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. **"Predicción de propiedades fisicoquímicas del fruto de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) mediante la técnica de espectroscopía dieléctrica"**; desarrollado por las **Bach. Tatiana Mego Torres y Bach. Lesly Díaz Rafael** 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, 26 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-UIFCA TMT&LDR: PREDICCIÓN DE PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL FRUTO DE AGUAYMANTO (Physalis peruviana L.) MEDIANTE LA TÉCNICA DE ESPECTROSCOPÍA DIELÉCTRICA

INFORME DE ORIGINALIDAD

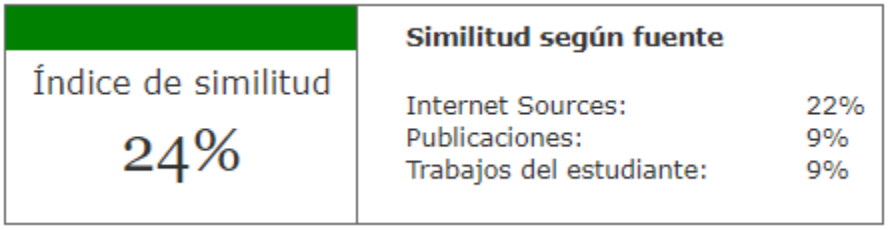
24%	22%	9%	9%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
2	Submitted to Universidad Nacional Autonoma de Chota Trabajo del estudiante	3%
3	www.repositorio.unach.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	worldwidescience.org Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Católica San Pablo Trabajo del estudiante	1%
7	pirhua.udep.edu.pe Fuente de Internet	1%
	repositorio.utn.edu.ec	

115	Fuente de Internet	<1 %
116	ojs.uel.br Fuente de Internet	<1 %
117	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
118	www.hy-dra.de Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas	Apagado	Excluir coincidencias	Apagado
Excluir bibliografía	Activo		



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

“PREDICCIÓN DE PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL FRUTO DE AGUAYMANTO (*Physalis peruviana* L.) MEDIANTE LA TÉCNICA DE ESPECTROSCOPÍA DIELÉCTRICA”

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL

AUTORES

Mego Torres, Tatiana

Díaz Rafael, Lesly

Tony Steven Chuquizuta Trigoso
CIP. 169162
Docente UNACH

ASESOR

M.Sc. Tony Steven Chuquizuta Trigoso

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

CO-ASESOR:

Dr. Hubert Luzdemio Arteaga Miñano

Chota – Perú

2023

Acta de sustentación

ACTA N° 020-2023/EPIA - FCA/UNACH

Siendo las 10:07 horas, del día 23 de agosto de 2023, los miembros del Jurado de Tesis titulada: "Predicción de propiedades fisicoquímicas del fruto de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) mediante la técnica de espectroscopia dieléctrica", integrado por:

1. Ph. D. Frank Fluker Velásquez Barreto: Presidente
2. Ms. Augusto Antonio Mechato Anastasio: Secretario
3. Mg. Edson Elvis Ramírez Tixe: Vocal

Sustentada por Mego Torres Tatiana y Díaz Rafael Lesly, con la finalidad de obtener el Título Profesional en Ingeniero Agroindustrial.

Terminada la sustentación, con las preguntas formuladas por los integrantes del Jurado y las respuestas otorgadas por el graduando, luego de deliberar, acuerda APROBAR la tesis, calificándola con la nota de: (13 en letras TRECE), se eleva la presente Acta al Coordinador de la Facultad de Ciencias Agrarias, a fin de que se le declare EXPEDITO para conferirle el Título Profesional en Ingeniero Agroindustrial.

Firmado en: Colpahuacariz, 23 de agosto de 2023.

.....
Presidente

.....
Secretario

.....
Vocal

Dedicatoria

Dedicamos esta tesis a Dios por brindarnos la energía necesaria para completar con éxito nuestro proyecto de tesis.

Expresamos nuestro profundo agradecimiento a nuestros padres por su inquebrantable respaldo, amor incondicional, sabios consejos valores inculcados y motivación constante en cada etapa de nuestro camino.

A todas esas personas que nos brindaron su apoyo y aliento, permitiéndonos perseverar y alcanzar una de nuestras metas más importantes

Tatiana Mego Torres- Lesly Díaz Rafael

Agradecimientos

Agradecer a Dios por habernos permitido concluir exitosamente este proyecto de tesis.

A nuestros padres y hermanos que nos apoyaron y guiaron en todo momento demostrándonos su amor incondicional, el cual nos ayuda a ser quienes somos ahora y alcanzar todas nuestras metas.

Agradecer también a la labor de nuestro asesor: M. Sc. Tony Steven Chuquizuta Trigoso, a nuestro Co- asesor Dr. Hubert Luzdemio Arteaga Miñano por todo su apoyo incondicional, su amistad, paciencia y profesionalismo.

Agradecemos también a la Universidad Autónoma de Chota por su generoso respaldo y financiamiento otorgado a través del proyecto "Desarrollo de un sistema no destructivo para la determinación de las propiedades fisicoquímicas en frutas nativas y derivados de la región Cajamarca, usando espectroscopia dieléctrica", ganador con "Resolución N° 432-2018-CO/UNACH". Este financiamiento nos permitió utilizar el equipamiento necesario para llevar a cabo nuestra investigación.

También deseamos expresar nuestra gratitud al Instituto de Investigación del Mejoramiento Productivo – UNACH por el invaluable apoyo, instalaciones además de la asistencia técnica durante la ejecución de esta tesis.

Asimismo, extendemos este agradecimiento a la participación de amigas que han contribuido al desarrollo de este proyecto. Su participación ha sido invaluable y les estamos sinceramente agradecidos por todo su aporte.

Índice

ACTA DE SUSTENTACIÓN **I**

DEDICATORIA **II**

AGRADECIMIENTOS **III**

ÍNDICE **IV**

ÍNDICE DE TABLAS **VII**

ÍNDICE DE FIGURAS **VIII**

RESUMEN **X**

ABSTRACT **XI**

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN **11**

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 11

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 12

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN 12

1.4 OBJETIVOS 14

1.4.1 Objetivo general. *14*

1.4.2 Objetivos específicos. *14*

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO **15**

2.1 ANTECEDENTES 15

2.2 BASES TEÓRICO-CIENTÍFICAS 17

2.2.1 Aguaymanto *17*

2.2.2 Espectroscopia *25*

2.3 MARCO CONCEPTUAL 35

2.3.1 aguaymanto *35*

2.3.2 Propiedades fisicoquímicas *35*

2.3.3 Espectroscopia dieléctrica *35*

2.3.4 Propiedades dieléctricas *35*

2.3.5 Quimiometría *35*

2.3.6 Coeficiente de determinación *35*

2.3.7 Raíz del error cuadrático medio (RMSE) *35*

2.3.8 Permitividad *36*

2.4 HIPÓTESIS 36

2.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES 36

CAPITULO III. MARCO METODOLÓGICO **38**

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN 38

3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN 38

3.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN 38

3.4 POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO 38

3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS 41

3.5.1 Técnicas de recolección de datos *41*

3.5.2 Instrumentos para la recolección de datos *45*

3.6 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS 45

3.6.1 Pretratamiento de espectros dieléctricos *45*

3.7 ASPECTOS ÉTICOS 47

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN **49**

4.1 DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS 49

4.1.1. Determinación del factor de pérdidas de los frutos de aguaymanto (Physalis peruviana L.) en sus estadios de madurez 3, 4, 5 y 6 (NTC 4580), en un rango de 0,5 a 9 GHz. *49*

4.1.2. Determinación el índice de la profundidad de penetración del campo eléctrico en los frutos de aguaymanto (Physalis peruviana L.), en sus estadios de madurez 3, 4, 5 y 6 a frecuencias puntuales de 915, 2450 y 5800 MHz respectivamente. *50*

4.1.3. Determinación de las propiedades fisicoquímicas: color, humedad, actividad de agua, sólidos solubles, acidez, pH y textura (dureza) de los frutos de aguaymanto (Physalis peruviana L.) en sus estadios de madurez 3, 4, 5 y 6 (NTC 4580). *52*

4.1.4. Establecer con el coeficiente de determinación (R^2) la relación entre las propiedades fisicoquímicas del fruto de aguaymanto (Physalis peruviana L.) con el factor de pérdidas a frecuencias puntuales de 915, 2450 y 5800 MHz. *54*

4.1.5. Determinación del mejor modelo de predicción a partir de su RMSE a frecuencias puntuales de 915, 2540 y 5800 MHz. *60*

4.2 CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS 60

4.3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS 61

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES **66**

CAPÍTULO VI. REFERENCIAS **68**

CAPÍTULO VII. ANEXOS **79**

Índice de Tablas

Tabla 1. Clasificación taxonómica de la planta de aguaymanto. **18**

Tabla 2. Porcentajes de humedad del fruto de aguaymanto. **20**

Tabla 3. Cantidades de sólidos solubles del fruto de aguaymanto. **20**

Tabla 4. **Aw** en diferentes estadios de madurez de los frutos de aguyamanto (P*hysalis peruviana* L) . **21**

Tabla 5. pH del fruto de aguaymanto en estadios de madurez (3,4,5 y 6). **21**

Tabla 6. Porcentajes de acidez de frutos de aguaymanto. **22**

Tabla 7. Caracterización de la textura del fruto de P*hysalis peruviana* L. **23**

Tabla 8. Composición fisicoquímica del fruto de aguaymanto en 100 g. **23**

Tabla 9. Resumen de la norma técnica colombiana 4580. **25**

Tabla 10. Operacionalización de variables de la investigación. **37**

Tabla 11. Índice de la profundidad de penetración en los frutos de aguaymanto en sus estadios de madurez 3, 4, 5 y 6 a frecuencias puntuales. **51**

Tabla 12. Propiedades fisicoquímicas de los frutos de aguaymanto en diferentes estadios de madurez. **53**

Tabla 13. Modelos de calibración para predicción de las propiedades fisicoquímicas a partir de ε" de los frutos de aguaymanto. **55**

Tabla 14. Coeficiente de determinación R^2, de los modelos de predicción de las propiedades fisicoquímicas de los frutos de aguaymanto en función al factor de perdida. **59**

Tabla 15. Resultados del rmse de ε". **60**

Índice de Figuras

Figura 1. Planta de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) **18**

Figura 2. Frutos de aguaymanto color anaranjado. **19**

Figura 3. Estados de madurez del aguaymanto **24**

Figura 4. Representación de una onda electromagnética **26**

Figura 5. El espectro electromagnético. **27**

Figura 6. Técnica de la sonda coaxial en materiales sólidos **32**

Figura 7. Esquema de una red de dos puertos. **33**

Figura 8. Analizador de impedancias y sensor de platos paralelos **34**

Figura 9. Ubicación de la parcela de sembrío de aguaymanto – Fundo Capulí de Valle. **39**

Figura 10. Secuencia del desarrollo de la investigación. **40**

Figura 11. Sistema de adquisición de propiedades dieléctricas **42**

Figura 12. Espectros dieléctricos medidos del **ε"** de los frutos de aguaymanto en sus estadios de madurez 3, 4, 5 y 6 (NTC 4580), en un rango de 0,5 a 9 GHz. **50**

Figura 13. Diagramas de dispersión del modelo de calibración de las propiedades fisicoquímicas en función de sus propiedades dieléctricas de los frutos de los frutos a frecuencias de 915 MHz **56**

Figura 14. Diagramas de dispersión del modelo de calibración de las propiedades fisicoquímicas en función de sus propiedades dieléctricas de los frutos a frecuencia de 2450 MHz **57**

Figura 15. Diagramas de dispersión de los coeficientes de determinación de calibración de las propiedades fisicoquímicas en función de las propiedades dieléctricas, a frecuencias puntual de 5800 MHz. **58**

Figura 16. Recolección de los frutos de aguaymanto (*Physalis peruviana* L) **82**

Figura 17. Equipo analizador de redes vectoriales **82**

Figura 18. Configuración del equipo de redes vectoriales **83**

Figura 19. Clasificación de los frutos de aguaymanto ((*Physalis peruviana* L) en los estadios de madures 4 y 5 **83**

Figura 20. Frutos de aguaymanto en estadio de madurez 6 **84**

Figura 21. Análisis y obtención de las propiedades dieléctricas de los frutos de aguaymanto (*Physalis peruviana* L) **85**

Figura 22. Análisis de la acidez, ph, actividad de agua y humedad de los frutos de aguaymanto (*Physalis peruviana* L) **86**

Resumen

El objetivo principal de esta tesis fue predecir las propiedades fisicoquímicas del fruto de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) mediante la técnica de espectroscopia dieléctrica. Se utilizaron 150 frutos de aguaymanto por cada estadio de madurez 3, 4, 5 y 6 (NTC 4580) procedentes de San Juan de Lacamaca - Bambamarca, agrupándolos en 10 grupos (15 frutos/grupo); analizando un total de 600 muestras (tomando datos por triplicado), se obtuvieron 1800 espectros dieléctricos a 401 frecuencias discretas en escala logarítmica de 0.5 a 9 GHz a 20 ºC con un analizador vectorial de redes y una sonda coaxial abierta, se calculó la profundidad de penetración, posteriormente se realizó el análisis fisicoquímico: acidez, humedad, pH, color, sólidos solubles, actividad de agua y textura. Los resultados mostraron que el factor de pérdida disminuyó a medida que aumentaba la frecuencia de 0,5 a 2,1 GHz, luego aumentó hasta 9 GHz, del cálculo de la profundidad de penetración se determinó que con el aumento de frecuencia la profundidad de penetración disminuye. Los resultados de los análisis fisicoquímicos fueron: humedad 76 a 78%, actividad de agua 0,972 – 0,978, sólidos solubles 13,493 a 14,850 ºBrix; pH 3,468 a 3,663 y el color de 49,706 a 53,335, finalmente, la textura y acidez disminuyó de 1,269 N a 0,857 N y 2,842% a 2,120% respectivamente. Concluyendo que el mejor modelo de predicción fue a 2450 MHz para color, humedad, sólidos solubles, pH y textura con un R^2 = 0,85 y error cuadrático medio = 0,504 promedio.

Palabras clave: Espectroscopia dieléctrica, aguaymanto, análisis fisicoquímicos, predicción.

Abstract

The main objective of this thesis was to predict the physicochemical properties of goldenberry fruit (*Physalis peruviana* L.) using the dielectric spectroscopy technique. We used 150 goldenberry fruits for each maturity stage 3, 4, 5, and 6 (NTC 4580) from San Juan de Lacamaca - Bambamarca, grouping them in 10 groups (15 fruits/group); analyzing a total of 600 samples (taking data in triplicate), we obtained 1800 dielectric spectra at 401 discrete frequencies in logarithmic scale from 0. 5 to 9 GHz at 20 ºC with a vector network analyzer and an open coaxial probe, the penetration depth was calculated, then the physicochemical analysis was performed: acidity, humidity, pH, color, soluble solids, water activity, and texture. The results showed that the loss factor decreased as the frequency increased from 0.5 to 2.1 GHz, then increased up to 9 GHz, from the calculation of the penetration depth it was determined that with increasing frequency the penetration depth decreases. The results of the physicochemical analysis were: moisture from 76 to 78%, water activity 0.972 - 0.978, soluble solids 13.493 to 14.850 ºBrix; pH 3.468 to 3.663 and color from 49.706 to 53.335, finally, texture and acidity decreased from 1.269 N to 0.857 N and 2.842% to 2.120% respectively. Concluding that the best prediction model was at 2450 MHz for color, moisture, soluble solids, pH, and texture with an $R^2 = 0.85$ and mean square error = 0.504 average.

Keywords: Dielectric spectroscopy, goldenberry, physicochemical analysis, prediction.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

La industria alimentaria se encuentra constantemente bajo presión debido a la evolución del mercado y la globalización de la economía. En este contexto, el mayor desafío de la empresa es mejorar continuamente ante los cambios drásticos en gustos y preferencias del consumidor a la hora de adquirir frutas frescas de calidad, seguras y que coadyuven a mantener o mejorar la salud. (Isla 2015)

La calidad de frutas frescas, en especial sus características fisicoquímicas, es una variable muy importante a tener en cuenta para la postcosecha y el procesamiento mínimo en la industria frutícola. Actualmente, la producción de aguaymanto viene creciendo considerablemente, producto de sus bondades medicinales y nutricionales, cuyas características fisicoquímicas son: humedad (75 - 85%), hidratos de carbono (11 g – 16 g por cada 100 g), ácido ascórbico (43 mg/100 g de la parte comestible), vitaminas, proteínas, grasas y fibras. (Rossi et al., 2012) Sin embargo, para determinar sus características fisicoquímicas aún persiste la utilización de técnicas tradicionales para el control de calidad, que si bien son precisas y demandan de repetitividad, también presentan desventajas como: costosas, tediosas al preparar – acondicionar a la muestra (destruir), necesitan de insumos químicos, personal altamente calificado para el análisis e interpretación de resultados, es por ello que, actualmente estas técnicas tradicionales son poco prácticas para las necesidades en las industrias frutícolas enmarcadas en el concepto de industrias 4,0, obligándolas a buscar metodologías rápidas, precisas y no destructivas. (Reyes, 2018)

En este contexto, diversos esfuerzos persisten en desarrollar técnicas no destructivas dentro del espectro electromagnético como: radiofrecuencia, microondas, ultravioleta, visible, próximo infrarrojo e infrarrojo mediano y resonancia magnética nuclear, utilizadas para evaluar la calidad de las frutas (Castro et al., 2010). La espectroscopia dieléctrica de

microondas se basa en el efecto que tiene un flujo de fotones sobre un cuerpo biológico (material dieléctrico), emitiendo una señal dieléctrica o también llamada propiedades dieléctricas (constante dieléctricas - ε' y factor de perdidas – ε") en un rango de frecuencia. La espectroscopia dieléctrica de microondas, que, si bien viene siendo utilizada como herramienta de control de calidad de alimentos, aún persiste su limitada aplicación a frutos tropicales y exóticos, en especial el aguaymanto.

1.2 Formulación del problema

¿Es posible predecir las propiedades fisicoquímicas de los frutos de aguaymanto *(Physalis peruviana* L.*)* mediante la técnica de espectroscopia dieléctrica a frecuencias puntales de 915, 2450 y 5800 MHz a partir de su R^2 y RMSE?

