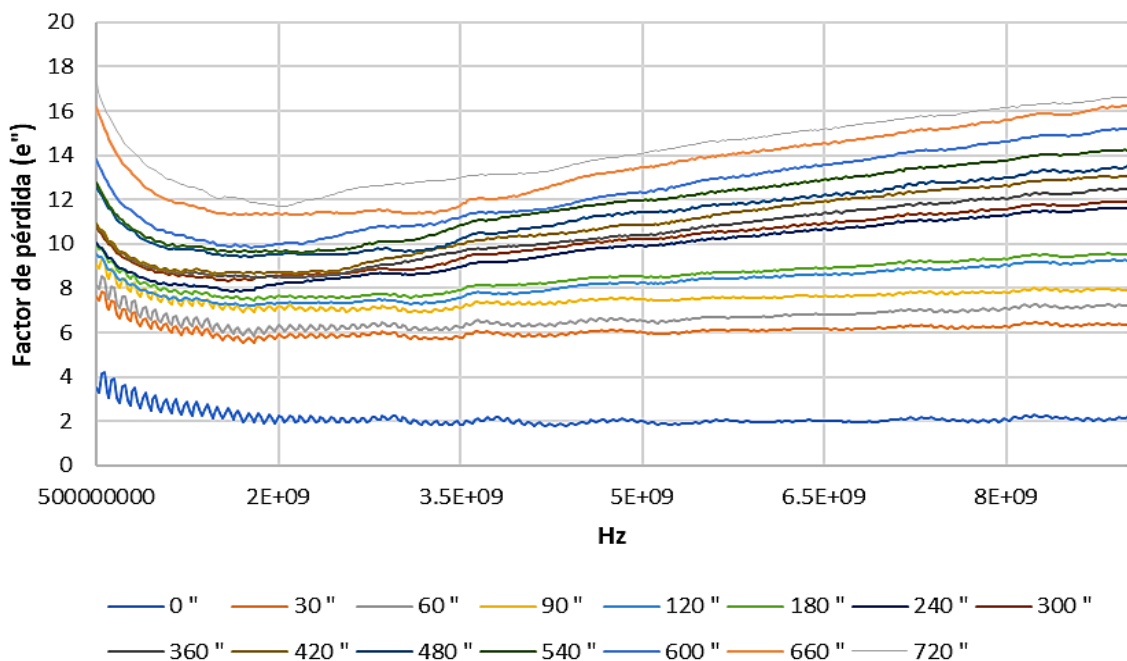
**Figura 9**

*Espectros medios de  $\epsilon''$  correspondiente al tratamiento T4 (20 °C y concentración de 125 ppm de  $\text{CaCO}_3$ )*



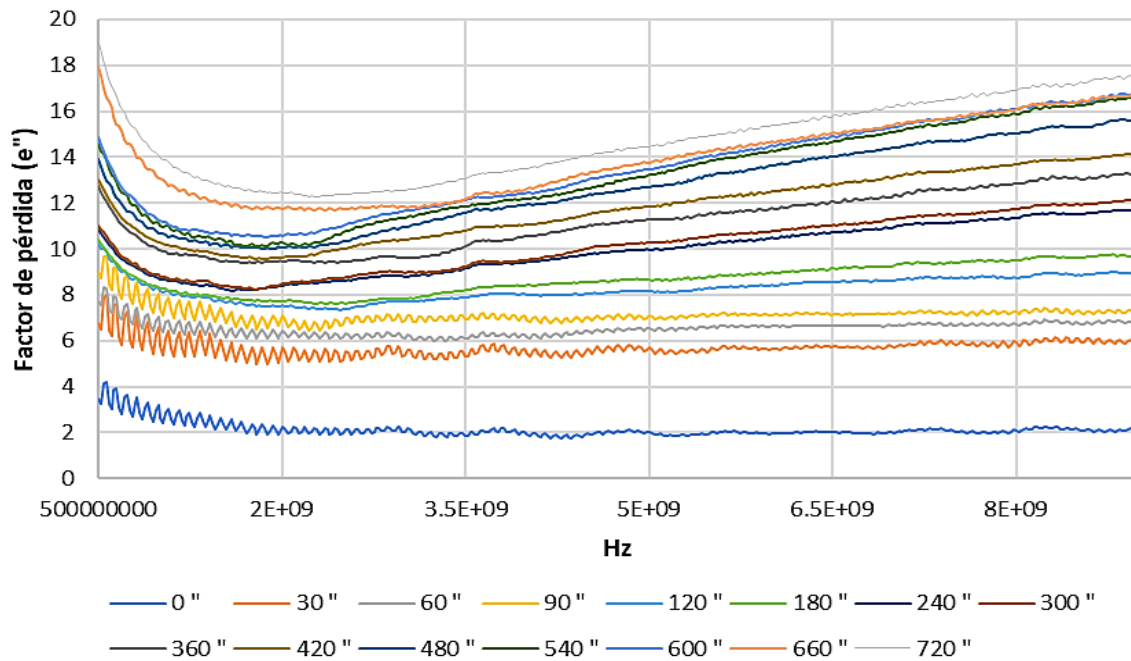
**Figura 10**

*Espectros medios de  $\epsilon''$  correspondiente al tratamiento T5 (25 °C y concentración de 125 ppm de  $\text{CaCO}_3$ )*



**Figura 11**

*Espectros medios de  $\epsilon''$  correspondiente al tratamiento T6 (30 °C y concentración de 125 ppm de  $\text{CaCO}_3$ )*



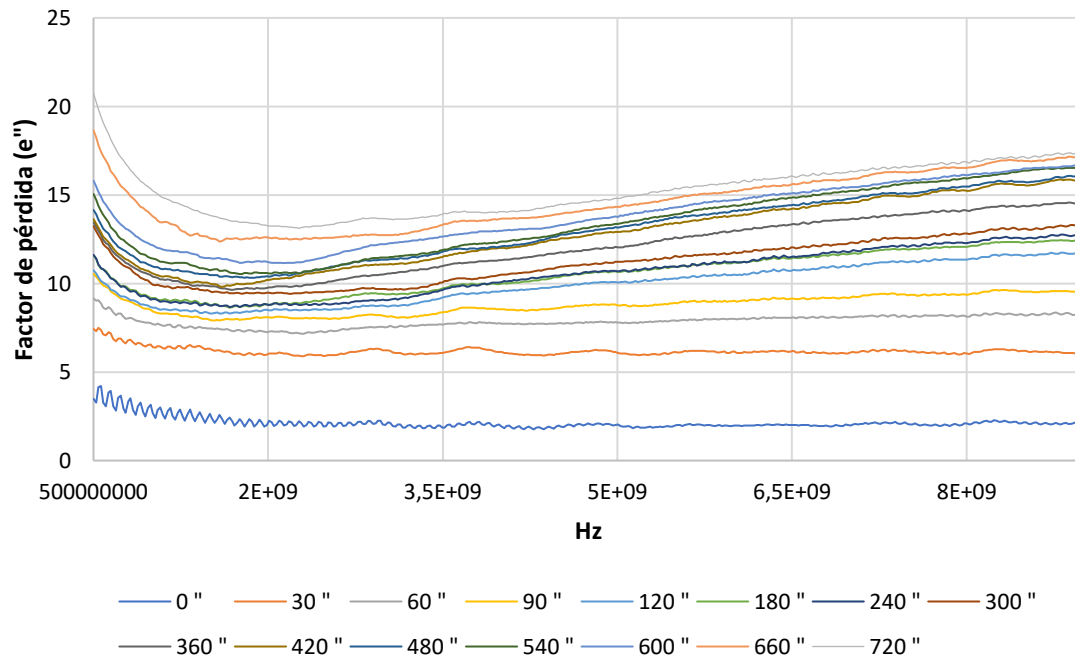
En las Figuras 12, 13 y 14 se presentan los espectros dieléctricos del factor de pérdida ( $\epsilon''$ ) obtenidas de los granos arveja durante los procesos de hidratación T7, T8 y T9, agua a 225 ppm  $\text{CaCO}_3$  y temperaturas de 20, 25 y 30 °C respectivamente.

Las pérdidas dieléctricas obtenidas se midieron en un rango de 0,5 a 9 GHz. En los tratamientos T7 y T9 el mayor factor de pérdida en los granos hidratados por 12 horas a una frecuencia de 0,5 GHz.

En cuanto a la variación del factor de pérdida con respecto al tiempo de hidratación, en los tratamientos analizados se observa que existe una tendencia a incrementar a medida que el tiempo de hidratación del grano de arveja es mayor, sin embargo, existen algunas muestras de los tratamientos T7, T8 y T9 que presentan mayores factores de pérdida a menores tiempo de hidratación.

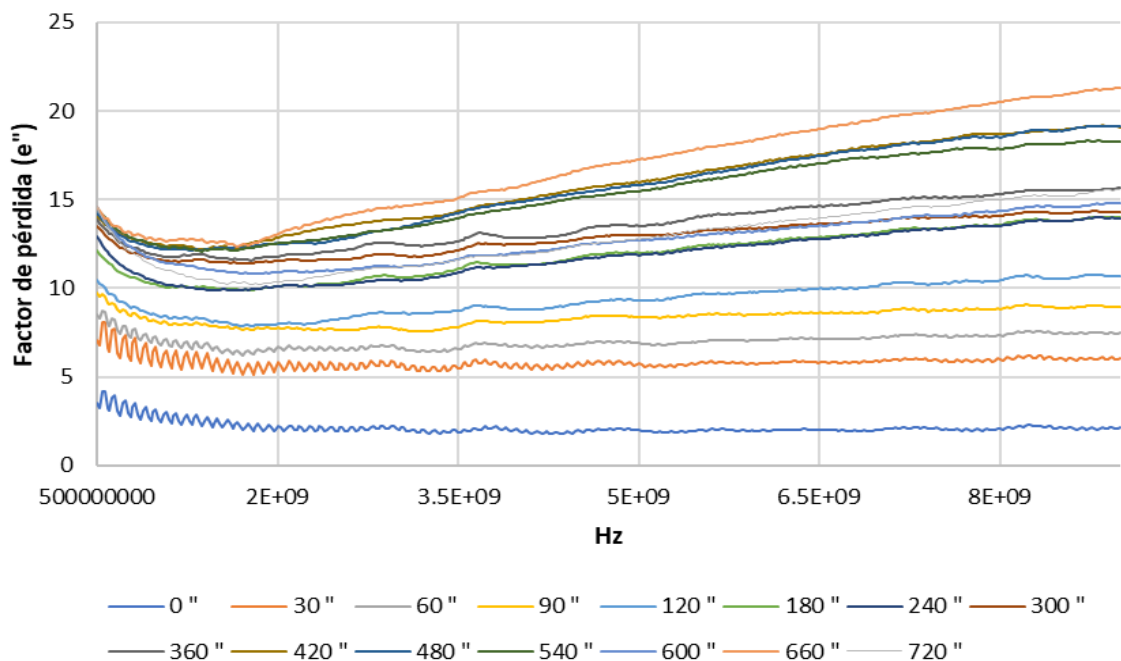
**Figura 12**

*Espectros medios de  $\epsilon''$  correspondiente al tratamiento T7 (20 °C y concentración de 225 ppm de  $\text{CaCO}_3$ )*



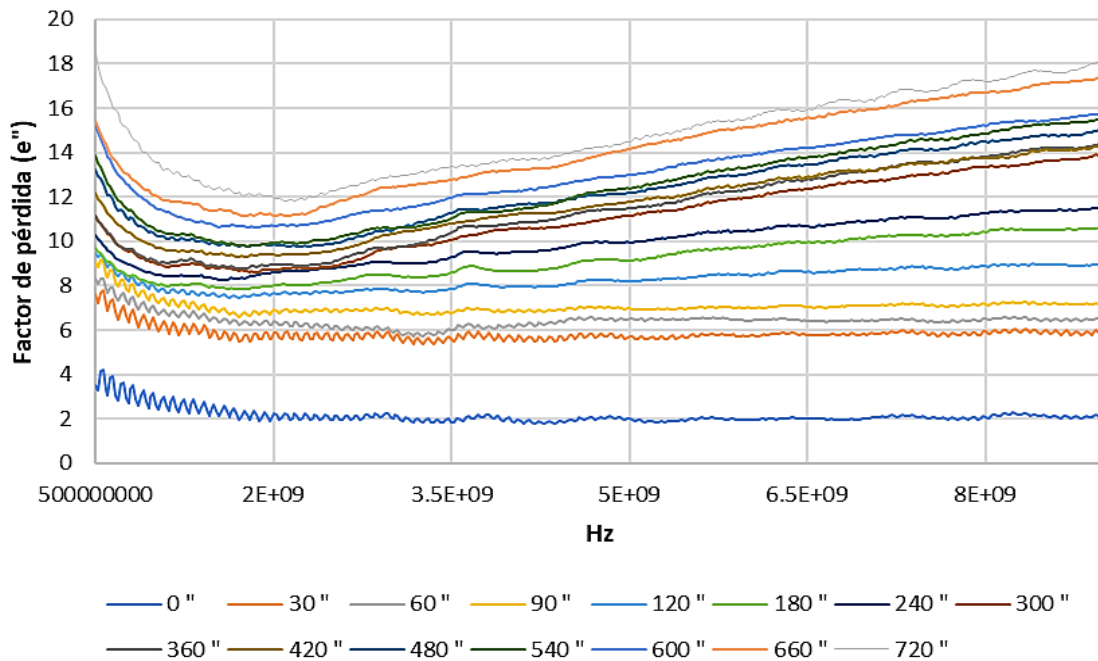
**Figura 13**

*Espectros medios de  $\epsilon''$  correspondiente al tratamiento T8 (25 °C y concentración de 225 ppm de  $\text{CaCO}_3$ )*



**Figura 14**

*Espectros medios de  $\epsilon''$  correspondiente al tratamiento T9 (30 °C y concentración de 225 ppm de  $\text{CaCO}_3$ )*

