

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**



T E S I S

**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y COLORIMÉTRICA DEL
PAN TORTA DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA**

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Presentado por la Bachiller:

CLAUDIA ARACELY CHUQUIVIGUEL CERNA

Asesor:

Ing. Mtr. MAX EDWIN SANGAY TERRONES

CAJAMARCA – PERÚ

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- Investigador:
Claudia Aracely Chuquiviguel Cerna
DNI: N° 71789533
Escuela Profesional/Unidad UNC:
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
- Asesor:
Ing. Mtr. Max Edwin Sangay Terrones
Facultad/Unidad UNC:
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
- Grado académico o título profesional
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
- Tipo de Investigación:
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación:
CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y COLORIMÉTRICA DEL PAN TORTA DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA - PERÚ.
- Fecha de evaluación: 19/08/2025
- Software antiplagio: TURNITIN URKUND (ORIGINAL) (*)
- Porcentaje de Informe de Similitud: 19%
- Código Documento: oid: 3117:484626091
- Resultado de la Evaluación de Similitud:
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 19/08/2025

<i>Firma y/o Sello Emisor Constancia</i>
 ----- Ing. Mtr. Max Edwin Sangay Terrones DNI: 10492305

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"
Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Cajamarca, a los veinticuatro días del mes de julio del año dos mil veinticinco, se reunieron en el ambiente 2H - 204 de la Facultad de Ciencias Agrarias, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 216-2025-FCA-UNC, de fecha 12 de mayo del 2025**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la **TESIS** titulada: "**CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA Y COLORIMÉTRICA DEL PAN TORTA DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA - PERÚ**", realizada por la Bachiller **CLAUDIA ARACELY CHUQUIVIGUEL CERNA** para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**.

A las ocho horas y cinco minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de diecisiete (17); por tanto, la Bachiller queda expedita para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**.

A las nueve horas y quince minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.

Ing. M.Sc. Fanny Lucila Rimarachín Chávez
PRESIDENTE

Dr. Jimmy Frank Oblitas Cruz
SECRETARIO

Dr. José Gerardo Salhuana Granados
VOCAL

Ing. Mtr. Max Edwin Sangay Terrones
ASESOR

DEDICATORIA

A Dios; por su infinita bondad y fidelidad, por estar siempre presente en mi vida, especialmente en los momentos más difíciles.

A mis padres; Jaime y Santos, mi ejemplo, inspiración y apoyo incondicional, me inculcaron el valor del estudio y me guiaron en cada paso.

A mis hermanos; Rocio, Rosmery, Willam, Jhojan y Brayan; por su compañía, motivación y por celebrar conmigo cada logro.

A mis sobrinos, que este trabajo sea un pequeño homenaje a su futuro prometedor.

Claudia Aracely Chuquiviguel Cerna

AGRADECIMIENTO

Mi corazón reboza de gratitud hacia Dios, fuente de toda sabiduría y guía en mi camino. Su luz me iluminó cada día y su fortaleza me sostuvo en todo momento.

A mis padres, cuyo amor incondicional y apoyo inquebrantable fueron el motor de mi esfuerzo. Gracias por creer en mí incluso cuando yo dudaba, por sus sacrificios y por inculcarme el valor de la perseverancia. Este logro también es suyo.

A la Universidad Nacional de Cajamarca, por abrirme las puertas al conocimiento y por ser un espacio de crecimiento personal y profesional.

Al ingeniero Edwin Max Sangay Terrones, por su invaluable guía, motivación y apoyo durante la elaboración de tesis.

A la Asociación de Industriales en Panificación, por brindarme datos sobre las panaderías que la integran y la facilidad para la compra de muestras.

A mis compañeros y amigos, gracias por compartir conmigo y por hacer de mi paso por la universidad, una experiencia inolvidable.

Claudia Aracely Chuquiviguel Cerna

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
I. INTRODUCCION	1
1.1. Descripción del Problema.....	1
1.2. Formulación Del Problema.....	2
1.3. Justificación	3
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. Objetivo General	3
1.4.2. Objetivos Específicos	3
1.5. Hipótesis.....	4
1.6. Variables.....	4
1.7. Unidad de análisis	5
1.8. Muestra.....	5
II. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	7
2.1. Antecedentes	7
2.3.1. Investigaciones Internacionales	7
2.3.2. Investigaciones Nacionales.....	8
2.2. Marco teórico	10

2.2.1. Pan.....	10
2.2.2. Aditivos.....	14
2.2.3. Características Fisicoquímicas.....	15
2.2.4. Colorimetría.....	19
2.3. Definición de términos básicos.....	22
2.3.3. Cohesividad.....	22
2.3.4. Color.....	22
2.3.5. Colorimetría.....	22
2.3.6. Densidad Aparente.....	22
2.3.7. Densidad Real.....	22
2.3.8. Diagrama de caja y bigotes.....	23
2.3.9. Dureza.....	24
2.3.10. Elasticidad.....	24
2.3.11. Humedad.....	24
2.3.12. Masticabilidad.....	24
2.3.13. pH.....	24
2.3.14. Textura.....	24
2.3.15. Volumen Especifico.....	25
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
3.1. Ubicación.....	26
3.2. Materiales y Equipos.....	26
3.2.1. Materia prima e insumos.....	26

3.2.2. Equipos.....	27
3.2.3. Materiales.....	27
3.2.4. Otros Materiales Experimentales	27
3.3. Metodología	27
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
4.1. Densidad Aparente	31
4.2. Volumen específico.....	34
4.3. Humedad.....	41
4.4. pH.....	46
4.5. Textura.....	51
4.5.1 Dureza..	51
4.5.2 Cohesividad.....	57
4.5.3 Elasticidad	64
4.5.4 Masticabilidad	70
4.6. Color.....	75
4.6.1 Luminosidad (L).....	75
Análisis de varianza para la luminosidad	79
4.6.2 Cromaticidad verde a rojo (a^*)	79
4.6.3 Cromaticidad azul a amarillo (b^*).....	84
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	89
VI. BIBLIOGRAFÍA	91
VII. ANEXOS	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1_ Relación de panaderías que representan la muestra	6
Tabla 2_ Composición de la harina	13
Tabla 3_ Atributos del color.....	20
Tabla 4_ Datos estadísticos de densidad aparente del pan torta.....	32
Tabla 5_ Cuartiles estadísticos de densidad del pan torta.....	33
Tabla 6_ Análisis de varianza para la densidad.....	34
Tabla 7_ Datos estadísticos de volumen específico del pan torta	36
Tabla 8_ Cuartiles estadísticos de volumen específico del pan torta	38
Tabla 9_ Análisis de varianza para el volumen específico	39
Tabla 10_ Prueba de comparaciones múltiples tukey para las panaderías en relación del volumen específico, confianza de 95%	40
Tabla 11_ Datos estadísticos de humedad del pan torta	43
Tabla 12_ Cuartiles estadísticos para la variable de humedad del pan torta.....	45
Tabla 13_ Análisis de varianza para la humedad	46
Tabla 14_ Datos estadísticos de pH del pan torta.....	48
Tabla 15_ Cuartiles estadísticos para la variable de pH del pan torta	49
Tabla 16_ Análisis de varianza para el pH.....	51
Tabla 17_ Datos estadísticos de Dureza del pan torta	52
Tabla 18_ Cuartiles estadísticos de la variable dureza del pan torta	54
Tabla 19_ Análisis de varianza para la dureza	56

Tabla 20_Datos estadísticos de cohesividad del pan torta	59
Tabla 21_Cuartiles estadísticos de cohesividad del pan torta	60
Tabla 22_Análisis de varianza para la cohesividad	62
Tabla 23_Prueba de comparaciones múltiples tukey para las panaderías en relación a cohesividad, confianza de 95%	63
Tabla 24_Datos estadísticos de elasticidad del pan torta.....	65
Tabla 25_Cuartiles estadísticos de la variable elasticidad del pan torta.....	66
Tabla 26_Análisis de varianza para la elasticidad.....	68
Tabla 27_Prueba de comparaciones múltiples tukey para las panaderías en relación a elasticidad, confianza de 95%	69
Tabla 28_Datos estadísticos de masticabilidad del pan torta.....	71
Tabla 29_Cuartiles estadísticos de variable masticabilidad del pan torta.....	72
Tabla 30_Análisis de varianza para la masticabilidad.....	74
Tabla 31_Datos estadísticos de la variable luminosidad del pan torta	76
Tabla 32_Cuartiles estadísticos para la variable luminosidad del pan torta	77
Tabla 33_Análisis de varianza para la luminosidad	79
Tabla 34_Datos estadísticos de Cromaticidad de verde a rojo (a*) del pan torta	81
Tabla 35_Cuartiles estadísticos de la cromaticidad del pan torta.....	82
Tabla 36_Análisis de varianza para la cromaticidad verde - rojo (a*).....	84
Tabla 37_Datos estadísticos de Cromaticidad de azul a amarillo del pan torta	85
Tabla 38_Cuartiles estadísticos de la variable cromaticidad de azul a amarillo del pan torta	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Coordenadas de color en el Sistema Hunter Lab.	21
Figura 2	Diagrama de caja y bigote	23
Figura 3	Ubicación de la Universidad Nacional de Cajamarca.....	26
Figura 4	Ubicación de las panaderías en Cajamarca	27
Figura 5	Densidad del pan torta de Cajamarca.....	31
Figura 6	Diagrama de caja y bigote de densidad del pan torta.....	33
Figura 7	Volumen específico del pan torta	36
Figura 8	Humedad del pan torta	43
Figura 9	Diagrama de caja y bigote de la variable humedad del pan torta	45
Figura 10	pH del pan torta.....	47
Figura 11	Diagrama de caja y bigote para la variable de pH de pan torta	49
Figura 12	Dureza del pan torta	52
Figura 13	Diagrama de caja y bigote de la variable dureza del pan torta	55
Figura 14	Cohesividad del pan torta	58
Figura 15	Diagrama de caja y bigote de la variable de cohesividad del pan torta	61
Figura 16	Elasticidad del pan torta	65
Figura 17	Diagrama de caja y bigote de la variable elasticidad del pan torta.....	67
Figura 18	Masticabilidad del pan torta	71
Figura 19	Diagrama de caja y bigote de la variable masticabilidad del pan torta.....	73
Figura 20	Luminosidad del pan torta de diferentes panaderías	76
Figura 21	Diagrama de caja y bigote de la variable luminosidad del pan torta	78
Figura 22	Cromaticidad de verde a rojo del pan torta de diferentes panaderías	80
Figura 23	Diagrama de caja y bigote de la variable cromaticidad de rojo a verde del pan torta	83

Figura 24 Cromaticidad de azul a amarillo del pan torta.....	85
Figura 25 Diagrama de caja y bigote de la variable cromaticidad azul/amarillo del pan torta	86

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Precio del pan torta en cada panadería.....	99
Anexo 2 Panel fotográfico.....	100

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo general determinar las características fisicoquímicas y colorimétricas del pan torta de la ciudad de Cajamarca. Para ello se recolecto muestras de 16 panaderías seleccionadas por conveniencia de la ciudad de Cajamarca, estas fueron evaluadas en el laboratorio de análisis de alimentos de la Universidad Nacional de Cajamarca. Se evaluaron 3 muestras de pan de cada panadería en total 48 panes, la evaluación se realizó un día por semana durante 4 semanas, para ello se utilizaron métodos de análisis fisicoquímicos y colorimétricos. Los parámetros evaluados fueron pH, humedad, densidad aparente, volumen específico, textura (dureza, cohesividad, elasticidad, masticabilidad) y color (parámetros CIELAB, L, a* y b*). Los resultados mostraron que la densidad del pan torta varió entre 0,13 y 0,20 g/cm³, el volumen específico entre 145,92 y 253,33 cm³/100g, y el contenido de humedad entre 18,59% y 27,58%. Además, se encontraron variaciones significativas en la textura y color del pan torta. Los parámetros colorimétricos mostraron una luminosidad entre 43,84 y 50,45, una cromaticidad verde a rojo entre 13,63 y 16,54, y una cromaticidad azul a amarillo entre 24,58 y 28,62. La investigación concluyó que los resultados obtenidos pueden ser útiles para mejorar la calidad y seguridad del producto, y se recomendaron futuras investigaciones para evaluar la calidad microbiológica, la presencia de contaminantes químicos y la estabilidad y vida útil del pan torta.

Palabras clave: pan torta, colorimetría, seguridad alimentaria, cromaticidad

ABSTRACT

This research aimed to determine the physicochemical and colorimetric characteristics of the "pan torta" from Cajamarca city. The specific objectives were to identify the physicochemical parameters, recognize the colorimetric parameters, and analyze the samples with similar characteristics. Sixteen samples of "pan torta" were analyzed, obtained from formal bakeries in the city, using physicochemical and colorimetric analysis methods to evaluate the "pan torta" samples from Cajamarca. The results showed that the density of the "pan torta" varied between 0.13 and 0.20 g/cm³, the specific volume between 145.92 and 253.33 cm³/100g, and the moisture content between 18.59% and 27.58%. Additionally, significant variations were found in the texture and color of the "pan torta". The colorimetric parameters showed a luminosity between 43.84 and 50.45, a green-to-red chromaticity between 13.63 and 16.54, and a blue-to-yellow chromaticity between 24.58 and 28.62. The research concluded that the results obtained can be useful for improving the quality and safety of the product, and future research was recommended to evaluate the microbiological quality, the presence of chemical contaminants, and the stability and shelf life of the "pan torta".

Key words: Bread roll, Colorimetry, Food safety, Chromaticity

I. INTRODUCCION

Según Cáceres y Rodríguez (2021) en el Perú, parte diaria de la alimentación es el consumo del pan, de preferencia durante el desayuno. Este alimento tiene diferentes presentaciones de acuerdo al tipo y a la zona donde se elabora. Un peruano consume en promedio 24 kg de pan al año que equivale a 2 kg al mes.

En Cajamarca, la panadería es una actividad ancestral que ha sido parte de la cultura gastronómica durante muchos años, siendo uno de los productos más populares el pan torta. Éste se ha convertido en una parte integral de la dieta de los cajamarquinos y es muy apreciado por su sabor, aroma y textura. Sin embargo, a pesar de su popularidad, existe una falta de uniformidad en la calidad del pan entre las diferentes panaderías tradicionales de la región. Esto puede ser resultado de varias razones, como la variabilidad en las materias primas utilizadas, las técnicas de producción utilizadas, la experiencia y habilidades de los panaderos y las condiciones ambientales.

Por tal motivo, en esta tesis se describe las características fisicoquímicas y de colorimetría del pan torta de Cajamarca, y establece las bases para la estandarización de su producción, lo que permitirá mejorar su calidad, así como preservar y difundir la rica tradición culinaria de la región andina del Perú.

1.1.Descripción del Problema

Desde la antigüedad, el pan viene siendo un alimento básico que se produce de manera masiva, y está presente desde los lugares de mayor influencia hasta los lugares más apartados del mundo. En la actualidad Alemania es el país de mayor consumo de pan en el mundo, le sigue España en Europa y en América Latina esta Chile y Argentina; su consumo en el Perú es bajo en comparación con el de otros países con 35 kg per cápita al año, ubicándolo en un séptimo lugar en el ranking de América Latina.

En el Perú existe una gran variedad de pan, que se diferencian en función a características específicas, generalmente su diferencia se basa en los ingredientes y formas de producción, de acuerdo a cada región. Según (Bello Olivos & Castrejón Pizán, 2019) los departamentos con mayor consumo de este producto están: en primer lugar, Cajamarca, siendo considerada la región con mayor consumo de pan en el norte del Perú; en la sierra central Huancayo es la que más resalta y en el sur del país sobresale Arequipa mientras que aquellos que menos consumen son San Martín, Madre de Dios, Ucayali y Piura.

En la ciudad de Cajamarca se producen diferentes variedades de pan entre estos está el pan torta, destacándose como la variedad más vendida, su producción se realiza en la mañana y en la tarde de lunes a domingo, su elaboración es de manera artesanal (Lopez, 2019). Debido al mayor consumo de esta variedad de pan resulta necesario hacer una caracterización fisicoquímica, ya que al ser un producto artesanal y que se vende a granel no presenta una etiqueta con información básica del producto. Por tanto, en este estudio se describió las características fisicoquímicas del pan torta producido en 16 panaderías formales de la ciudad de Cajamarca.

En la ciudad de Cajamarca no hay estandarización del pan torta, lo que significa que cada panadería tiene su propia receta y su método de producción, lo que puede afectar la calidad y las características del producto. La estandarización de panes en Cajamarca podría ayudar a mejorar la calidad, la seguridad, la eficiencia y la comercialización de los panes, lo que podría beneficiar a las panaderías, los consumidores y la economía local (Tanta, 2015).

1.2. Formulación Del Problema

¿Cuáles son las características fisicoquímicas y colorimétricas del pan torta de la ciudad de Cajamarca?

1.3.Justificación

La investigación sobre las características fisicoquímicas y colorimétricas del pan torta de Cajamarca es importante porque el pan es un alimento básico y ampliamente consumido en todo el mundo. El pan torta de Cajamarca es un tipo de pan que tiene características únicas en términos de sabor, textura y apariencia, y es muy popular en la región.

Las características fisicoquímicas y colorimétricas del pan pueden afectar su calidad y su valor nutricional. La investigación sobre estas características ayuda a establecer estándares de calidad para el pan y garantizar que los consumidores reciban productos de alta calidad (Calvo et al., 2020a).

La estandarización del pan torta, pueden tener implicaciones más amplias para la industria alimentaria en general ya que al desarrollar mejores prácticas de producción, establecer estándares de calidad claros y se aplican de manera consciente; se obtiene un producto con mayor valor nutricional por ende tener beneficios económicos significativos. Esto puede ayudar a mejorar la reputación de las panaderías de la ciudad y aumentar la demanda de sus productos. Por consiguiente, puede generar mayores ingresos para los panaderos y ayudar a promover el desarrollo económico en la región.

1.4.Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Determinar las características fisicoquímicas y colorimétricas del pan torta de la ciudad de Cajamarca.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Identificar los parámetros fisicoquímicos del pan torta de Cajamarca.
- Reconocer los parámetros colorimétricos del pan torta de Cajamarca.

- Analizar proximalmente las muestras con mayor similitud de características fisicoquímicas y colorimétricas.

1.5.Hipótesis

Se espera que el pan torta de Cajamarca presente características fisicoquímicas y colorimétricas dentro de los siguientes rangos: 1. Densidad: entre 0,13 y 0,20 g/cm³, lo que se encuentra dentro del rango óptimo para la textura y la estructura del pan y un volumen específico de 321 y 515 cm³ para asegurar la calidad del pan. 2. Humedad: entre 18,59% y 27,58%, lo que indica un nivel de humedad adecuado para la conservación y la frescura del pan. 3. Textura (dureza entre 5 a 21 N; cohesividad entre 0.40 y 0.60; elasticidad entre 0.41 y 0.81 cm y la masticabilidad: entre 0,01 y 0,05), lo que sugiere una textura suave y agradable al paladar. El pH debe variar entre 5.5 y 6.5, respecto a la colorimetría el valor de L debe ser no mayor a 82 para no presentar deficiencia en la cocción el parámetro a* debe variar entre 12 a 16 lo cual indica buen desarrollo de la corteza y color atractivo, finalmente el parámetro b* debe variar entre 0.03 y 19 estos valores deben ser siempre positivos de esa manera se asegura una buena cocción. Estos rangos se basan en los resultados obtenidos en el estudio, que mostraron que los panes torta de Cajamarca que se encuentran dentro de estos rangos presentan una calidad y características óptimas.

Justificación de la reformulación: La Hipótesis reformulada se basa en los resultados obtenidos en el estudio y proporciona una descripción detallada de las características fisicoquímicas y colorimétricas del pan torta de Cajamarca.

1.6. Variables

- ✓ Densidad aparente
- ✓ Volumen específico
- ✓ pH
- ✓ Colorimetría

- ✓ Dureza
- ✓ Cohesividad
- ✓ Elasticidad
- ✓ Masticabilidad

1.7. Unidad de análisis

Población y muestra.

Borja (2016) menciona que la población es “Desde un punto de vista estadístico, se denomina población o Universo al conjunto de elementos o sujetos que serán motivo de estudio” (p. 30).

En la presente investigación se estableció como población a las panaderías formales de la Ciudad de Cajamarca dedicadas a la producción de pan “torta”.

1.8. Muestra

El muestreo que se utilizó en esta investigación fue por conveniencia el cual consiste en seleccionar una muestra de fácil acceso, disponibilidad o cercanía sin seguir un procedimiento aleatorio (Hernandez Sampieri, 2014). La muestra de esta investigación está conformada por las 16 panaderías que son el 100 % de la población, estas se describen en la Tabla 3, y son las que arrojaron los resultados para el análisis.