1.3 Justificación de la investigación

El aguaymanto es un fruto que ha cobrado importancia a nivel internacional por sus diversas características funcionales, es así que su producción, cosecha y rendimiento han experimentado un aumento notable (Sierra y Selva Exportadora, 2021). En 2019 se registraron alrededor de 311 ha, logrando una producción de 1607 t en fresco, asimismo, en el 2020 se obtuvo una producción de 1573 t. Perú exporta aguaymanto orgánico deshidratado, en fresco, pulpa y puré. (León, 2021)

Aunque la industria del aguaymanto ha logrado penetrar en los mercados extranjeros, se encuentra en constante necesidad de mejora para cumplir con los elevados estándares de calidad tanto fisicoquímicas como microbiológicos exigidos por estos mercados. La calidad fisicoquímica de los frutos de aguaymanto es monitoreada a través de técnicas tradicionales, las mismas que son destructivas, teniendo que ser reemplazadas por un sistema no invasivo

permitiendo obtener información de manera precisa y rápida y sobre todo de bajo costo en su implementación. (Reyes, 2018)

En este contexto, la espectroscopia dieléctrica como técnica no destructiva, emerge como una tecnología prometedora para pronosticar la calidad interna de los frutos debido a la interacción entre el flujo de fotones y la composición química del alimento, la principal propiedad dieléctrica es la permitividad que describe cómo el responde el alimento cuando es sometido a un campo electromagnético. La permitividad se compone de dos partes: la constante dieléctrica (ε'), que refleja la capacidad del material para almacenar energía cuando el alimento se encuentra baja la influencia de un campo eléctrico y el factor de pérdidas(ε") que está vinculado a la capacidad que tiene el fruto para absorber y transformar la energía eléctrica en energía calorífica. (Castro et al., 2010)

Las propiedades dieléctricas han cobrado relevancia en la ingeniería y tecnología de alimentos, es así que, se ha estudiado la técnica de la espectroscopia dieléctrica de radiofrecuencias y microondas como método no invasivo para predecir el contenido de sólidos solubles en caqui (Liu & Guo, 2018), manzanas (Khaled et al., 2015); contenido de azúcar y firmeza en peras (Fang & Guo, 2016); determinación de azúcar en melones (Liu et al., 2021); determinación de madurez de manzana (Fito et al., 2010); contenido de sólidos solubles, firmeza y contenido de humedad en peras (Guo Shang, et al., 2015), jugo de manzana Fuji (Guo et al., 2011); caracterización dieléctrica de bayas (moras, frambuesas y fresas).(Morales et al., 2017)

A pesar de esto, no existen estudios que apliquen la espectroscopia dieléctrica para predecir las propiedades fisicoquímicas del aguaymanto, especialmente en sus estadios de madurez comercial. Es por eso, que esta investigación busca predecir las propiedades fisicoquímicas de este fruto tan representativo en Cajamarca y sus provincias.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general.

Predecir las propiedades fisicoquímicas del aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) mediante la técnica de espectroscopia dieléctrica.

1.4.2 Objetivos específicos.

- Determinar el factor de pérdidas del fruto de aguaymanto *(Physalis peruviana* L.*)* en sus estadios de madurez 3, 4, 5 y 6 (NTC 4580), en un rango de 0,5 a 9 GHz.
- Determinar el índice de la profundidad de penetración del campo eléctrico en el fruto de aguaymanto *(Physalis peruviana* L.*)*, en sus estadios de madurez 3, 4, 5 y 6 a frecuencias puntuales de 915, 2450 y 5800 MHz respectivamente.
- Determinar las propiedades fisicoquímicas: color, humedad, actividad de agua, sólidos solubles, acidez, pH y textura (dureza) del fruto de aguaymanto *(Physalis peruviana* L.*)* en sus estadios de madurez 3, 4, 5 y 6 (NTC 4580).
- Establecer con el coeficiente de determinación (R^2) la relación entre las propiedades fisicoquímicas del fruto de aguaymanto (*Physalis peruviana L*.) con el factor de pérdidas a frecuencias puntuales de 915, 2450 y 5800 MHz.
- Determinar el mejor modelo de predicción a partir de su error cuadrático medio (RMSE) a frecuencias puntuales de 915, 2540 y 5800 MHz.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

El aguaymanto *(Physalis peruviana* L.*)* es un fruto exótico, oriundo en loa andes, y sus características fisicoquímicas son: humedad (78,2 – 80%), sólidos solubles (11,6 - 13,5 ºBrix), pH (3,6 - 4,9) y acidez (1,6 – 2,4) en los estadios de madures 3, 4, 5 y 6 según la NTC 4558. (Duque et al., 2011; Márquez et al., 2009; Mendoza et al., 2012; Novoa et al., 2006; Obregón et al., 2021; Rossi et al., 2012)

Diversos estudios manifiestan que ingerir frutos aguaymanto aporta vitaminas, carotenoides, compuestos fenólicos y fibra dietética, cuyo consumo ayuda a prevenir enfermedades como: cáncer, diabetes, inflamaciones y del corazón (Málaga et al., 2013).

Los beneficios reportados por el consumo de aguaymanto, han incentivado a los agricultores de zonas rurales a cultivar de manera intensiva dicho fruto, permitiendo dinamizar su microeconomía. En el año 2019 el Perú alcanzó 1607 t de aguaymanto fresco, reflejando un incremento de 3,47% respecto al año anterior. En el 2020 el volumen total de aguaymanto exportado fue 288 t (82% aguaymanto orgánico y el 18% convencional) a mercado estadunidenses y europeos, cuyas presentaciones fueron: aguaymanto fresco (2,1%), deshidratado (92,6%), con chocolate (1,2%), congelado (1,65%), puré (0,8%) y polvo (0,8%). (León, 2021)

En vista del incremento de la producción de aguaymanto es necesario llevar acabo un control de calidad a partir de sus características fisicoquímicas (acidez, sólidos solubles, pH, color y otros), a través de técnicas convencionales como penetrometría, refractometría, volumetría, colorimetría, entre otras. (Cazar, 2016), los cuales permiten verificar su calidad y por ende el ingreso a los mercados nacionales e internacionales. Sin embargo, estas técnicas presentan las desventajas de ser destructivas, tediosas, costosas, necesitan de pre procesamiento – acondicionamiento de muestras, generadores de desecho químicos y no son

capaces de ser instaladas en líneas de producción (Brezmes, 2000). Por esta razón, tanto la industria frutícola en general como la del aguaymanto en particular, requieren métodos y técnicas no destructivas, precisas y ágiles en la toma de decisiones.

Actualmente, diversas investigaciones vienen desarrollando técnicas y/o métodos no destructivos basados en los principios fotónicos entre los que destacan: espectroscopia dieléctrica (ED), espectroscopia de Infrarrojo cercano (NIR), Imágenes híper espectrales (HSI) y. Estas tecnologías se están convirtiendo en una opción muy interesante para evaluar las propiedades y características de la calidad de los alimentos. (Bekele, 2014)

En ese sentido, la espectroscopia dieléctrica viene siendo utilizada para la predicción del contenido de firmeza, sólidos solubles, índice de madurez y contenido de humedad en caquis, manzanas, peras y melones en los rangos de [10 MHz – 20 GHz], correspondientes al rango de radiofrecuencia y microondas. (Fang & Guo, 2016; Fito et al., 2010; Okiror & Jones, 2013; Guo et al., 2011; Guo Fang et al., 2015; Guo Shang et al., 2015; Liu et al., 2021; Liu & Guo, 2018; Reyes et al., 2017) así mismo López et al. (2017); Morales et al. (2017) analizaron las propiedades dieléctricas de frambuesas, fresas y moras a frecuencias puntuales en el rango de microondas de 0,5 – 25 GHz, de 20 – 60 °C.

Los estudios antes mencionados, han obtenido las características dieléctricas radiofrecuencias y microondas, utilizando una sonda coaxial de terminación abierta (Agilent 85070E) conectada a un analizador de redes vectoriales (MS4622A - Anritsu, E8362B - Agilent, Agilent Technologies E5071C) y/o un analizador de impedancia (Hewlett-Packard 4291A). (Fang & Guo, 2016; Fito et al., 2010; Okiror & Jones, 2013; Guo et al., 2011; Guo Fang et al., 2015; Guo Shang et al., 2015; Liu et al., 2021; Liu & Guo, 2018; Reyes et al., 2017; López et al., 2017; Morales et al., 2017), sin embargo, esta técnica por sí sola no permite predecir y/o clasificar los atributos de calidad interna de los frutos, ante ello, diversos estudios vienen desarrollando modelos quimiométricos. La técnica estadística de la

quimiometría permite extraer la máxima información química del análisis de muestras a partir de señales o respuestas instrumentales con muy poca selectividad. (Porcel, 2001); entre los modelos quimiométricos más utilizados están el análisis de componentes principales (siglas en ingles PCA), regresión lineal múltiple (siglas en ingles MLR), regresión de mínimos cuadrados parciales (siglas en ingles PLSR), red neuronal de regresión generalizada (siglas en ingles GRNN), máquina de vectores de soporte (SVM), máquina de aprendizaje extremo (siglas en inglés ELM), mínimos cuadrados parciales (siglas en ingles PLS), máquina de vectores de soporte de mínimos cuadrados (siglas en ingles LSSVM) y red de retropropagación (siglas en inglés BP), los que tienen que ser evaluados para determinar cuál de ellos es el que mejor desempeño tiene en el fenómeno estudiado.

2.2 Bases teórico-científicas

2.2.1 Aguaymanto

2.2.1.1 Generalidades.

La planta de aguaymanto ha sido cultivada por varias décadas a lo largo de las regiones andinas de América, su primera descripción la realizo el científico sueco Carlos Linneo en el año 1753 otorgándole el nombre de "*Physalis peruviana, Lannaeus*" (Sierra y Selva Exportadora, 2021). Es planta herbácea perenne que prospera en regiones tropicales, pero es inexistente en zonas templadas, mide de 0,6 a 1,8 m de altura; sus ramas son acanaladas y en ocasiones exhiben tonalidades violáceas con hojas de forma semejante a un corazón y sus flores de tono amarillo con una estructura similar a una campana, mientras que sus corolas campanuladas presentas un color marrón morado. (Ministerio de Economía y Finanzas & Ministerio de Agricultura y Riego- MIDAGRI, 2016). Los frutos son bayas de tonalidad naranja-amarillo y tienen una esférica con un diámetro de 1,5 - 2 cm, además de estar protegidos por un cáliz de textura papirácea no comestible, los frutos poseen un sabor agridulce (Espinoza, 2016).

2.2.1.2 Clasificación Taxonómica.

La planta de *Physalis peruviana* L. está clasificada taxonómicamente como se muestra en la Tabla 1 y la Figura 1.

Tabla 1.

Clasificación Taxonómica de la planta de aguaymanto.

Clase	**Magnolia**
Superorden	Asteranae
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Subfamilia	Solanoideae
Tribu	Physaleae
Subtribu	Physaline
Genero	*Physalis* L.
Subgénero	Rydbergis Hendrych
Sección	Lanceolatae (Rydb.) M.Y. Menzel
Especie	*Physalis peruavina* L.

Nota: Maiti & Bidinger (2014)

Figura 1.

Planta de aguaymanto (Physalis peruviana L.)

Nota: Fischeret al. (2014)

2.2.1.3 Propiedades fisicoquímicas del fruto de aguaymanto.

- **Color**

El color de los frutos es de especial interés porque constituye un atributo sensorial importante que proporciona información de calidad para la percepción humana, ha sido muy asociado con varios factores de calidad (madurez, variedad y deseabilidad) y seguridad alimentaria (Castro et al., 2019). En el caso del aguaymanto, los productores y comerciantes frecuentemente a la evaluación visual del color del cáliz como el índice principal para determinar su madurez comercial, este enfoque suele coincidir con la tonalidad del fruto (Duque et al., 2011; Galvis et al., 2005).

Como se puede apreciar en la Figura 2, los frutos de aguaymanto tienen un color anaranjado que indica su nivel de madurez fisiológica.

Figura 2.

Frutos de aguaymanto color anaranjado.

Nota: Espinoza (2009)

- **Humedad**

El fruto del aguaymanto retiene considerables cantidades de agua y carbohidratos (sacarosa) hasta que alcanza su madurez comercial, que se caracteriza por un color amarillo-anaranjado, esto señala un proceso de acumulación hídrica hasta las etapas finales antes de la cosecha, lo que puede resultar en una disminución de su calidad y durabilidad durante el período posterior a la cosecha. (Galvis et al., 2005)

Diversas investigaciones han reportado la humedad del fruto del aguaymanto en diferentes estadios de madurez, Tabla 2.

Tabla 2.

Porcentajes de humedad en el fruto de aguaymanto.

N.º	Estado de madurez	Humedad (%)	Autor
1	2 y 3	79,8	Repo de Carrasco & Encina (2008)
2	3 - 5	80	Duque et al. (2011)
3	6	78,2	Rossi et al. (2012)
4	6	78,9	Obregón et al. (2021)

- **Sólidos solubles**

Los carbohidratos (azucares) y los ácidos orgánicos son los elementos más representativos encontrados en mayores cantidades en los sólidos solubles. (Domene & Segura, 2014). Asimismo, Flórez et al., (2000), Galvis et al., (2005) reportaron el aguaymanto contiene de 11 a 20 g de carbohidratos digeribles por cada 100 g de peso fresco, estos carbohidratos, incluyen la sacarosa, glucosa y fructosa y su concentración aumenta a medida madura el fruto debido a la hidrólisis del almidón.

La Tabla 3, contiene reportes de los sólidos solubles (ºBrix) en diferentes estadios de madurez del aguaymanto.

Tabla 3.

Cantidades de sólidos solubles del fruto de aguaymanto.

N.º	Estado de madurez	Sólidos solubles (ºBrix)	Autor
1	1-3	11,19 a 12,96	Tapia (2018).
2	2 y 3	13,4 $\pm$0,2	Repo de Carrasco & Encina (2008).
3	4 y 5	11,6 a 13,5	Novoa et al. (2006).
4	4, 5 y 6	13	Mendoza et al. (2012).

- **Actividad de agua**

Es la medida termodinámica que cuantifica el contenido de agua presente en interacción con la estructura solida de los alimentos, este indicador disminuye a medida que los componentes contenidos en los alimentos reducen la movilidad de agua. La

espectroscopia dieléctrica ofrece información acerca de cómo las moléculas interactúan con su entorno, lo que simplifica y agiliza la medición de propiedades dieléctricas. (Castro et al., 2010)

Investigadores han proporcionado datos de A_w obtenidos por en diversas investigaciones (Tabla 4).

Tabla 4.

A_W en diferentes estadios de madurez de los frutos de aguyamanto (Physalis peruviana L).

N.º	Estado de madurez	Actividad de agua	Autor
1	3-5	0,987	Duque et al. (2011)
2	4	0,985	Restrepo et al. (2009)
3	4, 5 y 6	0,998	Mendoza et al. (2012).

- **pH (Potencial de hidrógeno)**

Se puede considerar que la medición potenciométrica es de gran relevancia en la industria agroalimentaria, ya que permite cuantificar la concentración de ácido – base presente en un zumo obtenido del procesamiento del fruto (Domene & Segura, 2014). El pH del fruto del aguaymanto varia durante la maduración debido a cambios en la proporción de azúcares y ácidos orgánicos (Novoa et al., 2006). Véase la Tabla 5 el reporte del pH en frutos de aguaymanto**.**

Tabla 5.

pH del fruto de aguaymanto en estadios de madurez (3,4,5 y 6).

N.º	Estado de madurez	pH	Autor
1	3 - 5	3,78±0,1	Duque et al. (2011)
2	4 y 5	4,1 a 4,9	Novoa et al. (2006)
3	4,5 y 6	3,72	Mendoza et al. (2012)
4	5	3,56	Márquez et al. (2009)

- **Acidez**

La acidez es un indicador que cuantifica la cantidad global de ácidos en el frutto. En el caso del aguaymanto, el ácido cítrico es el ácido orgánico más abundante, seguido del málico y el oxálico (Duque et al., 2011). Estos ácidos experimentan una reducción a lo largo

del proceso de maduración, causada por la actividad de las enzimas deshidrogenasas (Galvis et al., 2005). Estos ácidos tienen un impacto en la estabilidad microbiana, el sabor de las frutas y/o frutos (aspereza), el color, y la conservación de la calidad (Domene & Segura, 2014). La Tabla 6 proporciona los % de acidez de diferentes autores.

Tabla 6.

Porcentajes de acidez de frutos de aguaymanto.

N.º	Estadios de madurez	% Acidez	Autor
1	1-3	1,68 a 1,23	Tapia (2018).
2	4,5 y 6	2	Mendoza et al. (2012)
3	5	2,4	Márquez et al. (2009)
4	6	1,56	Obregón et al. (2021)

- **Textura**

Es la percepción sensorial de cómo responde la estructura de los productos ante la tensión y las características mecánicas, como la dureza, la firmeza, la adhesividad y la viscosidad, que surgen debido a la manipulación del producto (Saldaña, 2020). En ese sentido, la evaluación de la textura se convierte en un aspecto crucial en la aceptación y valoración de la calidad en las frutas frescas, un componente fundamental de este análisis es la dureza, que proporciona información sobre la frescura y nivel de madurez de las frutas. (Torres et al., 2015)

Ciro et al. (2007) y Puente et al. (2011) señalan que la firmeza en los frutos de aguaymanto (Tabla 7) disminuyen a lo largo del período de poscosecha, originada por el maduración y ablandamiento del fruto, en otras palabras, a medida que el fruto madura, es más susceptible a daños mecánicos durante la poscosecha en comparación con un fruto que aún no ha alcanzado su madurez.

Tabla 7.

Caracterización de la textura del fruto de Physalis peruviana L.

Parámetro	Restrepo et al. (2009)	**Botero (2008)**
ε (N/mm)	$1{,}40 \pm 0{,}10$	$3{,}16 \pm 0{,}36$
Fr (N)	$9{,}75 \pm 0{,}18$	$9{,}48 \pm 0{,}90$
Fp (N)	$2{,}72 \pm 0{,}32$	$2{,}73 \pm 0{,}90$

Nota: Puente et al. (2011)

ε: Pendiente (N/mm)
Fr: Fuerza de rotura (N)
Fp: Fuerza promedio de la pulpa (N)

2.2.1.4 Composición fisicoquímica del fruto de aguaymanto en 100 g.

Existen múltiples investigaciones que documentan la caracterización fisicoquímica de los frutos de aguaymanto. (Tabla 8).

Tabla 8.

Composición fisicoquímica del fruto de aguaymanto en 100 g.

Análisis Proximal	Guevara & Málaga, (2013)	Reyes et al., (2017)	Obregón et al., (2021)	**Juntamay, (2010)**	**Puente et al., (2011)**
Humedad (%)	81,53	79,8	78,9	82,31	…….
Cenizas totales (g)	1,17	1	1	7,17	…….
Grasa cruda (g)	0,26	0		0,22	…….
Proteína cruda (g)	1,71	1,9	0,1	10,06	…….
Fibra cruda (g)	4,37	4,9	4,9	16,39	…….
Carbohidratos (g)	15,33	17,3	14,9	…….	…….
Energía total (kcal)	70,50	51	61,6	…….	…….
Índice de madurez	8,62		8,7	…….	…….
Sólidos solubles (° Brix)	…….	…….	…….	…….	12,5 – 14,3
Acidez (% de ácido cítrico)	…….	…….	…….	…….	2-2,4
pH	3,58	…….	3,95	3,98	…….
Azucares reductores (g)	4,96		26,85	22,49	…….
Vitamina C (ácido ascórbico en mg)	24,21	43,30	43	…….	…….
Compuestos fenólicos totales (AGE: ácido gálico equivalente) (mg)	58,60	…….	…….	…….	…….
Carotenoides totales (B-caroteno eq.) (mg)	2,94	2640	…….	…….	…….