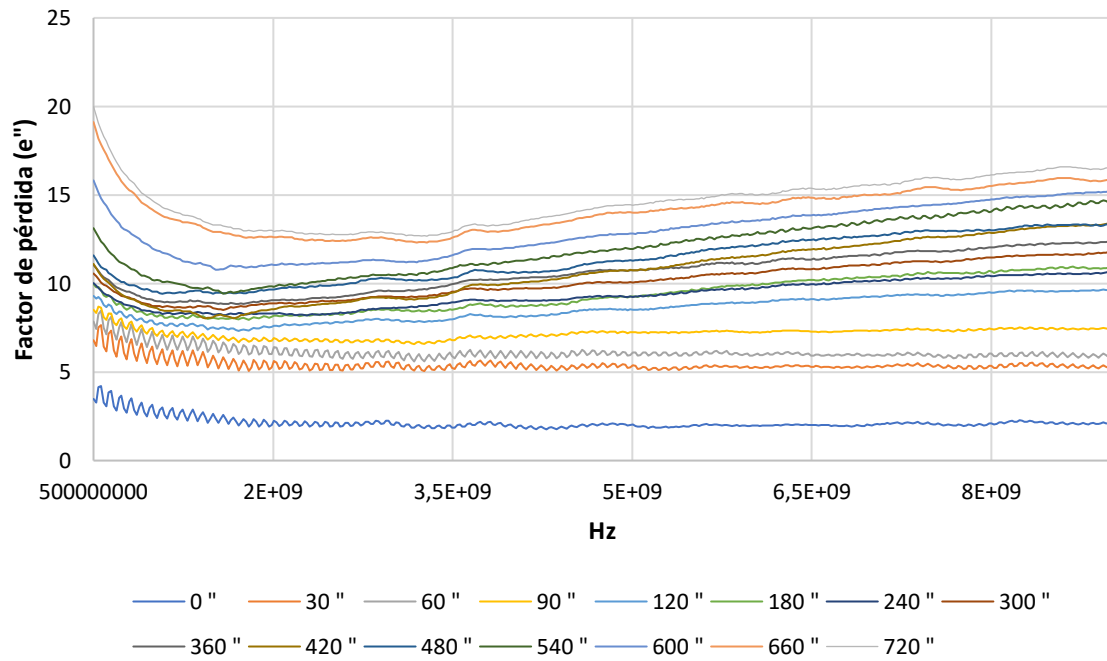


En las Figuras 15, 16 y 17 se presentan los espectros dieléctricos del factor de pérdida ( $\epsilon''$ ) obtenidas de los granos arveja durante los procesos de hidratación de los puntos centrales, tratamientos T10, T11 y T12, agua a 125 ppm  $\text{CaCO}_3$  y temperaturas de 25 °C. Las pérdidas más altas se obtuvieron en diferentes frecuencias y tiempos de hidratación de los granos de arveja. En el tratamiento T10 se alcanzaron las máximas pérdidas en los granos arvejas hidratadas por 12 horas a 0,5 GHz; en el tratamiento T11 se alcanzaron las máximas pérdidas en los granos arvejas hidratadas por 11 horas a 9 GHz y en el tratamiento T12 se alcanzaron las máximas pérdidas en los granos arvejas hidratadas por 9 horas a 9 GHz.

En cuanto a la variación del factor de pérdida con respecto al tiempo de hidratación, en los tratamientos analizados se observa que existe una tendencia a incrementar a medida que el tiempo de hidratación del grano de arveja es mayor.

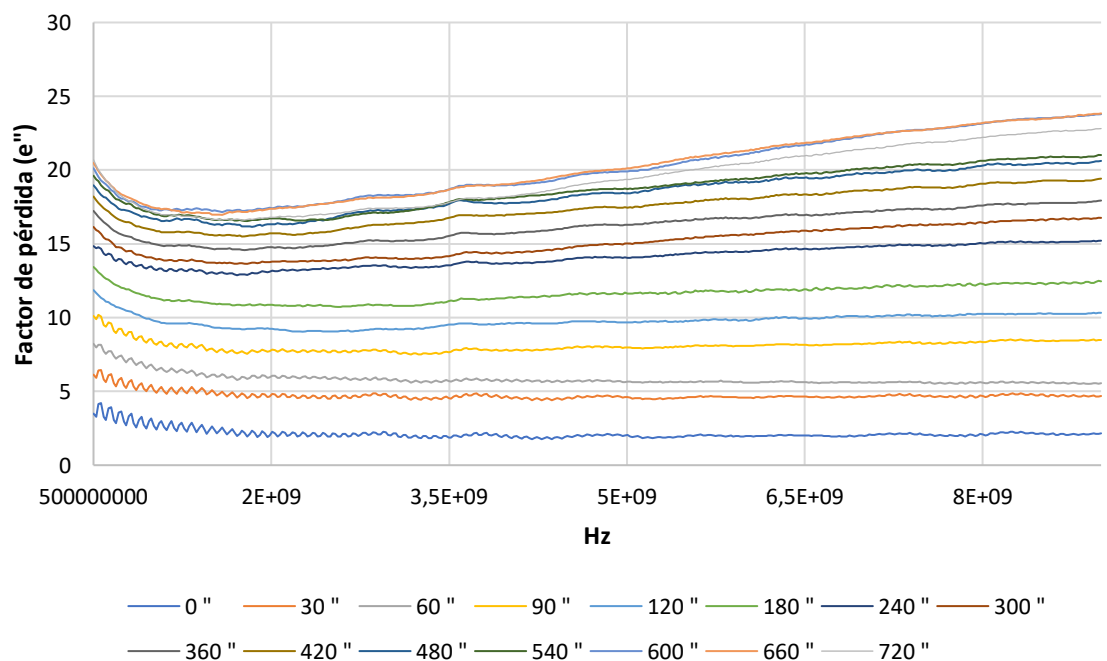
**Figura 15**

*Espectros medios de  $\epsilon''$  correspondiente al tratamiento T10 (25 °C y concentración de 125 ppm de  $\text{CaCO}_3$ )*



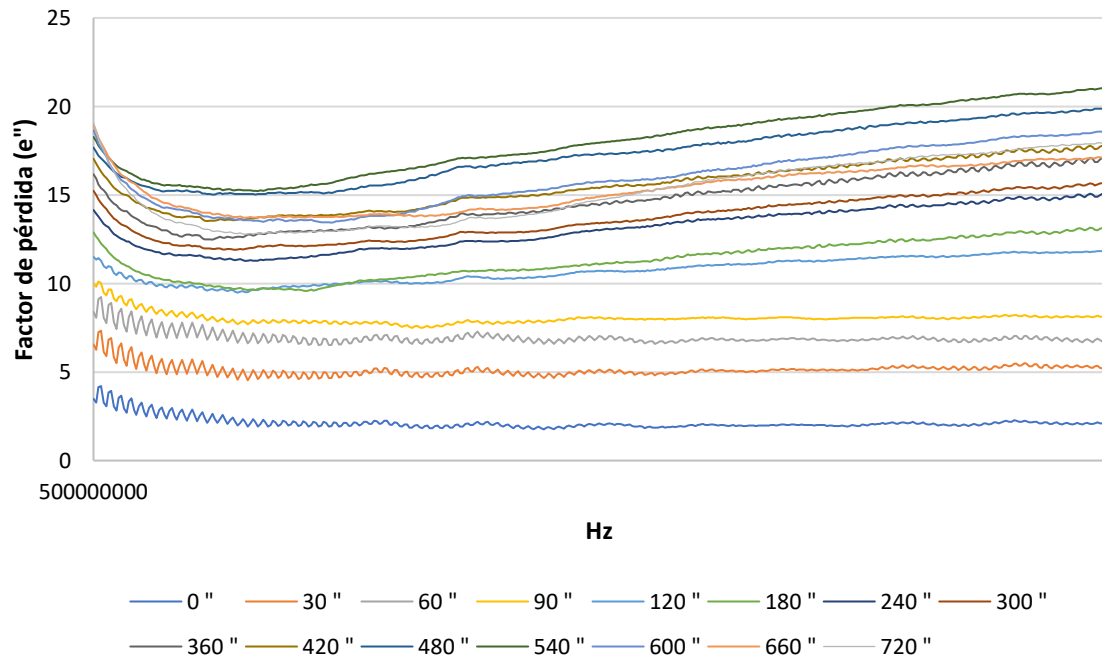
**Figura 16**

*Espectros medios de  $\epsilon''$  correspondiente al tratamiento T11 (25 °C y concentración de 125 ppm de  $\text{CaCO}_3$ )*



**Figura 17**

*Espectros medios de  $\epsilon''$  correspondiente al tratamiento T12 (25 °C y concentración de 125 ppm de  $\text{CaCO}_3$ )*



#### **4.1.3. Modelización de Cinéticas de Hidratación.**

La valoración cuantitativa de la cinética de hidratación de granos de arveja con disímiles tipos de dureza de agua fue modelizada según el modelo de Peleg. En la Tabla 10, se presenta los parámetros de la modelización de la cinética de hidratación de los granos de arveja seca por efecto de la temperatura y dureza del agua; los parámetros han sido obtenidos a partir del promedio de las cinéticas de hidratación de cada tratamiento. De acuerdo a los parámetros del modelo de Peleg reportados, todos los modelos presentan coeficientes de determinación  $R^2 > 0,99$  y error cuadrático medio de la raíz normalizado  $\text{NRMSE} < 0,13$ . Por lo tanto, correspondería indicar que los modelos tienen una relación directa, además de precisión y exactitud en cuanto a los parámetros estadísticos resultantes del ajuste a los datos experimentales. Por último, de todos los tratamientos el que presenta un mejor ajuste es el T10.

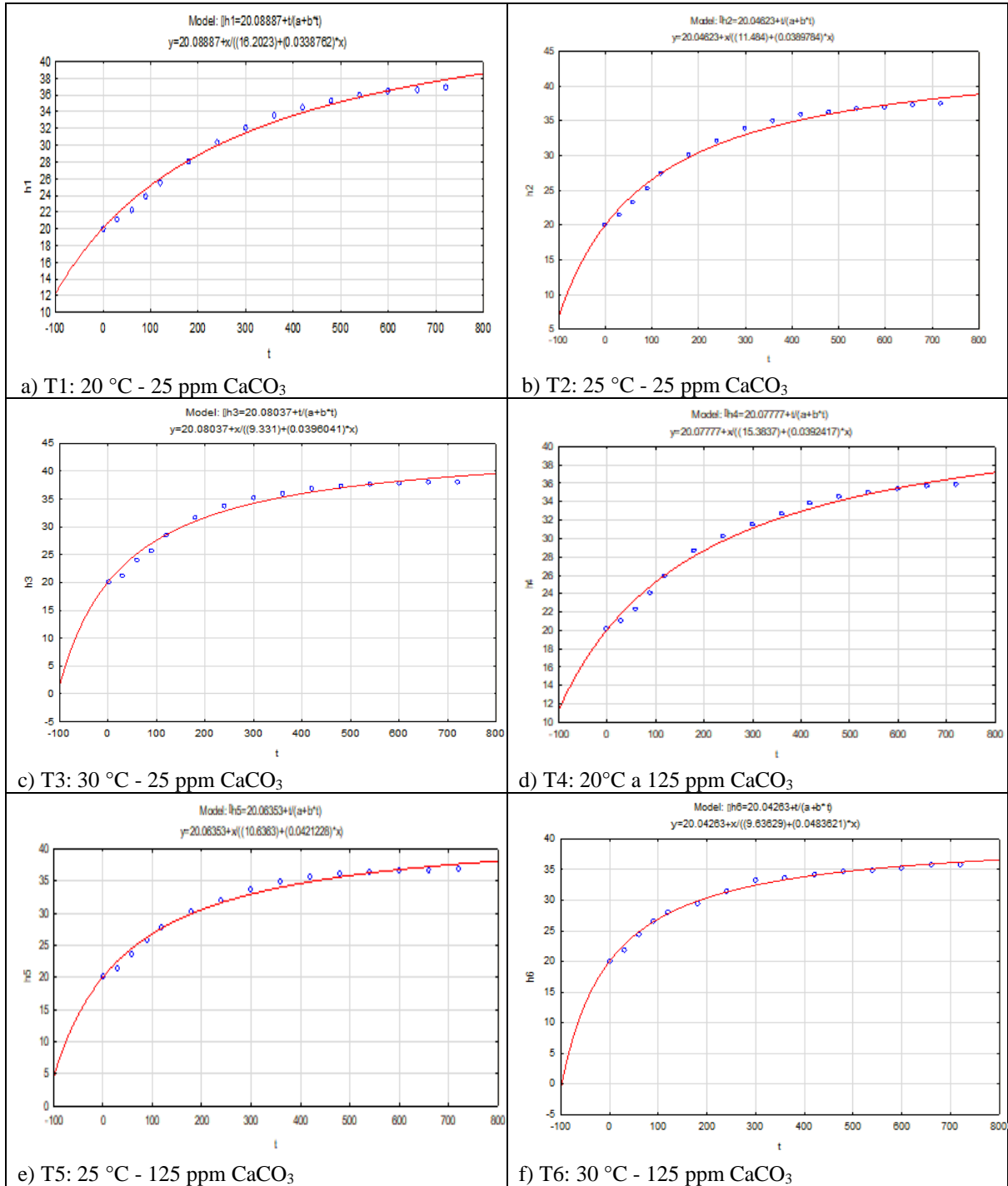
**Tabla 10***Valores de la modelización de cinéticas de hidratación de granos de arveja seca*