Tabla 1**Relación de panaderías que representan la muestra**

N°	Razón Social	Dirección
1	Banval	Av. Independencia 2019
2	Panstel	Jr. Delfin Cerna 225
3	Maranata	Jr. San Fernando 127
4	Colmena	Jr. Miguel Grau 864
5	Niño Jesús	Jr. Victoria 113.
6	Pan De Vida	Jr. Colonial 310
7	La San Marquinita	Jr. Eucaliptos 112
8	Rincón Del Sabor	Jr. Ramón Castilla 147
9	La Nutritiva	Av. La Paz 341
10	El Ingenio	Jr. Los Cipreses 396
11	Imperial	Av. Manco Cápac 682
12	Divino Maestro 2	Jr. Tupac Amaru 1038
13	Triyomar	Jr. José Gálvez 538
14	Sánchez	Jr. El Inca 623
15	Sabor San Marquino	Jr. Antenor Orrego 404
16	Bread	Jr. Juan Beato Masías 739

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Antecedentes

2.3.1. Investigaciones Internacionales

Según Morales (2014) realizó un estudio en Control de Calidad en las Panaderías, con el objetivo general de establecer los estándares de control de calidad que aplican a dichas despensas. No determinó muestra porque trabajó con toda la población, 12 propietarios de panaderías y 35 empleados. Utilizó un conjunto de preguntas para recopilar la información necesaria y empleó el método descriptivo. Según sus hallazgos, las panaderías carecen de cualquier tipo de control de calidad y supervisión sobre la materia prima y el proceso de elaboración. En consecuencia, recomienda estandarizar los principales procesos de la empresa de modo que obtenga una calidad consistente y constante para lo que propuso una guía de buenas prácticas de manufactura, la misma que describe los pasos que se debe seguir para mantener la uniformidad del producto final. La determinación de población y muestra de la tesis antes mencionada, es una guía a seguir, sin embargo, en la ciudad de Cajamarca tenemos una amplia lista de panaderías abastecedoras del pan torta por lo que será imposible hacer un estudio de la totalidad de estas. Entonces, se determinará la población, tal cual lo hace morales Barrera, pero al mismo tiempo se delimitará la muestra.

Yela (2004) en su investigación logra determinar proteínas, cenizas, sólidos totales, humedad, grado de imbibición, pH y cloruro de sodio, seleccionando como procedimiento a dos marcas de pan blanco tipo sándwich de consumo masivo en Guatemala; posteriormente formó dos grupos por 10 muestras de cada marca seleccionada y cada una de estas muestras se sometió a los análisis químicos requeridos. Finalmente comparó los resultados obtenidos con normas establecidas y se llegó a la conclusión que las muestras analizadas de pan blanco tipo sándwich no cumplen al 100 % con todos los parámetros de calidad. Esta información

es muy útil para plantear el método en cuanto a determinación de cenizas, humedad y pH en mi trabajo de investigación.

Según Bonilla (2005) en su tesis tuvo como objeto estandarizar el proceso productivo de panificación con la finalidad de incrementar la utilidad y mejorar la calidad del producto. Hizo hincapié en cada etapa del flujograma para identificar las falencias e inmediatamente aplicó medidas correctivas. De tal modo estableció formulaciones e implementó requisitos básicos para el control de calidad en la industria panadera. Obteniendo mejoras en el control de materia prima, fabricación, calidad sensorial, incrementó la producción y la utilidad, disminuyendo considerablemente la variación y desviación de peso y productos defectuosos.

En esta investigación se analizó proximalmente las muestras con mayor similitud de características fisicoquímicas y colorimétricas; con el fin de obtener las cualidades más repetidas y establecer cuáles se ajustan al tradicional pan torta Cajamarquino, es decir, uniformizar las condiciones que debe tener este tipo de pan. Según su metodología de (Bonilla y Contreras, 2005) ofrece tipo de estudio, técnicas de recolección y análisis de información y los pasos a seguir. Además, emite los resultados obtenidos, haciendo el diagnóstico, estudio de tiempos y movimientos, definición de variables, volumen de producción, control de calidad, definición de parámetros de calidad, desarrollo y planteamiento de mejoras, seguimiento, manual de procedimientos y capacitación. Esta acción me es útil para orientar la investigación propuesta.

2.3.2. Investigaciones Nacionales

García y Menchán (2022) en su tesis buscó optimizar las características texturales y sensoriales del pan de molde con una formulación de harinas distintas a las comúnmente utilizadas en el campo de la industria panadera. Paralelamente desean obtener un producto libre de gluten, pero benéfico en cuanto a valor nutricional se refiere; para conseguirlo determinaron los parámetros de la mezcla óptima, luego, hicieron un análisis proximal y

análisis microbiológico de mohos, coliformes totales y salmonella; a la materia prima, al producto terminado y al pan patrón; así como también la determinación de gluten y evaluación de características sensoriales.

En el análisis estadístico de datos García y Menchán (2022) ha empleado el análisis de varianza (ANVA) y la prueba Tukey, análisis de regresión múltiple, la prueba de significancia de 52 coeficientes ($p < 0,05$) y el software estadístico Design-Expert 11. Éste estudio y aplicación servirán como modelo para determinar la pauta a seguir en el planteamiento de las características fisicoquímicas y colorimétricas del pan Cajamarquino.

Según Rodríguez (2021) plantea su investigación a raíz del incremento de precios de la harina de trigo y a la par, con la finalidad de satisfacer las necesidades nutricionales del consumidor y dar valor agregado a la harina de loche. Su objetivo fue la evaluación del grado de sustitución de harina de trigo por harina de loche manteniendo las características físicas y sensoriales del pan de molde. Según la metodología, se estableció 33 formulaciones en total y finalmente se obtuvo como resultado que la harina de loche tiene un valor de 7.17 de carbohidratos y 6.79 de proteínas; el volumen específico encontrado oscila entre 3.73 a 6.85 cm^3 / g ; el número de alveolos es de 1.88 a 8.19 alveolos/ cm^2 , la aceptabilidad oscila entre 3.81 a 5.43 y las formulaciones con menor grado de sustitución fueron más aceptables (94.15% de harina de trigo con 5.85% de harina de loche), por otro lado, determinó la composición química del loche, de la harina de loche y de la del trigo comercial (Humedad, proteínas, grasa, carbohidratos, fibra y ceniza). La evaluación del volumen específico, y los resultados obtenidos son fundamentales para guiar y comparar el cálculo de volumen específico del pan Cajamarquino.

2.2. Marco teórico

2.2.1. *Pan*

El concepto de pan deriva de latín *pannus* que significa masa blanca, este producto alimenticio es muy tradicional y es consumido en todo el mundo, principalmente es elaborado a base de harina, agua, levadura y sal, tiene un proceso de fermentación y la cocción se realiza en horno (Gómez Rodríguez et al., 2021; Calvo et al., 2020b). El trigo es uno de los cereales más utilizados como ingrediente principal en la elaboración de pan, debido a su propiedades tecno funcionales, gracias a las gluteninas y gliadinas que al mezclarse con agua forman el gluten que cumple una función importante cuando se combina con almidón, debido a la formación de estructuras que retienen los gases indispensables para obtener un producto poroso y elástico después de la cocción, en la actualidad se ha desarrollado diversas investigaciones que incluyen a otros cereales para elaborar pan entre ellos está la cebada, maíz, centeno y arroz, así mismo se pueden agregar otros ingredientes a la masa como: la manteca de cerdo, mantequilla, aceites vegetales, huevos, azúcar, especias, frutos secos y semillas, todo lo anterior con el propósito de mejorar su sabor (Calvo et al., 2020b).

Pan Tradicional. Es aquel elaborado de manera artesanal, usando hornos de piedra o barro para la cocción, los cuales en la actualidad han sido reemplazados por hornos más sofisticados con fines de aumentar la productividad, los panes tradicionales son elaborados con diversas harinas e ingredientes que varían según sus denominaciones, tamaños, formas, sabores, consistencias y significados van de acuerdo con los ingredientes, gustos y costumbres de la población local (Ríos, 2009). La particularidad de las características del pan depende de las costumbres de cada región y, por otro lado, los ingredientes son fundamentales en la formulación del pan ya que de ello depende las características finales del producto, es muy sabido que cada región posee diferentes materias primas que sustituyen

a otras, cabe resaltar que la harina influye mucho en el producto final de acuerdo a la variedad y calidad del grano del mismo modo tiene gran importancia la cantidad de levadura y otras especias que se utilizan en la formulación del pan.

Tipos de Panes Según la Región del País. En el Perú la tradición panadera está distribuida en zonas de producción como son:

Zona norte se encuentra Cajamarca y Ancash; en la sierra central Lima, Junín y Pasco; en el centro-sur Ayacucho y Huancavelica; al sur Apurímac, Cusco y Arequipa; costa norte destacan Piura y la libertad; las regiones amazónicas son consideradas San Martín y Amazonas; una gran parte de tipos de pan son repetitivos en algunas regiones y en ciertos casos tienen la misma denominación, diferenciándose sus formas e ingredientes, así en Cajamarca sobresalen: la torta de manteca, la turquita, la semita, el pan de agua, el mollete dulce y el bollo (Ríos 2009).

Para Mesas (2009) los tipos de pan los dividen en dos; pan común y pan especial, a continuación, se describe cada uno:

Pan común: es el pan que habitualmente se consume y está elaborado principalmente de harina de trigo, agua, sal y levadura además de algunos coadyuvantes tecnológicos y aditivos autorizados.

Pan especial: es el pan que en su formulación los ingredientes comunes son sustituidos por otros diferentes con la finalidad de mejorar ciertas características organolépticas o nutricionales; algunos ejemplos son: pan integral, pan de molde, pan francés, pan de yema, pan de cereales entre otros.

Pan tradicional Cajamarquino. El pan tradicional Cajamarquino, se caracteriza por su peculiar sabor, textura, forma y tamaño. Existen dos variantes del pan tradicional, entre ellos tenemos el pan torta y el pan de agua; para su elaboración se emplean los mismos ingredientes en ambos tipos, a excepción de la manteca, presente en el pan torta y ausente

en el pan de agua. En cuanto a textura el pan torta tiene la corteza crujiente y el pan de agua tiene la corteza suave, miga blanda y esponjosa. El amasado, en ambos es manual y la cocción se realiza en un horno de leña con el objeto de dar un sabor ahumado y mejor distribución del calor.

Pan torta. El pan torta, producto tradicional de la región Cajamarca (Perú), se elabora en hornos de leña y presenta características fisicoquímicas y sensoriales distintas a las de un pan tradicional. Su pH oscila entre 5.53 y 6.11, mientras que la densidad aparente varía de 0.13 a 0.20 g/cm³. El volumen específico se sitúa entre 145.92 y 253.33 cm³/100 g, y la humedad fluctúa entre 18.59 % y 27.58 %. En cuanto a su apariencia, se caracteriza por un color claro y homogéneo, con valores de luminosidad (L*) entre 43.84 y 50.45. La cromaticidad a* (eje verde-rojo) varía de 13.63 a 16.54, lo que indica una leve tonalidad rojiza atribuida al dorado superficial generado durante el horneado. Por su parte, la cromaticidad b* (eje azul-amarillo) se encuentra entre 24.58 y 28.62, aportando una tonalidad amarilla moderada, uniforme y visualmente deseable en productos panificados. Esta uniformidad en el color es un atributo clave en la aceptación del consumidor.

En términos de textura, el pan torta presenta una dureza que oscila entre 6.31 y 18.39 N, con valores de cohesividad de 0.20 a 0.57. La elasticidad se encuentra en un rango de 0.48 a 0.79 cm, mientras que la masticabilidad varía entre 0.01 y 0.05 J. Estas propiedades contribuyen a una textura agradable, que, junto con su apariencia visual, refuerzan su valor como producto tradicional y de alta aceptabilidad sensorial.

Materias Primas. La harina es el componente más importante de la masa del pan, sin embargo, la suma de todos los ingredientes que se usan hace un pan excepcional contribuyendo a las características físicas químicas y organolépticas los cuales tienen cierta variación según a la panadería y la región.

Harina. El trigo es un cereal versátil para la elaboración de harinas ya que nos proporciona una masa viscoelástica la cual es apropiado en la elaboración de productos horneados como el pan y tortas (Torpoco, 2014).

Cuando se pretende elaborar una cierta cantidad de pan con buenas características fisicoquímicas y sensoriales es importante conocer y determinar las características organolépticas y físicas de las harinas, solo así se obtendrá un producto de buena calidad, un defecto en la calidad de la harina o un fallo en el tiempo de fermentación conllevarán a la aparición de diversas anormalidades, tanto en la masa como en el producto ya horneado; además durante el procesamiento de panes, la fuerza de la harina que se utiliza en el método directo está estrechamente ligada con el periodo de fermentación que apliquemos, mientras más fuerza tiene la harina, más largo será el tiempo de fermentación que requerimos para alcanzar un desarrollo óptimo de la masa y mejor será la calidad del pan. “De un mayor volumen, con una estructura de la miga más fina y más blanda” (Márquez, 2007).

Tabla 2

Composición de la harina

Componente	Porcentaje
Glúcidos	74 – 76 %
Prótidos	9 – 11 %
Lípidos	1 – 2 %
Agua	11 – 14 %
Minerales	1 – 2 %

Nota: tomado de (Rodas, 2013)

Levaduras. Las levaduras en el proceso de panificación es uno de los ingredientes más importantes, ya que influye favorablemente en las propiedades del producto final. Usualmente la levadura utilizada en esta industria

es la *Saccharomyces Cerevisiae*, su función es fermentar el azúcar que contiene la harina, dando como resultado un buen rendimiento de la masa, suavidad del pan, buen sabor y mejor textura. La cantidad usada en panadería está en relación inversa con la duración de fermentación más larga (Márquez, 2007).

Sal. Su función de la sal en la producción de pan es desarrollar el sabor, endurecer el gluten y producir una masa menos pegajosa. La sal puede atenuar la velocidad de fermentación por lo que es recomendable adicionar después que la masa haya sido fermentada parcialmente. “La cantidad que se agrega generalmente es de 1.8 – 2.1 % del peso de la harina, quedando la sal a una concentración de 1.1 – 1.4% en el pan” (Márquez, 2007).

Grasa. La grasa mejora el volumen de la masa, reduce la dureza de la corteza del pan y produce paredes más finas en las celdillas de la miga, obteniendo un pan con textura más tierna y un corte mejorado. Se usa al 1% del peso de la harina (Márquez, 2007).

Agua. El agua es el componente más importante de la masa porque hidrata la harina, hincha los gránulos de almidón y favorece el ablandamiento y alargamiento del gluten. Generando en la masa flexibilidad para su desarrollo y manejo. La cantidad a usar depende de la absorción de la harina y del tipo de masa que queremos hacer (Vega, 2019).

2.2.2. **Aditivos.**

✓ **Mejoradores panarios**

Los mejoradores son una base de coadyuvantes los cuales ayudan a corregir las anomalías presentes en la harina y potenciar algunas características, con el fin de obtener una masa que se adapte a nuestro proceso de elaboración. Para su buen uso es recomendable

conocer las características de la harina como: humedad, cenizas, proteínas, gluten, fuerza, tenacidad, extensibilidad, capacidad de absorción de agua; debido a que será distinto en una harina que en otras. “La dosificación, debe ser precisa ya que dosis elevada del mismo, puede limitar los sabores característicos de las piezas, o dar cambios no deseables en las masas” (Márquez, 2007).

Tipos de mejorantes en función del proceso de panificación:

- ✓ **Mejorantes para procesos artesanales:** Se realizan a nivel de pequeñas fábricas. Son concentrados y se utilizan en pequeñas dosis, sobre la harina, para elaborar las distintas masas.
- ✓ **Mejorantes para procesos industrializados:** su fin principal es adaptar las características de la masa al proceso de producción, facilitando la maquinabilidad y mejorando los resultados.

2.2.3. *Características Fisicoquímicas*

Densidad Real. Se determina pesando las partículas sin incluir el aire, y determinando su volumen por el desplazamiento de un líquido, generalmente agua. El cociente peso (Kg) dividido por volumen (m³) constituye la densidad real (Peláez et al., n.d.)

La temperatura aumenta, el volumen de la muestra aumenta y su masa permanece constante por ende la densidad de la sustancia disminuye. Cuando disminuye la temperatura, el volumen disminuye, la masa permanece constante y la densidad aumenta (Peláez et al., n.d.).

En el caso del pan torta y el pan de agua, la densidad real puede ser diferente debido a sus formulaciones y métodos de preparación diferentes. El pan torta suele contener más azúcar, grasa y huevos que el pan de agua, lo que puede influir en su densidad real. Además,

el pan de torta se hornea a una temperatura más baja y por más tiempo que el pan de agua. La tendencia del pan torta a tener una densidad real más alta, hace que este tenga una textura más suave y húmeda.

Densidad Aparente. Se determina del mismo modo que la densidad real, salvo que se tiene en cuenta los espacios vacíos entre las partículas y es una característica física del pan que se refiere a la relación entre su masa y el volumen que ocupa. Esta puede variar dependiendo de la composición de la masa, la cantidad de aire atrapado durante el proceso de amasado y fermentación, la temperatura y humedad del ambiente durante la cocción (Peláez et al., n.d.).

En general un pan con alta densidad aparente tendrá una textura más compacta y densa, mientras que un pan con baja densidad aparente tendrá una más ligera y esponjosa. La densidad aparente también puede influir en la durabilidad del pan, ya que un pan más denso tiende a mantenerse fresco por más tiempo.

Porosidad. La porosidad es la relación entre el volumen de los poros y el volumen aparente del poroso. Los alimentos horneados, extruidos, inflados, secos y congelados tienen una microestructura porosa inherente que da al producto su textura característica medida en términos de propiedades físicas como la resistencia a la tracción, la resistencia a la compresión y la rigidez, también se define como la estructura celular que influyen en la textura final y la sensación en la boca de los alimentos preparados; cuando se piensa en la consistencia del producto final, así como en la satisfacción del consumidor, es importante determinar la porosidad del pan por varias razones según describe (Vergara, 2022).

- ✓ **Textura.** Un pan con alta porosidad tendrá una textura esponjosa y suave, mientras que un pan con baja porosidad será más denso y pesado.
- ✓ **Sabor.** Un pan con alta porosidad puede retener más humedad, lo que puede mejorar el sabor y la frescura del pan.

- ✓ **Durabilidad.** Un pan con alta porosidad puede secarse más rápidamente reduciendo su vida útil.
- ✓ **Valor Nutricional.** Un pan con mayor porosidad tendrá menos fibra por porción en comparación con un pan más denso, ya que el espacio de aire ocupará más volumen en el pan en lugar de la masa de harina y agua.
- ✓ **Volumen Especifico.** El pan al contener almidón y proteínas tiene una mayor densidad y menor volumen específico por tener una masa pesada. Esto debido a la alta incorporación de aire durante el batido y la formación de alveolos grandes y de textura “abierta” (Esteller y Lannes, 2005).

La determinación de volumen específico proporciona información valiosa sobre la calidad y consistencia de los productos alimentarios. Su determinación es importante debido a:

- ✓ **Control de calidad del pan.** Permite a los fabricantes asegurarse de que el pan cumple con los estándares de calidad de consistencia.
- ✓ **Optimización de la formulación de la masa del pan.** Mejora la calidad del pan y reduce los costos de producción al minimizar el desperdicio de ingredientes.
- ✓ **Porcentaje de Gluten.** Es una fracción proteínica del trigo, el centeno, la cebada, la avena o sus variedades híbridas y derivados de los mismos, que algunas personas no toleran y que es insoluble en agua y en 0,5M NaCl. (CODEX STAN 118-1979, 2015).

En la mayoría de los productos hechos a base de harina de trigo los tres componentes principales: proteína, almidón y lípidos interactúan para producir el gluten necesario para las propiedades viscoelásticas únicas de una masa. Siendo más importante la fracción proteica El gluten una molécula compleja consta de dos grupos principales de proteínas: gliadina (una prolamina) y glutenina (una glutelina) que, al mezclarse con agua, forman el

gluten y este al combinarse con el almidón forman estructuras que favorecen la retención de gases obteniendo un producto elástico y poroso (Villanueva, 2014). Aproximadamente el 85 % del total de las proteínas están representadas por estas dos en una proporción de 3:2 (glutenina: gliadina), un exceso de gliadinas, en relación con las gluteninas, tiene como consecuencia que el gluten se vuelva débil, permeable y no retenga el dióxido de carbono, por lo tanto, la masa colapsa (Calvo et al., 2020b).