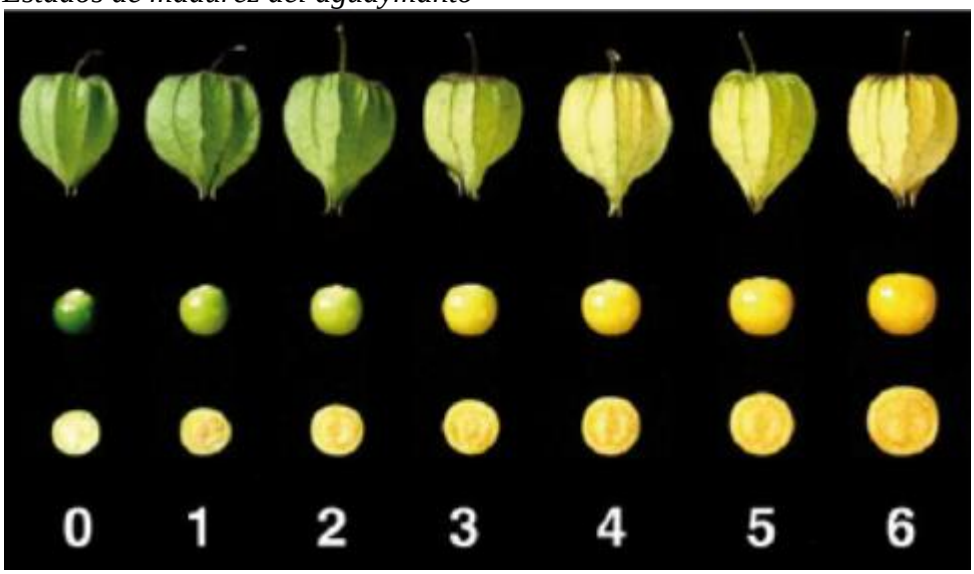
2.2.1.5 Estados de madurez del aguaymanto.

Una de las formas de evaluar la madurez del aguaymanto es mediante la observación del cambio de color en su superficie. La determinación de sólidos solubles, acidez titulable e índice de madurez son métodos comunes utilizados para corroborar la madurez fisiológica del fruto; las características de los estadios de madurez fisiológica se encuentran detallados en la Tabla 9 y véase la Figura 3. (*ICONTEC 4580*, 1999)

- Color 0: Fruto de color verde oscuro, fisiológicamente desarrollado.
- Color 1: fruto de color verde un poco más claro.
- Color 2: el color verde permanece en la región del cáliz y los tonos anaranjados aparecen más cerca del centro del fruto.
- Color 3: El fruto es de color naranja claro con un poco de verde en la zona del cáliz.
- Color 4: fruto de color anaranjado claro.
- Color 5: fruto de color anaranjado.
- Color 6: fruto de color anaranjado intenso.

Figura 3.

Estados de madurez del aguaymanto



Nota: ICONTEC 4580 (1999)

Tabla 9.

Resumen de la Norma Técnica Colombiana 4580.

Color	Aspecto externo del fruto	ºBrix mínimo	% máximo de ácido cítrico	Índice de madurez (ºBx/%acido)
Cero	Fruto en un estado de desarrollo fisiológico, de color verde profundo.	9,4	2,69	3,5
Uno	Fruto de color verde un poco más claro	11,4	2,7	4,2
Dos	El color verde se conserva en la zona cercana al cáliz y aparecen algunos tonos anaranjados hacia el centro del fruto	13,2	2,56	5,2
Tres	Fruto de tono naranja pálido con toques de verde en la región del cáliz.	14,1	2,34	6
Cuatro	Fruto de color anaranjado claro	14,5	2,03	7,1
Cinco	Fruto de color anaranjado	14,8	1,83	8,1
Seis	Fruto de color anaranjado intenso	15,1	1,68	9

Nota**:** Adaptado de Mendoza et al. (2012)

2.2.2 Espectroscopia

2.2.2.1 Principios electromagnéticos de la espectroscopia dieléctrica.

A. Ondas electromagnéticas.

Fueron predichas por James Maxwell entre los años de 1831- 1879. De acuerdo con las ecuaciones de Maxwell, estas ondas se componen de un campo eléctrico y un campo magnético (Rodríguez, 2017). Cuando la energía interactúa con el material, parte de esa energía es absorbida por el mismo, aumentando su temperatura.

La cantidad y distribución de la energía que interactúa con el material pueden ser descritas utilizando las ecuaciones de Maxwell. (Castro et al., 2010)(Ecuaciones 1,2,3,4).

$$\nabla \times B = j\omega\varepsilon E \quad \text{Ecuación 1}$$

$$\nabla \times E = -j\omega\mu B \quad \text{Ecuación 2}$$

$$\nabla\mu B = 0 \quad \text{Ecuación 3}$$

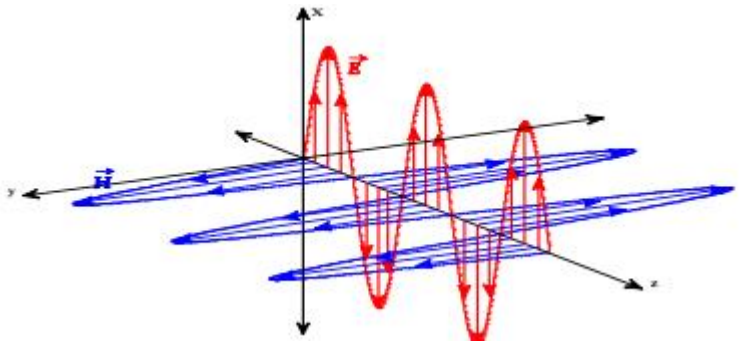
$$\nabla\varepsilon E = \rho \quad \text{Ecuación 4}$$

Aquí **E** corresponde al vector de campo eléctrico y **B** representa el vector de campo magnético. La permitividad (ε) del material (medida en Faradios por metro o F/m), describe cómo responde el material al campo eléctrico del microondas aplicado. La letra μ representa la permeabilidad del material (medida en Henrios por metro o H/m); y caracteriza la capacidad del alimento para interactuar con el campo magnético del microondas. Tanto ε como μ pueden ser cantidades complejas. (Castro et al., 2010; Velázquez, 2014)

La Figura 4 representa una onda OEM que se desplaza a lo largo del eje z con el campo eléctrico (E) alineado al eje x y el campo magnético (H) afín al eje y.

Figura 4.

Representación de una onda electromagnética



Nota: Rodríguez (2017)

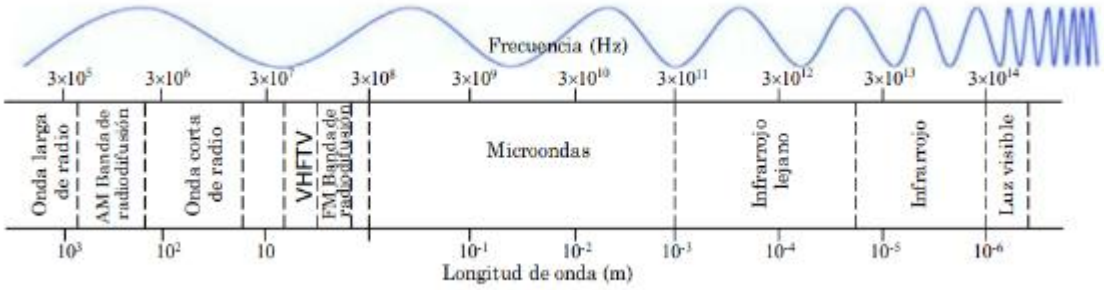
La onda electromagnética (OEM) está conformada por un campo magnético (azul) y un campo eléctrico (rojo), en el proceso de propagación en la dirección del eje z, se caracterizan por la densidad y su intensidad de flujo correspondiente a cada campo (Rodríguez, 2017).

B. Espectro electromagnético.

El espectro electromagnético representado en la Figura 5 se define por diversas formas de radiación en función de la frecuencia y la longitud de onda (Castro et al., 2010).

Figura 5.

El espectro electromagnético.



Nota: Velázquez et al. (2014).

C. Polarización.

Debye introdujo el concepto de polarización dipolar en 1929, que se refiere a la alineación o el ordenamiento de los dipolos de las moléculas de agua presentes en líquidos y soluciones que involucran moléculas polares en disolventes no polares. Las ecuaciones correspondientes se exponen en la Ecuación 5:

$$\varepsilon = \varepsilon_\infty + \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_\infty}{1 + j\omega t} \qquad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

ε_∞ = constante dieléctrica a frecuencias resonantes (frecuencias tan altas que la orientación molecular no tiene tiempo para contribuir a la polarización)

ε_s = Constante dieléctrica estática (la constante dieléctrica a frecuencia 0)

t = tiempo de relajación, (el tiempo que se tardan los dipolos en volver a la orientación aleatoria cuando se elimina el campo eléctrico externo).

La separación de la Ecuación 5 anterior en su parte real e imaginaria produce las ecuaciones 6 y 7.

$$\varepsilon' = \varepsilon_\infty + \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_\infty}{1 + \omega^2 t^2} \qquad \text{Ecuación 6}$$

$$\varepsilon'' = \frac{(\varepsilon_s - \varepsilon_\infty)\omega t}{1 + \omega^2 t^2} \qquad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

$\omega =$ frecuencia de relajación ($\omega = 1/t$)

D. Propiedades dieléctricas.

Referidas a la permitividad compleja, son atributos físicos que caracterizan la interacción de los campos electromagnéticos con la materia en el rango de radiofrecuencias relacionadas con las propiedades estructurales y fisicoquímicas del agua, los sólidos solubles o la actividad de agua del material. (Khaled et al., 2015)

Por lo general, el término propiedades dieléctricas implica la permitividad relativa compleja, es decir, la permitividad de un material relativo al espacio libre se expresa como $\varepsilon = \varepsilon' - j\varepsilon''$, donde ε' es la constante dieléctrica, asociada con la energía almacenada en el campo eléctrico en el material y, ε'' es el factor de pérdidas dieléctrica, asociado con la disipación de energía en el material, y $j = \sqrt{-1}$. (Castro et al., 2010; Guo et al., 2011)

Asimismo, la permitividad absoluta de un vacío (Ecuación 8) está determinada por:

$$C_\circ \mu_\circ \varepsilon_\circ = 1 \qquad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

$C_\circ =$ Velocidad de la luz

$\mu_\circ =$ Constante magnética

El valor de la permitividad de vacío $\varepsilon_\circ$ es $8.854\, x\, 10^{-12}$ F/m y para $\mu_\circ$ es $1.26\, x\, 10^{-6}$ H/m. En otros medios (sólidos, líquidos y gaseosos), la permitividad tiene valores más elevados y generalmente se expresa en relación con el valor en el vacío. (Morales et al., 2010)

2.2.2.2 Factores que influyen en la medición de las propiedades dieléctricas.

Las mediciones de las características dieléctricas en un material se ven influenciadas por múltiples factores, relacionados con la naturaleza intrínseca de los frutos, incluyendo su

estructura y composición, mientras que otros dependen de las condiciones en las que se aplica el calentamiento electromagnético, como la frecuencia y l;a temperatura, además de que ciertos factores están relacionados con la etapa de madurez del alimento. (Morales et al., 2010)

- ***Composición.***

La presencia de sales, hidratos de carbono, proteínas y grasas, así como también el nivel de humedad, tienen un impacto significativo en los alimentos. La ε'' y el ε' se ven influenciados por el contenido general de agua, así como por los electrolitos, no electrolitos, los puentes de hidrogeno, los minerales, las vitaminas, calcio, y las cargas superficiales de los alimentos. (Castro et al., 2010; Morales et al., 2010)

El agua es el principal absorbedor de energía de microondas en los alimentos, y consecuentemente cuanto mayor sea el contenido de humedad, mejor será la disipación de la energía térmica. Siendo el agua un ejemplo claro de un dieléctrico polar. En general, un mayor contenido de humedad da como resultado una ε' y un ε'' más alto. Sin embargo, altas temperaturas pueden aumentar la movilidad del agua unida, al reducir este nivel crítico de humedad. Debido al factor de pérdidas reducido con la disminución del contenido de humedad, los alimentos deshidratados tienen menos capacidad para convertir la energía eléctrica en energía calorífica. (Morales et al., 2010)

- ***Densidad.***

La estructura física también afecta las propiedades dieléctricas de los materiales. La densidad tiene cierto efecto sobre la interacción del campo electromagnético y la masa involucrada (Morales et al., 2010). Esto es especialmente notable con material pulverizado o granulado puesto que la densidad aparente de una sustancia viene determinada por la relación entre las propiedades dieléctricas de los materiales sólidos y las mezclas de partículas de aire (Suresh, 2005).

- ***Temperatura.***

Las propiedades eléctricas de un material se ven influenciadas significativamente por su temperatura. Normalmente el factor de pérdidas se incrementa al aumentar la temperatura a bajas frecuencias debido a la conductividad iónica, causada por el aumento de la movilidad de los iones y la reducción de la viscosidad del líquido. Sin embrago, el ε'' tiende a disminuir con el aumento de la temperatura debido a la dispersión de los dipolos del agua. En cambio, la constante dieléctrica puede aumentar o disminuir en función de la temperatura del alimento. (Guo et al., 2007)

- ***Frecuencia.***

Castro et al. (2010) menciona que las características dieléctricas de la mayoría de alimentos dependen en gran medida de la frecuencia de medición, a excepción de algunos materiales de baja pérdidas que no absorben energía de los campos de radiofrecuencia (RF) y microondas (MW), varían considerablemente con la frecuencia del campo eléctrico aplicado. Los mecanismos de polarización dependen de la frecuencia e influyen sobre el factor de pérdidas, ya que se requiere un tiempo finito para la realineación de los dipolos en el campo alterno aplicado. Cuando la frecuencia va aumentando, la alineación de los dipolos de agua comienza a retrasarse. La contribución a la polarización del dieléctrico disminuye y se producen pérdidas. Esta disminución de la constante dieléctrica se denomina dispersión, mientras que el aumento de las pérdidas se denomina absorción dieléctrica (Suresh, 2005).

- ***Tiempo de almacenamiento de frutas***

El tiempo de almacenamiento de las frutas suele afectar las propiedades dieléctricas, ya que a temperatura ambiente el nivel de respiración aumenta provocando cambios fisicoquímicos, lo que impulsa la búsqueda de alternativas como la refrigeración para desacelerar este proceso y extender su vida útil. (Morales et al., 2010)

La afirmación anterior se relaciona con lo observado en mangos durante el tiempo de almacenamiento de 0,4,8 y 16 días a 21 °C donde los valores de la constante dieléctrica y el

factor de pérdidas disminuyeron principalmente por la reducción del contenido de humedad y el aumento del pH, mientras que la conductividad eléctrica de los mangos aumento al aumentar la temperatura durante el tiempo de almacenamiento. (Morales et al., 2009)

2.2.2.3 Método de medición de propiedades dieléctricas en alimentos.

Los métodos empleados para evaluar las características dieléctricas de alimentos en el rango de frecuencias de microondas incluyen la utilización: cavidad resonante, propagación en espacio libre y sonda coaxial de terminación abierta. De estos enfoques, la sonda coaxial es el sensor más combinado empleado para analizar tanto los materiales sólidos como líquidos, con la capacidad de llevar a cabo mediciones incluso en el rango de GHz. (Quechol, 2020)

- ***Método de sonda coaxial de extremo abierto***

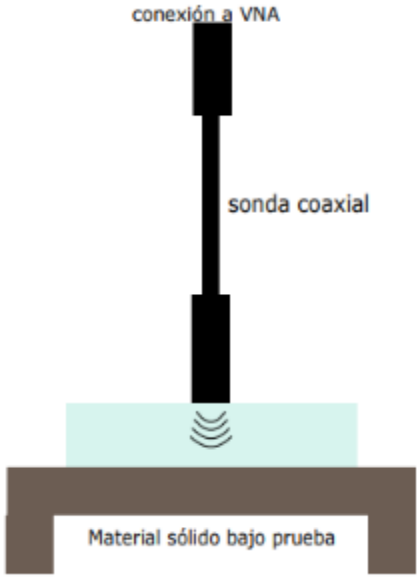
Es una técnica precisa que no necesita preparación o acondicionamiento de la muestra, la medición se basa en la determinación de la ε a partir del coeficiente de reflexión del material biológico (Bekele, 2014). Se utiliza una sonda coaxial abierta como elemento sensor, una línea de transmisión (un cable coaxial) (Figura 6) conectado a un analizador de redes vectoriales, además de una computadora para recolectar y procesar los datos (Quechol, 2020).

En muestras líquidas o semisólidas la medición se realiza introduciendo la sonda en el interior de la muestra y en materiales sólidos (mediante contacto directo) se presiona la sonda contra la superficie del material. Todos los elementos utilizados en el sistema funcionan en el rango de frecuencias de MHz - GHz, y deben tener características lineales; al mismo tiempo, el sistema de medición logra una recalibración continua para mantener los parámetros estables en el tiempo y la temperatura. Todo el proceso de generación de formas de onda y la detección está controlada por un microprocesador que cambia la frecuencia del sintetizador y registra las señales detectadas. (Skierucha et al., 2004), además, se debe tener en cuenta el espesor de la

muestra y los espacios de aire entre la muestra y la sonda para evitar errores en la medida (Agilent Technologies, 2004).

Figura 6.

Técnica de la sonda coaxial en materiales sólidos



Nota: Quechol (2020)

2.2.2.4 Equipos de obtención de propiedades dieléctricas

- ***Analizador de redes vectorial (VNA)***

Es un instrumento de medición, cuya función es obtener los parámetros de transmisión o reflexión de señales desplegadas en la carta de Smith a partir de parámetros S. El coeficiente de reflexión se mide en función de la frecuencia y en una escala lineal, se puede ver como la función de transferencia que relaciona la potencia incidente y reflejada. La medición resultante es una respuesta en el dominio del tiempo completamente corregida del material de prueba que se muestra casi en tiempo real. (Hernández, 2014;Keysight Application Note 1287-12, 2007)

Los parámetros de dispersión, también denominados parámetros S, ayudan a medir la atenuación y el desfase que experimentan las microondas al atravesar un determinado espesor de materia (Figura 7). La Ecuación 9 explica la conexión entre las ondas de potencia incidente y reflejada y la matriz de parámetros S. (Rodríguez, 2017)

$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \end{pmatrix}$$ Ecuación 9

Donde:

a_1 representa la onda de potencia entrante por el puerto 1.

a_2 es la onda de potencia entrante por el puerto 2.

b_1 se refiere a la onda de potencia reflejada en el puerto 1.

b_2 es la onda de potencia reflejada en el puerto 2.

Los parámetros S de una red de dos puertos se caracterizan por las siguientes descripciones genéricas:

S_{11} es el coeficiente de reflexión de la tensión del puerto de entrada.

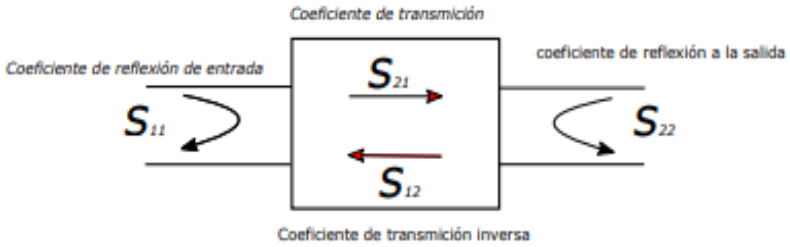
S_{12} denota la ganancia de tensión en sentido inverso.

S_{21} se refiere a la ganancia de tensión en sentido directo.

S_{22} representa el coeficiente de reflexión de la tensión del puerto de salida.

Figura 7.

Esquema de una red de dos puertos.