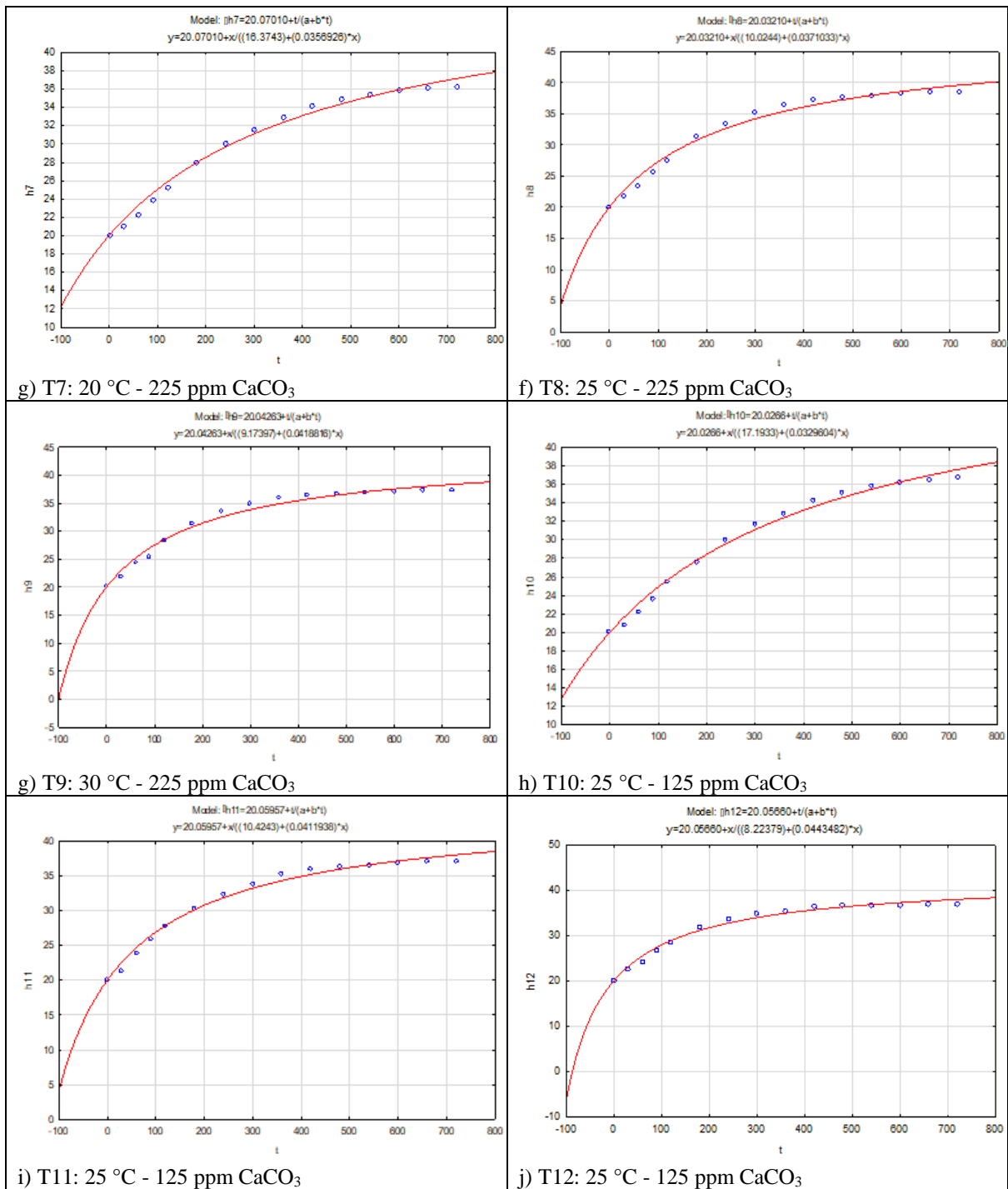
Trat.	Temp. C°	Dureza del agua ppm CaCO <sub>3</sub>	R <sup>2</sup>	RMSE	NRMSE	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>
1	20	25	0,99478	0,60869	0,03615	16,19957	0,03388
2	25	25	0,99492	1,33508	0,07706	16,06826	0,03394
3	30	25	0,99481	2,32818	0,12926	16,17548	0,03389
4	20	125	0,99481	0,87243	0,05546	16,16729	0,03389
5	25	125	0,99486	1,31610	0,07873	16,12249	0,03392
6	30	125	0,99493	1,40069	0,08825	16,057	0,03395
7	20	225	0,99484	0,70701	0,04356	16,14314	0,03391
8	25	225	0,99496	2,35542	0,12772	16,02413	0,03397
9	30	225	0,99493	2,03653	0,11807	16,057	0,03395
10	25	125	0,99498	0,65529	0,03916	16,00699	0,03398
11	25	125	0,99487	1,50636	0,08859	16,11005	0,03392
12	25	125	0,99488	2,14304	0,12616	16,10074	0,03393

En la Figura 18, se presentan las gráficas modelizadas a través de la ecuación de Peleg, para la obtención del comportamiento de la cinética de hidratación a través del tiempo en los distintos tratamientos con dureza de agua y temperatura de hidratación. De acuerdo a las gráficas obtenidas, los tratamientos con igual concentración de CaCO<sub>3</sub> y diferentes temperaturas presentan una tendencia a incrementar la pendiente de la curva, por lo tanto, al incrementar la temperatura de hidratación se incrementa la velocidad inicial de absorción de agua. Asimismo, en cuanto a la máxima capacidad de absorción de agua, se observa que no existe una característica relacionada con la variación de temperatura y/o concentración CaCO<sub>3</sub>.

**Figura 18**

*Modelización de granos arveja hidratadas según tratamientos establecidos*





En la Tabla 11 se presenta el análisis estadístico para las constantes del modelo de Peleg  $K_1$  y  $K_2$  obtenidas de la hidratación de los granos de arveja a distintas temperaturas de hidratación y dureza de agua. Según los resultados obtenidos como  $F_{cal} > F_{tab}$  entonces al menos uno de los tratamientos ha producido resultados medios que difieren de forma estadísticamente significativa del resto de tratamientos. Por lo tanto, la temperatura y dureza

del agua para evaluar la difusividad y ganancia de peso aplicando el modelo de Peleg tiene un correcto ajuste para modelizar la hidratación de los granos de arveja.

**Tabla 11**

*Análisis de varianza para el modelo de la variable dependientes  $K_1$  y  $K_2$*

	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>Fcal</b>	<b>Ftab</b>
<b><math>K_1</math></b>					
Temperatura	1	0.008105	0.008105	2.857	0.125
Dureza del agua	1	0.007996	0.007996	2.819	0.127
Residual	9	0.25533	2.84E-03		
Total	11	0.271431			
<b><math>K_2</math></b>					
Temperatura	1	2.017E-09	2.017E-09	2.666	0.137
Dureza del agua	1	2.4E-09	2.4E-09	3.173	0.109
Residual	9	6.808E-09	7.57E-09		
Total	11	1.123E-08			

#### **4.1.4. Efecto de la temperatura y dureza del agua en la humedad de equilibrio y el factor de pérdidas**

##### **4.1.4.1. Efecto de la temperatura y dureza del agua en la humedad de equilibrio**

En la Tabla 12, se presentan los valores resultantes del análisis estadístico en el modelo propuesto para evidenciar efecto alguno sobre la humedad de equilibrio de los granos de arveja hidratados con diferentes tratamientos. Los coeficientes lineal, cuadrático y producto de las variables independientes temperatura (A) y Dureza del agua (B) no presentan efecto alguno estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) sobre la humedad de equilibrio entre los tratamientos. El coeficiente de determinación  $R^2_{adj}=6,79\%$  indica que el modelo no persigue una tendencia lineal o cuadráticas, debido a la dispersión de puntos - variabilidad de la humedad de equilibrio de las arvejas.

**Tabla 12**

*Análisis de varianza del modelo propuesto de humedad de equilibrio en la hidratación de granos de arveja*

<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Df</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>F-Relación</b>	<b>P-Valor</b>
A: Temperatura	0.00150	1	0.00150417	0.01	0.9222
B: Dureza	0.03067	1	0.0306735	0.21	0.6616
AA	0.45238	1	0.452376	3.12	0.1276
AB	0.04709	1	0.047089	0.33	0.5893
BB	0.55968	1	0.559676	3.86	0.0969
Total, error	0.86915	6	0.144859		
Total (corr.)	1.7096	11			

#### **4.1.4.2. Efecto de la temperatura y dureza del agua en el factor de pérdidas**

En cuanto al resultado del análisis de varianza para el factor de pérdidas, se encontró efecto significativo en uno de los tratamientos para el producto de las variables temperatura y dureza del agua frente a la variable factor de pérdida. Sin embargo, los datos no presentan tendencia lineal o cuadrática, obteniendo un coeficiente de determinación  $R^2_{\text{adj}}=29,28\%$  producto de la variabilidad del factor de pérdida con las variables evaluadas.

**Tabla 13**

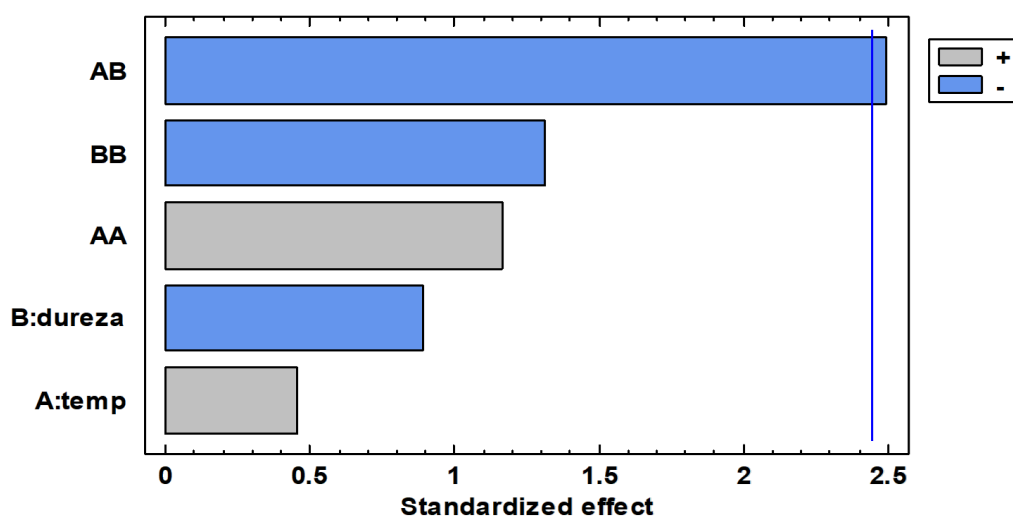
*Análisis de varianza del modelo propuesto del factor de pérdida en la hidratación de granos de arveja*

Fuente	Suma de cuadrados	Df	cuadrado medio	F-Relación	P-Valor
A: Temperatura	0.0941755	1	0.0941755	0.20	0.6669
B: dureza	0.363342	1	0.363342	0.79	0.4085
AA	0.628302	1	0.628302	1.37	0.2870
AB	2.87167	1	2.87167	6.24	0.0467
BB	0.792357	1	0.792357	1.72	0.2375
Total, error	2.76169	6	0.460282		
Total (corr.)	7.15994	11			

Con respecto a los efectos estandarizados para el factor pérdida, se observa que el factor pérdida es influenciado negativamente (significativamente) por la interacción de las variables temperatura y dureza del agua, así como se puede evidenciar en la Figura 19.

**Figura 19**

*Diagrama de Pareto para el factor de pérdida*



## **4.2. Contrastación de Hipótesis**

De acuerdo a lo desarrollado en la presente investigación, con los resultados experimentales obtenidos y la información estadística obtenida; se determinó que la temperatura y la dureza del agua presenta efecto significativo en las constantes del modelo de Peleg. Asimismo, la interacción de ambos factores presenta efecto significativo negativo en el factor de pérdidas.

## **4.3. Discusión de Resultados**

La presencia de agua en un alimento es un parámetro importante y fundamental, pues determina las reacciones enzimáticas, químicas y desarrollo microbiano que pueden desarrollarse durante su almacenamiento. De los análisis desarrollados, la humedad obtenida en todas las muestras de los pretratamientos se encuentra dentro del contenido de humedad de 10 a 12%, el cual limita el desarrollo de mohos y levaduras Ramírez (2012). Asimismo, los contenidos de humedad en las muestras de arveja pre hidratadas tienen similitud a los valores encontrados por Sánchez et al. (2016), quienes en su investigación reportaron una humedad de 12,1% para la arveja seca.

En cuanto al contenido de cenizas y humedad, los resultados obtenidos en las arvejas secas presentaron valores superiores e inferiores respectivamente, en comparación a las arvejas hidratadas (post tratamiento). Rojas y Aristizábal (2012) y Cázares et al. (2015) señalan que la determinación de cenizas y humedad en base húmeda son el porcentaje de masa de material y masa de agua respectivamente que contiene una muestra respecto a su masa total. En tal sentido, durante el proceso de hidratación de la arveja, existe un aumento de la humedad por la cantidad de agua absorbida y una disminución de las cenizas por la dilución de los solutos contenida en los granos de arveja (Barrios et al., 2016).

Por otro lado, en cuanto al contenido de cenizas en arvejas secas ( $2,69 \pm 0,0034$  %) los resultados alcanzados en esta investigación son distintos a los que reporta Barrios et al. (2016);

la variación en este parámetro dentro de una muestra se debe al estado fresco o seco particular que tiene un grano, de sus componentes y debido a la estructura y capacidad celular única que tienen los alimentos (Altamirano, 2017; Yildirim et al., 2010).

En cuanto a las propiedades granulométricas, la presencia de homogeneidad en las muestras empleadas en una investigación proporciona resultados eficientes y precisos de las variables de estudio (Pereira et al., 2012); en la presente investigación este aspecto se aprecia en la poca variabilidad de los atributos obtenidos en los atributos diámetro medio aritmético (C.V. =4,6 %), diámetro equivalente (C.V.=4,6 %), diámetro cuadrado medio (C.V.= 3,1 %), radio equivalente para cuerpos (C.V. 4,3 %) y esfericidad (C.V. 3,6 %). Además, siendo lo conveniente la utilización de productos homogéneos físicamente, los valores de esfericidad ( $\phi = 0,9344 \pm 0,0337$ ) de las muestras granos de arveja presentan una concordancia de esfericidad alta (Riley, 1941) y coinciden con lo señalado por Sánchez et al. (2016) ( $\phi = 0,89$  a  $0,99$ ), quienes indican que la esfericidad mide el nivel de aproximación a la forma esférica de un grano.