La finalidad de tener un buen gluten en la elaboración de pan, es que la red viscoelástica logre retener los gases (CO₂ y etanol) producidos durante la fermentación y el vapor de agua que se libera durante la cocción; esto es lo que da el esponjamiento del pan (Calvo et al., 2020b).

pH. El pH es una medida de intensidad de sabor ácido de un producto y juega un papel muy importante en el control de crecimiento de microorganismos y actividad enzimática (Suárez-Toledo et al., 2022a). Por otro lado, la medición del pH en el pan previene las conocidas ETA, puesto que evidencia la acidez o alcalinidad del producto y si el pH es demasiado bajo o demasiado alto favorece el crecimiento de microorganismos patógenos como hongos o levaduras influyendo en la textura, sabor y apariencia del pan; si el pH es demasiado alto, el pan puede volverse pegajoso y denso, mientras que, si el pH es demasiado bajo, puede tener un sabor demasiado ácido (Calvo et al., 2020b).

Para estandarizar un proceso se tiene que cumplir con los requisitos mínimos de calidad y la medición del pH que permite hacer ajustes en la producción, si el pH es demasiado alto o bajo, puede ser una señal de que hay un problema en la fermentación o una incorrecta proporción de ingredientes (Calvo et al., 2020b).

2.2.4. Colorimetría

Color. El color es afectado por muchos factores, tales como la iluminación, el observador, el espectro, la presencia de pigmentos o las propias características de superficie, tamaño, textura, y brillo de la muestra analizada (Kong, 2014).

En la industria alimentaria, el color es un parámetro donde se evalúan materias primas, se hace control de procesos y se miden indirectamente otros parámetros, como cenizas en harinas o degradación de un producto (Delmoro et al., n.d.).

Hoy en día el uso de las nuevas tecnologías de la visión digital, la cual es una técnica no invasiva para el alimento y, permite inspeccionar el 100% de la producción, asegurándose al mismo tiempo la inocuidad y la calidad en la producción de los alimentos (Kong, 2014).

Medición Del Color.

Escalas De Medición De Color. Se utilizan en instrumentos de medición del color, en el marco de una serie de condiciones normales de iluminantes, observadores y la metodología de espectros (Mathias y Ah, 2014).

Sistema Munsell. Este sistema establece tres dimensiones del color (Tabla 2), midiendo cada una de ellas con una escala apropiada (Mathias y Ah, 2014).

Tabla 3**Atributos del color**

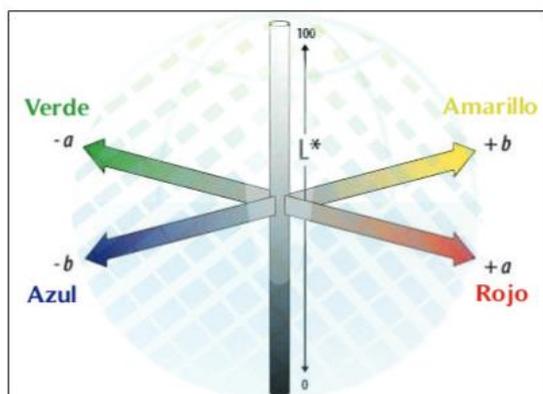
Atributos	Descripción	Ejemplo
Matriz	Tono, tinte, color. Es caracterizado por la longitud y hace diferencia un color de otro. Representa un espacio en el diagrama de Cromaticidad.	Rojo – amarillo o verde – amarillo
Cromaticidad	Saturación, intensidad, pureza. Define la intensidad o pureza espectral del color que va desde los tonos grises, pálidos, apagados a los más fuertes y vivos.	Brillante rojo – amarillo o pálido rojo amarillo
Luminosidad	Brillante, brillo. Es dado por el contenido total de energía. Da lugar a los colores claros y oscuros. Es el grado entre la oscuridad y el brillo máximo.	Rojo brillante amarillo – rojo oscuro - amarillo

Nota: tomado de (Mathias y Ah, 2014).

Sistema Hunter. Este nuevo sólido de color denominado Hunter Lab tiene una superficie uniforme de color definida por tres coordenadas rectangulares: “L (luminosidad) donde 0 es el negro y 100 es el blanco, a (rojo-verde); los valores positivos para rojo, negativos para verde y 0 el neutro y b (eje amarillo-azul) valores positivos para amarillo, negativos para azul y 0 el neutro” (Mathias y Ah, 2014).

Figura 1

Coordenadas de color en el Sistema Hunter Lab.



Nota: la imagen muestra los parámetros L^* a^* b^* , tomado de (Mathias y Ah, 2014).

Sistemas CIE. Los sistemas CIE usan tres coordenadas (X Y Z) para ubicar un color en un espacio. Estos incluyen (1) CIE XYZ, (2) CIE $L^*a^*b^*$ y (3) CIE $L^*C^*h^\circ$ (Mathias y Ah, 2014).

Técnicas De Medición De Color. Son las siguientes:

Visión Digital (Técnicas Variacionales). Se realiza con una nueva tecnología digital donde se genera las imágenes por medio de cámaras digitales o escáneres y análisis de dichas imágenes en computadoras, usando software especial, interpretando la información de manera equivalente a lo que hace el ojo y el cerebro humano (Mathias y Ah, 2014).

Espectrofotómetros. Permiten registrar gráficas o espectros; existen diseños para el ultravioleta y el visible, y para las regiones del infrarrojo cercano, el infrarrojo fundamental o medio y el infrarrojo lejano (Mathias y Ah, 2014).

Cartas De Color. Son un conjunto de tarjetas de colores clasificadas de acuerdo a su tono, luminosidad y saturación; posteriormente evolucionó un poco más al asignarle una codificación de letras y números (Mathias y Ah, 2014).

Imágenes Hiper Espectrales. Las imágenes híper espectrales han ganado un alto reconocimiento ya que determina la calidad y análisis de seguridad en forma no destructiva

y rápida. Este método procesa y recopila información a lo largo de todo el espectro electromagnético. La formación de imágenes espectrales divide el espectro en muchas bandas. De aquí surge la técnica de formación de imágenes híper-espectrales (Mathias y Ah, 2014).

2.3. Definición de términos básicos

2.3.3. Cohesividad

Es el grado en que un alimento se mantiene unido y resiste su desintegración interna al ser comprimido o masticado. Un alimento con alta cohesividad no se desmorona fácilmente (Talens, 2017).

2.3.4. Color

Es un indicador de calidad mediante el contacto visual, las preferencias varían según el criterio de cada consumidor (Mathias y Ah, 2014).

2.3.5. Colorimetría

Es la medición y evaluación del color del pan utilizando instrumentos especializados, este es importante en la industria panadera porque puede ayudar a evaluar la calidad y la frescura del pan, ayuda a detectar cambios en la composición o el proceso de producción y desarrollar productos con las características de color específicas (Mathias y Ah, 2014b).

2.3.6. Densidad Aparente

Es un parámetro importante porque influye en la calidad y textura, se calcula dividiendo la masa del pan por el volumen que ocupa, incluyendo los huecos de la miga.

2.3.7. Densidad Real.

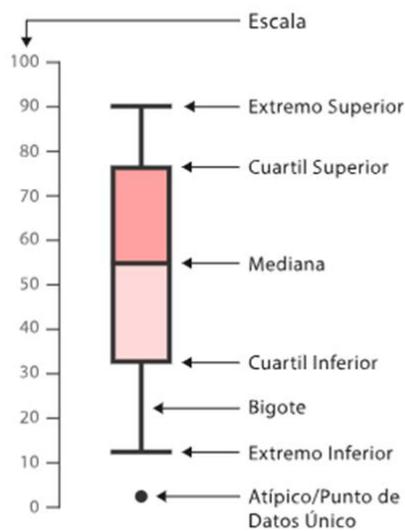
Se refiere a la masa del pan por el volumen que ocupa en su forma real, excluyendo los huecos de la miga.

2.3.8. Diagrama de caja y bigotes

el diagrama de caja y bigotes es la distribución de datos mediante una representación gráfica, es diseñada para tomar decisiones precisas y razonar acerca de esas distribuciones. Consta de cinco elementos: el valor mínimo, el primer cuartil (Q1), el segundo cuartil (Q2), el tercer cuartil (Q3) y el valor máximo; como puede notarse ellos dividen a los datos en cuatro grupos. Esta representación presenta al mismo tiempo una medida de tendencia central (mediana), dos medidas de dispersión (rango y rango intercuartil) e indica la simetría o asimetría de la distribución (flores 2018).

Figura 2

Diagrama de caja y bigote



Las líneas que se extienden paralelas a las cajas se conocen como «bigotes», y se usan para indicar variabilidad fuera de los cuartiles superior e inferior. Los valores atípicos se representan a veces como puntos individuales que están en línea con los bigotes. Los diagramas de cajas y bigotes se pueden dibujar vertical u horizontalmente.

2.3.9. Dureza

Es la resistencia que ofrece un alimento a la deformación cuando se aplica una fuerza. Se mide como la cantidad de fuerza necesaria para comprimirlo hasta un punto determinado (Talens, 2017).

2.3.10. Elasticidad

Es la capacidad de un alimento para recuperar su forma original después de haber sido deformado por una fuerza (Talens, 2017).

2.3.11. Humedad

Es el contenido de agua que se encuentra en la masa del pan después de su cocción. La humedad es un factor importante en la calidad y textura del pan ya que afecta su frescura, suavidad y capacidad de conservación (Suca et al., 2022).

2.3.12. Masticabilidad

Es la cantidad de trabajo o energía requerida para desintegrar un alimento lo suficiente como para ser tragado. Depende de la dureza, cohesividad y elasticidad (Talens, 2017).

2.3.13. pH

El pH del pan se refiere al grado de acidez o alcalinidad del producto, puede afectar la textura, la fermentación, la actividad de la levadura y la conservación (Suárez et al., 2022b).

2.3.14. Textura

Es la sensación que se experimenta al tocar o masticar el pan. Es un factor importante en la calidad y aceptabilidad del pan, ya que puede afectar la experiencia del consumidor (Suca et al., 2022).

2.3.15. *Volumen Especifico*

Es la medida del volumen que ocupa una unidad de masa de pan; en el caso que el volumen especifico del pan sea alto, este tendrá la miga más esponjosa y la corteza más crujiente, por el contrario, si es bajo, puede ser denso y pesado (Esteller y Lannes, 2005).

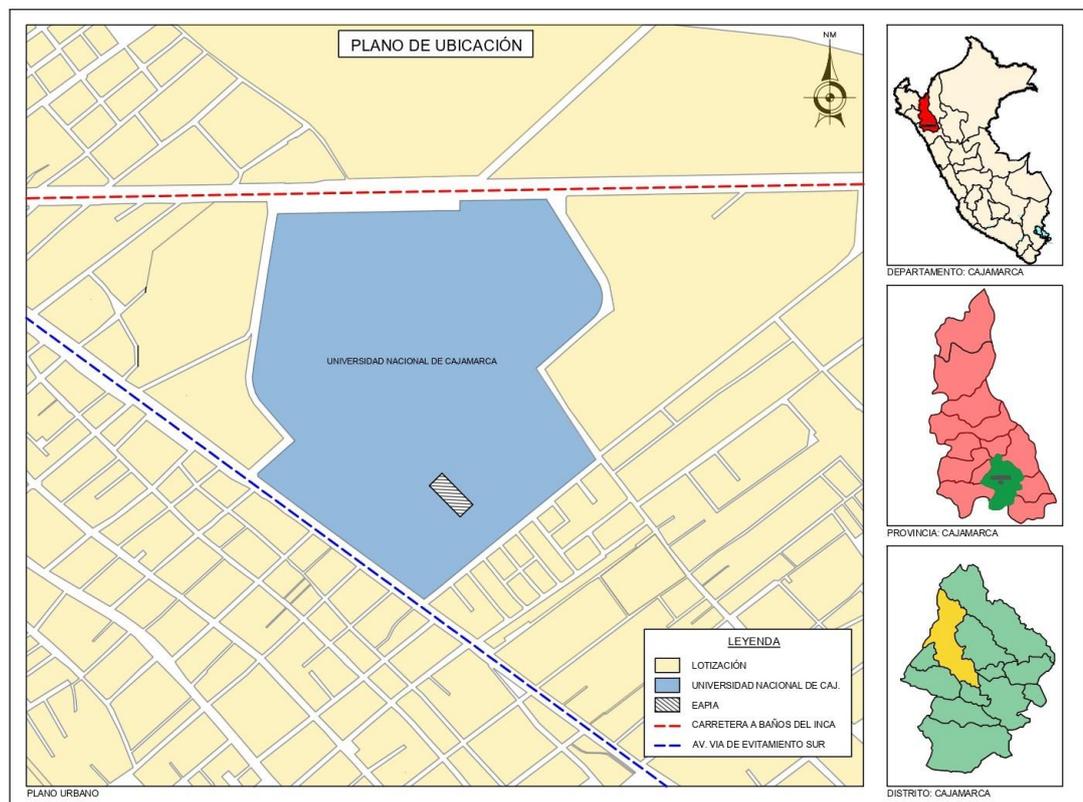
III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación

Esta investigación se desarrolló en el laboratorio de Análisis de Alimentos de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias, de la universidad Nacional de Cajamarca, ubicada en el Distrito, Provincia y Región Cajamarca, geográficamente se encuentra localizado entre las coordenadas 7° 10' 06" S Latitud Sur y 78° 29' 43" W Longitud Oeste, a una altitud de 2683 msnm.

Figura 3

Ubicación de la Universidad Nacional de Cajamarca



Nota: adaptado de Google Maps

3.2. Materiales y Equipos

3.2.1. *Materia prima e insumos*

Pan torta, se obtuvo de 16 panaderías ubicadas en la ciudad de Cajamarca.

3.2.2. Equipos

Balanza marca TRUPER, Estufa marca POL-EKO-APARATURA, Analizador de Texturas CT3 marca BROOKFIELD, pHmetro marca EZDO, Colorímetro analizador y comprobador de color marca SADT.

3.2.3. Materiales

Recipientes, bandejas, papel aluminio, decantador, matraz Erlenmeyer, vasos de precipitación, morteros, buretas.

3.2.4. Otros Materiales Experimentales

Guantes látex, mascarilla, mandil, gorro, bolsas de polietileno, mesa de trabajo de acero inoxidable, papel toalla, alcohol, USB, tijera, lapicero, cuaderno, laptop, entre otros.

3.3. Metodología

Figura 4

Ubicación de las panaderías en Cajamarca



Procedimiento para la Recolección de datos

El procedimiento de la investigación se describe a continuación

Obtención de las muestras de pan torta. Las muestras de pan se obtuvieron de forma directa de 16 panaderías que representa el 100 % de las panaderías formales de la ciudad de Cajamarca, considerando la producción de la tarde, desde las 3.00 pm hasta la 8.00 pm.

Recepción de la materia prima: Se llevó a cabo en el laboratorio de la escuela académico profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias, en esta operación se realizó una clasificación en función del tamaño, uniformidad en el color, entre otros aspectos físicos.

Caracterización del pan. La evaluación se realizó durante 30 días para obtener la evolución de las propiedades fisicoquímicas y sensoriales a lo largo del tiempo (Bonilla y Maldonado, 2005), una muestra de pan por semana de cada panadería, en total 48 muestras con tres repeticiones. Se consideró los siguientes métodos para cada variable.

Humedad. El contenido de humedad (basado en masa seca) ($\text{g H}_2\text{O/g masa seca}$) del pan torta se calculó utilizando la ecuación (1), respectivamente

$$Hbs = (W - Ms) / Ms \quad (1)$$

Donde Hbs es el contenido de humedad en base seca ($\text{g H}_2\text{O/g masa seca}$); W es el peso total de la muestra; Ms es la masa seca de la muestra (g) determinada por secado en estufa a $105\text{ }^\circ\text{C}$ hasta peso constante.

Densidad aparente. Se utilizó el método descrito por Bustamante (2019) para ello se utilizó un recipiente y se llenó de semilla de linaza y se enrasó, luego se retiró la mitad y se colocó el pan entero luego se volvió a llenar con la semilla de linaza y la semilla sobrante se midió en una probeta graduada y se midió el volumen ocupado que equivale al volumen del pan. Este procedimiento se aplicó a todas las muestras para determinar su volumen su densidad aparente. Se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$Densidad\ aparente = \frac{\text{peso (g)}}{\text{Volumen}} \dots\dots\dots (1)$$

Volumen específico. Para estimar el volumen específico se utilizó el método *seed displacement* descrito por (Covinich et al., 2019). El procedimiento fue el siguiente: se utilizó un recipiente y se llenó de semilla de linaza y se enrasó, luego se retiró la mitad y se colocó el pan entero luego se volvió a llenar con la semilla de linaza y la semilla sobrante se midió en una probeta graduada y se midió el volumen ocupado que equivale al volumen del pan.

pH: Se determinó utilizando un potenciómetro de electrodo, previamente calibrado, a temperatura ambiente siguiendo a Szerman et al. (2008) con algunas modificaciones:

Se pesó 10 gramos de muestra de pan, se trituró en un mortero, se añadió 100 ml de agua destilada y se agitó hasta homogenizar la mezcla, luego se dejó en reposo 5 minutos, para calibrar el pHmetro se utilizó solución de búfer de 6.0 de pH. Posterior a ello se filtró la mezcla, finalmente se realizó la lectura en un pHmetro.

Textura: Para la determinación de la textura se utilizó un analizador de Texture Analyzer CT3, marca BROOKFIELD. Según el procedimiento descrito por Chávez (2023). Utilizando la celda de carga de 25 kg, sonda TA4/1000 y elemento TA-AACC36 con una velocidad de tes de 1 mm/s, 2 ciclos y una compresión de 5 mm. Los parámetros obtenidos son dureza medidos en N, elasticidad en cm, cohesividad es adimensional al igual que la masticabilidad.

Color: Se realizó mediante el uso del método CIE L*A*B*, midiendo directamente por reflectancia con el equipo colorímetro. La medición de color se realizó del cielo del pan. 3 repeticiones de cada uno, las muestras fueron tres panes cada panadería.

3.3.1. Análisis estadístico

Para evaluar las variables fisicoquímicas y colorimétricas en pan torta, para obtener una base de datos representativos se analizaron tres muestras de pan por cada una de las 16 panaderías formales, los panes se recolectaron una vez por semana durante cuatro semanas consecutivas. El diseño estadístico aplicado fue un ANOVA de un solo factor, donde el factor de estudio fue la procedencia del pan (panadería), con el objetivo de determinar si existían diferencias significativas en las variables evaluadas. Adicionalmente, se utilizaron diagramas de caja y bigote para visualizar la distribución de los datos y detectar posibles valores atípicos, así como estadísticos descriptivos (media, mediana, desviación estándar, mínimo y máximo) para caracterizar la variabilidad interna de las muestras. Todo el análisis estadístico se realizó bajo un nivel de significancia del 5% ($p < 0.05$). Se utilizó el software estadístico MINITAB 18 y IBM SPSS Statistics 25.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Densidad Apparente

Los resultados de la densidad aparente se muestran en la Figura 5. Los valores encontrados varían entre 0.13 y 0.20 g/ ml, siendo la panadería Niño Jesús la que obtuvo mayor valor de densidad en contraste la panadería pan de vida obtuvo la densidad más baja. Estos resultados están dentro del rango, generalmente la densidad aparente en pan varía entre 0.15 a 0.40 g/ ml y está relacionada directamente con el volumen de los poros y es un buen índice de elaboración y calidad (Ordoñez, 2019). Así mismo están dentro de lo establecido por la NTP 206.004:1988 en la cual se establece que la densidad para panes no debe ser mayor a 0.40 g/ ml.