Nota: Quechol (2020)

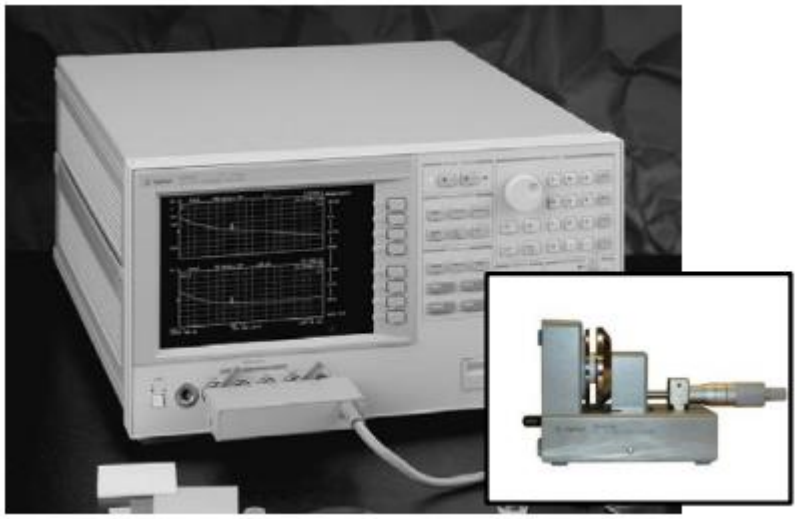
- ***Analizador de impedancia.***

Consiste en colocar una lámina fina del alimento entre dos electrodos, creando un condensador. A continuación, se mide el factor de disipación (D) y los parámetros de capacitancia (C), para determinar la constante dieléctrica y el factor de pérdidas, frecuentemente se utiliza un medidor LCR (que mide la inductancia (L), capacitancia (c) y resistencia (R)) o un analizador de impedancia. Esta técnica requiere que la muestra sea una laminilla plana y uniforme, resultando un inconveniente debido a la dificultad en la preparación de la muestra. (Castro et al., 2010)

Por lo general, la preparación o acondicionamiento de la muestra para medir sus propiedades dieléctricas implica tener una altura de menos de 10 mm y un diámetro que oscila entre 10 mm y 56 mm. Esto se hace con el propósito de evitar cualquier espacio libre entre los electrodos del sensor (platos paralelos) y la superficie del material. (Velázquez, 2014)

Figura 8.

Analizador de Impedancias y sensor de platos paralelos



Nota: Castro et al. (2010)

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Aguaymanto

Es una fruta silvestre que posee capacidad antioxidante, cantidad importante de carotenoides y es fuente de vitamina C.

2.3.2 Propiedades fisicoquímicas

Son atributos internos y externos de las frutas los cuales definen la calidad de la fruta.

2.3.3 Espectroscopia dieléctrica

Se trata de una técnica no invasiva empleada para predecir la calidad de los alimentos mediante sus propiedades fisicoquímicas.

2.3.4 Propiedades dieléctricas

Son propiedades físicas que explican la interacción entre el material y los campos eléctricos.

2.3.5 Quimiometría

Actualmente considerada como una disciplina de la química, que trata de la adquisición y aprovechamiento de la información en las aplicaciones analíticas e involucra la aplicación de métodos matemáticos, estadísticos y computacionales para investigar, interpretar, clasificar y predecir conjuntos de datos de interés químico.

2.3.6 Coeficiente de determinación

Es una medida estadística utilizada cuan bien se ajusta un modelo de regresión a la variable que se está tratando de explicar. En otras palabras, el R^2 representa la fracción de variabilidad total en la variable dependiente que es explicada por el modelo de regresión.

2.3.7 Raíz del error cuadrático medio (RMSE)

Significa Error de Raíz Cuadrática Media, es una métrica utilizada para medir la discrepancia entre dos conjuntos de datos. A diferencia del error absoluto medio (MAE), el

RMSE se emplea cuando se desea comparar dos conjuntos de datos y evaluar la precisión de las predicciones.

2.3.8 Permitividad

Es una constante física que describe la capacidad de un medio para responder a un campo eléctrico y como dicho campo eléctrico puede afectar y ser afectado por el medio en cuestión. En esencia, la permitividad refleja como un material responde cuando es sometido a un campo eléctrico.

2.4 Hipótesis

La técnica de la espectroscopia dieléctrica a frecuencias puntuales de 915, 2450 y 5800 MHz permite predecir las propiedades fisicoquímicas de los frutos de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) superior a un R^2 de 0,75.

2.5 Operacionalización de variables

En la Tabla 10 se detalla la operacionalización de variables de la tesis “Predicción de propiedades fisicoquímicas del fruto de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) mediante la técnica de espectroscopia dieléctrica”.

Tabla 10.

Operacionalización de variables de la investigación.

Variables de estudio	Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos
Referencial		Estadio de madurez	3, 4, 5 y 6	NTC 4580
		Color	L* C* h*	Colorímetro
		Sólidos solubles	°Brix	Refractómetro
		Acidez	%	Equipo de titulación
Dependientes: Propiedades fisicoquímicas	Predecir las propiedades fisicoquímicas del fruto de aguaymanto.	Humedad	%	Balanza electrónica de humedad
		pH	-	Potenciómetro
		Actividad de agua	-	Higrómetro de punto de roció
		Textura	Dureza (kg m/ s^2)	Texturómetro
Independiente: Propiedades dieléctricas	La permitividad compleja también conocida como propiedad física que caracteriza la interacción entre la materia (fruto de aguaymanto) y campos electromagnéticos en el rango de radiofrecuencias y microondas.	Permitividad Compleja [Constante dieléctrica(ε') y Factor de pérdidas (e")]	Factor de pérdidas (e")	Analizador de redes vectoriales

CAPITULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de investigación y nivel de investigación

Esta tesis es aplicada, tiene como objetivo principal generar conocimientos con una aplicación directa para los desafíos de la sociedad y el sector productivo. Esta investigación se basa en los descubrimientos tecnológicos obtenidos a partir de investigaciones básicas y se enfoca en la conexión entre la teoría y la creación de productos o soluciones prácticas. (Lozada, 2014)

3.2 Diseño de investigación

De acuerdo a la técnica de contrastación es experimental, debido a que la técnica de contrastación experimental es muy útil para estudiar la relación entre variables y para comprender como diferentes factores desencadenan a un fenómeno o proceso determinado, en este caso, la variable independiente estará dada por el factor de pérdidas y la variable dependiente por las propiedades fisicoquímicas de los frutos de aguaymantos.

3.3 Métodos de investigación

Por el problema a resolver y los datos que se obtuvieron el método de investigación que se desarrolló en esta tesis fue cuantitativo y estructurado, mediante la técnica de observación y experimentación.

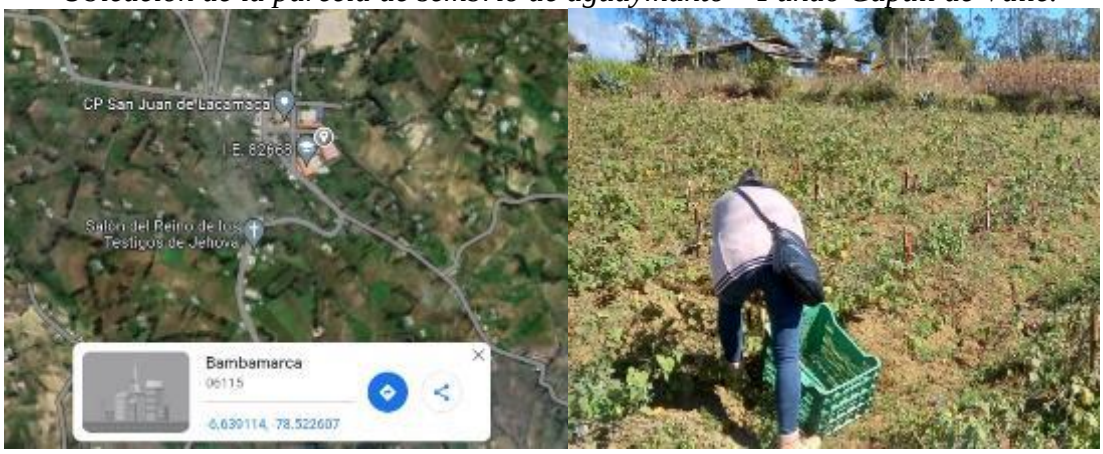
3.4 Población, muestra y muestreo

La investigación experimental se llevó a cabo en el laboratorio de Operaciones Unitarias del edificio de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Autónoma de Chota, ubicado en la Provincia de Chota, C P de Colpa Huacariz.

La población de para este estudio consistió en los cultivos de frutos de aguaymanto del fundo “Capulí el Valle”, situado en el C.P San Juan de Lacamaca, provincia de Bambamarca en la región Cajamarca, se tomo en consideración las plantas que fueron sembradas en la temporada de octubre de 2021 a marzo de 2022.

Figura 9.

Ubicación de la parcela de sembrío de aguaymanto – Fundo Capulí de Valle.

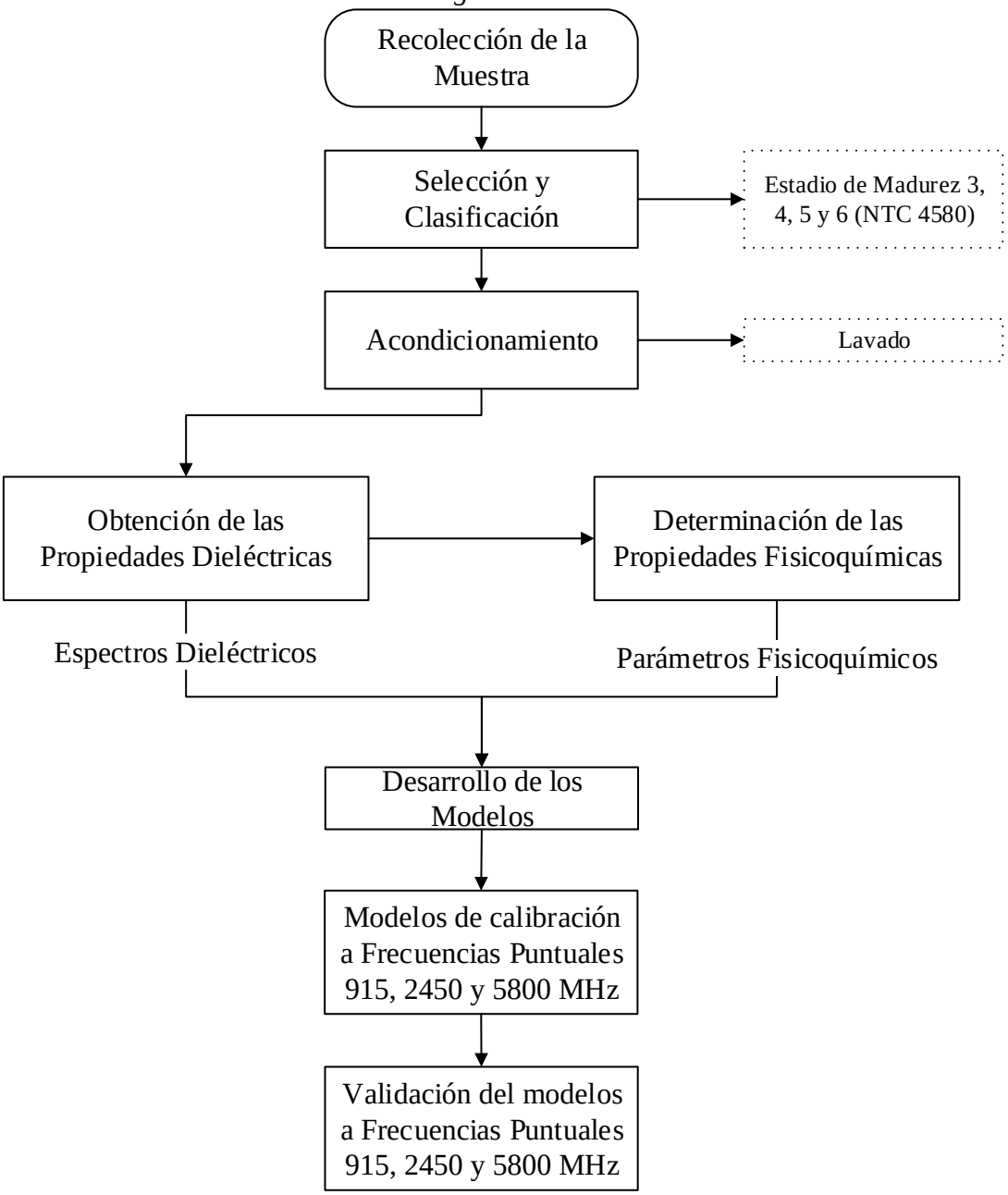


Como muestra se utilizó 600 unidades de frutos de aguaymanto, 150 unidades por cada estadio de madurez (3, 4, 5 y 6), cuya selección se realizó mediante observación (visual) directa (homogéneas en peso, color y tamaño sin presencia de magulladuras o daños mecánicos) según la NTC 4580.

Previo al análisis físico de los frutos de aguaymanto se realizó un lavado y secado de los mismos para luego obtener las propiedades dieléctricas (espectros dieléctricos) y las propiedades fisicoquímicas (color, sólidos solubles, acidez, humedad, pH, actividad de agua y textura (dureza)). Por último, se armaron matrices con los valores de los espectros dieléctricos y propiedades fisicoquímicas para poder desarrollar el modelo y su respectiva validación (Figura 10).

Figura 10.

Secuencia del desarrollo de la investigación.



3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1 Técnicas de recolección de datos

3.5.1.1 Sistema de adquisición de espectros dieléctricos.

Los espectros dieléctricos propiedades dieléctricas - ε" de los frutos de aguaymanto fueron adquiridos mediante una sonda coaxial de extremo abierto (N1501A-001), conectada a un analizador de redes vectorial, modelo N 9915A - Keysight Technologies, y controlada mediante una laptop (interfaz gráfica) Laptop HP CORE i7 (SN. PF1NQQCA), véase la Figura 11.

Previo a la obtención del factor de pérdidas (ε") de los frutos de aguaymanto, se encendió el equipo por al menos 30 min según lo recomendado por el fabricante (Keysight Technologies), inmediatamente se ajustó los parámetros del equipo para obtener 401 variables discretas en un rango de 0,5 a 9 GHz en un ancho de banda de 1000 Hz, seguidamente se procedió a calibrar la sonda en tres pasos: aire, corto circuito y agua (20 ºC), y se hizo una medición del agua para verificar si los valores de permitividad obtenidos eran los adecuados; anterior a la medición del agua se observó el contacto entre el agua y la sonda para garantizar que no quedaran burbujas de aire en la región de la punta de la sonda. (Chuquizuta et al., 2021; Guo et al., 2011) Las propiedades dieléctricas de cada fruto de aguaymanto se obtuvieron por triplicado.

Asimismo, diversas investigaciones en moras, fresas, frambuesas, carnes, frutas, verduras, productos lácteos y otros alimentos (López et al., 2017; Morales et al., 2017; Tiras et al., 2019) calcularon la profundidad de penetración en el rango de 915, 2450 y 5800 MHz, en nuestra investigación se calculó la profundidad de penetración (dp) (Ecuación 10), la misma que se define como la profundidad en una muestra donde la potencia de microondas y radiofrecuencia ha caído a 1/e ($e = 2{,}718$) o 36,8% de su valor transmitido

$$d_p = \frac{c}{2\pi f \sqrt{2\varepsilon' \left[\sqrt{1+\left(\frac{\varepsilon''}{\varepsilon'}\right)^2} - 1\right]}}$$ Ecuación 10

Donde:

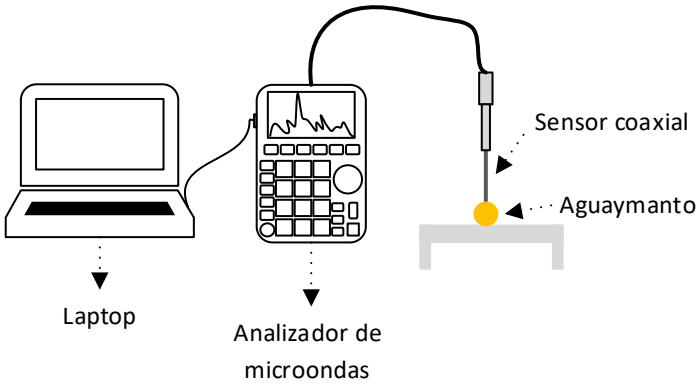
C= la velocidad de la luz en el vacío (3×10^8 m/s)

f = es la frecuencia (Hz)

dp= es el trayecto dentro del material en el que la densidad de potencia se ha reducido a 1/e (aproximadamente el 37%) del valor observado en la superficie del material (Morales et al., 2010).

Figura 11.

Sistema de adquisición de propiedades dieléctricas



3.5.1.2 Caracterización fisicoquímica

Para la caracterización fisicoquímica se utilizó 150 frutos de aguaymanto por cada estadio de madurez (3, 4, 5 y 6) según NTC 4580, y se agruparon en 10 grupos (15 frutos/grupo); en cada grupo se separó 9 de los 15 frutos para la determinación de las propiedades fisicoquímicas (color, acidez, pH, sólidos solubles), las cuales implican la obtención del zumo de los frutos de aguaymanto y los 6 frutos restantes para humedad, textura y actividad de agua; las propiedades fisicoquímicas se realizó de acuerdo a lo que se describe a continuación.

a. Acidez titulable

La acidez se determinó utilizando zumo de aguaymanto (1 mL) diluido en agua destilada (9 mL) a través del método AOAC (22.008.1984). La solución titulante que se utilizó fue NaOH (0,1 N), previa adición de fenolftaleína (3 gotas), hasta observar un cambio de color (rosáceo), a partir de ello se calculó la acidez Ecuación 11:

$$\%Acidez = \frac{\text{G}\times\text{N}\times\text{meq del ácido}}{\text{M}} \times 100 \qquad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

G: volumen en mL. (NaOH gastado).

N: normalidad del NaOH.

meq: mili equivalente del ácido del ácido cítrico (0,064)

M: gramos o mililitros de muestra alícuota.

b. Humedad:

Para determinar la humedad de los frutos de aguaymanto, se usó la mitad de cada uno de los tres frutos, tomando como referencia en método AOAC 22.013 (1984) que consistió en secar la muestra en estufa hasta alcanzar un peso constante a una temperatura 60 ºC. (Castro et al., 2010). La fracción másica de agua (x_w) se obtuvo a partir de la Ecuación 12.

$$X_w = \frac{M_{p+mh} - M_{p+ms}}{M_{p+mh} - M_p} \qquad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

M_p = masa del vaso de precipitación (g)

M_{p+mh}= masa del vaso de precipitación y la muestra húmeda (g)

M_{p+ms} = masa del vaso de precipitación y la muestra seca (g)

c. pH

Se determinó el pH del zumo de aguaymanto (5 mL) diluido en agua destilada (45 mL) de acuerdo a AOAC 981. 12 (AOAC 1998), para llevar a cabo esta medición, se utilizó un pH-metro (Thermo Scientific - Orion Versastar pro) que previamente fue calibrado. La calibración

se realizó a temperatura ambiente con dos soluciones tampón de valores de pH 4 y 7. Finalizada la calibración, se procedió a limpiar el electrodo con agua destilada, se secó adecuadamente y se colocó la muestra en contacto con el electrodo del pH-metro, se tomó el valor de pH indicado por el equipo una vez que la medida se estabilizó.

d. Color

El color se determinó en dos puntos (línea ecuatorial) de los frutos de aguaymanto según CIE,1978 a través de un colorímetro portátil (3nH) y modelo NR200 previamente calibrado. La calibración del equipo se realizó en blanco y negro según lo recomendado por el fabricante. Las medidas se realizaron en tres puntos a la altura de la línea ecuatorial del fruto.