Si bien las curvas de hidratación mostraron un comportamiento análogo a lo obtenido por Resio et al. (2006), quienes en la hidratación de grano de amaranto obtuvieron una tasa inicial alta de absorción de agua seguida de una absorción en progresivo descenso hasta llegar a la humedad de equilibrio, las cinéticas de hidratación de granos de arveja obtenidas tuvieron una dispersión en los resultados de todos los tratamientos del diseño, siendo el T6, T8, T9 y T12 los que tuvieron una mayor tasa inicial de absorción de agua, entre  $0,3427 \times 10^{-2}$  gH<sub>2</sub>O/gss min y  $0,4792 \times 10^{-2}$  gH<sub>2</sub>O/gss min. Estos resultados sugieren que la temperatura y dureza de agua de hidratación no tienen un efecto en la capacidad de absorción de los granos de arveja, posiblemente, las mayores tasa de absorción de agua se expliquen por la diferente configuración de la masa de los granos, como factores estéricos y balance hidrofílico, esfericidad y tamaño de grano (Velásquez et al., 2021) en los diferentes tratamientos, pues al

existir poros con diferente conectividad, tortuosidad y permeabilidad que afecta el transporte de agua al interior de los granos (Miano et al., 2018; Warning et al., 2014).

La máxima intensidad de absorción de agua se relaciona inversamente con la constante  $K_2$ , entre más bajo sea el valor de  $K_2$  más alta la capacidad de absorción de agua. Al analizar el efecto del incremento de la temperatura del agua en el coeficiente  $K_2$ , se observó diversos efectos al incrementar sus valores. Esto podría sugerir que la influencia del factor A (temperatura) y el factor B (capacidad de absorción de agua) de productos alimentarios se relaciona con el tipo de producto y la presencia de azúcares a lo largo de su hidratación (Agudelo y Franco, 2009).

Además, para predecir la cinética de absorción de agua durante un cierto período de tiempo, se utilizó la ecuación (Peleg, 1988) como herramienta para corregir los datos obtenidos en experimentos sobre porciones curvilíneas de las curvas de absorción, durante el tiempo que aumentó la cantidad de agua en el alimento. Como resultado del análisis de regresión aplicado a los tratamientos experimentales, los valores del coeficiente de correlación ( $R^2$ ) obtenidos oscilaron entre 0,9948 y 0,9950, lo que indica una excelente concordancia con los datos experimentales y una descripción razonable de la cinética de absorción de agua a diferentes niveles de dureza y temperatura (Zarco et al., 2005).

En los tratamientos de hidratación observado, el incremento de la temperatura muestra una ligera tendencia a disminuir el valor de la constantes  $K_1$ , comportamiento similar al observado en otros granos (Ulloa et al., 2016), debido a que se promueve la disminución de la viscosidad del fluido y surgimiento de poros más grandes en los granos (Sobukola & Abayomi, 2011; Yildirim et al., 2010). En cuanto al incremento de la dureza del agua, se observa que la constante  $K_1$  tiene una relación inversamente proporcional a la dureza del agua. El valor inversor de la constante  $K_1$ , tiene relación con la tasa de absorción inicial (Maneesh-Kumar et

al., 2018), por lo tanto, según los resultados obtenidos un aumento de la tasa de absorción de agua por efecto del  $\text{CaCO}_3$  en el medio de remojo.

Asimismo, la constante  $K_2$ , que define el contenido de humedad máxima de absorción de agua, fue en general mayor para los granos remojados en mayores concentraciones de carbonato de calcio y, en consecuencia, mucho más bajo los valores de equilibrio resultantes para esas condiciones de remojo. En cuanto al efecto de la temperatura en la variación de la variable  $K_2$ , al incrementarse la temperatura en la presente investigación mostró una baja relación con la variable  $K_2$ ; lo que se explicaría por lo descrito por Altamirano (2017) y Yildirim et al. (2010), quienes indican que esto posiblemente dependería de la estructura de la pared celular producto y de los componentes presentes en los granos.

Según los gráficos del factor de pérdida, en los granos de arveja hidratada existe una transición de la región de conducción iónica decreciente a una conducción dipolar con valores de  $\epsilon''$  en aumento. Además, los factores de pérdida a iniciales (500 MHz) presentan valores elevados, lo cual indica que los compuestos de baja frecuencia de relajación dominan la respuesta a estas frecuencias (Velásquez et al., 2018). Asimismo, dado que el proceso de hidratación, produce un incremento progresivo de la fase líquida, el incremento de la conductividad iónica por la hidratación de los granos genera un aumento del factor de pérdida por encima de los 2450 MHz. Esta relación está causada por el momento dipolar de las moléculas de agua y probablemente por la orientación de los grupos cargados de las macromoléculas. En este caso, la polarización de orientación se produce en un campo eléctrico. Este tipo de polarización depende en gran medida de la frecuencia. Las macromoléculas dipolares no son capaces de seguir los cambios de polaridad del campo eléctrico (Novák et al., 2021). El comportamiento observado para el factor de pérdida dieléctrica se asemeja a lo señalado por Velásquez et al. (2021) quienes mencionan que el factor de pérdida responde al incremento del contenido de humedad en los granos, su medición estará en función de la

densidad aparente. El incremento del factor de pérdida en muestras con mayor tiempo de hidratación, genera relajación dieléctrica por concentración de iones (Chuquizuta et al., 2020).

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se logró caracterizar proximal y granulométrica de las muestras de granos de arveja seca utilizadas en los tratamientos de la investigación

Se obtuvo las curvas de hidratación de granos de arveja variedad blanca criolla, según los tratamientos descritos en la presente investigación y la modelización de los datos obtenidos de los experimentos según el modelo de Peleg, lo que determinó un alto ajuste con valores  $R^2$  mayor a 0,99 y  $NRMSE < 0,13$ .

Los espectros dieléctricos de arveja variedad blanca criolla, obtenidos el rango de 500 MHz a 9000 MHz, mostraron que las características del factor de pérdida respondían al tratamiento de hidratado.

De acuerdo a las constantes de Peleg utilizada para modelizar la cinética en los tratamientos de hidratación de granos de arveja, la temperatura y dureza del agua mostraron que influyen de forma negativa en cuanto a  $K_1$ . Asimismo, la concentración de carbonato de calcio tiene un efecto a positivo en cuanto a la constante  $K_2$ , que define el contenido de humedad máxima de absorción de agua.

Se concluye que, si bien el producto de las variables temperatura y dureza del agua tiene efecto significativo negativo sobre el factor pérdida, pero no presentan efecto significativo sobre la humedad de equilibrio.

Debido a que el factor de pérdida se encuentra relacionado al incremento del contenido de la humedad en granos, sería recomendable el desarrollo de estudios posteriores en función a la densidad aparente del grano.

## CAPÍTULO VI. REFERENCIAS

- Agudelo, J., & Franco, R. (2009). Aplicación de la ley de Fick y el modelo de Peleg para estudiar la absorción de agua en frijol ombligo (*Phaseolus vulgaris* L.) y guisante seco (*Pisum sativa*) durante la rehidratación.. *Revista Publicaciones e Investigación*, 3(1), 15–28.
- Alasino, M. (2009). *Harina de arveja en la obtención de pan. Estudio del efecto de emulsionantes como mejoradores de volumen y vida útil*. [Tesis para la obtención del Grado Académico de Magíster]. Universidad Nacional del Litoral.
- Altamirano, M. (2017). *Estudio de la cinética de hidratación de arroz tipo “senia” blanco e integral* [Trabajo para obtener el grado de Master Universitario en Ciencia e Ingeniería de los Alimentos]. Universidad Politécnica de Valencia.
- Barrios, L. B., Mora, O. O., & Cárdenas, A. F. C. (2016). Estudio de las cinéticas de pérdida de agua y absorción de aceite durante la fritura de arveja (*Pisum sativum* L.). *Acta Agronómica*, 65(3). <https://doi.org/10.15446/acag.v65n3.49188>
- Basaran-Akgul, N., Basaran, P., & Rasco, B. A. (2008). Effect of temperature (-5 to 130°C) and fiber direction on the dielectric properties of beef Semitendinosus at radio frequency and microwave frequencies. *Journal of Food Science*, 73(6). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00835.x>
- Calzada, J., & Treboux, J. (2019, July 15). *Panorama del mercado nacional e internacional de legumbres* -. Ruralnet. <https://ruralnet.com.ar/2019/07/15/panorama-del-mercado-nacional-e-internacional-de-legumbres/>
- Castillo-Aranibar, P., Zenteno, E., Gonzales, L., Sotomayor, M., & San Román, E. (2014). Aplicaciones y Teoría de Ingeniería de Microondas. In *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis* (Primera). [https://www.cambridge.org/core/product/identifier/CBO9781107415324A009/type/book\\_part](https://www.cambridge.org/core/product/identifier/CBO9781107415324A009/type/book_part)

- Castro, W., Oblitas, J., Chuquizuta, T., & Avila-George, H. (2017). Application of image analysis to optimization of the bread-making process based on the acceptability of the crust color. *Journal of Cereal Science*, 74, 194–199. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.02.002>
- Cázares-Sánchez, E., Chávez-Servia, J., Salinas-Moreno, Y., Castillo-Gonzalez, F., & Ramírez-Vallejo, P. (2015). Variación en la composición del grano entre poblaciones de maíz (*Zea mays* L.) nativas de Yucatán, México. *Agrociencia*, 49(1), 15–30.
- Cerón, A. (2016). *Determinación de la influencia de diferentes grados de rehidratación sobre algunos indicadores de calidad durante el tratamiento de enlatado y esterilización de dos variedades de arveja (Pisum sativum L.) cultivadas en el departamento de Nariño*. [Corporación Universitaria Lasallista]. [http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/1692/1/Determinacion\\_efecto\\_rehidratacion\\_enlatado\\_arveja.pdf](http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/1692/1/Determinacion_efecto_rehidratacion_enlatado_arveja.pdf)
- Cerón, A. F., Latorre, L. I., Bucheli, M. A., Osorio, O., Mejía, D. F., & Garcés, L. F. (2015). Determinación de constantes de velocidad de rehidratación y cambios sobre algunas propiedades físicas en semillas de arveja (*Pisum sativum* L.). *Revista Lasallista de Investigación*, 12(1), 21–32.
- Cerón, A. F., Osorio, O., & Garcés, L. F. (2016a). Procesamiento de Arvejas (*Pisum sativum* L.). Parte 2: Cinética de Absorción de Agua en Semillas de Arveja, variedad San Isidro y Sureña. *Información Tecnológica*, 27(1), 81–90. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000100010>
- Cerón, A. F., Osorio, O., & Garcés, L. F. (2016b). Procesamiento de Arvejas (*Pisum sativum* L.). Parte 2: Cinética de Absorción de Agua en Semillas de Arveja, variedad San Isidro y Sureña. *Información Tecnológica*, 27(1), 81–90. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000100010>

- Chen, J., Pitchai, K., Birla, S., Jones, D., Subbiah, J., & Gonzalez, R. (2015). Development of a multi-temperature calibration method for measuring dielectric properties of food. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 22(1), 626–634. <https://doi.org/10.1109/TDEI.2014.004182>
- Chuquizuta, T., Oblitas, J., Arteaga, H., & Castro, W. (2020). Application of machine learning in the discrimination of citrus fruit juices: Uses of dielectric spectroscopy. *EEE Engineering International Research Conference (EIRCON)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/EIRCON51178.2020.9253756>
- Corzo, O., Ramírez, O., & Brach, N. (2008). Aplicación del modelo de Peleg en el estudio de la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de láminas de mamey (*Mammea americana* L.). *SABER. Revista Multidisciplinaria Del Consejo de Investigación de La Universidad de Oriente*, 20(1), 87–95. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=427739437013>
- FACSA. (2016). *La dureza del Agua*. FACSA Ciclo Integral Del Agua. <https://www.facsa.com/municipios/wp-content/uploads/2016/02/Facsa-dureza-del-agua-Alcora.pdf>
- FAO, O. de las N. U. para la A. y la A. (2021). *Datos sobre alimentación y agricultura*. Producción. <https://www.fao.org/faostat/es/#data>
- Fernández, J. L., & Guivar, C. (2016). *Formulación de harina proteica y extruida a base de harina de: arveja (*Pisum sativum*), kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y tarwi (*Lupinus Mutabilis*)* [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Industrias Alimentarias]. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Fito, P., Castro-Giráldez, M., Fito, P. J., & Chenoll, C. (2010). Development of a dielectric spectroscopy technique for the determination of apple (Granny Smith) maturity.

*Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11(4), 749–754.  
<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2010.08.002>

Flores, N. E. (2019). *Efecto de la temperatura de hidratación de granos de arveja seca (Lathyrus sativus) en los coeficientes de transferencia de masa* [Universidad Nacional de Trujillo].  
[http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/12381/Flores Nancy Elizabeth1.pdf?sequence=3&isAllowed=y](http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/12381/Flores%20Nancy%20Elizabeth1.pdf?sequence=3&isAllowed=y)

García-Pascual, P., Sanjuán, N., Melis, R., & Mulet, A. (2006). Morchella esculenta (morel) rehydration process modelling. *Journal of Food Engineering*, 72(4), 346–353.  
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.12.014>

Gutiérrez, H., & de La Vara, R. (2016). Análisis y diseño de experimentos. In *Turkish Journal of Medical Sciences* (Segunda, Vol. 46, Issue 5). Mc Graw Hill. <https://doi.org/10.3906/sag-1507-147>

Hayat, I., Ahmad, A., Masud, T., Ahmed, A., & Bashir, S. (2014). Nutritional and Health Perspectives of Beans (*Phaseolus vulgaris* L.): An Overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54(5), 580–592. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.596639>

Jacques-Fajardo, G. E., Prado-Ramírez, R., Arriola-Guevara, E., Pérez Carrillo, E., Espinosa-Andrews, H., & Guatemala Morales, G. M. (2017). Physical and hydration properties of expanded extrudates from a blue corn, yellow pea and oat bran blend. *LWT*, 84, 804–814.  
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.06.046>

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

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

- Krokida, M. K., & Philippopoulos, C. (2005). Drying Technology: An Rehydration of Dehydrated Foods. *Drying Technology: An International Journal*, 23(September 2013).
- Li, X., Zyuzin, A. S., & Mamishev, A. v. (2003). Measuring moisture content in cookies using dielectric spectroscopy. *Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP), Annual Report*, 459–462. <https://doi.org/10.1109/ceidp.2003.1254892>
- Lobo, R. A. (2007a). *Principios de Transferencia de Masa* (Segunda). Universidad Autónoma Metropolitana.  
[https://www.academia.edu/37871862/PRINCIPIOS\\_DE\\_TRANSFERENCIA\\_DE\\_MASA\\_Segunda\\_Edici3n](https://www.academia.edu/37871862/PRINCIPIOS_DE_TRANSFERENCIA_DE_MASA_Segunda_Edici3n)
- Lobo, R. A. (2007b). *Principios de Transferencia de Masa* (Segunda). Universidad Autónoma Metropolitana.
- Maneesh-Kumar, M., Prasad, K., Sarat-Chandra, T., & Debnath, S. (2018). Evaluation of physical properties and hydration kinetics of red lentil (*Lens culinaris*) at different processed levels and soaking temperatures. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17(3), 330–338. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.07.004>
- Marín, E., Lemus, R., Flores, V., & Vega, A. (2006). La rehidratación de alimentos deshidratados. *Revista Chilena de Nutrición*, 33(3), 527–538. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182006000500009>
- McKeown, M. S., Trabelsi, S., Tollner, E. W., & Nelson, S. O. (2012). Dielectric spectroscopy measurements for moisture prediction in Vidalia onions. *Journal of Food Engineering*, 111(3), 505–510. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.02.034>
- Melquíades, Y. I., López, C., & Rosas, M. E. (2009). Estudio de la cinética de rehidratación de zanahoria (*daucus carota*) deshidratadas. *Informacion Tecnologica*, 20(3), 65–72. <https://doi.org/10.1612/inf.tecnol.4037it.08>

- Merletti, G. A. (2016). *Circuitos Para Aplicaciones En Radiofrecuencia Y Microondas* (p. 265) [Tesis para optar por el título de Doctor en Ciencias Aplicadas y de la Ingeniería]. <https://ri.unsam.edu.ar/handle/123456789/138>
- Miano, A. C., Saldaña, E., Campestrini, L. H., Chiorato, A. F., & Augusto, P. E. D. (2018). Correlating the properties of different carioca bean cultivars (*Phaseolus vulgaris*) with their hydration kinetics. *Food Research International*, *107*, 182–194. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.02.030>
- 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>
- Novák, J., Ardonová, V., & Hlaváčová, Z. (2021). Electrical properties of mung beans (*Vigna Radiata* L.). *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, *25*(3), 101–105. <https://doi.org/10.5937/jpea25-34115>
- Paolilli, M. C., Pagliaricci, L. O., Cabrini, S. M., & Fillat, F. A. (2021). La cadena de arveja en Argentina. In *Indicadores económicos e informes técnicos*. <https://inta.gob.ar/documentos/in>
- Paredes, E., Quiroz, M., Quispe, K., Reyes, B., Velásquez, L., Zavaleta, N., & Sánchez-González, J. A. (2012). Aplicación del modelo de Peleg para estudiar el efecto de la temperatura y dureza del agua durante la rehidratación de frijol caballero (*Phaseolus vulgaris*). *Agroindustrial Science*, *1*, 14–22.
- Peleg, M. (1988). An empirical model for the description of moisture sorption curves. *Journal of Food Science*, *53*(4), 1216–1219.

- Pereira, E., Imaña-Encinas, J., & Rezende, A. (2012). Evaluación de procedimientos simplificados en la cuantificación volumétrica de una plantación de Pino. *Colombia Forestal*, 15(1), 131–138.
- Pinillos, E. (2009). Manejo integrado de la pudrición radicular en el cultivo de arveja (*Pisum sativum*) en la sierra central del Perú. In *Instituto Nacional de Innovación Agraria* (Primera). <http://repositorio.unh.edu.pe/bitstream/handle/UNH/1257/TP - UNH AGRON. 0101.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ramírez, M. (2012). *Determinación de isotermas de sorción en harina de maíz a tres temperaturas y su ajuste a modelos matemáticos* [Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias de Alimentos]. Instituto Politécnico Nacional.
- Resio, A. C., Aguerre, R. J., & Suarez, C. (2006). Hydration kinetics of amaranth grain. *Journal of Food Engineering*, 72(3), 247–253. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.12.003>
- Reyes, A., Yarlequé, M., Castro, W., & Chuquizuta, S. (2017). Determination of dielectric properties of the red delicious apple and its correlation with quality parameters. *Progress in Electromagnetics Research Symposium*, 2067–2072. <https://doi.org/10.1109/PIERS-FALL.2017.8293478>
- Reyes-García, M. (2017). Tablas de composición de alimentos de Perú. In *Ministerio de Salud, Instituto Nacional de Salud*, (décima, Issue 56). <https://repositorio.ins.gob.pe/xmlui/bitstream/handle/INS/1034/tablas-peruanas-QR.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Riley, N. A. (1941). Projection sphericity. *Journal of Sedimentary Petrology*, 11(2), 94–97.
- Rodríguez, A. (2010). *La dureza del agua*. Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional. <http://www.edutecne.utn.edu.ar>
- Rodriguez-Arisméndiz, R. (2017). *Estudio de la espectroscopía dieléctrica para la medición del contenido de humedad en productos alimenticios* [Universidad de Piura].

[https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3487/DOC\\_ING\\_AUT\\_002.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3487/DOC_ING_AUT_002.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

- Rojas-Barahona, Á., & Aristizábal-Torres, I. (2012). Efecto del Contenido de Humedad sobre Algunas Propiedades Mecánicas de la Semilla de Vitabosa (*Mucuna deeringiana*). *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín*, 65(1), 6553–6566.
- Ruiz, J. (2019). *Introducción de variedades mejoradas de arveja ( Pisum sativum L .) en condiciones del distrito de Huando – Huancavelica* [Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/5333/T010-46486985-B.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0Afile:///C:/Users/User/Downloads/fvm939e.pdf>
- Sánchez, D., Ruiz, L. T., & Suárez, O. J. (2016). Evaluation of Shape, Roundness, Sphericity and Equality in commercial yellow hard corn (*Zea mays* L.) and pea (*Pisum sativum*) grains. *Rev. Investig. Univ. Le Cordon Bleu*, 3(1). <https://doi.org/10.36955/RIULCB.2016v3n1.001>
- Serna-Cock, L., Pabón-Rodríguez, O. V., & Quintana-Moreno, J. D. (2019). Effects of the ionic force and time of soaking of dry legumes on their tecnofuncional properties. *Informacion Tecnologica*, 30(2), 201–210. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000200201>
- 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](http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/4305/SICCHA_REYES_DEYCI_BETZAIDA.pdf?sequence=3)
- Sobukola, O. P., & Abayomi, H. T. (2011). Physical properties and rehydration characteristics of different varieties of maize (*Zea mays* l.) and cowpea (*Vigna unguiculata* l. walp) seeds. *Journal of Food Processing and Preservation*, 35(3), 299–307. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2009.00455.x>

- Soltani, M., & Alimardani, R. (2011). Moisture-Dependent Dielectric Properties of Pea and Black-Eyed Pea. *Journal of American Science*, 7(4), 60–64.
- Traynham, T. L., Myers, D. J., Carriquiry, A. L., & Johnson, L. A. (2007). Evaluation of water-holding capacity for wheat-soy flour blends. *JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 84(2), 151–155. <https://doi.org/10.1007/s11746-006-1018-0>
- 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>
- Ulloa, J., Rosas-Ulloa, P., Ramírez-Ramírez, J., & Ulloa-Rangel, B. (2016). Modelación matemática de las cinéticas de hidratación a diferentes temperaturas de cuatro variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L) producidas en México. *Ciencia UAT*, 10(2), 52–62.
- Valladolid, A. (2016a). Leguminosas de Grano “Semillas nutritivas para un futuro sostenible.” In H. Plenge (Ed.), *Ministerio de Agricultura y Riego* (Primera). <https://doi.org/10.2307/j.ctvkjb460.13>
- Valladolid, A. (2016b). Leguminosas de Grano “Semillas nutritivas para un futuro sostenible.” In H. Plenge (Ed.), *Ministerio de Agricultura y Riego* (Primera). <https://doi.org/10.2307/j.ctvkjb460.13>
- Velásquez, S., Franco, A. P., Peña, N., Bohórquez, J. C., & Gutierrez, N. (2021). Effect of coffee cherry maturity on the performance of the drying process of the bean: Sorption isotherms and dielectric spectroscopy. *Food Control*, 123. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107692>
- Velasquez, S., Peña, N., Bohórquez, J. C., & Gutiérrez, N. (2018). Determination of the complex permittivity of cherry, pulped, green, and roasted coffee using a planar dielectric platform

and a coaxial probe between 0.3 and 6 GHz. *International Journal of Food Properties*, 21(1), 1332–1343. <https://doi.org/10.1080/10942912.2018.1490320>

Velázquez, G., Martín-Polo, M. O., & Herrera-Gómez, A. (2000). Cuantificación por IR del agua directamente unida a una matriz polimérica. *Sociedad Mexicana de Ciencia de Superficies y de Vacío*, 11, 24–31.

Velázquez-Varela, J. (2014). *Estudio de los espectros dieléctricos en alimentos con estructura coloidal* [Universidad Politécnica de Valencia]. ¿Obtenido de [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/37196/Velazquez - ESTUDIO DE LOS ESPECTROS DIELÉCTRICOS EN ALIMENTOS CON ESTRUCTURA COLOIDAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/37196/Velazquez_-_ESTUDIO_DE_LOS_ESPECTROS_DIELÉCTRICOS_EN_ALIMENTOS_CON_ESTRUCTURA_COLOIDAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Warning, A., Verboven, P., Nicolai, B., van Dalen, G., & Datta, A. K. (2014). Computation of mass transport properties of apple and rice from X-ray microtomography images. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 24, 14–27. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.12.017>

Yildirim, A., Öner, M. D., & Bayram, M. (2010). Modeling of water absorption of ultrasound applied chickpeas (*Cicer arietinum* L.) using Peleg's equation. *Tarim Bilimleri Dergisi*, 16(4), 278–286. [https://doi.org/10.1501/tarimbil\\_0000001148](https://doi.org/10.1501/tarimbil_0000001148)

Zarco-Tejada, P. J., Berjón, A., López-Lozano, R., Miller, J. R., Martín, P., Cachorro, V., González, M. R., & de Frutos, A. (2005). Assessing vineyard condition with hyperspectral indices: Leaf and canopy reflectance simulation in a row-structured discontinuous canopy. *Remote Sensing of Environment*, 99(3), 271–287. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.09.002>

## CAPÍTULO VII. ANEXOS

### 7.1. Panel fotográfico

Fotografía 1. Selección de los granos.



Fotografía 2. Acondicionamiento de la muestra a temperatura ambiente.



Fotografía 3. Peso de  $\text{CaCO}_3$



Fotografía 4. concentración de  $\text{CaCO}_3$ , 300 ml de agua destilada.



Fotografía 5. Peso de muestra 20g.



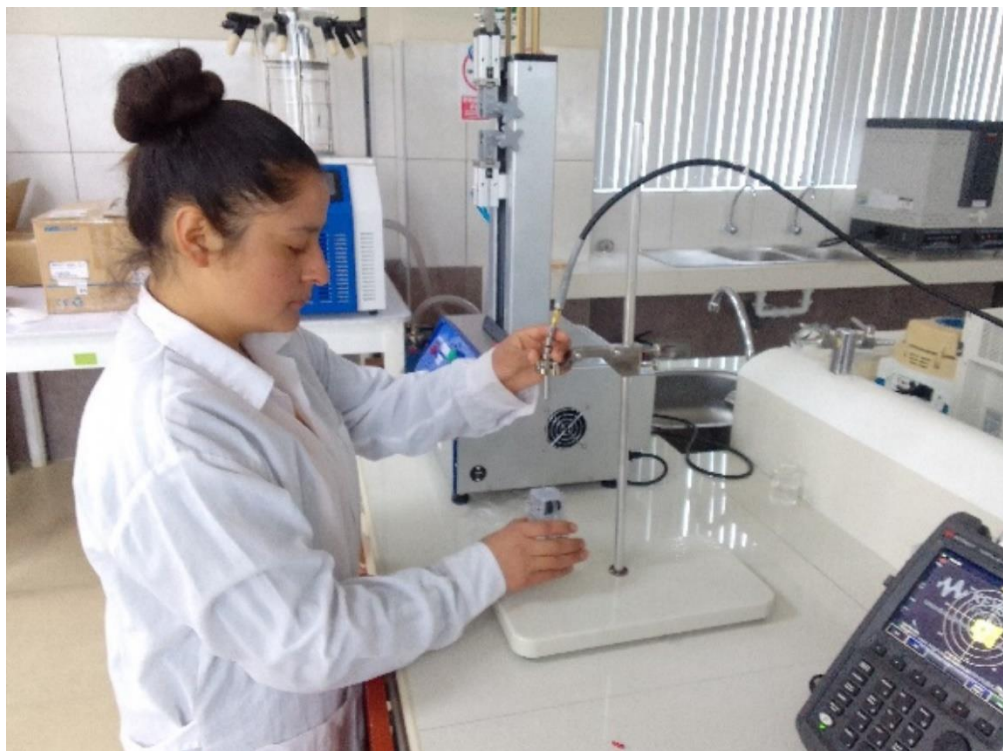
Fotografía 6. Secado.