Figura 5

Densidad del pan torta de Cajamarca

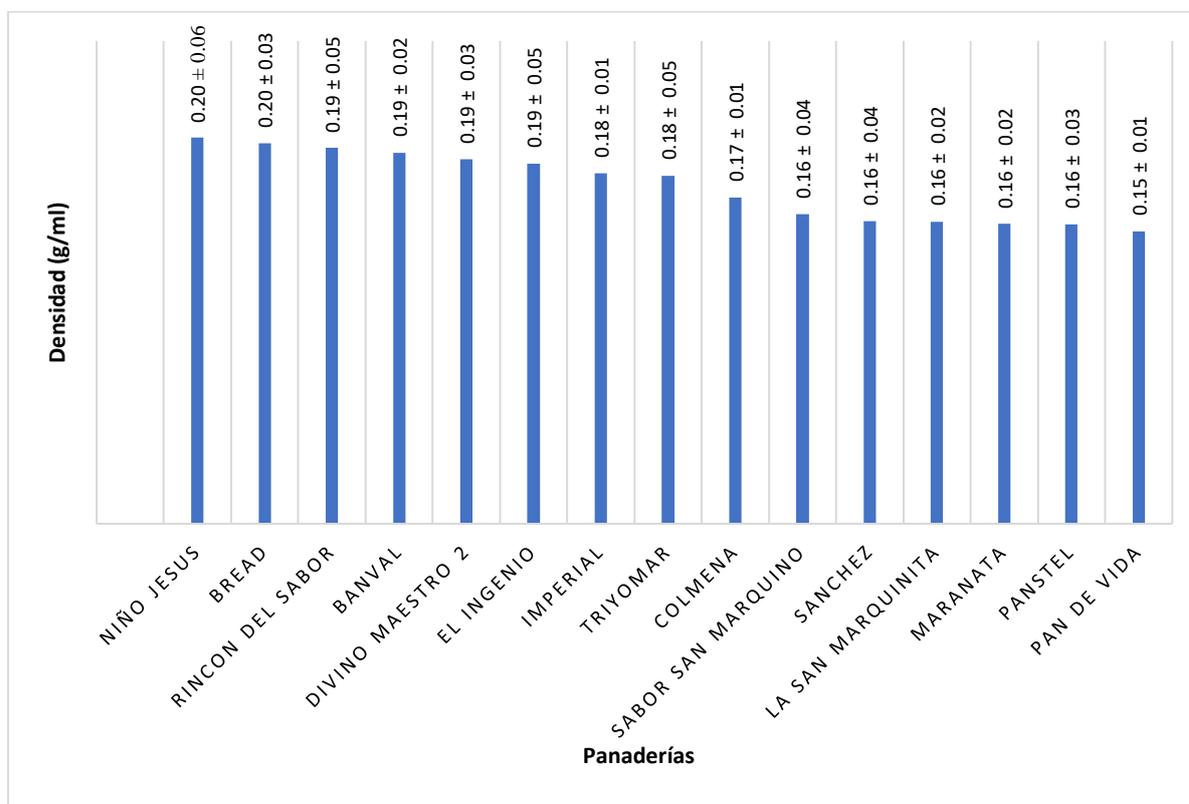


Tabla 4**Datos estadísticos de densidad aparente del pan torta**

Descriptivos		Estadístico	Desv. Error
Media		0.1731	0.00498
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	0.1625	
	Límite superior	0.1837	
Media recortada al 5%		0.1740	
Mediana		0.1750	
Varianza		0.000	
Desv. Desviación		0.01991	
Mínimo		0.13	
Máximo		0.20	

La media es de 0.1731, lo que indica que la densidad aparente promedio del pan torta es de aproximadamente 0.173 g/cm³. La mediana es de 0.1750, lo que sugiere que la mitad de las observaciones tienen una densidad aparente mayor o igual a 0.175 g/cm³. La media recortada al 5% es de 0.1740, lo que indica que, si se eliminan el 5% de las observaciones más extremas, la media se incrementa ligeramente a 0.174 g/cm³.

La varianza es de 0.000, lo que indica que la variabilidad en la densidad aparente es nula. La desviación estándar es de 0.01991, lo que sugiere que la mayoría de las observaciones se encuentran dentro de un rango de aproximadamente ± 0.02 g/cm³ alrededor de la media. El rango es de 0.07, lo que indica que la diferencia entre la observación más alta y la más baja es de aproximadamente 0.07 g/cm³.

En la Tabla 5 se observa que el 25 % (cuartil 25) de las panaderías presentan muestras de pan con una densidad de 0.16 g/ml estas muestras son las más ligeras y esponjosas (Ordoñez, 2019). Mientras que la mitad de las muestras (cuartil 50) tienen una densidad menor o igual a 0.1750 g/ml, de la misma manera el cuartil 75 que representa el 75 % de las

muestras tienen una densidad menor o igual a 0.19 g/ml, las muestras por encima de este valor se pueden considerar densas o compactas. Según Peressini y Sensidoni (2009) la densidad se asocia con el tiempo de fermentación, la formación de la miga, condiciones de horneado y el manejo de la masa.

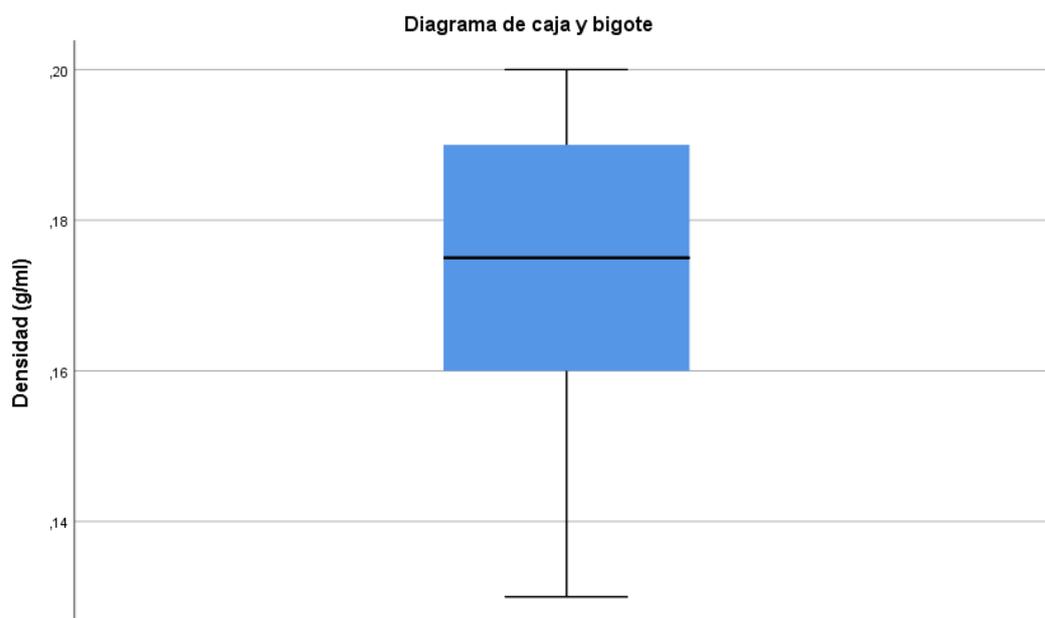
Tabla 5

Cuartiles estadísticos de densidad del pan torta

Estadísticos para la variable densidad (g/ml)		
N	Válido	16
	Perdidos	0
Cuartiles	25	0.1600
	50	0.1750
	75	0.1900

Figura 6

Diagrama de caja y bigote de densidad del pan torta



En la Figura 6 se observa el diagrama de caja y bigote los datos dentro del rectángulo azul representan el rango intercuartil, que es la diferencia entre Q3 y Q1 el cual es aproximadamente 0.03 (0.1900 – 0.1600). La mediana (50%) representada con la línea negra corresponde a una densidad de 0.1750 g/ml, esto refiere que la mitad de las muestras tienen densidades por debajo de este valor y la otra mitad por encima, por lo que se afirma que los datos son aproximadamente simétricos. Así mismo se observa que no hay datos extremos o fuera de rango todos están dentro de los bigotes que representan valores máximos y mínimos. Los resultados sugieren uniformidad en el proceso de elaboración del pan torta entre las diversas panaderías.

En la Tabla 6 demuestra que no hay diferencias significativas de la densidad del pan entre las panaderías. Lo cual significa que a pesar de que hay variabilidad de la densidad no se puede atribuir el efecto del lugar de elaboración, es decir todas las panaderías utilizan similar proceso de producción e ingredientes para su elaboración (Madrid et al., 2022).

Tabla 6

Análisis de varianza para la densidad

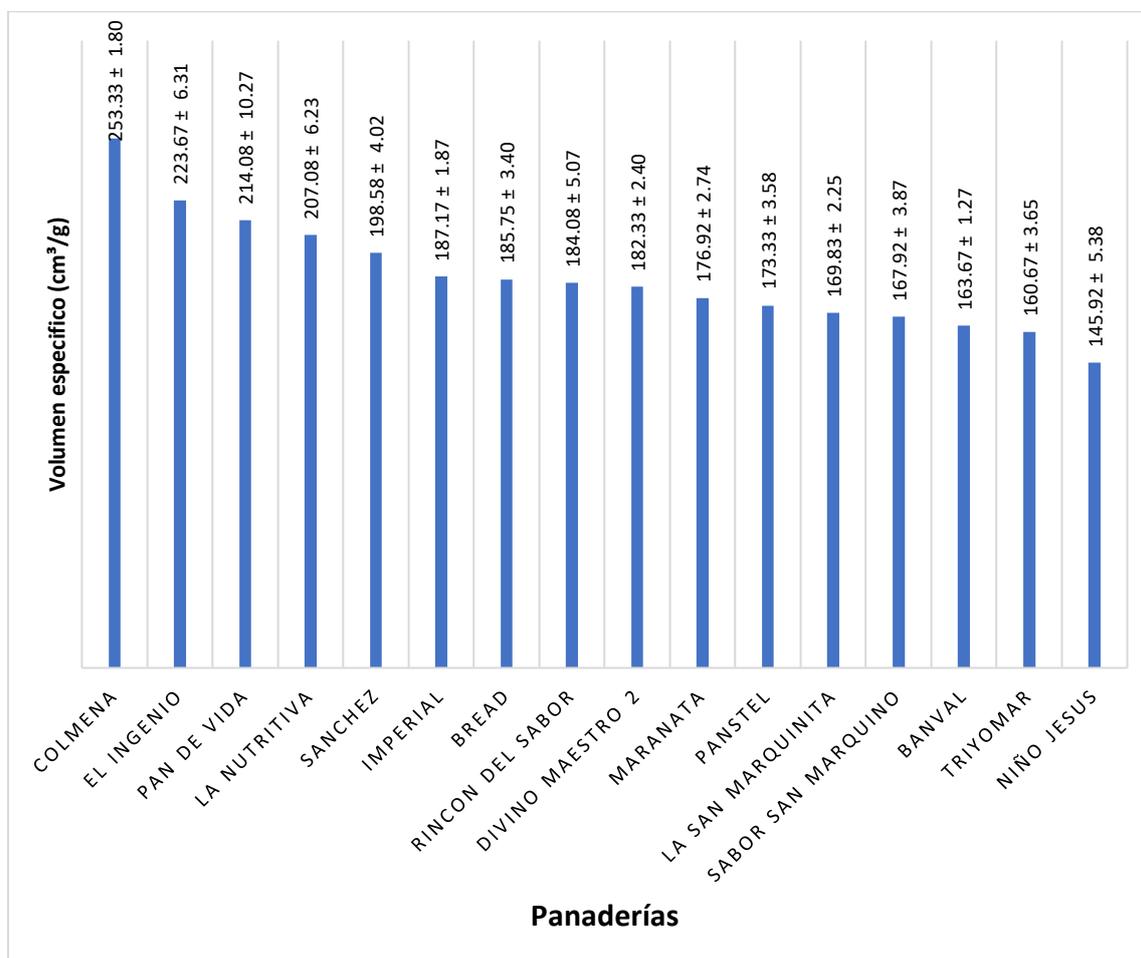
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Panaderías	15	0.02729	0.001819	1.43	0.173
Error	48	0.06117	0.001274		
Total	63	0.08846			

4.2. Volumen específico

El promedio del volumen específico más bajo lo tiene la panadería niño Jesús con 145.92 cm³; mientras la panadería colmena tiene el valor más alto de 253.33 cm³ a mayor contenido de gluten mayor valor en volumen en esta variable (Figura 7). En las normas

técnicas peruanas no se hace referencia al volumen específico como criterio de calidad en la evaluación de los panes (Apaza, 2022).

Los resultados obtenidos en esta investigación son consistentes con lo reportado por Singh et al. (2012) reportaron volúmenes de 139 a 135 cm³ para panes formulados con harina de mijo. Por otro lado, Vega et al. (2018) encontraron que el volumen del pan vario entre 3.38 a 5.36 cm³/g en pan con adición de enzimas. Así mismo Zhang et al. (2014) determinaron el volumen específico en pan elaborado con *bifidobacterium lactis* Bb12 reportando valores de 2.5 a 3.75 cm³/g, este valor es menor a lo encontrado para el pan torta, estas diferencias se podrían atribuir a la formulación de cada pan y a la elaboración, cabe mencionar que el pan torta de las diferentes panaderías evaluadas se elabora en hornos a leña.

Figura 7*Volumen específico del pan torta***Tabla 7****Datos estadísticos de volumen específico del pan torta**

Descriptivos	Estadístico	Desv. Error
Media	187.1456	6.74507
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	172.7689 201.5224
Mediana	183.2050	
Media recortada al 5%	185.7590	
Varianza	727.935	
Desv. Desviación	26.98028	
Mínimo	145.92	
Máximo	253.33	

La media es de 187.15, lo que indica que el volumen específico promedio del pan torta es de aproximadamente 187 cm³. Se observa que la mediana es de 183.21, esto significa que la mitad de los panes de las diferentes panaderías tienen un volumen específico mayor o igual a 183 cm³. Resultados similares fueron reportados por otros investigadores (Singh et al., 2012; Vega et al., 2018; Zhang et al., 2014). La media recortada al 5% es de 185,7590, lo que indica que, si se eliminan el 5% de las observaciones más extremas, la media se reduce ligeramente a 185,76 cm³/g.

La varianza es de 727.935, lo que indica que hay una variabilidad notable en el volumen específico del pan torta, lo cual se puede atribuir a diferencias en el procedimiento de elaboración, ingredientes, tiempo de fermentación, técnicas de horneado entre otras. Por ejemplo el tipo de harina influye de manera significativa en el volumen específico debido a que intervienen en la fermentación (Gómez et al., 2003). La desviación estándar es de 26.98, lo que sugiere que la mayoría de las observaciones se encuentran dentro de un rango de aproximadamente ± 27 cm³ alrededor de la media.

En la Tabla 8 se muestra que el 25 % (cuartil 25) de las panaderías elaboran panes de volumen específico de 168.40 cm³ este resultado es bajo lo que sugiere deficiencias en la fermentación, este valor se encuentra por debajo de lo reportado para panes de mejor calidad que oscilan entre 321 y 511 cm³ (Ho et al., 2013). Mientras que la mitad de las muestras (cuartil 50) presentan un volumen específico menor o igual a 183.21 cm³, de la misma manera el cuartil 75 que representa el 75 % de las muestras tienen un volumen específico menor o igual a 204.96 cm³, las muestras por encima de este valor se pueden considerar panes con mejor calidad ya que presentan volúmenes muy cercanos a los reportados en la literatura (García et al., 2023).

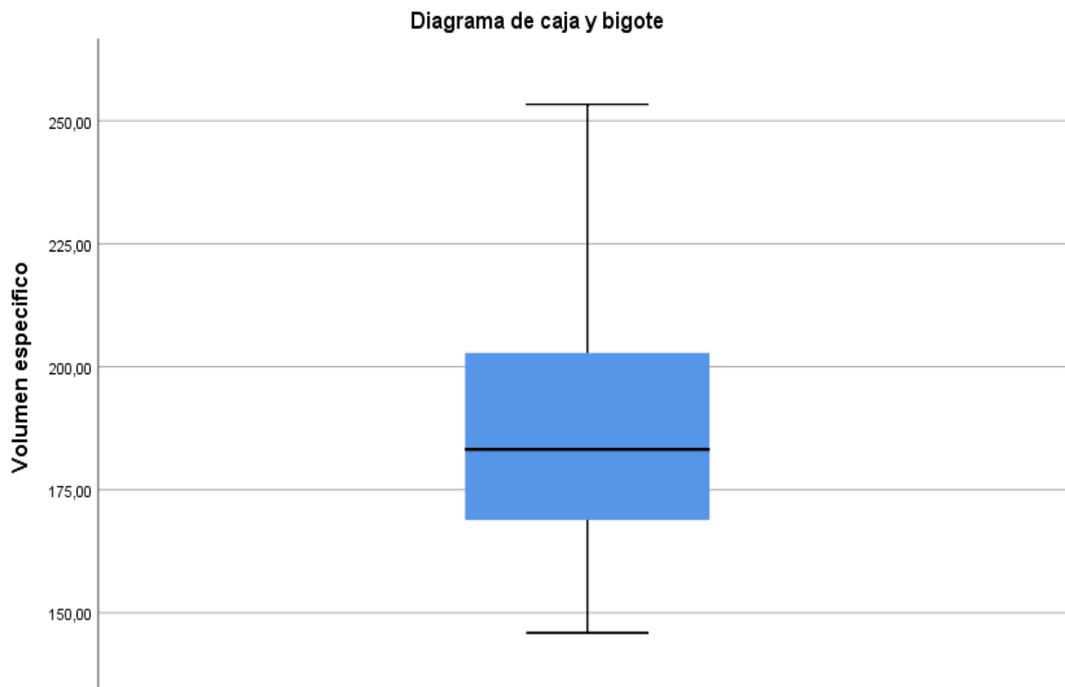
Tabla 8

Cuartiles estadísticos de volumen específico del pan torta

Estadísticos para la variable volumen específico		
N	Válido	16
	Perdidos	0
Cuartiles	25	168.3975
	50	183.2050
	75	204.9550

Figura 8

Diagrama de caja y bigote de volumen específico del pan torta



La caja representa el rango intercuartil (RIQ), que es la diferencia entre Q3 y Q1. En este caso, el RIQ es de aproximadamente 36.56 (204.96 - 168,40). Según Madrid et al. (2022) a partir de las características del diagrama de caja nos permite identificar el tipo de

asimetría de la distribución. En la fig. 8 los bigotes indican que no hay valores atípicos o extremos en los datos por lo que podemos decir que la variable volumen específico tiene una distribución asimétrica, ya que la mediana está más cerca del primer cuartil que del tercer cuartil, mostrando con una mayor variabilidad en los valores más altos. El hecho de que no haya valores atípicos sugiere que los datos son relativamente consistentes y no hay observaciones que se salgan significativamente de la norma. El volumen específico parece tener una tendencia a ser moderadamente alto, ya que la mediana está cerca del valor 183.21 cm³.

Basado en el análisis de dispersión RIQ y Rango total (Máximo - Mínimo) el volumen específico del pan tiene más datos dispersos, ya que tiene un RIQ de 36,56 y un rango total de 107.41 cm³. Lo que indica una gran variabilidad en los datos.

Tabla 9

Análisis de varianza para el volumen específico

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Panaderías	15	43681	2912	2.32	0.014
Error	48	60343	1257		
Total	63	104024			

La Tabla 9 muestra los resultados ANOVA para volumen específico y se observa diferencias significativas entre panaderías puesto que $p < 0.05$, lo cual sugiere que las muestras analizadas se diferencian entre sí, probablemente se debe a los ingredientes utilizados, el proceso de elaboración, entre otros factores.

Tabla 10

Prueba de comparaciones múltiples tukey para las panaderías en relación del volumen específico, confianza de 95%

Panaderías	N	Media	Agrupación	
Colmena	4	253.33	A	
El Ingenio	4	223.7	A	B
Pan de Vida	4	214.08	A	B
La Nutritiva	4	207.1	A	B
Sánchez	4	198.6	A	B
Imperial	4	187.17	A	B
Bread	4	185.8	A	B
Rincón del Sabor	4	184.1	A	B
Divino Maestro 2	4	182.3	A	B
Maranata	4	176.9	A	B
Panstel	4	173.3	A	B
La San Marquinita	4	169.8	A	B
Sabor San Marquino	4	167.9	A	B
Banval	4	163.67	A	B
Triyomar	4	160.7		B
Niño Jesús	4	145.92		B

Los resultados obtenidos con la prueba de Tukey (Tabla 10) realizada con el objetivo de encontrar diferencias estadísticas entre panaderías en cuanto al volumen específico. Se observa que la panadería Colmena presenta el mayor valor respecto al volumen específico (253.33 cm^3) siendo estadísticamente mayor al de las otras panaderías como la panadería niño Jesús (145.92 cm^3) que pertenece solamente al grupo B. Por otro lado, se observa que las demás panaderías tienen valores intermedios y que comparte grupo (A y B), es decir entre estas panaderías no existen diferencias significativas. La panadería Colmena elabora un pan torta más esponjoso que alcanza valores similares a otras investigaciones Ho et al.

(2013) en pan con adición de harina de banano y Singh et al. (2012) pan con harina de mijo. Estas diferencias se podrían atribuir a diversos factores como el tiempo de fermentación y los ingredientes.

4.3. Humedad

Los resultados de la humedad se muestran en la Figura 9, los valores oscilaron entre 18.59 que corresponde a la panadería la Nutritiva y 27.58 % que corresponde a la panadería la Colmena, estos resultados son similares a los obtenidos por Yela (2004) obtuvo un rango de humedad que va entre 13.65% y 20.53 %. Mientras que Zhang et al. (2014) reportaron valores por encima de 40 %. Estas diferencias se podrían atribuir al tipo de pan y al proceso de elaboración. Según la Norma Sanitaria para la Fabricación, Elaboración y Expendio de Productos de Panificación, Galletería y Pastelería RM N ° 1020-2010 / MINSA. menciona que la humedad del pan común o de labranza debe estar en un rango de 23 a 35 %, la razón de exigir cierta cantidad de humedad en el pan se debe a que el agua proporciona sabor y frescura y ayuda en la distribución de ingredientes en la etapa de elaboración, la menor cantidad de humedad da un producto seco y quebradizo, mucha agua hace que sea pegajoso y afecte el proceso de fermentación. Así mismo la humedad se relaciona directamente con la densidad a menor humedad menor densidad, debido a que el agua ocupa espacio, pero tiene menor peso lo que resulta en una masa menos compacta y más esponjosa.