El colorímetro se rige según el sistema CIE L* a* b* incluido las coordenadas C* y h*, donde L* es el índice de luminosidad, el parámetro a* indica cromaticidad en el eje verde (-) a rojo (+) y b* cromaticidad en el eje azul (-) a amarillo (+), de la relación entre a* y b* se obtiene el croma psicométrico (saturación) C* que permite obtener la intensidad o croma del color de los frutos de aguaymanto y h* es el ángulo de matiz. (Puente et al., 2011)

e. Sólidos solubles totales

Se determinó el contenido ºBrix de los frutos de acuerdo con el método AOAC 932. 12 (AOAC 1980) mediante un refractómetro portátil previamente calibrado con agua destilada. Se colocó de una a tres gotas del zumo de aguaymanto sobre el lente del refractómetro y posteriormente se observó la medida por triplicado.

f. Actividad de agua (a_w)

La a_w se determinó con las mitades de la muestra utilizada en el análisis de humedad del aguaymanto mediante un medidor de actividad de agua AQUALAB 4 TEV portátil. Previo a la medición a_w, se realizó la calibración del equipo con al menos dos de los patrones establecidos a 0,500 a_w y 0,760 a_w. Se cortó la muestra del fruto de aguaymanto en dos mitades para colocarla en los viales para posteriormente realizar la medición.

g. Textura

La textura se determinó en 3 frutos utilizando un texturómetro TMS-Pro – Food Technology Corporation a partir de ensayos mecánicos de punción en frutos enteros de aguaymanto, a una velocidad de penetración de 2 mm/s y 10 mm de profundidad de penetración. En todos los casos el software registró la curva de fuerza máxima o de rotura (Fmax), distancia de rotura (Dr) y su pendiente inicial (ε^*) para poder obtener la textura en Newton. (Restrepo et al., 2009)

3.5.2 Instrumentos para la recolección de datos

Para obtener el factor de pérdidas (ε") de los frutos de aguaymanto se utilizó un analizador de redes vectoriales modelo N 9915A - Keysight Technologies: las propiedades fisicoquímicas: color, sólidos solubles, acidez, humedad, pH, textura (dureza) y actividad de agua se obtuvieron mediante un colorímetro, refractómetro, equipo de titulación, estufa, potenciómetro, texturómetro, higrómetro de punto de roció respectivamente.

Así también para la organización la data obtenida de los diferentes análisis realizados se empleó fichas de registro (ver anexos) y programas de office.

3.6 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

En el análisis y procesamiento de los datos se realizó primeramente un pretratamiento de los espectros dieléctricos para posteriormente desarrollar el modelo matemático, efectuando la calibración y por último la validación del modelo.

3.6.1 Pretratamiento de espectros dieléctricos

Se realizó un filtrado de los espectros dieléctricos según lo recomendado por Castro et al., (2010); Córsico et al., (2020); Velázquez, (2014) quienes recomiendan realizar un filtrado de los espectros dieléctricos con la finalidad de eliminar los defectos y/o anomalías en la señal, para ello en nuestra investigación se utilizó un filtrado de segundo orden de Savitzky-Golay, con 9 frames, realizado en el software Matlab 2021b.

3.6.1.1 Desarrollo del modelo

Se llevo a un proceso de modelado con el propósito de establecer la conexión entre las propiedades fisicoquímicas de los fruto de aguaymanto en sus cuatro estados de madurez (600 frutos) y el factor de pérdidas a frecuencias puntuales, se utilizó el coeficiente de determinación como herramienta de evaluación. El procedimiento abarcó el desarrollo de un modelo de calibración (R_c^2) y posteriormente un modelo de calibración (R_v^2).

a. Modelo de calibración

En la calibración del modelo se utilizó 420 frutos de aguaymanto (70 %), a fin de determinar los valores de ajuste (a y b) del modelo lineal o modelo de calibración. Esta relación lineal se realizó entre las propiedades fisicoquímicas (acidez titulable, humedad, pH, color, sólidos solubles, actividad del agua, textura (dureza) y el factor de pérdidas - **ε",** a frecuencias puntuales de 915, 2450 y 5800 MHz respectivamente (frecuencias de uso industrial conferido por la misión de electromagnetismo de los EE. UU); además se determinó el coeficiente de determinación en el modelo de calibración (R_c^2).

$$Y = a\,X + b \qquad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

Y= propiedades fisicoquímicas: acidez titulable, humedad, pH, color, sólidos solubles, actividad del agua, textura (dureza)

X = Factor de pérdidas a frecuencias de 915, 2450 y 5800 MHz individualmente para cada frecuencia.

a y b = Valores de ajuste

b. Validación del modelo

Para la validación del modelo, se utilizaron 180 (30 %) frutos restantes, obteniendo primero los valores promedios de ε" a frecuencias puntales para luego, calcular la predicción de acidez titulable, humedad, pH, color, sólidos solubles, actividad del agua, textura (dureza)

a partir de los valores de ajuste adquiridos de la ecuación lineal del modelo de calibración. Una vez obtenidos los valores predichos de los parámetros de calidad del aguaymanto se procedió a correlacionar con los valores referenciales empleando un diagrama de dispersión, obteniendo un coeficiente de determinación para la validación del modelo (R_v^2).

c. Evaluación estadística del modelo

En nuestra investigación utilizamos la raíz del error cuadrático medio (RMSE) para la evaluación de la validación del modelo obtenido, el mismo que se basa en la determinación de las diferencias entre los valores reales y los predichos, a partir de la sumatoria de los errores generados en el modelo. (Serrano, 2013; Soto-Bravo & González-Lutz, 2019) El RMSE está descrita por la Ecuación 14

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(M_{experimental} - M_{model})^2}{n}} \qquad \text{Ecuación 14}$$

3.7 Aspectos éticos

El estudio de la predicción de propiedades fisicoquímicas del fruto de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) mediante la técnica de espectroscopia dieléctrica, técnica no invasiva que ofrece información sobre los componentes del fruto mediante sensores basados en radiaciones electromagnéticas; excluyendo el empleo de insumos químicos buscando así mejorar la producción industrial, facilitar los análisis del control de calidad y favorecer el desarrollo sustentable del ecosistema. Ya que anteriormente el objetivo era mayor crecimiento económico igual a mayor bienestar omitiendo un trato ecoamigable de la naturaleza.

Recalcando que esta investigación tiene un fin informativo, el de brindar datos útiles que puedan ser tomados como referencia para ser aplicados en la cadena productiva de cualquier empresa agroindustrial relacionada al tema.

La investigación se desarrolló a partir de la resolución de aprobación del proyecto anteriormente presentado a la Oficina de investigación de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, la cual se redactó bajo la normativa de las Normas Apa séptima edición publicada en

el año 2019, respetando el reglamento interno de la universidad que exige la aplicación de dichas normas en las escuelas de Ingeniería. Con la finalidad de exponer y evidenciar la originalidad de las ideas redactadas o si es el caso respetar las ideas expuestas por otros autores en diferentes documentos.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentará los resultados y las discusiones correspondientes a los objetivos establecidos en el marco de la presente investigación, los mismos que se detallan a continuación.

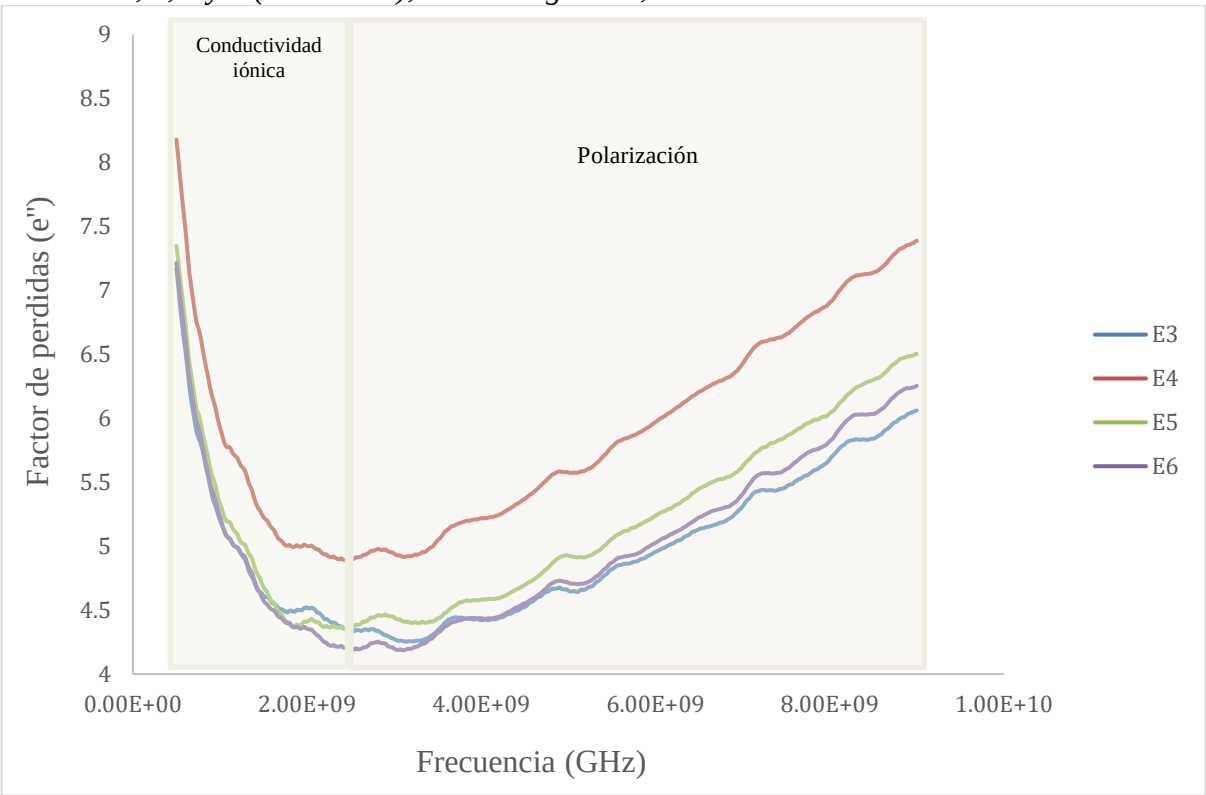
4.1 Descripción de resultados

4.1.1 Determinación del factor de pérdidas de los frutos de aguaymanto (Physalis peruviana L.*) en sus estadios de madurez 3, 4, 5 y 6 (NTC 4580), en un rango de 0,5 a 9 GHz.*

En la Figura 12, se muestran los espectros dieléctricos medidos del ε" de los frutos de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) en los estadios de madurez 3, 4, 5 y 6 según la NTC 4580 Se observa que los valores ε" para los cuatro estadios de madurez descienden cuando va aumentando la frecuencia en el rango de 0,5 a 2,1 GHz, posteriormente estos valores medios aumentan hasta los 9,0 GHz, originando una tendencia en forma de "U". Investigaciones hechas por Fang & Guo, 2016; Okiror & Jones, 2013; Guo et al., 2011; Guo Fang et al., 2015; Guo Shang et al., 2015; Liu et al., 2021; Liu & Guo, 2018 y Reyes et al., 2017 en frutas como caquis, manzanas, peras y melones respectivamente, presentan tendencia similar a nuestros espectros ε". Esta tendencia "U" del espectro es producto del comportamiento dieléctrico en tejidos de frutas como naranja, mandarina, manzana, frambuesa, mora y fresa que directamente se ven influenciadas por la conductividad iónica, la polarización dipolar de agua y electrolitos presentes en la composición del fruto. (Talens et al., 2010; Traffano-Schiffo et al., 2017; Fito et al., 2010; López et al., 2017; Morales et al., 2017)

Figura 12

Espectros dieléctricos medidos del ε" de los frutos de aguaymanto en sus estadios de madurez 3, 4, 5 y 6 (NTC 4580), en un rango de 0,5 a 9 GHz.



4.1.2 Determinación el índice de la profundidad de penetración del campo eléctrico en los frutos de aguaymanto (Physalis peruviana L.*), en sus estadios de madurez 3, 4, 5 y 6 a frecuencias puntuales de 915, 2450 y 5800 MHz respectivamente.*

Adquiridos los espectros dieléctricos de los 600 frutos de aguaymanto se calculó el índice de la profundidad de penetración para las frecuencias puntuales 915, 2450 y 5800 MHz, a partir de sus valores medios de ε' y ε" de acuerdo a la siguiente formula:

$$d_p = \frac{c}{2\pi f \sqrt{2\varepsilon' \left[\sqrt{1+\left(\frac{\varepsilon''}{\varepsilon'}\right)^2}-1\right]}}$$ Ecuación 15

Donde:

C= (3×10^8 m/s) velocidad de la luz en el espacio libre

f= 915, 2450 y 5800 frecuencia (MHz)

π= 3,1416

En la Tabla 11, se puede notar que para cada estadio de madurez el índice de penetración disminuye a medida que se incrementa la frecuencia. Asimismo, se ha de observar que los valores de penetración del campo eléctrico a los frutos de aguaymanto para cada estadio de madurez son de 0,505; 0,449; 0,493; 0,500 cm a 915 MHz, además, este valor incrementa cuando avanza su madurez.

Tabla 11.

Índice de la profundidad de penetración en los frutos de aguaymanto en sus estadios de madurez 3, 4, 5 y 6 a frecuencias puntuales.

Estadio de madurez	**Propiedades dieléctricas y profundidad de penetración**	**Frecuencias (MHz)**		
		915	**2450**	**5800**
3	ε'	26,6087	24,6408	22,7965
	ε''	5,3562	4,3445	4,8930
	Dp **(cm)**	0,505	0,224	0,081
4	ε'	27,6065	27,1239	25,0629
	ε''	6,1399	4,8924	5,8889
	Dp **(cm)**	0,449	0.208	0.070
5	ε'	27,0180	25,2647	23,2975
	ε''	5,5283	4,3586	5,1679
	Dp **(cm)**	0,493	0,226	0.077
6	ε'	26,6740	24,8672	23,1669
	ε''	5,4126	4,2025	4,9472
	Dp **(cm)**	0,500	0,232	0,081

4.1.3 Determinación de las propiedades fisicoquímicas: color, humedad, actividad de agua, sólidos solubles, acidez, pH y textura (dureza) de los frutos de aguaymanto (Physalis peruviana L.) en sus estadios de madurez 3, 4, 5 y 6 (NTC 4580).

La Tabla 12, muestra los resultados de las características fisicoquímicas: color, humedad, sólidos solubles, actividad de agua, pH, acidez y textura de los frutos de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) en sus estadios de madurez 3, 4, 5 y 6 (NTC 4580).

En cuanto a los valores de humedad presentaron un comportamiento típico de un fruto con alto contenido de agua, cuyo rango es de 76 % a 78 % y la actividad de agua no mostro mayor variabilidad entre los tres estadios de madurez de los frutos de aguaymanto. (Rossi et al., 2012; Repo de Carrasco & Encina, 2008; Galvis et al., 2005) Sin embargo, en las propiedades fisicoquímicas (color C*, sólidos solubles y pH) se observó una tendencia ascendente en relación con el avance de maduración del fruto a excepción de las coordenadas de color que disminuyeron L* h*, provocados por los cambios fisicoquímicos que se dan durante el desarrollo de su madurez como: la síntesis de pigmentos (carotenoides), hidrolisis del almidón y reducción de los ácidos orgánicos. No obstante, la textura y acidez disminuyen a medida que progresa la maduración del fruto ya que se produce el ablandamiento de la pulpa a consecuencia de la degradación de la pared celular y la utilización de los ácidos orgánicos en el metabolismo y respiración del fruto. (Duque et al., 2011; Velasquez. & Velasquez, 2017; Novoa et al., 2006)

Tabla 12.

Propiedades fisicoquímicas de los frutos de aguaymanto en diferentes estadios de madurez.

Propiedades Fisicoquímicas		Estadio de Madurez (NTC 4580)			
		3	4	5	6
Color	L*	62,666 ± 1,134	60,610 ± 1,173	58,793 ± 0,854	58,061 ± 0,697
	C*	49,706 ± 0,928	51,589 ± 0,628	51,445 ± 1,267	53,335 ± 1,102
	h*	76,299 ± 0,327	70,043 ± 0,634	67,974 ± 1,452	66,248 ± 1,066
Humedad		76%± 0,006	76% ± 0,016	78% ± 0,016	78% ± 0,007
Sólidos Solubles		13,493 ± 0,520	14,636 ± 0,516	14,643 ± 0,297	14,850± 0,444
Actividad de Agua		0,972 ± 0,005	0,977 ± 0,002	0,976 ± 0,002	0,978 ± 0,002
pH		3,468 ± 0,096	3,568 ± 0,039	3,630 ± 0,026	3,663 ± 0,012
Acidez		2,842% ± 0,076	2,230% ± 0,240	2,162% ± 0,115	2,120% ± 0,189
Textura		1,269N ± 0,000	1,174N ± 0,000	1,022N ± 0,000	0,857N ± 0,000

Nota: valores promedio y desviación estándar de las propiedades fisicoquímicas del aguaymanto (150 frutos c/u).

Obtenidos los análisis fisicoquímicos previos de los frutos de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) en sus estadios de madurez 3, 4, 5 y 6, (NTC 4580) observamos que los frutos de aguaymanto durante su desarrollo presentan dos etapas visualmente muy marcadas, del estadio 0 al 3 y del 4 al 6 (NTC 4580); en los estadios iniciales (verdes) el desarrollo de sus características se da de manera exponencial, en cambio a partir del estadio 4 en adelante donde los frutos de aguaymanto obtienen su madurez fisiológica los valores de sus características fisicoquímicas color, humedad, pH, actividad del agua, sólidos solubles y acidez, no muestran mayor diferencia. (Galvis et al., 2005)

Además, los frutos de aguaymanto en estadio 3, continúan con su proceso de madurez fisiológica y no necesariamente presentan las mismas características fisicoquímicas que los frutos de madurez comercial, como son los estadios 4,5 y 6. Sin embargo, estos últimos estadios de madurez con el tiempo van perdiendo sus propiedades fisicoquímicas debido al proceso de degradación, es decir senescencia. Además, el comportamiento de los tres últimos estados de madurez presenta una tendencial lineal y de pendiente negativa, permitiendo mejorar el rendimiento y la precisión del modelo, así como, una buena predicción de las propiedades

fisicoquímicas a frecuencias puntuales de 915, 2450 y 5880 MHz. Por ello se descartó la utilización del estadio 3 para la relación entre las propiedades fisicoquímicas de los frutos de aguaymanto y el factor de pérdidas.

4.1.4 Establecer con el coeficiente de determinación (R^2) la relación entre las propiedades fisicoquímicas del fruto de aguaymanto (Physalis peruviana **L.***) con el factor de pérdidas a frecuencias puntuales de 915, 2450 y 5800 MHz.*

La relación entre las propiedades fisicoquímicas de los frutos de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) y el factor de pérdidas a frecuencias puntuales de 915, 2450 y 5800 MHz, se determinaron a partir del coeficiente de determinación (R^2), la mismas que consta de dos etapas: calibración y validación del modelo. Cabe recalcar que para el desarrollo del modelo de calibración se utilizó de manera aleatoria el 70% (1260) espectros de ε" y para la validación se utilizaron 30% (540) espectros ε" (Chuquizuta, et al., 2022).

4.1.4.1 Desarrollo del modelo de calibración (ε")

La Tabla 13, muestra las ecuaciones de calibración del coeficiente de determinación de las propiedades fisicoquímicas de los frutos de aguaymanto en función de las propiedades dieléctricas (ε") a partir del promedio de los 1260 espectros de ε", obteniendo los mejores valores de correlación (R^2> 0,5) para color L*, C* y h*, humedad, sólidos solubles, pH y textura a frecuencia de 2450 MHz.