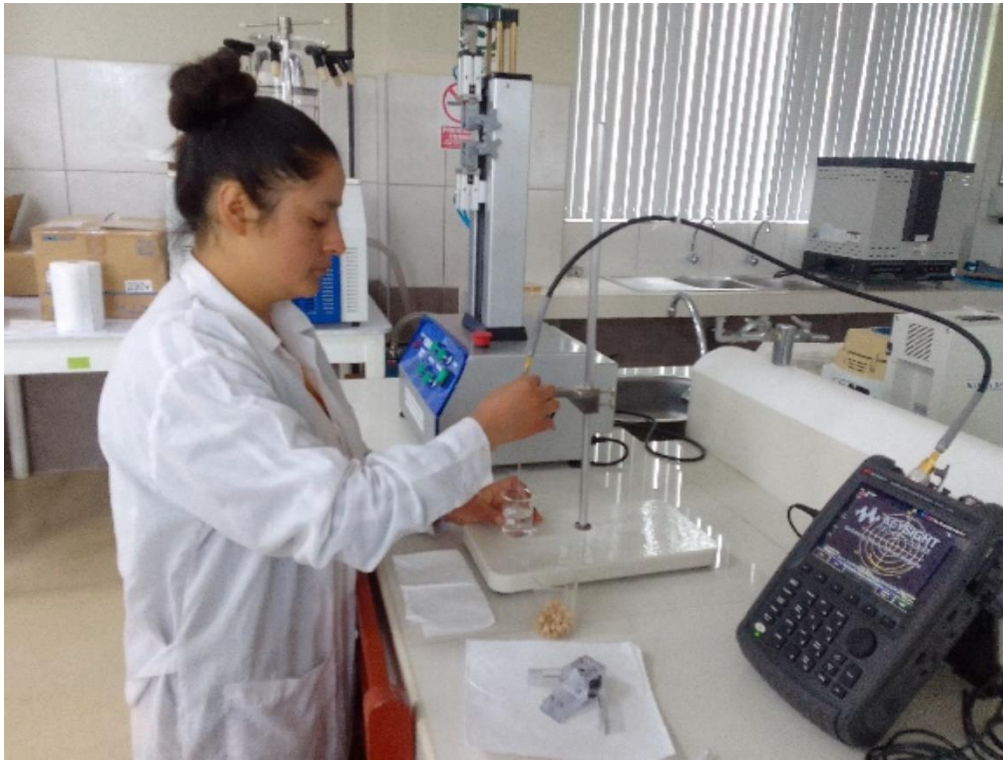
Fotografía 7. Calibración del equipo en aire.



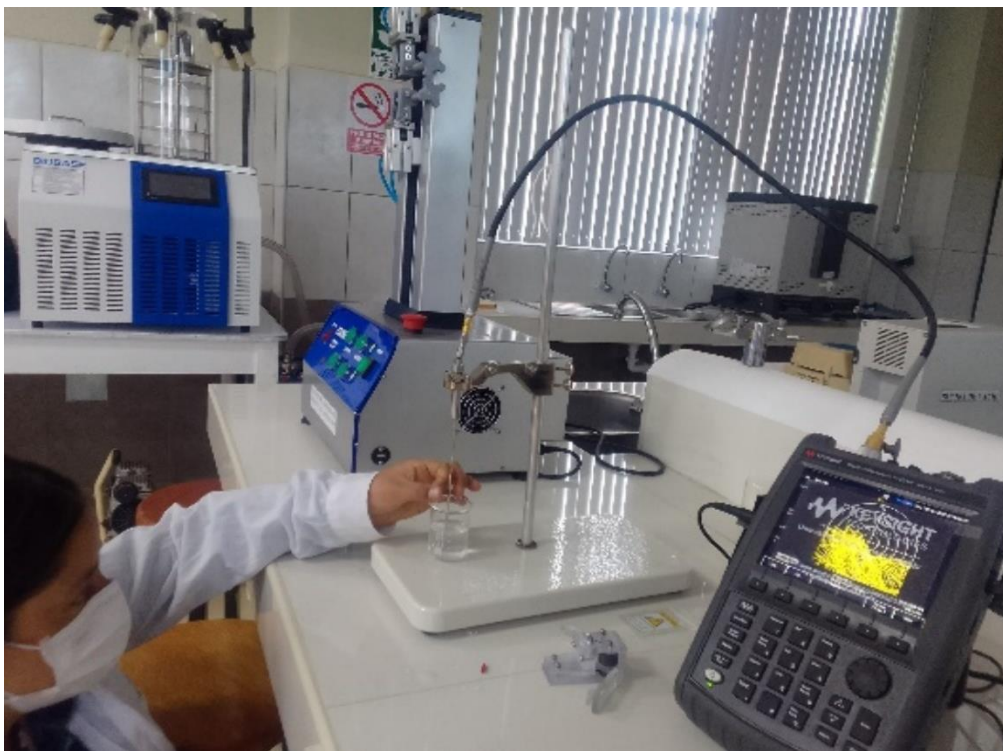
Fotografía 8. Calibración del equipo en corto circuito.



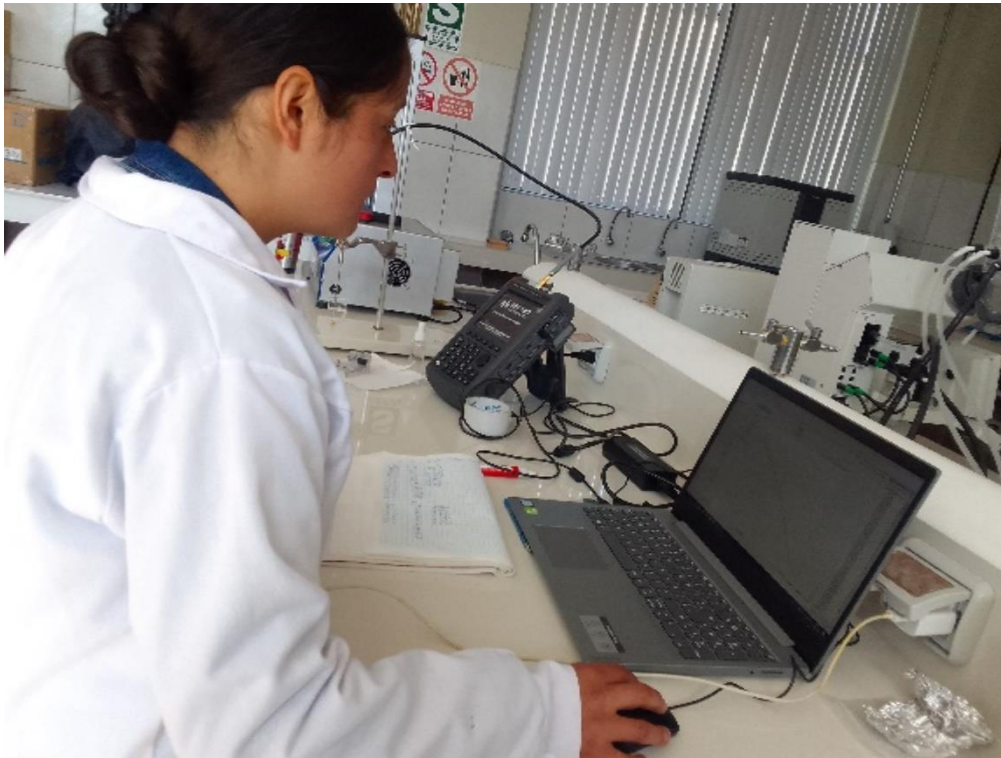
Fotografía 9. Calibración del equipo en agua.



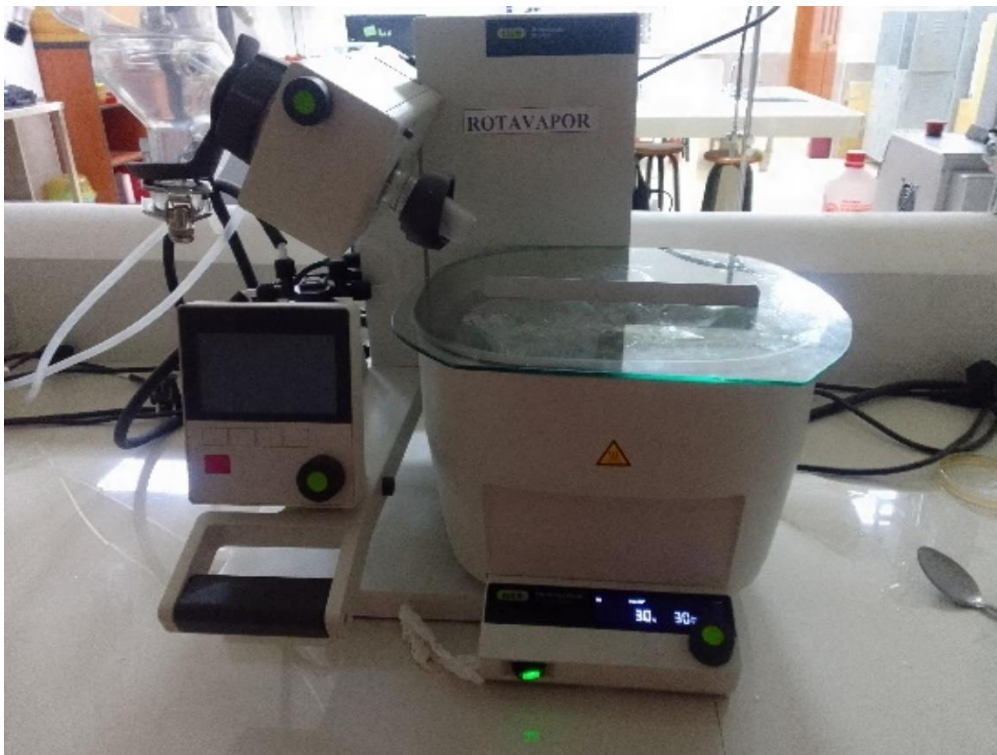
Fotografía 10. Eliminación de burbuja.



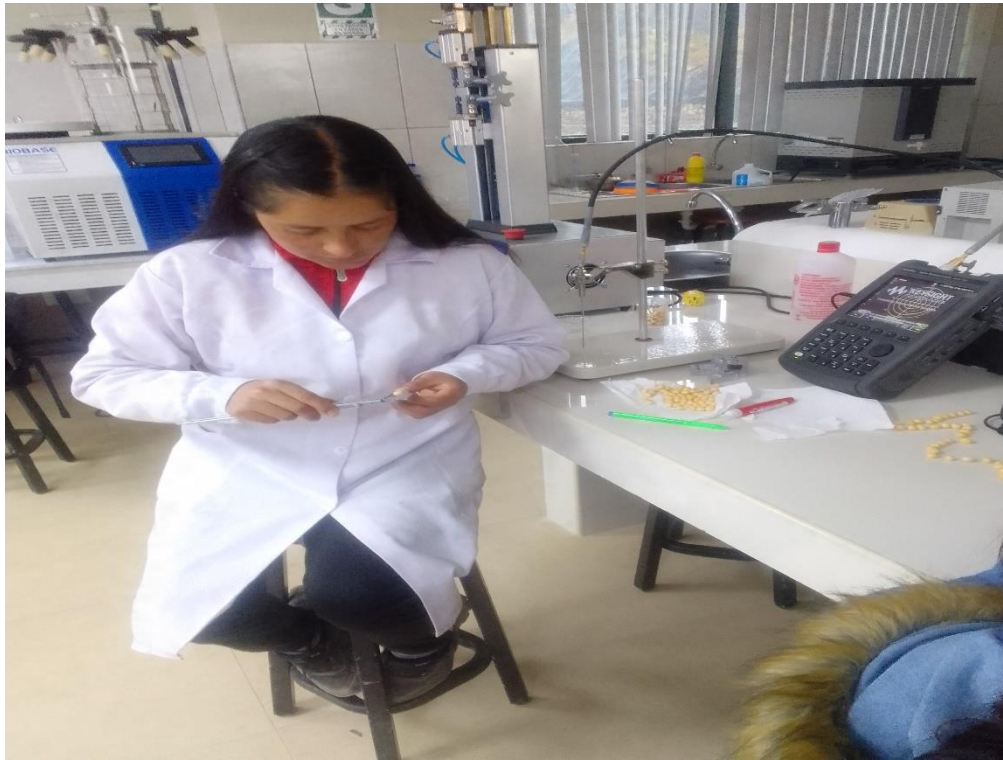
Fotografía 11. Obtención de las propiedades dieléctricas.



Fotografía 12. Conservación a temperatura a 12 horas (Rotavapor).



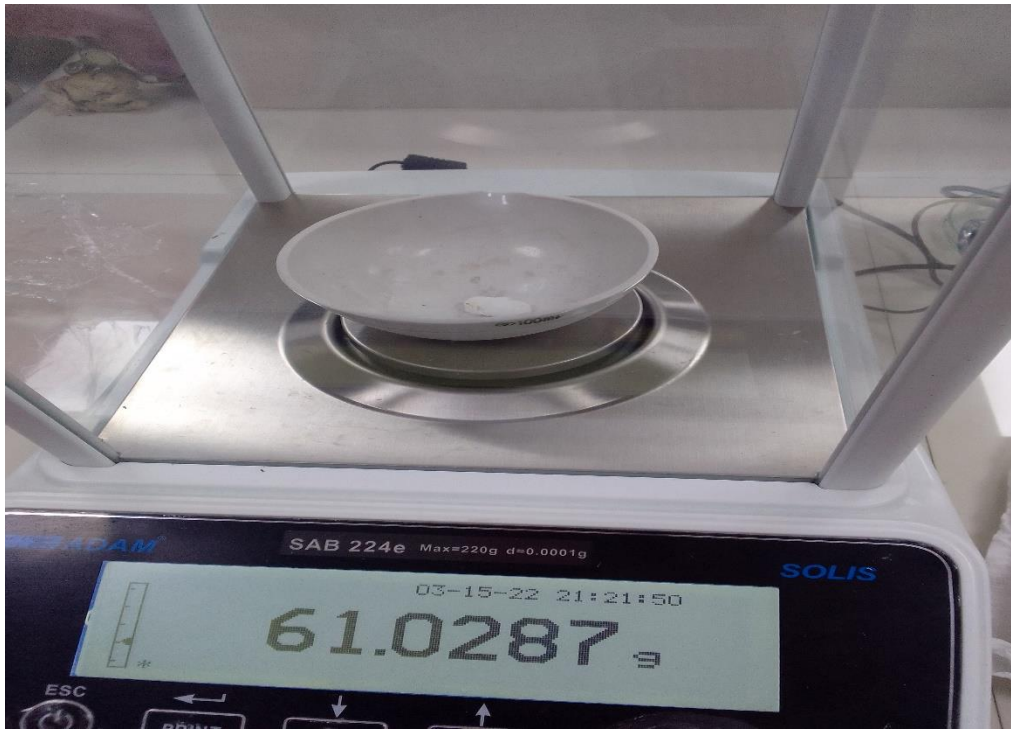
Fotografía 13. Caracterización granulométrica.



Fotografía 14. Mufla.