Otros estudios revelan que el contenido de humedad varía en función al tipo de pan, por ejemplo, Pino (2011) menciona que la humedad en un pan integral es de 37,10% el cual es superior al pan blanco con 33%; el pan de maíz tiene 24,34% y pan francés 23,2% que son ligeramente iguales, con una mínima diferencia, el contenido de fibra juega un papel importante ya que a mayor fibra el contenido de humedad será mayor, debido a la capacidad de retener agua durante el amasado y horneado. Así mismo en la Norma sanitaria para panificación se menciona que la humedad de un pan de molde debe ser de 40 %. Por tanto,

el tipo de pan es un factor importante en el contenido de agua, el pan torta presenta menor cantidad de humedad en comparación con el pan de molde, pero se encuentra dentro del rango establecido para panes comunes.

Por su parte Suca (2022) hace referencia que el incumplimiento en relación a la humedad no acarrea riesgo para los consumidores, aunque las humedades altas aumentan la probabilidad de contaminación y proliferación microbiana. No obstante, se debe mencionar que el pan torta en Cajamarca es un producto de consumo inmediato, en fresco; por lo que valores de humedad fuera de lo estipulado no representarían riesgo sanitario para el consumidor. Es fundamental cumplir con los límites de humedad establecidos puesto que es importante en la vida útil del pan.

Figura 8

Humedad del pan torta

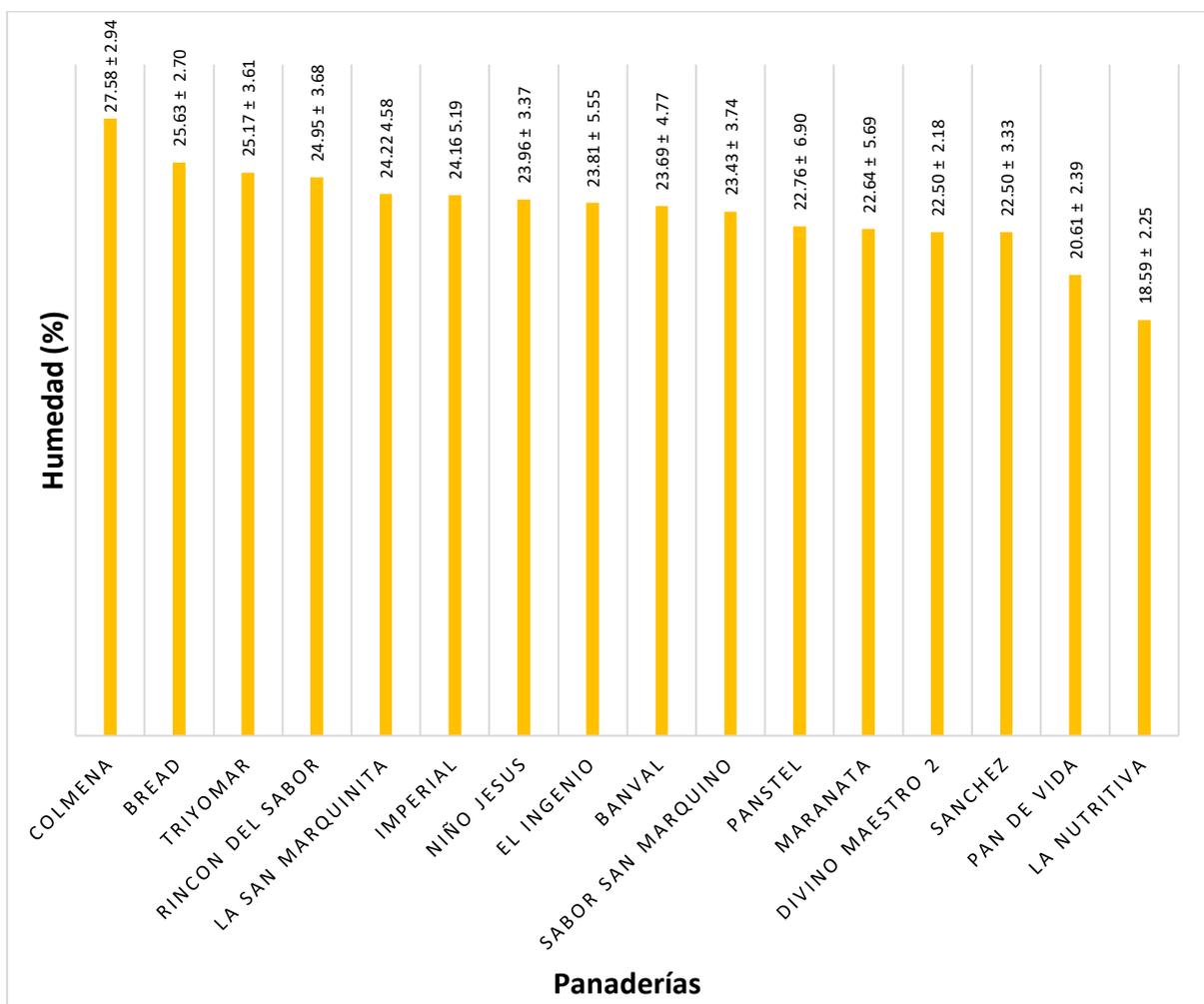


Tabla 11

Datos estadísticos de humedad del pan torta

Descriptivos	Estadístico	Desv. Error
Media	23.5125	0.51284
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	22.4194 24.6056
Media recortada al 5%	23.5600	
Mediana	23.7500	
Varianza	4.208	
Desv. Desviación	2.05138	
Mínimo	18.59	
Máximo	27.58	

La Tabla 11 muestra los estadísticos de la humedad y se observa que la media es de 23.5125 %, lo que indica que el contenido de humedad promedio del pan torta es de aproximadamente 23.51 %. La mediana es de 23.7500 %, sugiriendo que la mitad de las observaciones tienen un contenido de humedad mayor o igual a 23,75%. La media recortada al 5% es de 23.5600 %, esto indica que al eliminar el 5% de los datos más extremos, la variación de la mediana es mínima.

Se observa una variabilidad moderada en la humedad del pan torta de las diferentes panaderías puesto que la varianza es de 4.208 %. Así mismo se muestra una desviación estándar de 2.05138, esto indica que la dispersión de los datos respecto a la media es ± 2.05 %, afirmando baja variabilidad, lo que sugiere que la humedad del pan torta de las distintas panaderías es homogénea.

En la Tabla 12 se observa que el 25 % (cuartil 25) de las panaderías evaluadas elaboran este producto con una humedad de 22.54 % este resultado es muy similar a lo establecido en la norma, esto podría afirmar que el pan torta estaría clasificado dentro de los panes comunes que establece la norma sanitaria y es consistente a los resultados reportados por Yela (2004) en pan blanco. La mitad de las muestras (cuartil 50) tienen humedad menor o igual a 23.75 %. El tercer cuartil (75) que representa el 75 % de las muestras, la humedad fue de 25.77 %, y el 25 % restante presentan valores de humedad superiores a estos. Estos resultados son consistentes a lo mencionado por Gómez et al. (2005) quienes hacen referencia que una humedad entre 23 y 25 % en panes favorece la vida útil, además aporta suavidad y mejor calidad. Por otro lado, Espitia (2017) menciona que la humedad es fundamental para mantener la textura y sabor durante su almacenamiento.

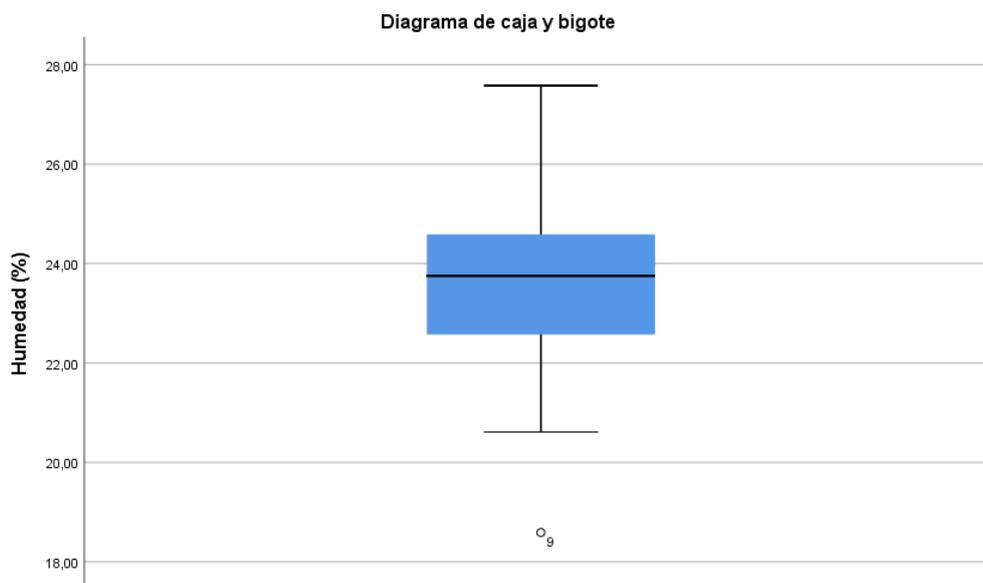
Tabla 12

Cuartiles estadísticos para la variable de humedad del pan torta

Estadísticos para la variable humedad (%)		
N	Válido	16
	Perdidos	0
Cuartiles	25	22.5350
	50	23.7500
	75	24.7675

Figura 9

Diagrama de caja y bigote de la variable humedad del pan torta



En la Figura 9 se muestra el diagrama de caja y bigote donde se observa que la caja es asimétrica con un valor mínimo más bajo que el valor máximo más alto, lo que indica que los valores más bajos son más extremos que los valores más altos. Se identificó un valor atípico 18.59 % que representa una muestra con humedad relativamente baja en comparación de las demás dicha muestra corresponde a la panadería la Nutritiva. Los valores

de la humedad se concentran en un rango estrecho con media 23.51 % y mediana 23.75 %, los valores atípicos pueden indicar que hay factores que afectan la humedad del pan torta de manera no uniforme. Estos factores podrían estar asociados al tipo de harina como también al proceso de elaboración especialmente el tiempo de horneado (Ho et al., 2013).

Tabla 13

Análisis de varianza para la humedad

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Panaderías	15	252.6	16.84	0.98	0.493
Error	48	827.6	17.24		
Total	63	1080.2			

En la Tabla 13 se reportan los resultados ANOVA para el pH y se observa que no existen diferencias significativas entre panaderías puesto que $p > 0.05$, lo cual sugiere que las panaderías elaboran panes con similares humedades.

4.4. pH

Los resultados de pH se muestran en la Figura 10. Los valores obtenidos varían entre 5.53 (panadería Panstel) a 6.11 (panadería el Ingenio), estos resultados son similares a los reportados por Zhang et al., (2014) para pan con adición de enzimas y horneados a diferentes temperaturas, los valores oscilaron entre 5.83 y 6.11. Aunque la norma no establece el pH del pan, diferentes autores mencionan que el pan común debería tener un pH entre 5.5 y 6.5. por su parte Yela (2004) encontró que el pan con pH menor a 5.33, evidencio crecimiento de moho el cual generó el color grisáceo y olor ácido en las muestras, las cuales se empezaron a descomponer. Por tanto, el pH es un parámetro crucial en la conservación del pan y también en las características sensoriales. El pan torta elaborado en las distintas

panaderías de Cajamarca tienen pH dentro del intervalo establecido por la norma, por lo que se podría valorar como un producto seguro.

Figura 10

pH del pan torta

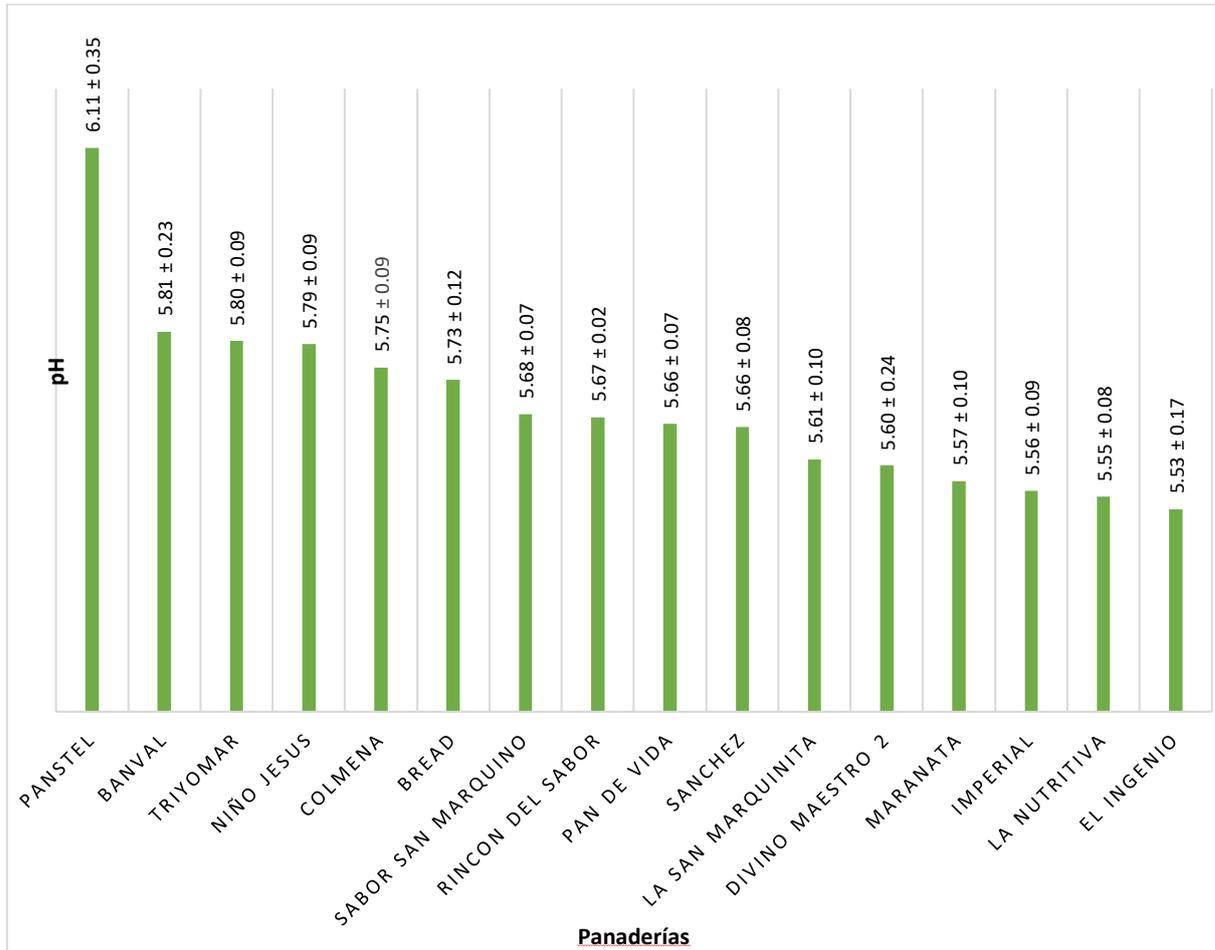


Tabla 14**Datos estadísticos de pH del pan torta**

	Estadístico	Desv. Error
Descriptivos		
Media	5.7131	0.06521
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	5.5741 5.8521
Media recortada al 5%	5.6779	
Mediana	5.6550	
Varianza	0.068	
Desv. Desviación	0.26084	
Mínimo	5.46	
Máximo	6.60	

En la Tabla 14 se muestra que la media es de 5.7131, lo que indica que el pH promedio del pan torta es de aproximadamente 5.71, la mediana es de 5.6550, esto indica que la mitad de las observaciones tienen un pH mayor o igual a 5.66 y una media recortada al 5% de 5.6779, reduciéndose así la media ligeramente a 5,68. Además se encontró que la varianza es de 0.068, indicando baja variabilidad del pH en el pan torta de las diferentes panaderías, con una dispersión en relación a la media de ± 0.26 . lo que sugiere que las panaderías elaboran pan torta con similares características, esto se debe probablemente a que aplican un mismo método en el proceso de elaboración, además los ingredientes utilizados serían similares, ya que son factores que intervienen en la fermentación y afectan directamente la acidez del producto (Gómez et al., 2005).

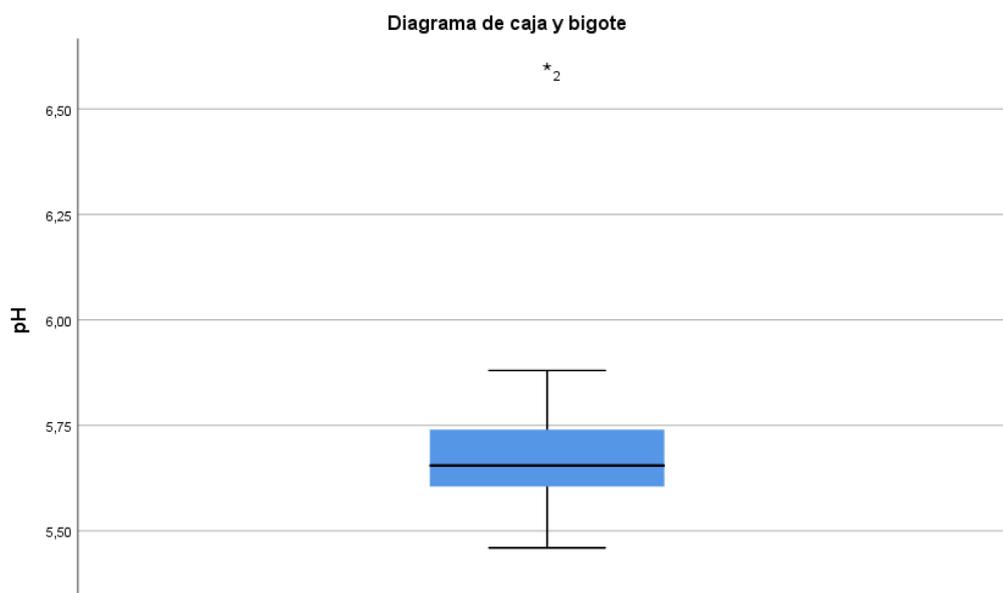
Tabla 15**Cuartiles estadísticos para la variable de pH del pan torta**

Estadísticos para la variable pH		
N	Válido	16
	Perdidos	0
Cuartiles	25	5.5975
	50	5.6550
	75	5.7650

En la Tabla 15 se evidencia que el 25 % (cuartil 25) de las panaderías evaluadas elaboran este producto con pH de 5.6 este resultado dentro del rango establecido en la norma. pH igual fue reportado Perez y Luzuriaga (2010) en pan elaborado con semillas de amaranto. La mitad de las muestras (cuartil 50) tienen un pH menor o igual a 5.7. El tercer cuartil (75) que representa el 75 % de las muestras, el pH fue de 5.8 y el 25 % restante presentan valores de pH superiores a estos. Los resultados obtenidos en este análisis concuerdan con lo reportado por Surco y Alvarado (2010) en panes elaborados con harina de sorgo.

Figura 11

Diagrama de caja y bigote para la variable de pH de pan torta



En la Figura 11 se muestra el diagrama de caja y bigote para el pH y se observa que intercuartil es de aproximadamente 0,17 lo que sugiere que la mitad de las observaciones más cercanas a la mediana se encuentran dentro de un rango de aproximadamente $\pm 0,085$ unidades de pH alrededor de la mediana. Los cuartiles indican que la mayoría de las observaciones están concentradas en un rango estrecho (entre 5,5975 y 5,7650).

Los bigotes indican que no hay valores atípicos o extremos en los datos por lo tanto podemos decir que la variable pH tiene una distribución simétrica, ya que la mediana está cerca del centro de la caja y los bigotes son similares en longitud. sin valores atípicos porque los datos son relativamente consistentes y no hay observaciones que se salgan significativamente de la norma. El pH parece tener una tendencia a ser ligeramente ácido, ya que la mediana está cerca del valor 5,6550, que es ligeramente por debajo del pH neutro (7). En general, los datos sugieren que el pH es relativamente estable y no hay variaciones significativas en las muestras lo cual indica que la que el proceso de producción del pan torta es consistente y no hay factores que afecten el pH del producto final.

Tabla 16

Análisis de varianza para el pH

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Panaderías	15	31.17	2.078	1.74	0.074
Error	48	57.36	1.195		
Total	63	88.53			

En la tabla 16 se aprecia que no existe diferencias significativas en el pH del pan elaborado en las diferentes panaderías puesto que el valor de p es mayor a 0.05, esto indica que pese a las diferencias numéricas que existen entre los promedios de pH de los grupos no hay diferencias que estén asociadas a las panaderías y se confirma que hay similitud en los panes, es puede deberse especialmente a los mismos ingredientes utilizados para su elaboración. Cabe resaltar que el pH en el producto tiene un papel importante frente al desarrollo de microorganismos que pueden afectar la vida útil del alimento.