Tabla 13.

Modelos de calibración para predicción de las propiedades fisicoquímicas a partir de ε" de los frutos de aguaymanto.

Propiedades fisicoquímicas		Frecuencia 915 (MHz)	2450 (MHz)	5800 (MHz)
Color	**C***	y=−7,1471x+64,638 R^2=0,5256	y=−6,2691x+61,59 R^2=0,557	y=−5,6206x+61,583 R^2=0,5523
	L*	y=18,918x+26.108 R^2=0,9824	y=16,546x+34,157 R^2=0,9825	y=14,728x+34,419 R^2=0,9834
	h*	y=24.015x=26.187 R^2=0,9769	y=21,003x+36,404 R^2=0,9769	y=18,697x+36,734 R^2=0,978
Humedad		y=−13,228x+100,14 R^2=0,9657%	y=−11,332x+94,089 R^2=0,9763	y=−10,195x+94,136 R^2=0,9748
Acidez		y=−0,0294x+2,1738 R^2=0,0152	y=−0,0375x+2,1788 R^2=0,009	y=−0,0321x+2,1762 R^2=0,0082
Actividad de agua		y=−0,001x+0,9784 R^2=0,0152	y=−0,0011x+0,973 R^2=0,0239	y=−0,001x+0,9783 R^2=0,0225
Sólidos solubles		y=1,3517x+12,343 R^2=0,8622	y=1,1367x+12,993 R^2=0,8398	y=1,0255x+12,984 R^2=0,8433
pH		y=−0,5629x+4,6004 R^2=0,902	y=−0,4843x+4,3463 R^2=0,9199	y=−0,4355x+4,3478 R^2=0,9173
Textura		y=2,0638x−2,5787 R^2=0,8865	y=1,7775x−1,6494 R^2=0,9058	y=1,5979x-1,6546 R^2=0,903

Nota: en las ecuaciones de calibración "y" es el valor a obtener de (color, humedad, acidez, actividad de agua, ºBrix, pH y textura); "x" es el promedio del factor de perdida (e") a frecuencias puntuales de 915, 2450 y 5800 MHz.

En las Figuras 13, 14, 15 se observan los diagramas de dispersión del modelo de calibración (R_c^2), de las propiedades fisicoquímicas de los frutos de aguaymanto (sólidos solubles, actividad de agua, acidez, pH, color y humedad) en función de las propiedades dieléctricas, a frecuencias puntuales de 915, 2450, y 5800 MHz.

- Diagramas de dispersión del modelo de calibración de las propiedades fisicoquímicas (sólidos solubles, actividad de agua, acidez, pH, color y humedad) en función de las propiedades dieléctricas, a frecuencias puntuales de 915, 2450 y 5800 MHz.

Figura 13.

de las propiedades fisicoquímicas en función de sus propiedades dieléctricas de los frutos de los frutos a frecuencias de 915 MHz

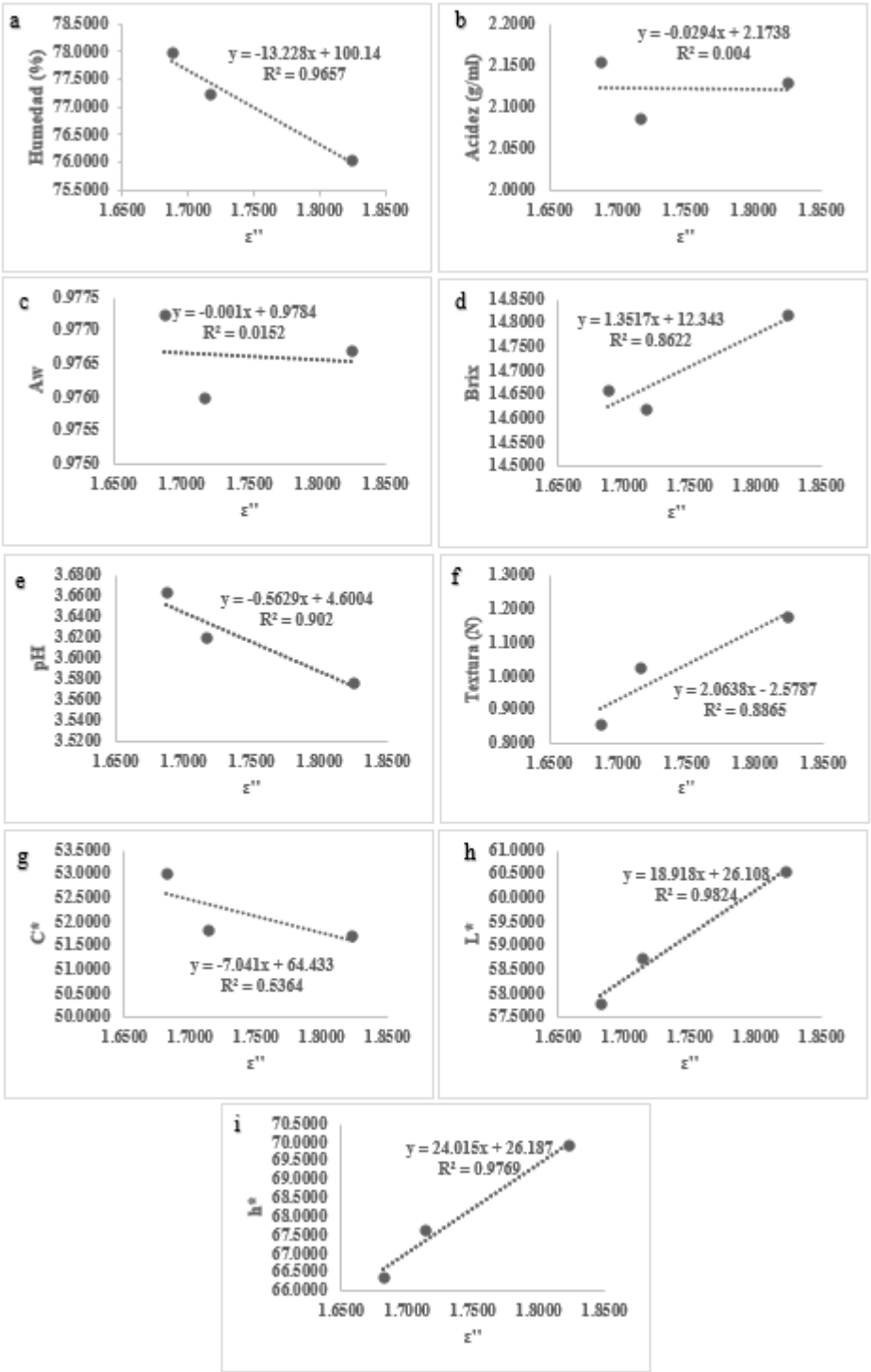


Figura 14.

Diagramas de dispersión del modelo de calibración de las propiedades fisicoquímicas en función de sus propiedades dieléctricas de los frutos a frecuencia de 2450 MHz

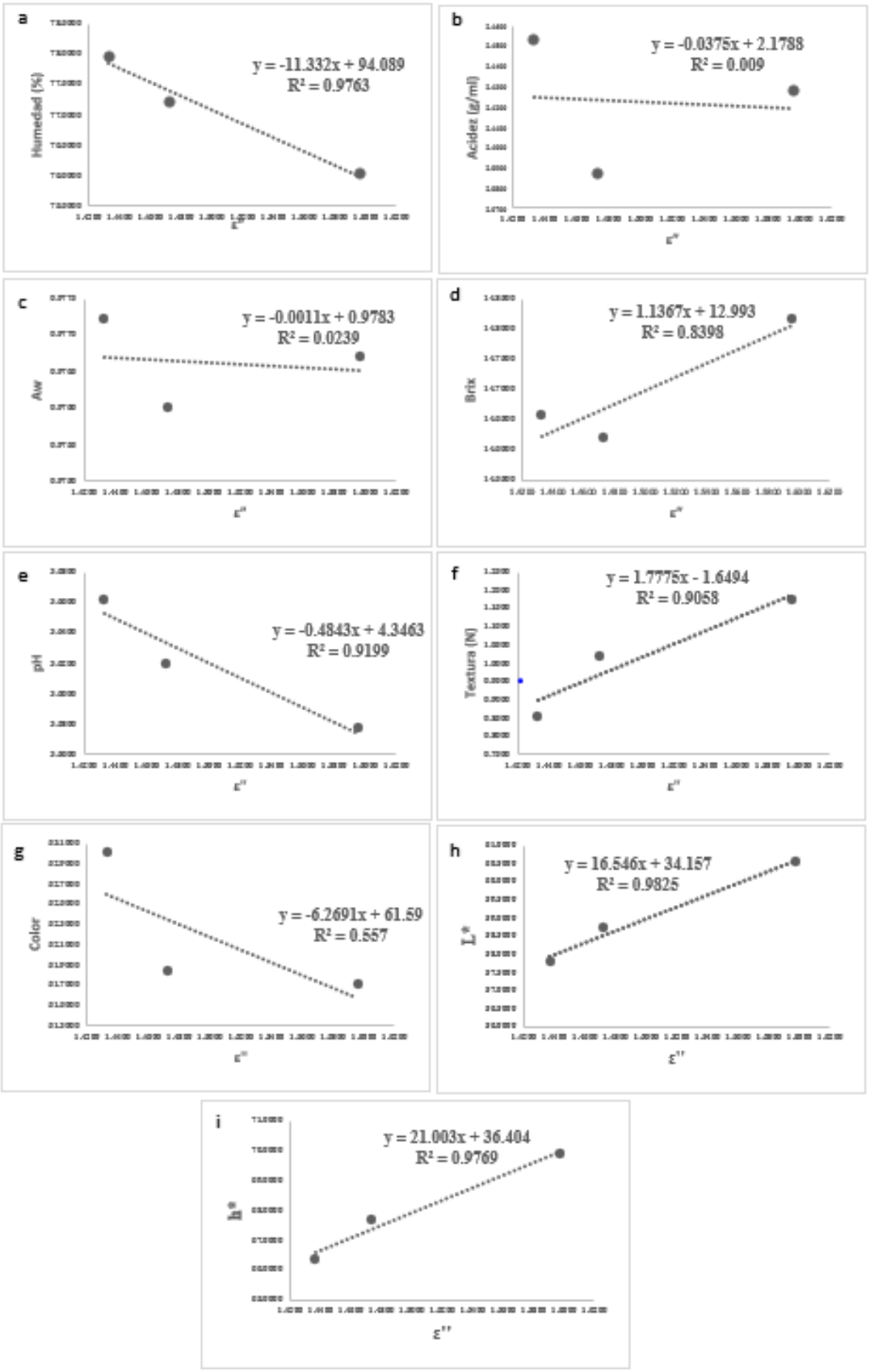
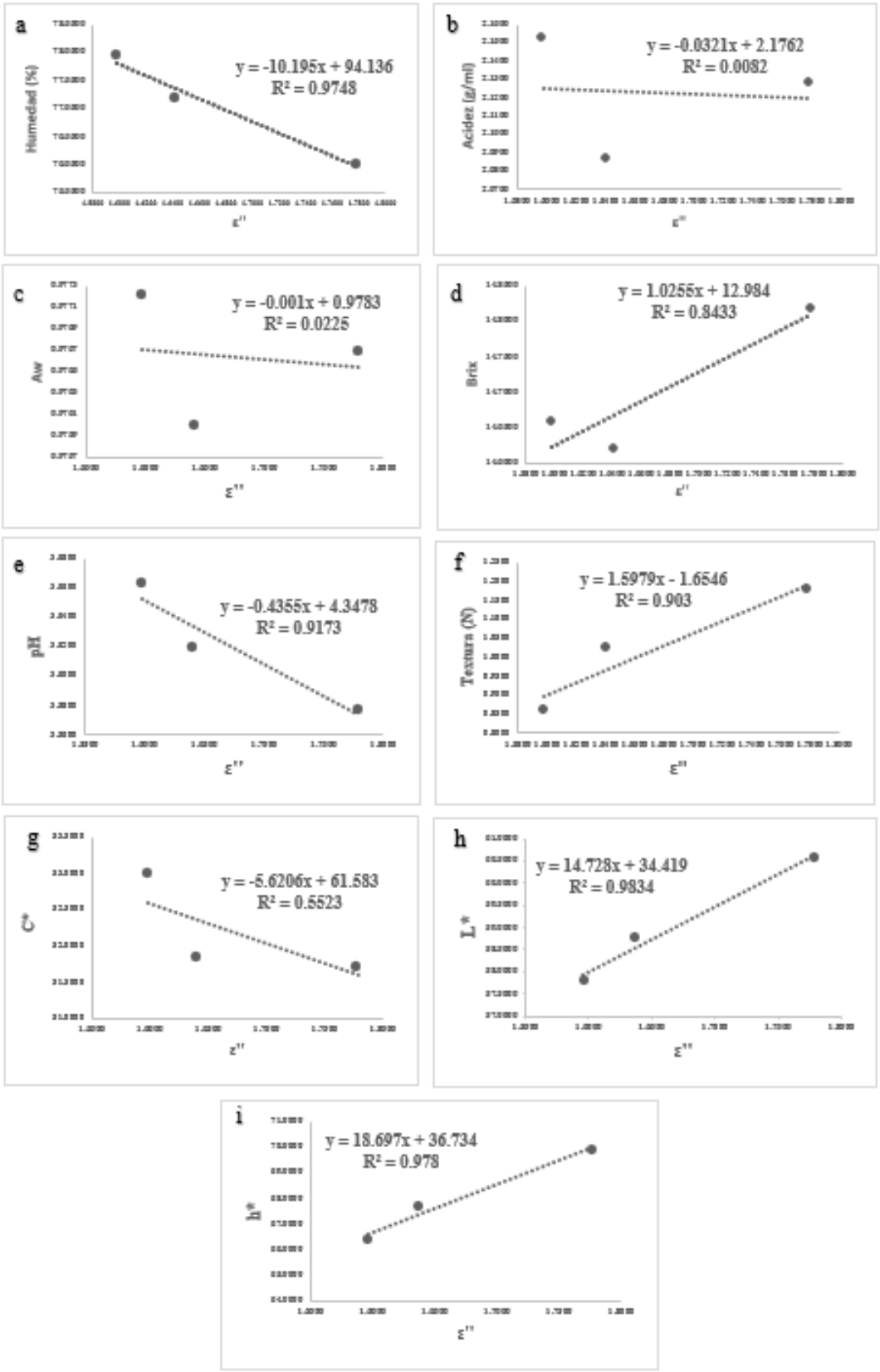


Figura 15.

Diagramas de dispersión de los R^2 de calibración de las propiedades fisicoquímicas en función de las propiedades dieléctricas, a frecuencias puntual de 5800 MHz.



4.1.4.2 Desarrollo del modelo de validación (ε")

En la Tabla 14, se muestran a los coeficientes de determinación del modelo de validación (R_V^2) obtenidos a partir de las ecuaciones de calibración de los datos reales y los predichos del factor de pérdida, obteniendo valores óptimos a frecuencia de 2450 MHz para color L*, C* y h*, humedad, sólidos solubles pH y textura, los mejores coeficientes de determinación en acidez, actividad de agua y pH fue a frecuencia de 915 y 5800 MHz respectivamente.

Sin embargo, la relación lineal positiva entre el factor de pérdida y la acidez a una frecuencia de 915 MHz se debe a que los ácidos orgánicos son moléculas polares que se polarizan y se desplazan cuando se les somete a los campos eléctricos cambiantes generados por la aplicación de un flujo de fotones. Esto puede llevar a un aumento de la conductividad iónica de los electrolitos y de los ácidos orgánicos, lo que se manifiesta como un aumento del factor de pérdida.

Tabla 14.

Coeficiente de determinación R^2_v, de los modelos de predicción de las propiedades fisicoquímicas de los frutos de aguaymanto en función al factor de pérdida.

Propiedades Fisicoquímicas		Frecuencia		
		915 MHz	2450 MHz	5800 MHz
Color	C*	0,0451	0,5343	0,2809
	L*	0,9625	0,9738	0.9777
	h*	0,6104	0,8320	0,8223
Humedad		0,1232	0,4309	0,4183
Acidez		0.627	0,4106	0,2904
Actividad de agua		0,8529	0,5343	0,547
Sólidos solubles		0,6082	0,9017	0,894
pH		0,9646	0,972	0,976
Textura		0,6321	0,9158	0,9086

4.1.5 Determinación del mejor modelo de predicción a partir de su RMSE a frecuencias puntuales de 915, 2540 y 5800 MHz.

En la Tabla 15, se muestran los resultados de la evaluación del modelo validación, resultando el mejor modelo ε" para color C* R^2_v= 0,0451, RMSE=1,4904; L* R^2_v= 0,9625, RMSE= 0,7939; h* R^2_v=0,6104, RMSE=1,5169, humedad R^2_v =0,1232, RMSE=0,4766, sólidos solubles R^2_v =0,6082, RMSE= 0,5036, pH R^2_v =0,9646, RMSE= 0,0285 y textura R^2_v =0,6321, RMSE = 0,0748 a frecuencia de 915 MHz, del mismo modo a frecuencia de 2450 MHz el mejor modelo ε" para color C* R^2_v = 0,5343, RMSE=3,3786; L* R^2_v = 0,9738, RMSE=0,5632; h* R^2_v = 0,8320, RMSE=1,0329, humedad R^2_v =0,4309, RMSE=0,4766, sólidos solubles R^2_v =0,9017, RMSE= 0,5057, pH R^2_v =0,972, RMSE= 0,0281 y textura R^2_v =0,9158, RMSE= 0,0503 y a frecuencia de 5800 MHz el mejor modelo ε" para color C* R^2_v = 0,2809, RMSE=1,3744; L* R^2_v = 0,2809, RMSE=1,3744; h* R^2_v = 0,8223, RMSE=1,0448, humedad R^2_v =0,4183, RMSE=0,5037, sólidos solubles R^2_v =0,894, RMSE= 0,5133, pH R^2_v =0,976, RMSE= 0,0258 y textura R^2_v =0,9086, RMSE= 0,0387.

Tabla 15.

Resultados del RMSE de ε".

Propiedades fisicoquímicas		Frecuencia 915 (MHz)	2450 (MHz)	5800 (MHz)
	C*	1,4904	3,3786	1,3744
Color	**L***	0,7939	0,5632	10,4787
	h*	1,5169	1,0329	1,0448
Humedad		0,5893	0,4766	0,5037
Sólidos solubles		0,5036	0,5057	0,5133
Actividad del agua		0,0017	1,1287	0,0018
pH		0,0285	0,0281	0,0258
Acidez		0,2474	0,2231	0,2478
Textura		0,0748	0,0503	0,0387

4.2 Contrastación de hipótesis

La espectroscopia dieléctrica a frecuencias puntuales de 915, 2450 y 5800 permitió predecir las propiedades fisicoquímicas de los frutos de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) puesto que

se obtuvieron $R^2 \geq$ al 0,85 y RMSE de 0,504 promedio en las siguientes propiedades fisicoquímicas: actividad de agua, sólidos solubles, color L*; h*, pH y textura.