Fotografía 15. Peso de cenizas.



Fotografía 16. Estufa



➤ **Cinéticas de hidratación de granos arveja a diferentes temperaturas y concentraciones de CaCO<sub>3</sub>**

D1

Cinética de hidratación a una temperatura 20°C con una dureza del agua de 25 ppm de CaCO<sub>3</sub>

Tiempo		MASA (g)							base humeda (Bh)	Solido seco (Ss)	(Bh/Ss)*1 00
(Hora)	(mi)	R1	R2	R3	X	S		%	%	%	
08:1	00:	0	20.0867	20.0902	20.0897	20.088	0.001	<b>12.14</b>	87.852	13.828	
08:4	00:	30	20.9878	21.3452	21.0594	21.130	0.189	16.48	83.520	19.732	
09:1	00:	60	22.7574	22.2911	21.9152	22.321	0.421	20.93	79.066	26.477	
09:4	00:	90	24.5258	23.7875	23.3472	23.886	0.595	26.11	73.884	35.348	
10:1	00:	12	26.6635	24.9145	24.7142	25.430	1.072	30.60	69.398	44.096	
11:1	01:	18	28.8828	27.5266	27.6206	28.010	0.757	36.99	63.008	58.711	
12:1	01:	24	31.4018	30.1025	29.4962	30.333	0.973	41.81	58.181	71.876	
13:1	01:	30	32.8018	31.7926	31.5647	32.053	0.658	44.94	55.060	81.620	
14:1	01:	36	34.4566	33.0257	33.0741	33.518	0.812	47.34	52.652	89.925	
15:1	01:	42	35.2774	34.131	34.0091	34.472	0.699	48.80	51.196	95.329	
16:1	01:	48	36.0939	35.0275	35.053	35.391	0.608	50.13	49.866	100.536	
17:1	01:	54	36.6895	35.6627	35.691	36.014	0.584	50.99	49.004	104.066	
18:1	01:	60	36.9958	36.0431	36.2064	36.415	0.509	51.53	48.465	106.336	
19:1	01:	66	37.2355	36.4152	36.4173	36.689	0.473	51.89	48.102	107.890	
20:1	01:	72	37.4277	36.5781	36.7696	36.925	0.445	52.20	47.795	109.226	
									RMSE	0.6087	
									NRMSE	0.036	

D2

Cinética de hidratación a una temperatura 25°C con una dureza del agua de 25 ppm de CaCO<sub>3</sub>

Tiempo		MASA (g)							base humeda (Bh)	Solido seco (Ss)	(Bh/Ss)*10 0
(Hora)	(mi)	R1	R2	R3	X	S		%	%	25 ppm	
08:1	00:	0	20.0164	20.0709	20.0514	20.0462	0.0276	<b>11.185</b>	88.815	12.594	
08:4	00:	30	21.5528	21.3914	21.451	21.4650	0.0816	17.056	82.944	20.563	
09:1	00:	60	23.2407	22.9971	23.1203	23.1193	0.1218	22.991	77.009	29.855	
09:4	00:	90	24.777	25.4617	25.3021	25.1802	0.3582	29.294	70.706	41.431	
10:1	00:	12	27.32	27.2384	27.2579	27.2721	0.0426	34.717	65.283	53.180	
11:1	01:	18	29.858	30.0146	30.0213	29.9646	0.0924	40.583	59.417	68.303	
12:1	01:	24	31.8392	32.1072	32.0987	32.0150	0.1523	44.389	55.611	79.820	
13:1	01:	30	33.6255	34.1082	33.9583	33.8973	0.2470	47.477	52.523	90.392	
14:1	01:	36	34.8421	35.1113	34.996	34.9831	0.1350	49.107	50.893	96.491	
15:1	01:	42	35.1885	36.4277	35.6719	35.7627	0.6245	50.216	49.784	100.869	
16:1	01:	48	35.7304	36.9685	36.0013	36.2334	0.6508	50.863	49.137	103.513	
17:1	01:	54	36.0733	37.36	36.514	36.6491	0.6539	51.420	48.580	105.848	
18:1	01:	60	36.4141	37.4854	37.01	36.9698	0.5367	51.842	48.158	107.649	
19:1	01:	66	36.5671	37.8791	37.3121	37.2527	0.6580	52.208	47.792	109.238	
20:1	01:	72	36.701	37.9105	37.5011	37.3708	0.6151	52.359	47.641	109.902	
									RMSE	1.3351	
									NRMSE	0.077	

D3

Cinética de hidratación a una temperatura 30°C con una dureza del agua de 25 ppm de CaCO<sub>3</sub>

Tiempo		MASA (g)							base humeda (Bh)	Solido seco (Ss)	(Bh/Ss)*10 0
(Hora)	(min)	R1	R2	R3	X	S		%	%	%	
08:18	00:0	0	20.0094	20.1007	20.131	20.0803	0.0633	<b>12.380</b>	87.620	14.129	
08:48	00:3	30	21.2838	21.088	21.3019	21.2245	0.1186	17.104	82.896	20.632	
09:18	00:3	60	23.7907	24.6337	23.7952	24.0732	0.4854	26.913	73.087	36.823	
09:48	00:3	90	25.682	26.3481	25.2088	25.7463	0.5723	31.662	68.338	46.332	
10:18	00:3	120	28.5543	28.9979	28.1376	28.5632	0.4302	38.402	61.598	62.343	
11:18	01:0	180	31.4677	32.1009	31.4788	31.6824	0.3624	44.466	55.534	80.071	
12:18	01:0	240	33.4626	34.2272	33.5086	33.7328	0.4287	47.842	52.158	91.725	
13:18	01:0	300	34.964	35.6398	35.2188	35.2742	0.3412	50.121	49.879	100.485	
14:18	01:0	360	35.747	36.3367	36.0126	36.0321	0.2953	51.170	48.830	104.793	
15:18	01:0	420	36.6404	37.223	36.956	36.9398	0.2916	52.370	47.630	109.952	
16:18	01:0	480	37.051	37.5882	37.2866	37.3086	0.2692	52.841	47.159	112.048	
17:18	01:0	540	37.2537	37.968	37.6759	37.6325	0.3591	53.247	46.753	113.889	
18:18	01:0	600	37.3396	38.0872	38.003	37.8099	0.4094	53.466	46.534	114.897	
19:18	01:0	660	37.431	38.304	38.218	37.9843	0.4811	53.680	46.320	115.889	
20:18	01:0	720	37.4814	38.3964	38.3962	38.0913	0.5282	53.810	46.190	116.497	
									RMSE	2.3282	
									NRMSE	0.129	

D4

Cinética de hidratación a una temperatura 20°C con una dureza del agua de 125 ppm de CaCO<sub>3</sub>

Tiempo		MASA (g)							base humeda (Bh)	Solido seco (Ss)	(Bh/Ss)*10 0
(Hora)	(min)	R1	R2	R3	X	S		%	%	%	
08:18	00:0	0	20.0961	20.0162	20.121	20.0777	0.0547	<b>12.297</b>	87.703	14.021	
08:48	00:3	30	20.515	20.9526	21.3011	20.9229	0.3938	15.840	84.160	18.821	
09:18	00:3	60	21.9351	22.592	22.1346	22.2205	0.3367	20.755	79.245	26.190	
09:48	00:3	90	23.888	23.5623	24.3734	23.9412	0.4081	26.450	73.550	35.962	
10:18	00:3	120	27.0753	25.0925	25.6618	25.9432	1.0209	32.126	67.874	47.331	
11:18	01:0	180	29.6015	28.2154	27.9115	28.5761	0.9009	38.379	61.621	62.283	
12:18	01:0	240	30.6048	30.0757	29.745	30.1418	0.4337	41.580	58.420	71.175	
13:18	01:0	300	31.9645	31.6701	30.9446	31.5264	0.5249	44.146	55.854	79.038	
14:18	01:0	360	33.106	32.9463	31.947	32.6664	0.6281	46.095	53.905	85.512	
15:18	01:0	420	34.0083	34.1247	33.096	33.7430	0.5633	47.815	52.185	91.626	
16:18	01:0	480	34.8683	34.9363	33.7071	34.5039	0.6908	48.966	51.034	95.947	
17:18	01:0	540	35.5262	35.0207	34.4545	35.0004	0.5361	49.690	50.310	98.767	
18:18	01:0	600	35.9085	35.4947	34.8578	35.4203	0.5292	50.286	49.714	101.151	
19:18	01:0	660	36.1124	35.716	35.1508	35.6597	0.4832	50.620	49.380	102.511	
20:18	01:0	720	36.3034	35.8748	35.2436	35.8072	0.5331	50.823	49.177	103.349	
									RMSE	0.8724	
									NRMSE	0.055	

D5

Cinética de hidratación a una temperatura 25°C con una dureza del agua de 125 ppm de CaCO<sub>3</sub>

Tiempo		MASA (g)							base humeda (Bh)	Solido seco (Ss)	(Bh/Ss)*10 0
(Hora)	(min)	R1	R2	R3	X	S		%	%	%	
08:18	00:0	0	20.0247	20.0614	20.1045	20.0635	0.0399	12.926	87.074	14.845	
08:48	00:3	30	21.0656	21.3013	22.0506	21.4725	0.5143	18.640	81.360	22.910	
09:18	00:3	60	22.3485	23.7311	24.3608	23.4801	1.0293	25.596	74.404	34.402	
09:48	00:3	90	24.5166	26.0589	27.0556	25.8770	1.2792	32.488	67.512	48.122	
10:18	00:3	120	26.3005	28.0828	28.628	27.6704	1.2173	36.864	63.136	58.388	
11:18	01:0	180	29.1068	30.4583	30.912	30.1590	0.9390	42.074	57.926	72.633	
12:18	01:0	240	31.1196	32.0564	32.5759	31.9173	0.7380	45.265	54.735	82.697	
13:18	01:0	300	32.8073	33.9691	34.0262	33.6008	0.6878	48.007	51.993	92.334	
14:18	01:0	360	34.1078	35.057	35.0777	34.7475	0.5540	49.723	50.277	98.897	
15:18	01:0	420	35.1004	35.892	35.5595	35.5173	0.3974	50.813	49.187	103.304	
16:18	01:0	480	35.7855	36.1695	36.0079	35.9876	0.1928	51.455	48.545	105.996	
17:18	01:0	540	36.3322	36.4235	36.1251	36.2936	0.1529	51.865	48.135	107.747	
18:18	01:0	600	36.4866	36.78	36.3005	36.5223	0.2417	52.166	47.834	109.057	
19:18	01:0	660	36.6462	36.787	36.5918	36.6750	0.1007	52.365	47.635	109.931	
20:18	01:0	720	36.751	36.815	36.7727	36.7795	0.0325	52.501	47.499	110.529	
									RMSE	1.3161	
									NRMSE	0.079	

D6

Cinética de hidratación a una temperatura 30°C con una dureza del agua de 125 ppm de CaCO<sub>3</sub>

Tiempo		MASA (g)							base humeda (Bh)	Solido seco (Ss)	(Bh/Ss)*10 0
(Hora)	(min)	R1	R2	R3	X	S		%	%	%	
08:18	00:0	0	20.0735	20.0229	20.0315	20.0426	0.0270	12.467	87.533	14.242	
08:48	00:3	30	21.9122	21.6819	21.9443	21.8461	0.1431	19.693	80.307	24.522	
09:18	00:3	60	24.5584	24.1184	24.3133	24.3300	0.2204	27.892	72.108	38.680	
09:48	00:3	90	26.8201	26.6635	26.0686	26.5174	0.3964	33.840	66.160	51.148	
10:18	00:3	120	28.2695	28.0001	27.9237	28.0644	0.1816	37.487	62.513	59.966	
11:18	01:0	180	30.5693	30.4728	29.494	30.1787	0.5949	41.866	58.134	72.018	
12:18	01:0	240	32.881	32.4296	31.3702	32.2269	0.7755	45.561	54.439	83.692	
13:18	01:0	300	34.2132	32.6637	32.987	33.2879	0.8174	47.296	52.704	89.740	
14:18	01:0	360	34.7608	32.7984	33.291	33.6167	1.0209	47.812	52.188	91.614	
15:18	01:0	420	35.1223	33.6618	34.0637	34.2826	0.7544	48.825	51.175	95.410	
16:18	01:0	480	35.3933	34.0946	34.6484	34.7121	0.6516	49.459	50.541	97.858	
17:18	01:0	540	35.7977	34.3569	34.8929	35.0158	0.7282	49.897	50.103	99.589	
18:18	01:0	600	35.9927	34.6738	35.1863	35.2842	0.6648	50.278	49.722	101.119	
19:18	01:0	660	36.29	34.9091	36.1106	35.7699	0.7508	50.953	49.047	103.887	
20:18	01:0	720	36.4039	35.0912	36.2456	35.9135	0.7165	51.149	48.851	104.706	
									RMSE	1.4007	
									NRMSE	0.088	

D7

Cinética de hidratación a una temperatura 20°C con una dureza del agua de 225 ppm de CaCO<sub>3</sub>

Tiempo		MASA (g)							base humeda (Bh)	Solido seco (Ss)	(Bh/Ss)*10 0
(Hora)	(min)	R1	R2	R3	X	S		%	%	%	
08:18	00:0	0	20.0564	20.0708	20.0831	20.0701	0.0133	<b>12.578</b>	87.422	14.387	
08:48	00:3	30	21.0587	20.8522	21.1731	21.0280	0.1626	16.560	83.440	19.847	
09:18	00:3	60	22.4537	21.9285	22.3067	22.2296	0.2709	21.071	78.929	26.695	
09:48	00:3	90	24.1273	23.656	23.7202	23.8345	0.2556	26.385	73.615	35.842	
10:18	00:3	120	25.73	25.0586	25.0453	25.2779	0.3915	30.589	69.411	44.069	
11:18	01:0	180	28.0863	28.0304	27.9878	28.0348	0.0494	37.415	62.585	59.782	
12:18	01:0	240	29.923	30.2712	30.1418	30.1120	0.1760	41.732	58.268	71.620	
13:18	01:0	300	31.4241	31.8267	31.6515	31.6341	0.2018	44.535	55.465	80.295	
14:18	01:0	360	32.5931	33.4346	32.8963	32.9746	0.4261	46.790	53.210	87.936	
15:18	01:0	420	33.5635	34.9632	33.9867	34.1711	0.7178	48.653	51.347	94.755	
16:18	01:0	480	34.7292	35.1065	34.8415	34.8924	0.1937	49.715	50.285	98.866	
17:18	01:0	540	35.0804	35.6153	35.4052	35.3669	0.2694	50.390	49.610	101.570	
18:18	01:0	600	35.6532	36.1785	35.7521	35.8612	0.2791	51.073	48.927	104.388	
19:18	01:0	660	35.9534	36.5348	35.9436	36.1439	0.3385	51.456	48.544	105.999	
20:18	01:0	720	36.1289	36.6942	36.0843	36.3024	0.3399	51.668	48.332	106.902	
									RMSE	0.7070	
									NRMSE	0.044	