4.5. Textura

4.5.1 Dureza

Los resultados encontrados se muestran en la Figura 12 la dureza del pan torta oscilo entre 6.31 N y 18.39 N valores muy cercanos a los reportados por Chávez (2023) En su estudio menciona que el grado aceptable de dureza es entre 5 N a 21 N para pan con sustitución parcial por harina de maíz. La dureza del pan puede variar según diversos factores, como la receta, el método de elaboración, el contenido de agua, los ingredientes utilizados y las condiciones de almacenamiento. Además, es crucial utilizar un envase adecuado para proteger el pan ya que esto conduce a un incremento considerable en la dureza, lo cual puede afectar negativamente la calidad y la textura del producto.

Figura 12

Dureza del pan torta

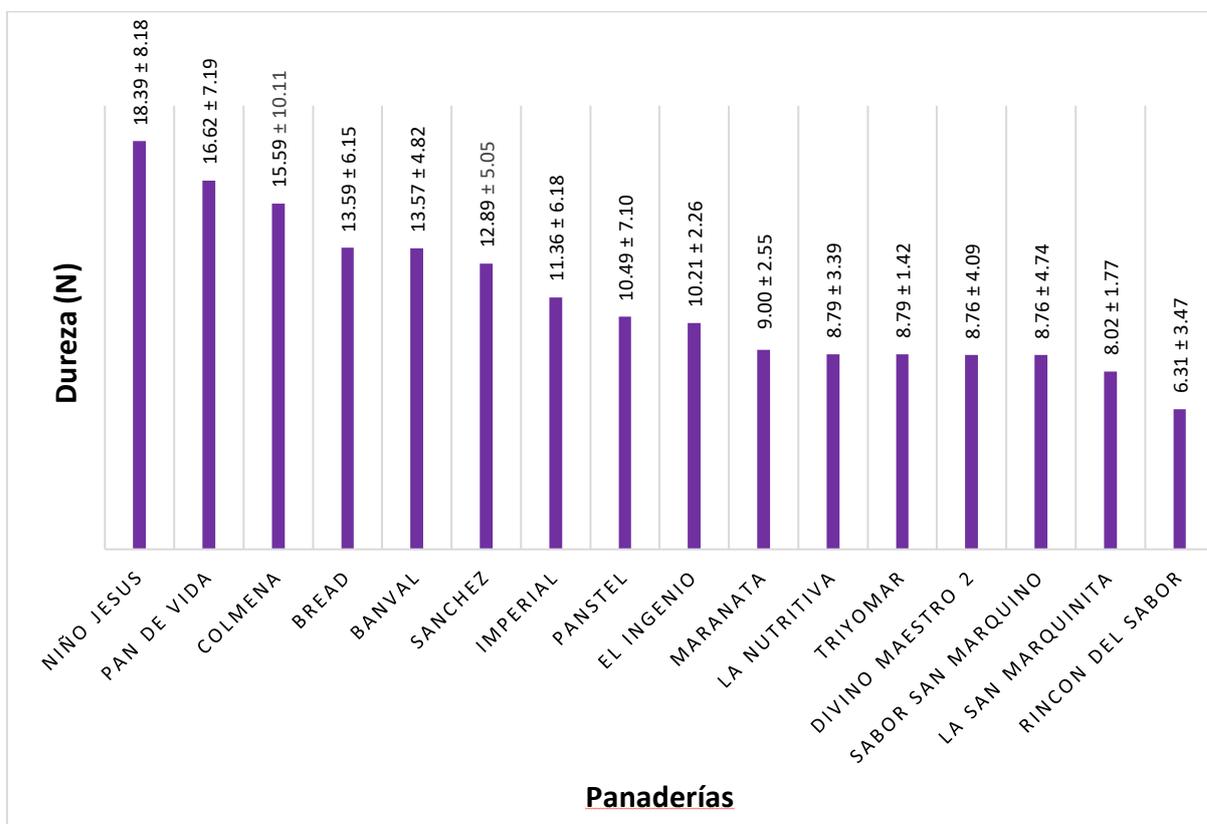


Tabla 17

Datos estadísticos de Dureza del pan torta

Descriptivos	Estadístico	Desv. Error
Media	11.3213	0.86167
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	9.4847 13.1578
Media recortada al 5%	11.2069	
Mediana	10.3500	
Varianza	11.879	
Desv. Desviación	3.44666	
Mínimo	6.31	
Máximo	18.39	

La tabla 17 muestra la media es de 11.3213 N, es decir la dureza promedio del pan torta es de aproximadamente 11.32 N. se observa que la mediana es de 10.3500 N, lo que sugiere que la mitad de las observaciones tienen una dureza mayor o igual a 10.35 N. La media recortada al 5% es de 11.2069 N, lo que indica que, si se eliminan el 5% de las observaciones más extremas, la media se reduce ligeramente a 11.21 N. se encontró una varianza de 11.879 N esto indica que hay una variabilidad moderada en la dureza del pan torta. Así mismo se aprecia que la desviación estándar es de 3.44666 N, lo que sugiere que hay una dispersión de ± 3.45 N alrededor de la media. Estos resultados obtenidos son cercanos a los reportados por Zegarra et al. (2019) para pan elaborado con harina de cañihua, además sugiere que el aumento en la dureza del pan se debe al tipo de harina, a mayor porcentaje de otras harinas diferentes al trigo la dureza será mayor, cabe mencionar que los investigadores utilizaron un analizador de textura Universal (3365 Instron Corporation, USA), provisto por una aguja de punción de 5 mm. La dureza del pan se asocia estrechamente con el contenido de gluten, que al unirse con el agua genera una red que capta los granos de almidón, absorbiendo cerca del doble de su peso en agua, retienen el gas durante la fermentación (Edel y Rosell, 2007). Otro parámetro importante es el tiempo y temperatura de cocción, a menor tiempo menor dureza (Zhang et al., 2014).

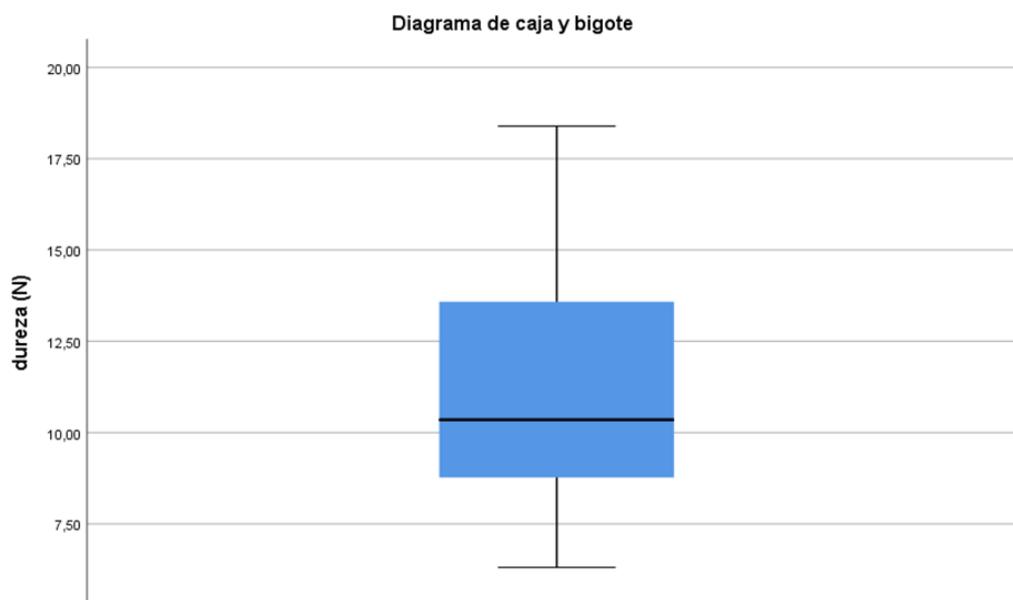
Tabla 18**Cuartiles estadísticos de la variable dureza del pan torta**

Estadísticos para la variable dureza (N)		
N	Válido	16
	Perdidos	0
Cuartiles	25	8.7675
	50	10.3500
	75	13.5850

En la Tabla 18 se observa que el 25 % (cuartil 25) de las panaderías evaluadas elaboran un pan torta con una dureza de 8.8 N, lo cual sugiere que es un pan relativamente suave y que contiene buen porcentaje de gluten (Vásquez et al., 2017). La mitad de las muestras (cuartil 50) tienen una dureza menor o igual a 10.35 N, el 75 % (tercer cuartil) presenta panes con una dureza de 13.59 N y el 25 % sobrante presentan valores de dureza por encima de estos. Estas diferencias se puede atribuir a los factores como el contenido de gluten y los parámetros en el proceso de elaboración (Zhang et al., 2014).

Figura 13

Diagrama de caja y bigote de la variable dureza del pan torta



El rango intercuartil es de aproximadamente 4.8175 (13,5850 - 8,7675) siendo esta una dispersión de los datos centrales, es decir el 50 % de los datos están distribuidos dentro de un intervalo de 4.82 unidades, este valor refleja una variabilidad moderada. La mediana (50%) es de 10.35 N, lo que indica que la mitad de las observaciones están por debajo de este valor y la otra mitad por encima y los cuartiles indican que la mayoría de las observaciones están concentradas en un rango moderado (entre 8,7675 y 13,5850).

Los bigotes indican que no hay valores atípicos o extremos en los datos por lo tanto podemos decir que la variable dureza (N) tiene una distribución asimétrica, ya que la mediana está más cerca del primer cuartil que del tercer cuartil. con una mayor variabilidad en los valores más altos. El hecho de que no haya valores atípicos sugiere que los datos son relativamente consistentes y no hay observaciones que se salgan significativamente de la norma. La dureza parece tener una tendencia a ser moderadamente alta, ya que la mediana está cerca del valor 10.35 N.

Se observa que el bigote inferior tiene menor longitud que el superior esto significa que los valores de la variable situados desde el mínimo hasta el primer cuartil son más homogéneos que los situados por encima del tercer cuartil (Madrid et al.,2022). La Figura 13 indica la variabilidad de los datos situados por encima del tercer cuartil sería mayor que la que corresponde a los localizados bajo el primer cuartil, haciendo referencia a la distancia del mínimo o máximo y cuartil. Además, se observa que el valor mínimo está más cercano al primer cuartil que el valor máximo con respecto al tercer cuartil.

Tabla 19

Análisis de varianza para la dureza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Panaderías	15	713.3	47.55	1.60	0.109
Error	48	1425.3	29.69		
Total	63	2138.6			

La Tabla 19 revelo un valor de p por encima de 0.05, esto significa que no existen diferencias significativas en la dureza del entre las panaderías evaluadas. La dureza esta influenciada por diferentes factores tales como el contenido de humedad, la proporción y el tipo de harina, la presencia de fibra y las condiciones de horneado (Mastromatteo et al., 2013). Por tanto, se afirma que todas las panaderías evaluadas elaborar el pan torta con características texturales (dureza) similar, debido posiblemente a procesos similares de formulación y cocción.

4.5.2 Cohesividad

La Figura 14 muestra los resultados obtenidos para la cohesividad del pan torta elaborado en diferentes panaderías los valores obtenidos fueron de 0.20 y 0.57, estos hallazgos coinciden con lo reportado por Chávez (2023) para pan semita con sustitución parcial de harina de maíz, este parámetro fue medido con el mismo equipo utilizado en esta investigación. Al respecto Martínez et al. (2015) analizaron la cohesividad del pan libre de gluten utilizando un analizador de textura (TA-XT2i, Stable Micro Systems, Godalming, U.K.), con celda de carga de 25kg, software TextureExper tExceed versión 2,64 (2002) y una sonda cilíndrica de 35mm (SMSP/35) y en modo fuerza en compresión, y reportaron valores de 0.27 a 0.41 y hacen referencia que un pan con alta cohesividad será capaz de resistir más la fuerza y mantener su forma, mientras que un pan con baja cohesividad se desintegrará más fácilmente. Esta propiedad es importante para la textura y la experiencia de comer pan, ya que una cohesividad adecuada permite una masticación satisfactoria y una sensación agradable en la boca. Por su parte, Reyes et al. (2004) en su estudio con panes elaborados con sustitución parcial de harina de arroz encontraron que a mayor porcentaje los panes presentaron menor cohesividad que se traduce en panes más compactos.

Los valores de cohesividad encontrados en este estudio están dentro del rango encontrado en otras investigaciones, sin embargo, sigue siendo menor a los resultados encontrados en pan con 100 % de harina de trigo que tienen valores por encima de 0.6 (Chavéz, 2023). El pan torta al ser elaborado con harina de trigo que contiene un elevado porcentaje de gluten, siendo un factor importante en la cohesividad ya que forma una red elástica que retiene el dióxido de carbono durante el proceso de fermentación (Reyes et al., 2004).

Figura 14

Cohesividad del pan torta

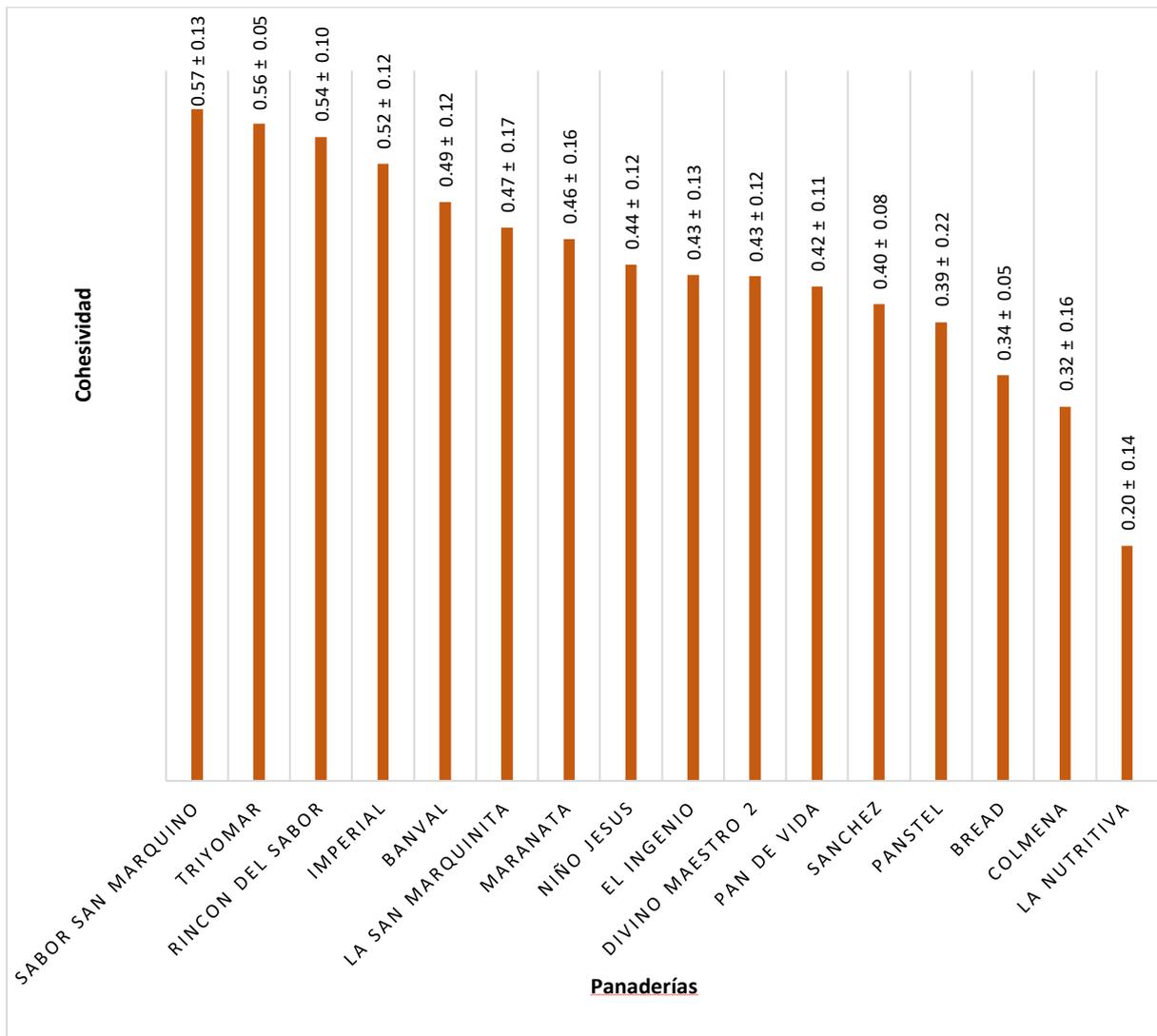


Tabla 20**Datos estadísticos de cohesividad del pan torta**

Descriptivos	Estadístico	Desv. Error
Media	0.4363	0.4363
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	0.3851 0.4874
Media recortada al 5%	0.4419	
Mediana	0.4350	
Varianza	0.009	
Desv. Desviación	0.09591	
Mínimo	0.20	
Máximo	0.57	

Los estadísticos descriptivos para la cohesividad (Tabla 20) muestran que el promedio del pan torta es de aproximadamente 0.44 (media), la mediana es de 0.4350, es decir la mitad de las observaciones tienen una cohesividad mayor o igual a 0.44, la media recortada al 5% es de 0,4419, lo que indica que, si se eliminan el 5% de las observaciones más extremas, la media se mantiene prácticamente igual.

La variabilidad de la cohesividad es baja puesto que la varianza es de 0.009 y la desviación estándar es de 0.09591, lo que refiere que la mayoría de las observaciones se encuentran dentro de un rango de aproximadamente ± 0.10 unidades alrededor de la media.

Tabla 21

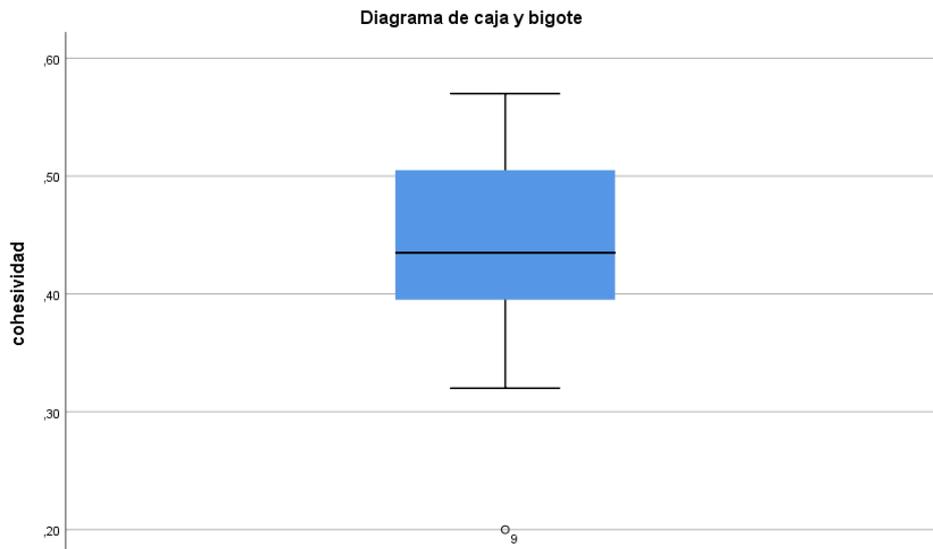
Cuartiles estadísticos de cohesividad del pan torta

Estadísticos para la variable Cohesividad		
N	Válido	16
	Perdidos	0
Cuartiles	25	0.3925
	50	0.4350
	75	0.5125

La Tabla 21 muestra los cuartiles estadísticos y se observa que el 25 % (cuartil 25) de las muestras evaluadas tienen una cohesividad de 0.39, lo cual sugiere que es un pan relativamente frágil, la miga tiene poca resistencia a la desintegración (Chávez, 2023). La mitad de los panes (cuartil 50) tienen una cohesividad menor o igual a 0.44, el 75 % (tercer cuartil) 0.51 y el 25 % restante tiene valores de cohesividad superiores a estos. Estos valores son considerados moderados y que la estructura interna del pan torta tiene mayor integridad para resistir una deformación y suelen desmoronarse en menor medida, resultados similares fueron reportados por Vicente et al. (2024) 0.52 para pan con proporciones de harina de quinua.