4.3 Discusión de resultados

- En la Figura 12, los espectros dieléctricos ε" de los frutos de aguaymanto disminuyeron al aumentar la frecuencia y el estadio 4 presentó valores más alto en comparación con los otros estadios, esto se debe a que en el estadio 4 el fruto adquiere diferentes especies químicas, como ácidos débiles, minerales, proteínas, calcio y vitaminas como resultado de la modificación de su estructura celular y los cambios fisicoquímicos que experimenta, estas especies químicas pueden afectar las propiedades dieléctricas del fruto de aguaymanto y, por lo tanto se observan diferencias en los valores de ε' en las diferentes etapas de madurez del fruto. Talens et al., 2016; Traffano-Schiffo et al., 2017; Fito et al., 2010 observaron la misma tendencia cuando estudiaron el comportamiento de la interacción de un campo eléctrico con el tejido biológico de frutas como: naranja, mandarina y manzana en el rango de radiofrecuencias y microondas, donde observaron que la permitividad disminuye con el aumento de la frecuencia en diferentes pasos llamados dispersiones, estos son fenómenos de orientación que se producen en un rango de frecuencias especifico y junto con la conductividad caracterizan el comportamiento dieléctrico del tejido del alimento. (Fito et al., 2010) Nuestra investigación está dentro de la dispersión gama puesto que está directamente relacionada con el factor de pérdidas en frecuencias de microondas debido a la inducción u orientación (relajación dipolar) de las moléculas de agua y la conductividad iónica de los electrolitos y ácidos orgánicos débiles. (Castro et al., 2010; Talens et al., 2016) puesto que la aplicación de un flujo de fotones al tejido aumenta la energía interna de las moléculas a consecuencia de la vibración de los iones, produciendo pérdidas de energía eléctrica (Traffano-Schiffo et al., 2017). Asimismo, el comportamiento de las propiedades eléctricas se ve

influenciado por la superficie, el contenido de moléculas de agua, el contenido de ácidos (cítrico, málico, tartárico, oxálico) y los azúcares (fructosa, glucosa, sacarosa) presentes en el tejido de las frutas (Talens et al., 2016). Por ejemplo, investigaciones en mandarinas y manzanas en fresco Traffano-Schiffo et al., (2017); Fito et al., (2010) observaron que la piel disminuye la señal del flujo de fotones emitidos, así como la estructura de naranjas deshidratadas (Talens et al., 2016). Debido a su compacta estructura celular (pectina, celulosa, carboxilo, hidroxilos polifenoles) la cual reduce la movilidad de los iones. A diferencia de la pulpa de la mandarina y el ácido málico presente en el jugo de manzana favorecen el aumento del factor de pérdidas a bajas frecuencias, a causa de la conductividad iónica de las moléculas de agua y especias químicas (potasio, calcio, proteínas, vitaminas, minerales), capaces de fomentar perdidas de energía eléctrica. (Talens et al., 2016; Traffano-Schiffo et al., 2017; Fito et al., 2010)

- En la Tabla 11, los valores de la profundidad de penetración disminuyen a medida que aumenta la frecuencia y el grado de madurez fisiológica, valores similares a los reportados por (López et al., 2017; Morales et al., 2017) quienes trabajaron a frecuencias de 915, 2450, y 5800 MHz en bayas como: mora y frambuesa respectivamente. Ante lo comentado líneas arriba, este fenómeno de penetración es menor cuanto más alta es la frecuencia, debido a las características del material y la onda (fotones) que se propaga en el mismo (Pérez, 2001). Cuanto más conductor y magnético es el medio menor posibilidad de penetración tiene la onda, en cambio en un medio dieléctrico la onda electromagnética penetra casi de manera indefinida debido a la baja conductividad del mismo, asimismo las ondas de baja frecuencia tendrán una atenuación más pequeña (reducción de su intensidad) y una penetración mucho más grande en el medio. (Vázquez, 2010) por el contrario en las ondas de alta frecuencia, el

valor de la profundidad de penetración se reduce de manera significativa dado que la onda electromagnética va cediendo parte de su energía a medida que se adentra en el medio material reduciendo su intensidad de manera exponencial. (Bonastre, 2014)

- En la Tabla 12, los valores de las propiedades fisicoquímicas de los frutos de aguaymanto color C*, sólidos solubles y pH aumentaron con excepción de las coordenadas de color L* h*, coincidiendo con los reportes de (Tapia, 2018; Silva et al., 2021; Castro et al., 2019) para el color; sólidos solubles (Galvis et al., 2005; Velasquez. & Velasquez, 2017; Rossi et al., 2012) y pH (Mendoza et al., 2012; Duque et al., 2011). Asimismo, estos cambios fisicoquímicos son atribuible a la degradación de compuestos clorofílicos en la síntesis de pigmentos (β-carotenos) una mayor o menor concentración de éstos, intervienen en la luminosidad, ángulo de matiz y croma (tonalidad de naranja intenso/amarillo claro) de los frutos de aguaymanto, además de la formación de azúcares como: la sacarosa, glucosa y fructosa a partir de la hidrolisis de cadenas de almidón por intermedio de las enzimas (deshidrogenasas). (Tapia, 2018; Galvis et al., 2005) además de la capacidad de translocar sacarosa del cáliz al fruto (Balaguera et al., 2014) y la reducción de los ácidos orgánicos (cítrico, málico y oxálico) en aras de estabilidad celular durante la maduración (Garcia, 2015). En cambio, Pinzón et al., (2015) indica que el cambio de color del aguaymanto también está relacionado con el contenido de agua y la presencia de ceras naturales, que desaparecen a medida que se desarrolla el proceso de maduración.

La textura (dureza) y acidez disminuyen durante la maduración de los frutos de aguaymanto, presentando valores similares, a lo reportado por Restrepo et al., (2009) & Martínez et al., (2017) quienes indican que a medida que se va produciendo la maduración del fruto se produce el ablandamiento de la pulpa, gracias a la acción de las enzimas hidrolasas, cuya función es la de solubilizar a las cadenas de pectina,

provocando la degradación de la pared celular. A todo esto, Ciro et al., (2007) describe que la debilitación de la estructura y consistencia del fruto, se da por otros factores como: la humedad del suelo, temperatura del ambiente, tiempo de poscosecha y otras características a nivel celular como la presión de turgencia celular del fruto de aguaymanto. En el caso de la acidez nuestros valores no concuerdan con las investigaciones de (Galvis et al., 2005; Duque et al., 2011; Restrepo et al., 2009; Mendoza et al., 2012 e incluida la NTC 4580) quienes reportaron un intervalo de acidez entre 2,0% a 1,5% para los estadios de 3 – 6, que lo atribuyen a la disminución de los ácidos orgánicos durante el periodo de maduración, debido a la actividad de las enzimas deshidrogenasas que utilizan los ácidos orgánicos como sustratos en el proceso respiratorio y/o en el metabolismo secundario del fruto. Otros factores que intervienen en la acidez de los frutos de aguaymanto son: la variedad, grado de madurez y condiciones climáticas del lugar de cultivo del fruto, sumado a la relación inversa que existe con el contenido de sólidos solubles, a menor cantidad de sólidos solubles mayor cantidad de acidez. (Velasquez. & Velasquez., 2017)

En cuanto a los niveles de humedad de los frutos de aguaymanto obtenidos están en el rango de 76 a 78%, cercanos a los valores reportados por (Obregón et al., 2021; Rossi et al., 2012; Duque et al., 2011) (78 a 80 %). Asimismo, los frutos de aguaymanto son capaces de acumular grandes cantidades de agua y sacarosa hasta su estado de madurez comercial o de consumo, lo que implica un suministro hídrico hasta el último momento antes de la cosecha, después de la cosecha el fruto tiende a deshidratarse debido al aumento de la taza respiratoria. (Galvis et al., 2005) Los valores de la actividad de agua no presentaron mayor variación entre los estadios de madurez 3 - 6 (0,976 - 0,978), siendo similares a los reportados por (Duque et al., 2011; Mendoza et al., 2012) 0,987; 0,998 y 0,985 respectivamente.

- La relación entre las propiedades dieléctricas y las propiedades fisicoquímicas puede ser más alta o más baja debido a la composición del alimento (Castro-Giráldez, Fito, & Fito, 2011). En la Tabla 14 se observa que el color L*, C* y h*, la humedad, los sólidos solubles, el pH y la textura de los frutos de aguaymanto presentan una correlación buena con el factor de pérdidas a 2450 MHz. por otro lado, la acidez y la actividad del agua muestran una alta correlación con el factor de pérdidas a 915 MHz.

  Estos resultados coinciden con investigaciones previas realizadas por Guo, Zhu, & Nelson, 2013; Guo, et al., 2011; Nelson & Travelsi, 2008; Nelson, Guo, Trabelsi, & Kays, 2007, quienes utilizaron frecuencias similares (915, 2450, 4500 y 5800 MHz) para estudiar la relación entre las propiedades dieléctricas y las propiedades fisicoquímicas en sandías y otras frutas, considerando que a estas frecuencias puntuales son de uso industrial (Nelson & Travelsi, 2008). Así como la interacción y la excitación de la molécula del agua con otras especies químicas (Nelson & Datta, 2001; Nelson S., 2015). Además, de la interacción de los electrolitos disociados en la fase extracelular de la matriz alimentaria (Castro-Giráldez M., Fito, Chenoll, & Fito, 2010; Castro-Giráldez, Fito, & Fito, 2011).

  El RMSE mide la diferencia entre los valores predichos y los reales por lo que un valor cercano a cero indica que las predicciones se ajustan bien a los datos observados. Por lo mismo, los resultados del RMSE de la Tabla 15 indican que las tres frecuencias evaluadas tienen un buen desempeño en la predicción de las propiedades fisicoquímicas estudiadas.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La espectroscopia dieléctrica es una técnica prometedora para predecir las propiedades fisicoquímicas del aguaymanto, obteniendo un R^2 superior a 0,8 para la actividad de agua, los sólidos solubles, el pH y la textura, así como un R^2 inferior a 0,6 en la acidez, el color y la humedad. Esta información valiosa permitirá desarrollar sensores para la industria del aguaymanto a fin de realizar evaluaciones rápidas y no destructivas de la calidad del fruto.
- Se determinó el factor de pérdidas de los frutos de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) en sus estadios de madurez 3, 4, 5 y 6, en un rango de 0,5 a 9 GHz, apreciando que los valores e" descienden al aumentar la frecuencia en el rango de 0,5 a 2,1 GHz, posteriormente estos valores medios aumentan hasta los 9,0 GHz, originando una tendencia en forma de "U".
- Se observó que el índice de la profundidad de penetración del campo eléctrico para los diferentes estadios de madurez de los frutos de aguaymanto, disminuyen a medida que se aumenta la frecuencia. Obteniendo una mejor penetración del campo eléctrico a frecuencia de 915 MHz.
- Los valores concernientes al color (C*) (49,706 - 53,335), los sólidos solubles (13, 493 - 14,850 ºBrix) y el pH (3,468 a 3,663) presentaron tendencia ascendente a medida que avanza el grado de madurez de los frutos de aguaymanto, con excepción de las coordenadas de color que descendieron L*(62,666 – 58,061) y h* (76,299 – 66,248), igual que la textura (1,269 N - 0,857 N) y acidez (2, 842% -2,120%) disminuyeron a medida del avance de la maduración del fruto, mientras tanto la actividad de agua (0,972 – 0,978) y la humedad (76% a 78%) no mostraron mayor variación.
- Se estableció a través del coeficiente de determinación (R^2) la relación entre las propiedades fisicoquímicas (color, humedad, sólidos solubles, actividad del agua, pH y

textura) del fruto de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) con el ε" a frecuencias puntuales de 915, 2450 y 5800 MHz, los resultados de esta investigación sugieren que las frecuencias de 915 y 2450 MHz son relevantes para predecir las propiedades fisicoquímicas en bayas como el aguaymanto.

- A frecuencia de 915 MHz la actividad del agua obtuvo un RMSE cuyo valor menor es de 0,0017, para la frecuencia de 2450 MHz en relación a la predicción de la humedad, los sólidos solubles, el pH, el color L*, h* y la acidez se obtuvieron un RMSE de 0,4766; 0,5057; 0,0281; 0,5632; 1,0329; 0,2231 respectivamente y para la frecuencia de 5800 MHz en relación a la predicción de color C* y textura se obtuvieron un RMSE de 1,3744 y 0,0387 respectivamente.

Recomendaciones

- Se recomienda realizar un barrido de frecuencias previo, con el fin de elegir la frecuencia más óptima que favorezca la obtención de los espectros dieléctricos los cuales son influenciados por el tejido de la materia prima.
- Profundizar el estudio de las propiedades fisicoquímicas (acidez y actividad de agua) para optimizar el rendimiento del modelo, incrementar el valor de los R^2.
- Se recomienda determinar cuantitativamente la taza de respiración e índice de madurez de los frutos de aguaymanto utilizando espectros dieléctricos puesto que intervienen en la calidad fisicoquímica de los frutos.

CAPÍTULO VI. REFERENCIAS

Agilent Technologies, (2004). Microwave dielectric spectroscopy workshop. Measure the difference. *Agilent Technologies, E.E.U.U.*

http://academy.cba.mit.edu/classes/input_devices/DS.pdf

Amodio, M., Ceglie, F., Arif, M., Piazzolla, F. & Colelli, G. (2017). Potential of NIR spectroscopy for predicting internal quality and discriminating among strawberry fruits from different production systems. *Posthaverst Biology and Tecnology, 125, 112-121*.

Baiano, A., Terracone, C., Peri, G. & Romaniello, R. (2012). Application of hyperspectral imaging for prediction of physico-chemical and sensory characteristics of table grapes. *Computers and Electronics in Agriculture, 87, 142 – 151*.

doi: 10. 1016/j.compag.2012.06.002

Balaguera, H., Martínez, C. & Herrera, A. (2014). Papel del cáliz en el comportamiento poscosecha de frutos de uchuva *(Physalis peruviana* L.*)* ecotipo Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 8(2), 181-191*.

Bekele, W. B. (2014). *Calidad de la carne de cerdo, efecto de la congelación y descongelación, uso del calentamiento dieléctrico para la descongelación y la espectroscopia dieléctrica para evaluar la calidad tecnológica.* [Tesis de grado, Universidad Autónoma de Barcelona].

Bonastre, J. (s.f.). *Propagación de ondas electromagnéticas* [Universitat Oberta de Catalunya]

Brezmes-Llecha, J. (2000). Técnicas de control de calidad en fruta. Control de Calidad.

Castro - Giráldez, M., Fito, P., Toldra, F., & Fito, P. J. (2010). *Estudio de los espectros dieléctricos para el control de calidad de los alimentos* [Tesis de grado, Universidad Politecnica de Valencia].

Castro-Giráldez, M., Fito, P., & Fito, P. (2011). Application of microwaves dielectric spectroscopy for controlling long time osmotic dehydration of 63 parenchymatic apple

tissue. *ournal of food engineering, 104(2), 227-233.* doi:https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.10.034

Castro, W., Oblitas, J., De-La-Torre, M., Cotrina, C., Bazan, K., & Avila-George, H. (2019). Classification of Cape Gooseberry Fruit According to its Level of Ripeness Using Machine Learning Techniques and Different Color Spaces. *IEEE Access*, 7. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2898223

Cazar, I. M. (2016). *Análisis físico-químico para la determinación de la calidad de las frutas.* In [Monografía previa a la obtención del título de Licenciada en Ciencias Químicas con mención en Química Analítica].

Chuquizuta, T., Oblitas, J., Arteaga, H., Yarleque, M., & Castro, W. (2021). Dielectric Spectral Profiles for Andean Tubers Classification: A Machine Learning Techniques Application. 2021 *International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications, ICEAA* 2021. https://doi.org/10.1109/ICEAA52647.2021.9539623

Chuquizuta, T., Colunche, Y., Rubio, M., Oblitas, J., Arteaga, H. & Castro, W. (2022). Prediction of Quality Attributes of Fresh Unpasteurized Milk Using Dielectric Spectroscopy Coupled to Chemometric Tools. *Photonics & Electromagnetics Research Symposium* (PIERS). doi:DOI: 10.1109/PIERS55526.2022.9792687

Ciro, H. J. V., Buitrago, O. H. G., & Pérez, S. A. A. (2007). Estudio preliminar de la resistencia mecánica a la fractura y fierza de firmeza para fruta de Uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 60(1).*

Córsico, B., Falomir Lockhart, L. J., Franchini, G. R., & Scaglia, N. (2020). Análisis estructural y funcional de macromoléculas. *In Análisis estructural y funcional de macromoléculas.* https://doi.org/10.35537/10915/37269

Domene, M., & Segura, M. (2014). Parámetros de calidad interna de hortalizas y frutas en la industria agroalimentaria. *In Cajamar (Vol. 005).*

Duque, A., Giraldo, G., & Quintero, V. (2011). Caracterización de la fruta, pulpa y concentrado de uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Temas Agrarios, 16(1).* https://doi.org/10.21897/rta.v16i1.686

Espinoza, E. A. (1 de mayo de 2009). Cultivo de aguaymanto *Physalis peruviana* L. Agricultura Andina Inka.

http://edgarespinozamontesinos.blogspot.com/2009/05/cultivos-de-importancia-nacional.html

Espinoza, R. (2016). *Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta procesadora de aguaymanto deshidratado en la provincia de Celendín* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Piura].

Fang, L. J., & Guo, W. C. (2016). Nondestructive measurement of sugar content and firmness in Korla fragrant pears by using their dielectric spectra. *Modern Food Science and Technology, 32(5).* https://doi.org/10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.5.044

Fischer, G., Almanza-Merchán, P. J., & Miranda, D. (2014). Importancia y cultivo de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Revista Brasileira de Fruticultura, 36(1).* https://doi.org/10.1590/0100-2945-441/13

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).* https://doi.org/10.1016/j.ifset.2010.08.002

Flores-López, T., Miranda-Estrada, D. E., Kaur, T., Olvera-Cervantes, J. L., Corona-Chávez, A., Sosa-Morales, M. E., & Rojas-Laguna, R. (2017). Dielectric properties of raspberry and blackberry from 0.5 to 25 GHz at 20°C and 48°C. *2017 ASABE Annual International Meeting.*

https://doi.org/10.13031/aim.201701594

Flórez, V. J., Fischer, G., & Sora, Á. D. (2000). Producción, poscosecha y exportación de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Ciencias Naturales.*

Galvis, J., Fischer, G., & Gordillo, O. (2005). Cosecha y poscosecha de la uchuva. Avances En Cultivo, Poscosecha y Exportación de La Uchuva (*Physalis Peruviana* L.) En Colombia.

Garcia, A. (2015). Cambios físico-químicos durante el proceso de maduración de uvilla (*Physalis peruviana* L.) orgánica Quito.