D8

Cinética de hidratación a una temperatura 25°C con una dureza del agua de 225 ppm de CaCO<sub>3</sub>

Tiempo		MASA (g)							base humeda (Bh)	Solido seco (Ss)	(Bh/Ss)*10 0
(Hora)	(min)	R1	R2	R3	X	S		%	%	%	
08:18	00:0	0	20.0214	20.0383	20.0366	20.0321	0.0093	<b>11.467</b>	88.533	12.952	
08:48	00:3	30	21.66	21.9506	21.8906	21.8337	0.1534	18.772	81.228	23.110	
09:18	00:3	60	23.1442	23.9612	23.279	23.4614	0.4380	24.408	75.592	32.288	
09:48	00:3	90	25.5402	26.36	25.2545	25.7182	0.5738	31.041	68.959	45.013	
10:18	00:3	120	27.4431	27.9686	27.0044	27.4720	0.4827	35.443	64.557	54.902	
11:18	01:0	180	30.9045	32.79	30.4491	31.3812	1.2411	43.485	56.515	76.944	
12:18	01:0	240	33.4322	33.7659	33.2504	33.4828	0.2614	47.032	52.968	88.794	
13:18	01:0	300	35.3336	35.376	34.783	35.1642	0.3308	49.565	50.435	98.275	
14:18	01:0	360	36.6197	36.846	36.1932	36.5529	0.3314	51.481	48.519	106.105	
15:18	01:0	420	37.6007	37.313	37.0071	37.3069	0.2968	52.462	47.538	110.356	
16:18	01:0	480	37.8708	37.5946	37.7718	37.7457	0.1399	53.014	46.986	112.831	
17:18	01:0	540	38.2158	37.7981	37.7979	37.9372	0.2412	53.251	46.749	113.911	
18:18	01:0	600	38.582	38.0086	38.0764	38.2223	0.3133	53.600	46.400	115.518	
19:18	01:0	660	38.7003	38.2808	38.2177	38.3996	0.2623	53.814	46.186	116.517	
20:18	01:0	720	38.768	38.302	38.3525	38.4741	0.2557	53.904	46.096	116.938	
									RMSE	2.3554	
									NRMSE	0.128	

D9

Cinética de hidratación a una temperatura 30°C con una dureza del agua de 225 ppm de CaCO<sub>3</sub>

Tiempo		MASA (g)							base humeda (Bh)	Solido seco (Ss)	(Bh/Ss)*10 0
(Hora)	(min)	R1	R2	R3	X	S		%	%	%	
08:18	00:0	0	20.088	20.0042	20.0357	20.0426	0.0423	<b>12.000</b>	88.000	13.636	
08:48	00:3	30	21.7397	22.4639	21.2846	21.8294	0.5947	19.203	80.797	23.767	
09:18	00:3	60	23.7572	24.4694	24.4027	24.2097	0.3933	27.147	72.853	37.263	
09:48	00:3	90	25.4814	25.2853	25.7695	25.5120	0.2435	30.866	69.134	44.647	
10:18	00:3	120	28.3988	27.8319	28.3728	28.2011	0.3200	37.458	62.542	59.893	
11:18	01:0	180	31.5079	30.879	31.5756	31.3208	0.3841	43.688	56.312	77.581	
12:18	01:0	240	33.682	33.0785	33.662	33.4741	0.3428	47.310	52.690	89.790	
13:18	01:0	300	35.3517	34.5038	35.0001	34.9518	0.4260	49.538	50.462	98.168	
14:18	01:0	360	36.0985	35.1102	36.641	35.9499	0.7761	50.939	49.061	103.826	
15:18	01:0	420	36.8011	35.5851	36.8791	36.4217	0.7256	51.574	48.426	106.502	
16:18	01:0	480	37.108	35.919	36.9589	36.6619	0.6477	51.892	48.108	107.864	
17:18	01:0	540	37.459	36.2201	37.1009	36.9266	0.6375	52.236	47.764	109.364	
18:18	01:0	600	37.6172	36.3273	37.3015	37.0820	0.6723	52.436	47.564	110.245	
19:18	01:0	660	37.6821	36.4984	37.5641	37.2482	0.6520	52.649	47.351	111.187	
20:18	01:0	720	37.6974	36.5298	37.6481	37.2917	0.6603	52.704	47.296	111.434	
									RMSE	2.0365	
									NRMSE	0.118	

D10

Cinética de hidratación a una temperatura 25°C con una dureza del agua de 125 ppm de CaCO<sub>3</sub>

Tiempo		MASA (g)							base humeda (Bh)	Solido seco (Ss)	(Bh/Ss)*10 0
(Hora)	(min)	R1	R2	R3	X	S		%	%	%	
08:18	00:0	0	20.0026	20.0373	20.0399	20.0266	0.0208	<b>12.377</b>	87.623	14.126	
08:48	00:3	30	20.8163	20.7313	20.848	20.7985	0.0603	15.629	84.371	18.525	
09:18	00:3	60	22.1178	22.209	22.111	22.1459	0.0547	20.763	79.237	26.203	
09:48	00:3	90	23.4148	23.6167	23.5716	23.5343	0.1059	25.437	74.563	34.115	
10:18	00:3	120	25.3545	25.4006	25.5153	25.4234	0.0828	30.978	69.022	44.881	
11:18	01:0	180	27.6234	27.7213	27.5092	27.6179	0.1061	36.462	63.538	57.387	
12:18	01:0	240	29.8842	30.3586	29.7994	30.0140	0.3013	41.535	58.465	71.041	
13:18	01:0	300	31.5642	31.9934	31.3535	31.6370	0.3261	44.534	55.466	80.290	
14:18	01:0	360	32.7262	33.1792	32.3392	32.7482	0.4204	46.416	53.584	86.622	
15:18	01:0	420	34.2495	34.4535	34.0266	34.2432	0.2135	48.755	51.245	95.142	
16:18	01:0	480	35.201	35.0406	35.1138	35.1184	0.0803	50.032	49.968	100.130	
17:18	01:0	540	35.764	35.9427	35.5842	35.7636	0.1792	50.934	49.066	103.806	
18:18	01:0	600	36.1686	36.264	36.1206	36.1844	0.0729	51.504	48.496	106.204	
19:18	01:0	660	36.4699	36.6326	36.4162	36.5062	0.1126	51.932	48.068	108.038	
20:18	01:0	720	36.6615	36.8702	36.7541	36.7619	0.1045	52.266	47.734	109.495	
									RMSE	0.6553	
									NRMSE	0.039	

D11

Cinética de hidratación a una temperatura 25°C con una dureza del agua de 125 ppm de CaCO<sub>3</sub>

Tiempo		MASA (g)							base humeda (Bh)	Solido seco (Ss)	(Bh/Ss)*10 0
(Hora)	(min)	R1	R2	R3	X	S		%	%	%	
08:18	00:0	0	20.0244	20.0172	20.1371	20.0595	0.0672	<b>11.464</b>	88.536	12.949	
08:48	00:3	30	21.5312	20.837	21.5177	21.2953	0.3969	16.602	83.398	19.907	
09:18	00:3	60	23.9058	23.4407	24.0108	23.7857	0.3034	25.334	74.666	33.930	
09:48	00:3	90	26.1539	25.4207	25.8681	25.8142	0.3695	31.201	68.799	45.351	
10:18	00:3	120	27.6502	27.575	27.9652	27.7301	0.2070	35.955	64.045	56.139	
11:18	01:0	180	30.1009	30.1538	30.5538	30.2695	0.2476	41.328	58.672	70.438	
12:18	01:0	240	32.1132	32.3875	32.6436	32.3814	0.2652	45.154	54.846	82.329	
13:18	01:0	300	33.4867	34.0138	34.0951	33.8652	0.3303	47.557	52.443	90.684	
14:18	01:0	360	34.8074	35.3431	35.3843	35.1782	0.3218	49.515	50.485	98.077	
15:18	01:0	420	35.6207	36.2448	35.9667	35.9440	0.3126	50.590	49.410	102.389	
16:18	01:0	480	36.0597	36.425	36.3932	36.2926	0.2023	51.065	48.935	104.352	
17:18	01:0	540	36.4011	36.7331	36.6614	36.5985	0.1747	51.474	48.526	106.074	
18:18	01:0	600	36.7024	37.029	36.8721	36.8678	0.1633	51.828	48.172	107.591	
19:18	01:0	660	36.872	37.198	37.0316	37.0338	0.1630	52.044	47.956	108.526	
20:18	01:0	720	36.9575	37.201	37.0314	37.0633	0.1248	52.082	47.918	108.691	
									RMSE	1.5064	
									NRMSE	0.089	

D12

Cinética de hidratación a una temperatura 25°C con una dureza del agua de 125 ppm de CaCO<sub>3</sub>

Tiempo		MASA (g)							base humeda (Bh)	Solido seco (Ss)	(Bh/Ss)*10 0
(Hora)	(min)	R1	R2	R3	X	S		%	%	%	
08:18	00:0	0	20.0745	20.0158	20.0795	20.0566	0.0354	<b>12.683</b>	87.317	14.525	
08:48	00:3	30	22.0463	22.687	22.9893	22.5742	0.4815	22.421	77.579	28.901	
09:18	00:3	60	24.2541	24.1618	24.5291	24.3150	0.1910	27.975	72.025	38.841	
09:48	00:3	90	26.113	26.9023	26.9948	26.6700	0.4846	34.335	65.665	52.289	
10:18	00:3	120	28.1299	28.7468	28.6461	28.5076	0.3309	38.568	61.432	62.782	
11:18	01:0	180	31.4664	32.1384	31.8444	31.8164	0.3368	44.957	55.043	81.675	
12:18	01:0	240	33.5475	33.7215	33.426	33.5650	0.1485	47.824	52.176	91.660	
13:18	01:0	300	35.0227	35.0495	34.719	34.9304	0.1835	49.864	50.136	99.457	
14:18	01:0	360	35.9261	35.5929	35.2393	35.5861	0.3434	50.788	49.212	103.201	
15:18	01:0	420	36.5617	36.0485	36.6316	36.4139	0.3184	51.906	48.094	107.928	
16:18	01:0	480	36.8622	36.193	36.8022	36.6191	0.3702	52.176	47.824	109.099	
17:18	01:0	540	37.1272	36.2335	36.921	36.7605	0.4679	52.360	47.640	109.907	
18:18	01:0	600	37.2524	36.3576	36.9811	36.8637	0.4588	52.493	47.507	110.496	
19:18	01:0	660	37.3839	36.3657	37.1016	36.9504	0.5256	52.605	47.395	110.991	
20:18	01:0	720	37.4234	36.4512	37.2564	37.0436	0.5198	52.724	47.276	111.523	
									RMSE	2.1430	
									NRMSE	0.126	

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 026-2023/EPIA - FCA/UNACH

Siendo las 16:00 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 y la dureza del agua en la cinética de hidratación y propiedades dieléctricas de la arveja (*Pisum sativum* L.) variedad blanca criolla", integrado por:

1. Dr. Ricardo Abel Del Castillo Torres - Presidente
2. Ms. Augusto Antonio Mechato Anastasio - Secretario
3. MBA. José Felipe Garrido Julca - Vocal

Sustentada por la Bach. Flor de Lina Heredia Rojas, 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 la Bachiller, luego de deliberar, acuerda APROBAR la tesis, calificándola con la nota de DOCE

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.



Dr. Ricardo Abel Del Castillo Torres  
Presidente

Firmado en: Chota, 29 de diciembre del 2023.



Ds. Augusto Antonio Mechato Anastasio

Secretario



MBA. José Felipe Garrido Julca  
Vocal

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 026-2023/EPIA - FCA/UNACH

Siendo las 16:00 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 y la dureza del agua en la cinética de hidratación y propiedades dieléctricas de la arveja (*Pisum sativum* L.) variedad blanca criolla", integrado por:

1. Dr. Ricardo Abel Del Castillo Torres - Presidente
2. Ms. Augusto Antonio Mechato Anastasio - Secretario
3. MBA. José Felipe Garrido Julca - Vocal

Sustentada por la Bach. Flor de Lina Heredia Rojas, 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 la Bachiller, luego de deliberar, acuerda APROBAR la tesis, calificándola con la nota de DOCE

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.



Dr. Ricardo Abel Del Castillo Torres  
Presidente

Firmado en: Chota, 29 de diciembre del 2023.



Ds. Augusto Antonio Mechato Anastasio

Secretario



MBA. José Felipe Garrido Julca  
Vocal

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 026-2023/EPIA - FCA/UNACH

Siendo las 16:00 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 y la dureza del agua en la cinética de hidratación y propiedades dieléctricas de la arveja (*Pisum sativum* L.) variedad blanca criolla", integrado por:

1. Dr. Ricardo Abel Del Castillo Torres - Presidente
2. Ms. Augusto Antonio Mechato Anastasio - Secretario
3. MBA. José Felipe Garrido Julca - Vocal

Sustentada por la Bach. Flor de Lina Heredia Rojas, 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 la Bachiller, luego de deliberar, acuerda APROBAR la tesis, calificándola con la nota de DOCE

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.



Dr. Ricardo Abel Del Castillo Torres  
Presidente

Firmado en: Chota, 29 de diciembre del 2023.



Ds. Augusto Antonio Mechato Anastasio

Secretario



MBA. José Felipe Garrido Julca  
Vocal