Figura 15

Diagrama de caja y bigote de la variable de cohesividad del pan torta



El diagrama de caja y bigote (Figura 15) muestra que los valores de cohesividad del pan torta se distribuyen de manera simétrica y compacta ya que la mediana (0.44) está cerca del centro de la caja y los bigotes son similares en longitud y cortos debido a que los valores mínimo y máximo pueden estar más cerca de la mediana, pero con un valor atípico de 0.20 que se encuentra fuera de la caja, lo cual indica que es la muestra con menor cohesividad en comparación a las demás muestras, esta corresponde a la panadería la Nutritiva. La longitud de los bigotes en un diagrama de caja y bigote depende de la dispersión de los datos, la presencia de valores atípicos, el tamaño del conjunto de datos y la distribución de los datos (Triola y Pineda, 2009). Por tanto, se reafirma la baja variabilidad de la cohesividad en el pan torta.

Tabla 22**Análisis de varianza para la cohesividad**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Panaderías	15	0.5516	0.03677	2.15	0.023
Error	48	0.8226	0.01714		
Total	63	1.3742			

La Tabla 22 muestra los resultados del análisis de ANOVA aplicado a la cohesividad del pan torta elaborado en diferentes panaderías arrojo un valor de $p < 0.05$, lo cual significa que existen diferencias significativas en la cohesividad entre las panaderías evaluadas al nivel de confianza del 95 %. Esto sugiere que las panaderías no producen panes con la misma cohesividad y que el lugar de elaboración influye en esta propiedad textural. Estas diferencias se podrían explicar que no todas las panaderías utilizan las mismas formulaciones, sino que podría haber variación de ingredientes, tipos de amasado y tiempos de fermentación y de horneado (Gómez et al., 2003). Por su parte, Martínez et al. (2015) sugiere que la cohesividad del pan debería estar entre 0.40 y 0.60, sin embargo en esta investigación se encontró valores menores a 0.40 lo que se podría afirmar que hay panaderías que están produciendo panes con deficiencias en la cohesividad y que podría afectar las características sensoriales del producto.

Tabla 23

Prueba de comparaciones múltiples tukey para las panaderías en relación a cohesividad, confianza de 95%

panaderías	N	Media	Agrupación	
Sabor San Marquino	4	0.5675	A	
Triyomar	4	0.5550	A	
Rincon del Sabor	4	0.5437	A	
Imperial	4	0.5212	A	B
Banval	4	0.4888	A	B
La San Marquinita	4	0.4675	A	B
Maranata	4	0.4575	A	B
Niño Jesús	4	0.4362	A	B
El Ingenio	4	0.4275	A	B
Divino Maestro 2	4	0.4263	A	B
Pan De Vida	4	0.4175	A	B
Sánchez	4	0.4025	A	B
Panstel	4	0.387	A	B
Bread	4	0.3425	A	B
Colmena	4	0.3162	A	B
La Nutritiva	4	0.1988		B

Los resultados obtenidos con la prueba de Tukey (Tabla 23) realizada con el objetivo de encontrar diferencias estadísticas entre panaderías en cuanto a la cohesividad. Se observa que la panadería Sabor San Marquino que solo pertenece al grupo A, presenta el mayor valor respecto a la cohesividad (0.57) siendo estadísticamente mayor al de las otras panaderías

como la panadería La Nutritiva (0.20) que pertenece solamente al grupo B. Por otro lado, se observa que las demás panaderías tienen valores intermedios y que comparte grupo (A y B), es decir entre estas panaderías no existen diferencias significativas. La panadería Sabor San Marquino produce un pan con mejor cohesividad que está dentro del intervalo sugerido por Martínez et al. (2015).

4.5.3 Elasticidad

En la Figura 16 se presenta los valores del índice de elasticidad del pan torta elaborado en la ciudad de Cajamarca que se encuentran en un rango de 0.48 a 0.79 cm. Estos resultados son ligeramente mayores a los encontrados por Chávez (2023) en pan semita de harina de trigo (0.41 cm). Para Mastromatteo et al. (2013) la elasticidad se relaciona con la estructura interna del pan, específicamente con la formación de la red de gluten y la humedad. Otros estudios han reportado valores mayores a los encontrados en este estudio por ejemplo Surco y Alvarado (2010) hallaron valores de 72 a 125 mm de elasticidad del pan con sustitución parcial de harina de sorgo y diferentes tiempos de horneado, dicho parámetro fue medido en un extensógrafo, esto explicaría la diferencia de los resultados. Así mismo Zegarra et al. (2019) encontraron valores de elasticidad entre 0.70 a 0.81 cm en pan con harina de cañihua. Por su parte Astiz et al. (2023) estudiaron el índice de elasticidad en pan con mezclas de harina de avena y trigo y hallaron entre 66 a 74 % de índice de elasticidad.

Figura 16

Elasticidad del pan torta

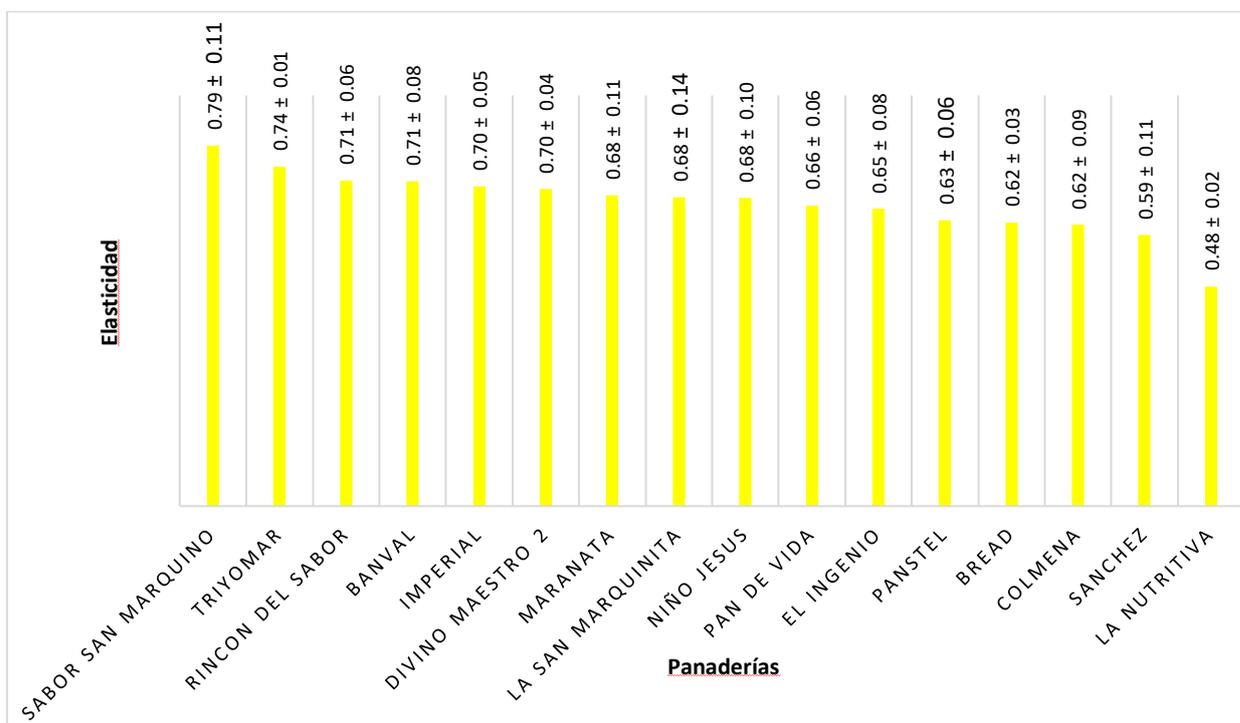


Tabla 24

Datos estadísticos de elasticidad del pan torta

Descriptivos	Estadístico	Desv. Error
Media	0.6650	0.01754
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	0.6276 0.7024
Media recortada al 5%	0.6683	
Mediana	0.6800	
Varianza	0.005	
Desv. Desviación	0.07014	
Mínimo	0.48	
Máximo	0.79	

Los datos estadísticos descriptivos de la elasticidad (Tabla 24) muestra que la media tiene un valor de 0.6650 cm, es decir la elasticidad promedio del pan torta es de aproximadamente 0.67 cm. la mediana es de 0,68 cm, lo que hace referencia que la mitad de las observaciones tienen una elasticidad mayor o igual a 0.68 cm. La media recortada al 5% es de 0.6683 cm, lo que indica que, si se eliminan el 5% de las observaciones más extremas, la media sería 0.67 cm, valor muy cercano a lo reportado por Surco y Alvarado (2010) en pan de harina de trigo con porcentajes de hasta 30 % de harina de sorgo.

Por otro lado, se evidencia la varianza que tiene un valor 0.005 cm, indicando baja variabilidad en los datos de la elasticidad del pan torta, así mismo la desviación estándar es de 0.07014 cm, lo que indica que la mayoría de las observaciones se encuentran dentro de un rango de aproximadamente ± 0.07 unidades alrededor de la media. La elasticidad se asocia con la variación en ingredientes y condiciones de procesamiento (Mastromatteo et al., 2013). El intervalo de confianza del 95% para la media es de 0,6276 a 0,7024 cm, lo que indica que es probable que la media verdadera de la elasticidad se encuentre dentro de este rango.

Tabla 25

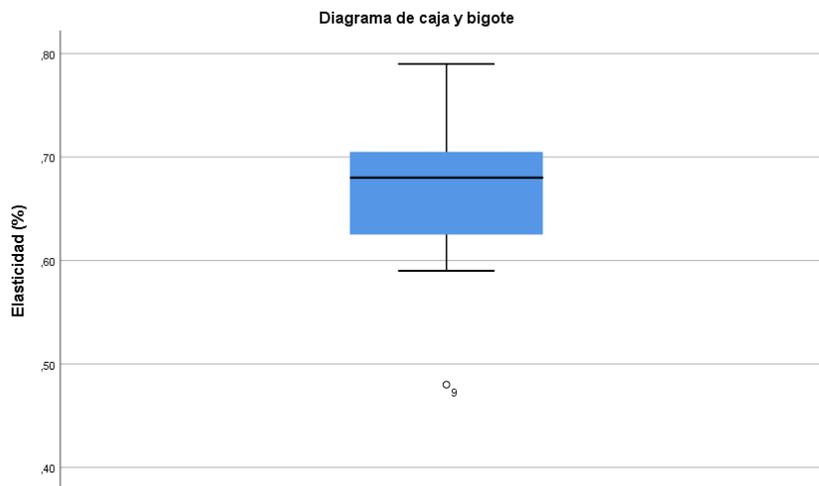
Cuartiles estadísticos de la variable elasticidad del pan torta

Estadísticos para la variable elasticidad (%)		
N	Válido	16
	Perdidos	0
Cuartiles	25	0.6225
	50	0.6800
	75	0.7075

Los cuartiles estadísticos de la elasticidad (Tabla 25) del pan torta muestran que el 50 % central de las muestras tiene valores de elasticidad comprendidos entre 0.6225 cm (cuartil 25) y 0.7075 cm (cuartil 75), con una mediana de 0.68 cm. Lo cual sugiere que la mayoría de las muestras evaluadas poseen una elasticidad entre moderada y buena, aunque algunas se encuentran por debajo del valor ideal observado en panes de trigo convencionales (≥ 0.70) (Zegarra et al., 2019).

Figura 17

Diagrama de caja y bigote de la variable elasticidad del pan torta



En el diagrama de caja y bigote (Figura 17) donde se observa que el bigote inferior tiene menor longitud que el superior, lo cual significa que los valores de la variable situados desde el mínimo hasta el primer cuartil son más homogéneos que los situados por encima del tercer cuartil (Madrid et al., 2022).

La caja representa el rango intercuartil que es 0.085 cm (0,7075 - 0,6225). Se observa que la mitad de las observaciones están por debajo de 0.68 cm y la otra mitad por encima. Así mismo se evidencia que la mayoría de las observaciones están concentradas en un rango estrecho (entre 0,6225 y 0,7075). los valores de elasticidad del pan torta se distribuyen de manera simétrica, sin embargo, hay un valor atípico especialmente en el valor mínimo (0.48

cm), este valor puede representar variaciones en el proceso de producción o en la calidad de los ingredientes. La elasticidad parece tener una tendencia a ser más alta, ya que la mediana y el tercer cuartil están más cerca del límite superior del rango.

Tabla 26

Análisis de varianza para la elasticidad

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Panaderías	15	0.2962	0.019748	3.10	0.001
Error	48	0.3062	0.006379		
Total	63	0.6024			

La Tabla 26 evidencia los resultados del análisis de ANOVA aplicado a la elasticidad del pan torta elaborado en diferentes panaderías arrojando un valor de $p < 0.05$, lo cual significa que existen diferencias significativas en la elasticidad entre las panaderías evaluadas al nivel de confianza del 95 %. Esto sugiere que las panaderías no producen panes con la misma con el mismo comportamiento de la elasticidad y que el lugar de elaboración influye de manera significativa en esta propiedad textural. Estas diferencias posiblemente se deben a la formulación y condiciones de amasado, fermentación y cocción, siendo el contenido de gluten clave en esta propiedad de textura (Vicente et al., 2024; Martínez et al., 2015).

Tabla 27

Prueba de comparaciones múltiples tukey para las panaderías en relación a elasticidad, confianza de 95%

Panaderías	N	Media	Agrupación	
Sabor San Marquino	4	0.7900	A	
Triyomar	4	0.74375	A	
Rincón del Sabor	4	0.7138	A	
Banval	4	0.7125	A	
Imperial	4	0.7013	A	
Divino Maestro 2	4	0.6950	A	
Maranata	4	0.6813	A	B
La San Marquinita	4	0.6775	A	B
Niño Jesús	4	0.6750	A	B
Pan De Vida	4	0.6588	A	B
El Ingenio	4	0.6513	A	B
Panstel	4	0.6262	A	B
Bread	4	0.6212	A	B
Colmena	4	0.6162	A	B
Sánchez	4	0.5938	A	B
La Nutritiva	4	0.48125	B	

Los resultados obtenidos con la prueba de Tukey (Tabla 27) realizada con el objetivo de encontrar diferencias estadísticas entre panaderías en cuanto a la elasticidad. Se observa que la panadería Sabor San Marquino que solo pertenece al grupo A, presenta el mayor valor respecto a la elasticidad (0.79 cm) siendo estadísticamente mayor al de las otras panaderías como la panadería La Nutritiva (0.48 cm) que pertenece solamente al grupo B. Además, se observa que las demás panaderías tienen valores intermedios y que comparte grupo (A y B), lo cual indica que entre estas panaderías no existen diferencias significativas. La panadería Sabor San Marquino produce un pan con mejor elasticidad que coincide con otras

investigaciones Zegarra et al. (2019) en pan libre de gluten, Martínez et al. (2015) en pan libre de gluten con porcentajes de cmc, Pereira et al. (2010) en pan de queso y Singh et al. (2012) en panes con mezclas de harina de trigo y mijo.

4.5.4 Masticabilidad

En la Figura 18 se observa que los valores de masticabilidad vario entre 0.01 a 0.05 J. la panadería Pan de Vida, Niño Jesús, Banval y Sabor San Marquino son las que produce pan torta con valores más altos de masticabilidad lo que sugiere mayor resistencia a la desintegración durante la masticación, posiblemente el producto tiene una miga más compacta y menos elástica. Por otro lado, se observa que la panadería la nutritiva presenta el menor valor de masticabilidad, probablemente esta panadería produce panes con una miga más suave y fácil de masticar. Resultados similares fueron reportados por Moreno (2017) en panes con 100 % harina de trigo hallaron valores entre 0.02 a 0.03 J. Por otro lado, Chávez (2023) encontró que el pan semita con sustitución hasta de 20 % de harina de trigo por harina de maíz amarillo tenía 0.03 J de masticabilidad. Por su parte, Zegarra et al. (2019) encontró valores superiores a 0.05 J en pan con sustitución parcial por harina de cañihua. Estos hallazgos sugieren que la masticabilidad está asociada al tipo de harina, mientras mayor es la situación de la harina de trigo por otras harinas se requiere mayor energía para desintegrar el pan en la boca, otro factor importante es el proceso de horneado, aquí ocurre retrogradación del almidón que consiste en que las moléculas de almidón durante el horneado absorben agua y se gelatinizan, las cadenas de amilasa y amilopectina se desenrollan que al enfriarse estas cadenas se reorganizan y generan enlaces de hidrogeno entre sí, que expulsan una parte del agua absorbida, formando una estructura más rígida y menos soluble, que da lugar a la textura más firme y rígida exigiendo mayor energía para la desintegración (Wang et al., 2015).

Figura 18

Masticabilidad del pan torta

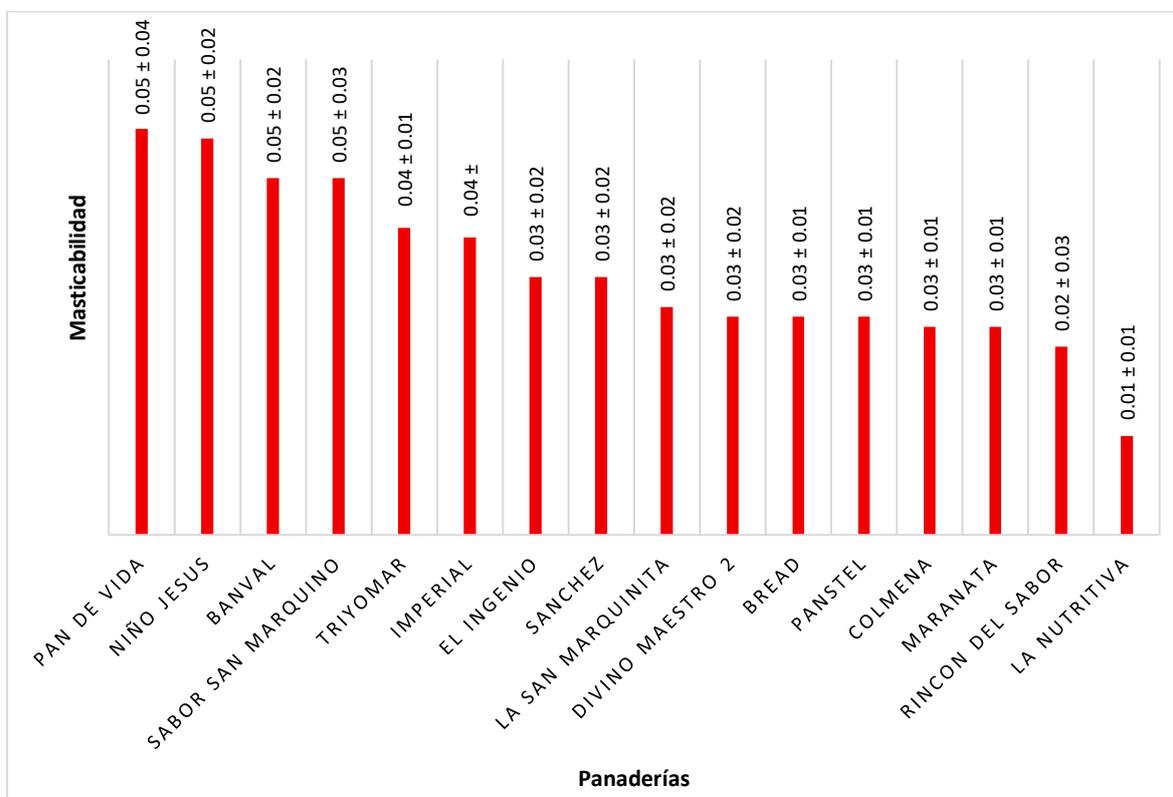


Tabla 28

Datos estadísticos de masticabilidad del pan torta

Descriptivos	Estadístico	Desv. Error
Media	0.0344	0.00288
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	0.0282 0.0405
Media recortada al 5%	0.0349	
Mediana	0.0300	
Varianza	0.000	
Desv. Desviación	0.01153	
Mínimo	0.01	
Máximo	0.05	

La Tabla 28 muestra los datos descriptivos para la masticabilidad del pan torta evaluado en diferentes panaderías el promedio fue 0.0344 ± 0.0029 J, con un intervalo de confianza de 95 % entre 0.0282 y 0.0405 J. La mediana fue de 0,0300, ligeramente menor a la media, lo que indica que hay distribución asimétrica, además sugiere que la mitad de las observaciones tienen una masticabilidad mayor o igual a 0.03 J.

La varianza es de 0.000, lo que indica que hay una variabilidad nula en la masticabilidad del pan torta. La desviación estándar es de 0.01153, lo que sugiere que la mayoría de las observaciones se encuentran dentro de un rango de aproximadamente $\pm 0,01$ unidades alrededor de la media y el rango va desde 0.01 a 0.05 J

Pese a que el valor máximo observado es 0.05 J y la desviación estándar de 0.01153 J refleja que los panes evaluados en su mayoría tienen un comportamiento que se sitúa dentro de un rango aceptable de masticabilidad. Las diferencias de masticabilidad encontradas se pueden atribuir a una variación en la formulación, contenido de humedad y condiciones de procesamiento tal es el caso del tiempo y temperatura de horneado entre panaderías (Zhang et al., 2014).