Grace P Okiror, & Carol L Jones. (2013). Predicting the Soluble Solids Content of Whole Apples Using Dielectric Spectroscopy. *ASABE.* https://doi.org/10.13031/2013.32717

Guevara-Pérez, A., & Málaga-Barreda, R. (2013). Determinación de los parámetros de proceso y caracterización del puré de aguaymanto. *Ingeniería Industrial*, 0(031). https://doi.org/10.26439/ing.ind2013.n031.22

Guo, W. chuan, Nelson, S. O., Trabelsi, S., & Kays, S. J. (2007). 10-1800-MHz dielectric properties of fresh apples during storage. *Journal of Food Engineering*, 83(4). https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.04.009

Guo, W., Fang, L., Dong, J., & Wang, Z. (2015). Nondestructive detection of internal qualities for pears using dielectric spectra. *Nongye Jixie Xuebao/Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 46(9). https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2015.09.034

Guo, W., Shang, L., Zhu, X., & Nelson, S. O. (2015). Nondestructive Detection of Soluble Solids Content of Apples from Dielectric Spectra with ANN and Chemometric Methods. *Food and Bioprocess Technology*, 8(5). https://doi.org/10.1007/s11947-015-1477-0

Guo, W., Zhu, X., Nelson, S. O., Yue, R., Liu, H., & Liu, Y. (2011). Maturity effects on dielectric properties of apples from 10 to 4500 MHz. LWT - *Food Science and Technology*, 44(1). https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.05.032

Guo, W., Zhu, X., & Nelson, S. (2013). Permittivities of watermelon pulp and juice and correlation with quality indicators. *International Journal of Food Properties, 16(3), 475-484.* doi:https://doi.org/10.1080/10942912.2010.551306

Hernández, E. S. (2014). *Desarrollo de un sensor de permitividad dieléctrica de bajo costo a la frecuencia de 2.45 GHz* [Tesis de grado, Instituto Nacional de astrofísica óptica y electrónica].

ICONTEC 4580. (1999).

Isla, F. (2016*). "Control biológico del Meloidogyne incognita en aguaymanto (Physalis peruviana L.) por bacterias promotoras de crecimiento y hongos endomicorrícicos" [Tesis de grado*, Universidad Nacional Agraria la Molina].

Juntamay, E. (2010). *Evaluación nutricional de la uvilla (Physalis peruviana L.) deshidratada, a tres temperaturas mediante un deshidratador de bandejas* [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].

Keysight Application Note 1287-12. (2007). Time domain analysis using a Network Analyzer, literature number 5989-5723EN. *Agilent Technologies*, Estados Unidos. https://www.testunlimited.com/pdf/an/5989-5723en.pdf

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

León, J. C. (2021, May 4). Exportaciones peruanas de aguaymanto alcanzaron las 288 toneladas por US$ 2.659.000 en 2020. Agencia Agraria de Noticias.Pe.

Liu, D., & Guo, W. (2018). Nondestructive determination of soluble solids content of persimmons by using dielectric spectroscopy. *International Journal of Food Properties*, 20. https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1381114

Liu, D., Wang, E., Wang, G., Wang, P., Wang, C., & Wang, Z. (2021). Non-destructive sugar content assessment of multiple cultivars of melons by dielectric properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(10). https://doi.org/10.1002/jsfa.11070

Louw, E. D. & Theron, K. I (2010). Robust prediction models for quality parameters in Japanese plums (Prunus salicina L.) using NIR spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*, 58 (3), 176-184. doi: 10.1016/j.postharvbio.2010.07.001

Maiti, & Bidinger. (2014). Uchuva *Physalis peruviana* L.: Fruta andina para el mundo. In *Journal of Chemical Information and Modeling*.

Málaga, R., Guevara, A., & Araujo, M. (2013). Efecto del procesamiento de puré de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.), sobre los compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 79(2).

Martínez, M., Balois, R., Alia, I., Cortes, M., Palomino, Y. & López, G. (2017). Poscosecha de frutos: maduración, ablandamiento y control transcripcional. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Pub., 19, 4089 – 4101.*

Márquez, C. J. C., Trillos, O. G., Cartagena, J. R. v, & Cotes, J. M. T. (2009). Evaluación físico-quimica y sensorial de frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Vitae*, 16(1).

Mendoza, H., Rodriguez, A., & Millan, P. (2012). Caracterización físico química de la uchuva (*physalis peruviana* L.) en la región de Silvia Cauca. Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial, 10(2).

Ministerio de Economía y Finanzas, & Ministerio de Agricultura y Riego. (2016). Pauta metodológica para la elaboración de planes de negocio de aguaymanto en el marco de la ley PROCOMPITE (M. Alvarado & N. Ataucuri, Eds.). Ministerio de Economía y Finanzas.

Nelson, S., & Datta, A. (2001). Dielectric properties of food materials and electric field interactions. *CRC.*

Nelson, S., Guo, W., Trabelsi, S., & Kays, S. (2007). Dielectric spectroscopy of watermelons for quality sensing. *Measurement Science and Technology 18(7).*

Nelson, S., & Travelsi, S. (2008). Dielectric spectroscopy measurements on fruit meat and grain. *Transactions of the ASABE, 51(5), 1829-1834.*

Nelson, S. (2015). Dielectric Popierties of Ariculture Materials and their Applications. *Academic Press is an imprint of Elsevier, 1*.

Novoa, R., Bojaca, M., Galvis, J., & Fischer, G. (2006). La madurez del fruto y el secado del cáliz influyen en el comportamiento poscosecha de la uchuva, almacenada a 12 °C (*Physalis peruviana* L.). *Agronomía Colombiana*, 24(1).

Obregón-La Rosa, A. J., Augusto-Elías-Peñafiel, C. C., Contreras-López, E., Arias-Arroyo, G. C., & Bracamonte-Romero, M. (2021). Características fisicoquímicas, nutricionales y morfológicas de frutas nativas. Revista de Investigaciones Altoandinas - *Journal of High Andean Research*, 23(1), 17–25. https://doi.org/10.18271/ria.2021.202

Pérez, M. (2001). *Radar de subsuelo. Evaluación para aplicaciones en arqueología y en patrimonio histórico-artístico* [Tesis de grado, Universitat Politécnica de Catalunya].

Pinzón, E., Reyes, A., Álvarez, J., Leguizamo, M. & Joya, J. (2015). Comportamiento del fruto de uchuva *Physalis peruviana* L., bajo diferentes temperaturas de almacenamiento. *Revista Ciencias Agrícolas, 32(2), 26 - 35.*

Porcel, M. (2001). *Aplicación de técnicas quimiométricas para el desarrollo de nuevos métodos cinético - espectrofotometricos de análisis* [Tesis de Grado, Universitat Autónoma de Barcelona].

Puente, L. A., Pinto-Muñoz, C. A., Castro, E. S., & Cortés, M. (2011). *Physalis peruviana* L. Linnaeus, the multiple properties of a highly functional fruit: A review. *In Food Research International* (Vol. 44, Issue 7). https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.09.034

Quechol, R. (2020). *Sonda coaxial para medir propiedades dieléctricas en materiales en el rango de las microondas* [Tesis de grado, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla].

Repo de Carrasco, R., & Encina Zelada, C. R. (2008). Determinación de la capacidad antioxidante y determination of antioxidant capacity and bioactive compounds in native peruvian fruits. *Rev Soc Quim Perú*, 2.

Restrepo, A. M., Cortés, M. R., & Márquez, C. J. (2009). Uchuvas (*Physalis peruviana* L.) mínimamente procesadas fortificadas con vitamina E. VITAE, *Revista de La Facultad de Química Farmacéutica*, 16(1).

Reyes, A. (2018). *Determinación de constantes dieléctricas por espectroscopia de microondas para el análisis de calidad de productos hortofrutícolas* [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú.

Reyes, A., Yarlequé, M., Castro, W., & Chuquizuta, S. (2017). Determination of Dielectric Properties of the Red Delicious Apple and Its Correlation with Quality Parameters.

Reyes, M., Gomez-Sanchez, I., & Espinoza, C. (2017). Tablas peruanas de composición de alimentos. *In Repositorio.Ins.Gob.Pe* (Issue).

Rodríguez - Arisméndiz, R. (2017). *Estudio de la espectroscopía dieléctrica para la medición del contenido de humedad en productos alimenticios* [Tesis de grado, Universidad de Piura].

Rossi, D., Pardo, F., Reyes, D., Tirado, R., Urbina, E., & Vega, J. (2012). Efecto de la temperatura y sinergismo de sacarosa, sacarina y sugar light en la deshidratación osmótica de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.). *Agroindustrial Science*, 2(1). https://doi.org/10.17268/agroind.science.2012.01.03

Saldaña, S. (2020). “Efecto de las presiones y concentraciones de ácido ascórbico en el color y textura durante el almacenamiento del aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) impregnado al vacío”.

Serrano Rico, J. (2013). Comparación de métodos para determinar los parámetros de Weibull para la generación de energía eólica. Scientia et Technica, 18(2). https://doi.org/10.22517/23447214.7823

Sierra y Selva Exportadora. (2021). Análisis de Mercado - aguaymanto 2015 - 2020.

Silva et al. (2021). Characterization of physiological maturity of *Physalis peruviana* L. fruits. *Semina: Ciênc. Agrár. Londrina, 42(3), 929 – 948.* DOI: 10.5433/1679-0359.2021v42n3p929

Skierucha, W., Walczak, R., & Wilczek, A. (2004). Comparison of Open-Ended Coax and TDR sensors for the measurement of soil dielectric permittivity in microwave frequencies. *International Agrophysics*, 18(4).

Sosa-Morales, M. E., Flores-López, T., Miranda-Estrada, D. E., Kaur Kataria, T., Abraham-Juárez, M. D. R., Cerón-García, A., Corona-Chávez, A., Olvera-Cervantes, J. L., & Rojas-Laguna, R. (2017). Dielectric properties of berries in the microwave range at variable temperature. *Journal of Berry Research*, 7(4). https://doi.org/10.3233/JBR-170161

Sosa-Morales, M. E., Tiwari, G., Wang, S., Tang, J., Garcia, H. S., & Lopez-Malo, A. (2009). Dielectric heating as a potential post-harvest treatment of disinfesting mangoes, Part II: Development of RF-based protocols and quality evaluation of treated fruits. *Biosystems Engineering*, 103(3). https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.02.014

Sosa-Morales, M. E., Valerio-Junco, L., López-Malo, A., & García, H. S. (2010). Dielectric properties of foods: Reported data in the 21st century and their potential applications. In LWT - *Food Science and Technology* (Vol. 43, Issue 8). https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.03.017

Soto-Bravo, F., & González-Lutz, M. I. (2019). Análisis de métodos estadísticos para evaluar el desempeño de modelos de simulación en cultivos hortícolas. *Agronomía Mesoamericana*. https://doi.org/10.15517/am.v30i2.33839

Suresh, G. (2005). *Assessment of Reflection and Transmission Techniques for Determining llielectric Properties of Bulk Wh eat Samples* [Thesis, University of Manitoba].

Talens, C., Castro-Giraldez, M. & Fito, P. J. (2016). Study of the effect of microwave power coupled with hot air drying on orange peel by dielectric spectroscopy. *LWT - Food Science and Technology, 66, 622 – 628.*

Tapia, T. Q. (2018). *Evaluación del perfil de color, características fisicoquímicas y capacidad antioxidante de tres estados de madurez comercial del aguaymanto (Physalis peruviana L.)* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Altiplano].

Tiras, B., Dede, S. & Altay, F. (2019). Dielectric properties of foods. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 7(11), 1805-1816.* DOI: https://doi.org/10.24925/turjaf.v7i11.1805-1816.2650

Torres, G., David, J., González, M., José, K., Acevedo, C., & Diofanor. (2015). Análisis del Perfil de Textura en Frutas, Productos Cárnicos y Quesos. *ReCiTeIA*, 14(2).

Traffano-Schiffo, M., Castro-Giraldez, M., Colom, R. & Fito, P. J. (2017). New spectrophotometric system to segregate tissues in mandarin fruit. *Food Bioprocess Technol.* https://doi.org/10.1007/s11947-017-2019-8

Vázquez, J. (2010). *Apuntes de campos electromagnéticos y propagación* [Universidad Carlos III de Madrid].

Velázquez, J. (2014). *Estudio de los Espectros dieléctricos en alimentos con estructura coloidal* [Tesis de grado, Universitat politécnica de Valencia].

Velasquez, E. J. & Velasquez, K. I. (2017). *Evaluación de las características fisicoquímicas del aguaymanto (Physalis peruviana L.) de la zona andina y selva en diferentes estados de madurez* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú].

Weng, S., Yu, S., Guo, B., Tang, P., & Liang, D. (2020). Non- Destructive Detection of Strawberry Quality Using Multi-Features of Hyperspectral Imaging and Multivariate *Methods*. 20(11). doi:10.3390/s20113074

Zhao, W. & Du, S. (2016). Spectral–spatial feature extraction for hyperspectral image classification: A dimension reduction and deep learning approach. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 54(8), 4544-4554. doi:DOI: 10.1109/TGRS.2016.2543748

CAPÍTULO VII. ANEXOS

Tabla 16.

Matriz de consistencia.

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variable	Dimensiones	Indicadores	Técnicas	Instrumentos
¿Cuál será el nivel de predicción establecido por el R^2 de las propiedades fisicoquímicas de los frutos de aguaymanto *(Physalis peruviana* L.*)* mediante la técnica de espectroscopia dieléctrica a frecuencias puntales de 915, 2450 y 5800 MHz?	**Objetivo General** Predecir las propiedades fisicoquímicas del aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) mediante la técnica de espectroscopia dieléctrica a frecuencias puntuales de 915, 2450 y 5800 MHz respectivamente. **Objetivos Específicos** • Determinar el factor de pérdidas del fruto de aguaymanto en sus estadios de madurez 3, 4, 5 y 6 (NTC 4580), en un rango de 0,5 a 9 GHz. • Determinar el índice de la profundidad de penetración del campo eléctrico en el fruto de aguaymanto a frecuencias puntuales de 915, 2450 y 5800 MHz respectivamente. • Determinar las propiedades fisicoquímicas: color, humedad, actividad de agua, sólidos solubles, acidez, pH y textura (dureza). • Establecer con el coeficiente de determinación (R^2) la relación	H1 El coeficiente de determinación (R^2) entre propiedades fisicoquímicas de los frutos de aguaymanto (*Physalis peruviana L.*) y el factor de pérdidas a frecuencias puntuales de 915, 2450 y 5800 MHz será superior al 75%.	**Variable dependiente:** Propiedades fisicoquímicas de aguaymanto	Color	Valor	Análisis en el laboratorio	Ficha de registro
				Sólidos solubles	°Brix		
				Textura	Dureza (kg m/s2)		
				Acidez	%		
				Humedad	%		
				pH	Valor		
				Actividad de agua	Valor		
			Variable independiente: Permitividad compleja	Factor de pérdidas (ε")	Valor	Espectroscopia dieléctrica	Analizador de redes vectoriales

	entre las propiedades fisicoquímicas con el factor de pérdidas. • Determinar el mejor modelo de predicción a partir de su RMSE a frecuencias puntuales.						

Tabla 17.

Formato para recolección de datos.

Estadio de Madurez	GRUPO	Frutos (unidades)	Repeticiones	Propiedades dieléctricas MHz			Propiedades Fisicoquímicas								
							Color			Humedad	Sólidos Solubles	pH	Acidez	Textura	Actividad del agua
				915	2450	5800	L*	C*	h*						
3 (150 frutos)	1	15	1												
			2												
			3												
	Promedio														
	2	X													
		X													
		30	1												
			2												
			3												
	Promedio														
	10	X													
		X													
		150	1												
			2												
			3												
	Promedio														

Cronograma de actividades

El desarrollo del proyecto investigación se llevará a acabo de acuerdo al siguiente cronograma (Tabla 18)

Tabla 18.

Cronograma de actividades

	Actividades	Meses																																																	
		2022																																																	
		Mes 1	Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6				Mes 7				Mes 8				Mes 9				Mes 10				Mes 11				Mes 12			
		S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
1	Aprobación de proyecto																																																		
2	Análisis de muestras e indicadores	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x																																	
4	Obtención de datos													x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x																											
5	Sistematización de datos																						x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x																		
6	Presentación e interpretación de resultados																														x	x	x	x	x	x															
7	Constrastacion de hipotesis																																			x	x														
8	Discusión de los resultados																																			x	x	x	x	x											
9	Redacción de la tesis y presentación para revisión																																							x	x	x	x								
10	Presentación del informe de tesis																																												x	x					
11	Sustentación de informe final de tesis.																																																		x

Figura 16.

Recolección de los frutos de aguaymanto (Physalis Peruviana L*)*

Figura 17.

Equipo analizador de redes vectoriales

Figura 18.

Configuración del equipo de redes vectoriales

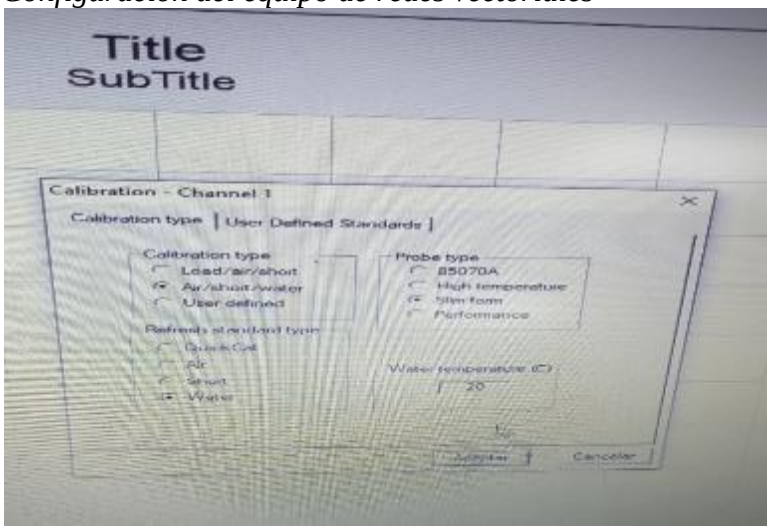


Figura 19.

Clasificación de los frutos de aguaymanto (Physalis peruviana L) en los estadios de madures 4 y 5

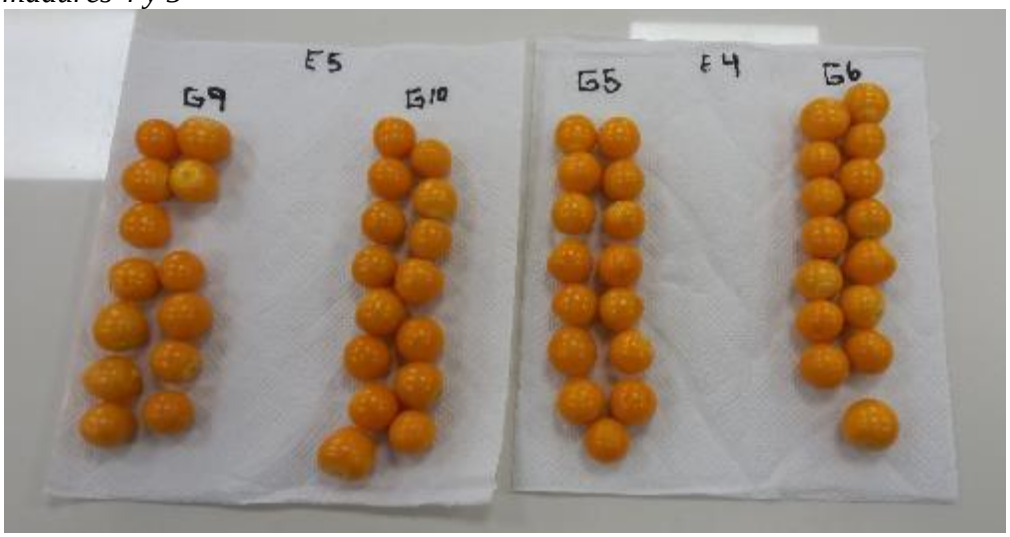


Figura 20.

Frutos de aguaymanto en estadio de madurez 6

Figura 21.

Análisis y obtención de las propiedades dieléctricas de los frutos de aguaymanto (Physalis peruviana L*)*

Figura 22.

Análisis de la acidez, pH, actividad de agua y humedad de los frutos de aguaymanto (Physalis Peruviana L*)*