Tabla 29

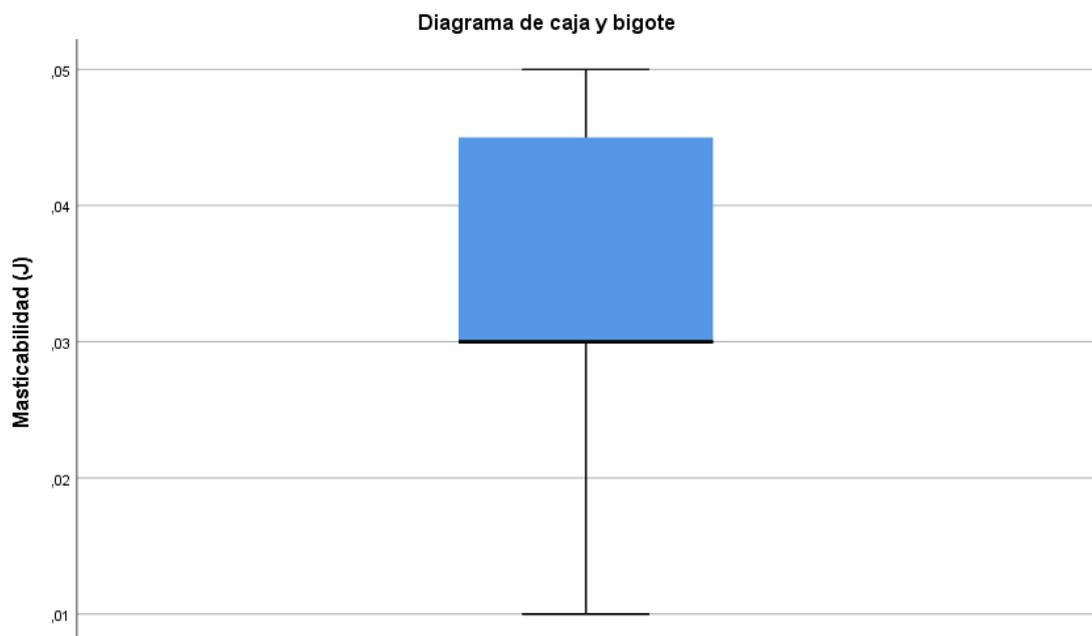
Cuartiles estadísticos de variable masticabilidad del pan torta

Estadísticos para la variable masticabilidad (J)		
N	Válido	16
	Perdidos	0
Cuartiles	25	0.0300
	50	0.0300
	75	0.0475

Los cuartiles estadísticos de la masticabilidad (Tabla 25) del pan torta revelan que el 50 % central de las muestras evaluadas tienen una masticabilidad comprendida entre 0.03 J (cuartil 25) y 0.0475 (cuartil 75), con una mediana de 0.03 J. esto indica que la mayoría de los panes de las diferentes panaderías evaluadas tienen valores de masticabilidad que está dentro de los resultados obtenidos en otras investigaciones, por lo tanto, se podría afirmar que el pan torta tradicional de Cajamarca cumple con los estándares de textura.

Figura 19

Diagrama de caja y bigote de la variable masticabilidad del pan torta



La Figura 19 muestra el diagrama de caja y bigote y se aprecia que el rango intercuartil es de aproximadamente 0.0175 (0,0475 - 0,0300). La mediana es de 0.0300, lo que indica que la mitad de las observaciones están por debajo de este valor y la otra mitad por encima. Se observa también que los cuartiles indican que la mayoría de las observaciones están concentradas en un rango estrecho (entre 0,0300 y 0,0475), así mismo no se observan valores atípicos. Se puede decir que la variable masticabilidad (J) tiene una distribución asimétrica con una mayor dispersión hacia la parte superior, ya que la mediana

y el primer cuartil están muy cerca entre sí, mientras que el tercer cuartil está más alejado. Tiene una concentración de valores en el rango inferior. que los datos son relativamente consistentes y no hay observaciones que se salgan significativamente de la norma. Existe una variabilidad en los valores más altos de masticabilidad del pan en comparación del bigote inferior que sus valores se encuentran más cerca a la media (Madrid et al. 2022). Por otro lado, el diagrama muestra que el valor mínimo está más cercano al primer cuartil que el valor máximo con respecto al tercer cuartil.

Tabla 30

Análisis de varianza para la masticabilidad

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Panaderías	15	0.006673	0.000445	1.17	0.323
Error	48	0.018188	0.000379		
Total	63	0.024861			

La Tabla 30 muestra los resultados del análisis ANOVA para la masticabilidad del pan torta elaborado en diferentes panaderías arrojando un valor de $p > 0.05$, lo cual significa que no existen diferencias significativas en la masticabilidad entre las panaderías evaluadas al nivel de confianza del 95 %. Esto sugiere que las panaderías producen panes con migas uniformes que requieren similar energía para su desintegración en la boca y que el lugar de elaboración no influye de manera significativa en esta propiedad, posiblemente utilizan los mismos ingredientes y su procesamiento es similar en todas las panaderías evaluadas. Estos resultados se alinean con otras investigaciones que han sustituido la harina de trigo por otras harinas en bajos porcentajes y han evidenciado variación significativa (Zegarra et al., 2019; Pereira et al., 2010).

4.6. Color

4.6.1 Luminosidad (L)

La luminosidad un parámetro importante ya que se asocia con la apariencia visual, es muy importante debido a su papel en las propiedades sensoriales que influye en la aceptabilidad del consumidor, además puede servir de indicador del grado de horneado (Ortiz et al., 2020). Los resultados de luminosidad del pan torta (Figura 11) mostraron valores entre 43.84 y 50.45, la panadería Maranata es la produce un pan con valor de L mayor en comparación con las otras panaderías, esto podría atribuirse al contenido de proteína que tiene el trigo contenido en su formulación, la Norma sanitaria hace referencia que el trigo blando rojo tiene menor contenido de proteína que confiere un color más blanco al producto. Otro factor importante que influye en la luminosidad del pan es el tiempo y temperatura de horneado, un valor bajo de luminosidad está asociado con exceso temperatura y de tiempo de horneado (Zhang et al., 2014). Estos resultados están por debajo de los reportados por Pereira et al. (2010) en pan con adición de queso ricota, los valores reportado para la luminosidad vario entre 75.98 y 82.50, estas diferencias lo atribuye al porcentajes de queso y harina de tapioca en la formulación del pan. De la misma manera Zegarra et al. (2019) encontraron que los valores de L vario en función del porcentaje de cañihua añadida en la formulación de pan libre de gluten, la muestra control obtuvo un valor de 85. 24 mientras que las muestras con diversos porcentajes de harina de cañihua vario entre 37.03 y 57.96.

Figura 20

Luminosidad del pan torta de diferentes panaderías

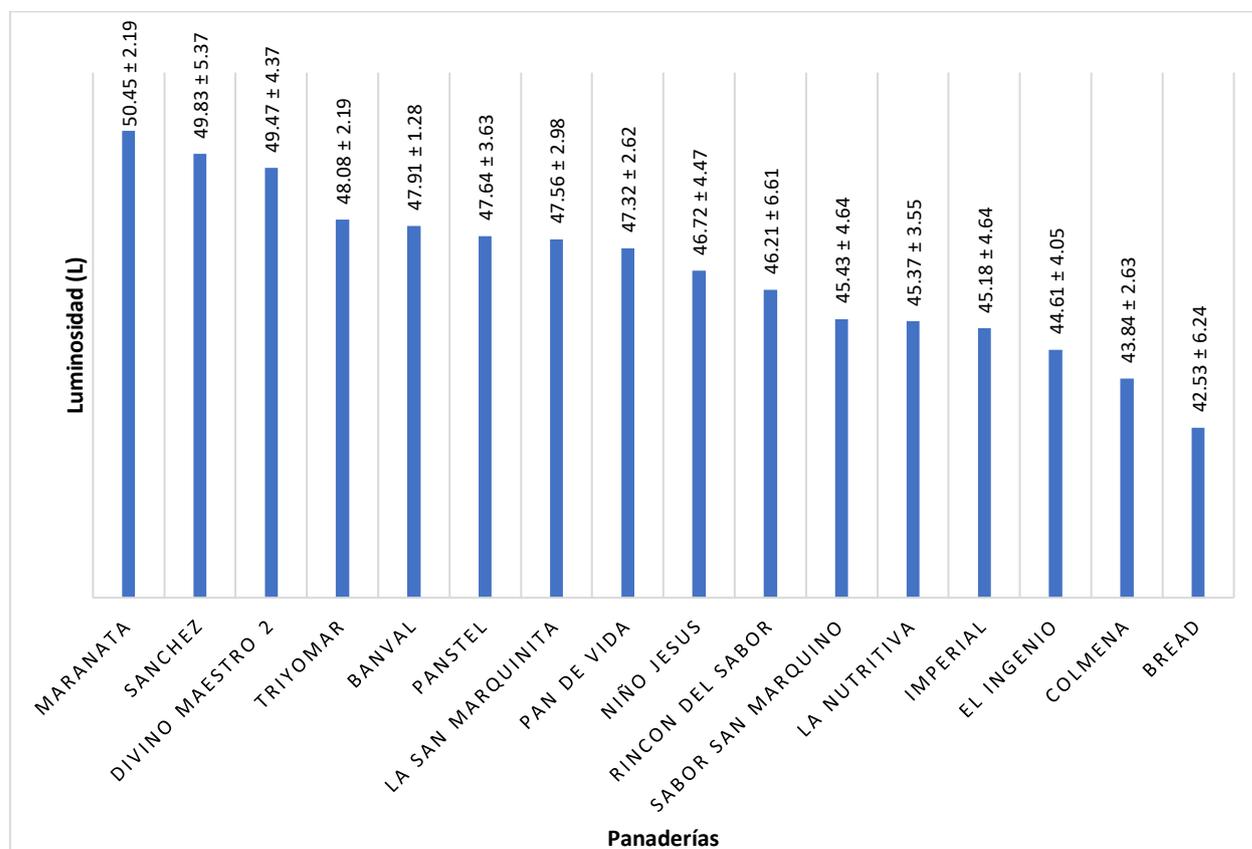


Tabla 31

Datos estadísticos de la variable luminosidad del pan torta

Descriptivos	Estadístico	Desv. Error
Media	46.7544	0.55304
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	4.5756 47.9331
Media recortada al 5%	46.7882	
Mediana	47.0200	
Varianza	4.894	
Desv. Desviación	2.21215	
Mínimo	42.45	
Máximo	50.45	

Los estadísticos descriptivos (Tabla 31), muestran que el promedio de luminosidad de los panes torta es 46.7544, lo que sugiere que la mitad de las observaciones tienen una luminosidad mayor o igual a 47.02 y que al recortarlo en un 5 % la media disminuye a 46.7882, estos resultados son consistentes con la literatura y están dentro de resultados reportados para diferentes tipos de pan (Zegarra et al., 2019).

Se observa una variabilidad moderada puesto que la varianza es de 4.894, con una desviación estándar es de 2,21215, es decir están dentro de un rango de $\pm 2,21$ unidades alrededor de la media. Esto indica que todas las panaderías procesan un pan torta con similares características y que no habría diferencias visibles.

Tabla 32

Cuartiles estadísticos para la variable luminosidad del pan torta

Estadísticos para la variable luminosidad (L)		
N	Válido	16
	Perdidos	0
Cuartiles	25	45.2275
	50	47.0200
	75	48.0375

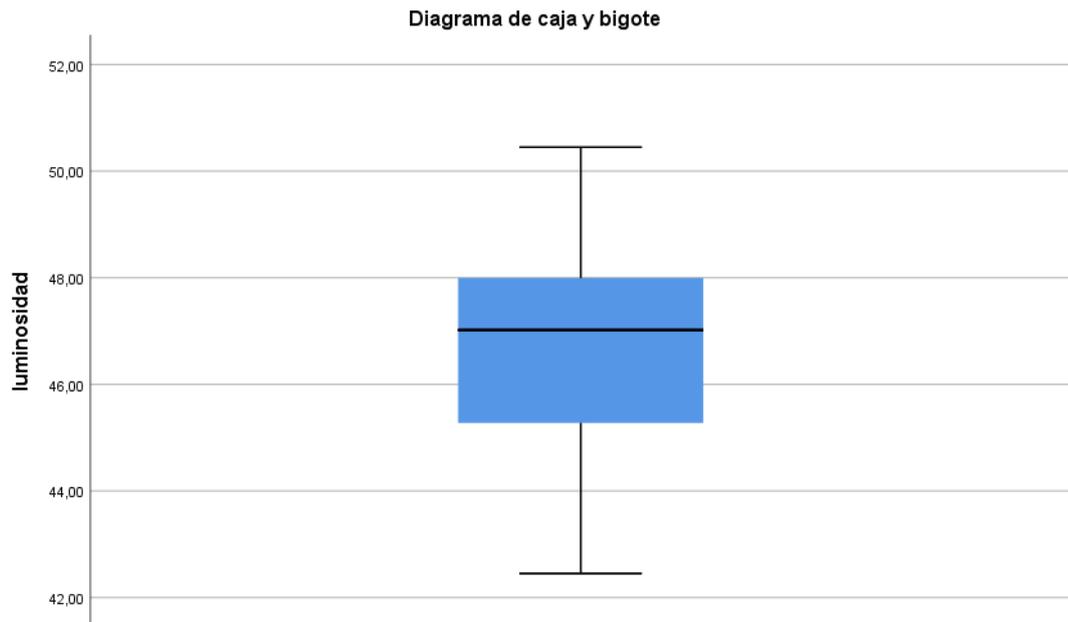
Los cuartiles estadísticos de la luminosidad (Tabla 32) revela que rango intercuartil es de 2.81, lo que sugiere que la mitad de las observaciones más cercanas a la mediana se encuentran dentro de un rango de aproximadamente $\pm 1,40$ unidades alrededor de la mediana.

El 50 % de las muestras evaluadas tienen una luminosidad comprendida entre 45.23 (cuartil 25) y 48.04 (cuartil 75), con una mediana de 47.02 y el 25 % restante tiene valores mayores a estos. Esto indica que las panaderías evaluadas producen panes con luminosidad

aceptable con pequeñas diferencias en comparación con otras investigaciones y que podrían estar asociadas a la diferencia en los ingredientes y en las condiciones de horneado (Zhang et al., 2014).

Figura 21

Diagrama de caja y bigote de la variable luminosidad del pan torta



El análisis estadístico mediante el diagrama de caja y bigotes (Figura 21) muestra que la luminosidad del pan torta producido en diferentes panaderías se encuentra en un rango entre 42.45 y 50.45, con una mediana de aproximadamente 47, esto indica una distribución homogénea sin presencia de valores atípicos. Este comportamiento es similar a lo hallazgos reportados por Gómez et al. (2005) en bizcocho con adición de sacarosa en diferentes porcentajes.

Tabla 33**Análisis de varianza para la luminosidad**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Panaderías	15	290.8	19.39	1.15	0.342
Error	48	809.6	16.87		
Total	63	1100.4			

En la Tabla 33 se reportan los resultados del análisis ANOVA para la luminosidad del pan torta elaborado producido por distintas panaderías se obtuvo un valor de $p > 0.05$, lo cual significa que no existen diferencias significativas en la luminosidad entre las panaderías evaluadas al nivel de confianza del 95 %, pese a que los resultados revelan cierta dispersión que varía entre 42.53 y 50.45. Esto sugiere que las panaderías producen panes uniformes posiblemente utilizan similares formulaciones y condiciones de horneado y que el lugar de elaboración no influye de manera significativa en esta propiedad del color (Singh et al., 2012).

4.6.2 Cromaticidad verde a rojo (a^*)

El color evaluado mediante CIELAB nos da diferentes parámetros uno de ellos es el a^* (Figura 22) este parámetro mide la tonalidad en el eje rojo -verde, los valores positivos implican una tendencia hacia el color rojo y valores negativos tendencia al color verde. Los resultados obtenidos que se evidencia en la Figura 22 muestran valores positivos es decir todas las muestras tienen una tendencia al color rojo indicador de la intensidad del tostado, durante el horneado se producen diferentes reacciones una de ellas es la reacción de Maillard y caramelización que forman colores marrones rojizos en la corteza del pan, un valor de a^* alto significa adecuada cocción en contraste un bajo valor significa deficiencias de cocción

(Singh et al., 2012). Los valores encontrados están dentro de un rango de 13.63 a 16.54. Estos resultados son similares a los reportados por Gómez et al. (2005) en bizcocho y Singh et al. (2012) en pan con sustitución parcial por harina compuestas de mijo.

Figura 22

Cromaticidad de verde a rojo del pan torta de diferentes panaderías

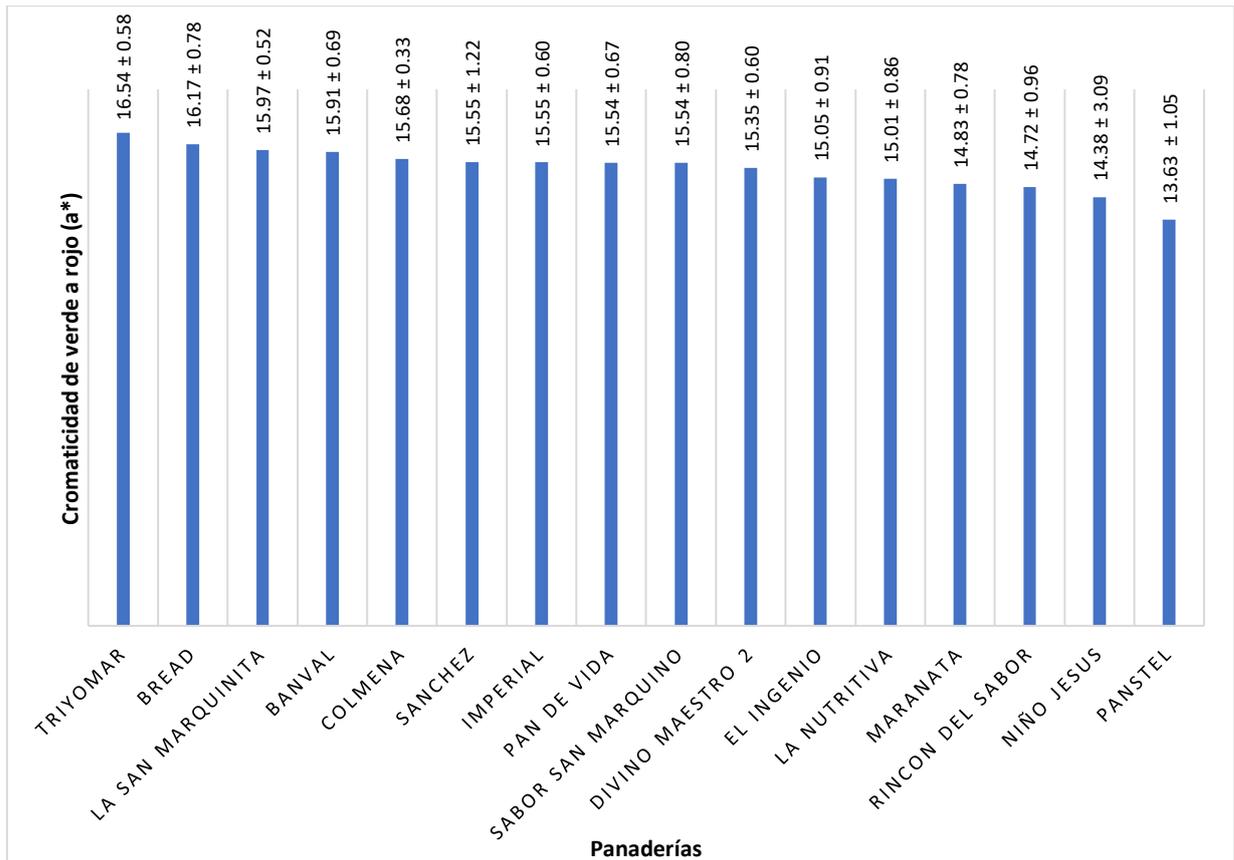


Tabla 34**Datos estadísticos de Cromaticidad de verde a rojo (a*) del pan torta**

Descriptivos	Estadístico	Desv. Error
Media	15.3388	0.18048
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	14.9541 15.7234
Media recortada al 5%	15.3669	
Mediana	15.5400	
Varianza	0.521	
Desv. Desviación	0.72193	
Mínimo	13.63	
Máximo	16.54	

Los estadísticos descriptivos de a* (Tabla 34) revelan que el promedio de a* del pan torta es de aproximadamente 15.34, lo que sugiere una fuerte tendencia hacia colores marrones rojizos característica de panes horneados con una buena reacción de Maillard. Por otro lado, muestra una desviación estándar de 0.72 indicando baja variabilidad (varianza 0.52) entre las muestras de las diferentes panaderías, posiblemente se debe a la uniformidad en los procesos de producción del pan. Según Miranda et al. (2019) valores de a* comprendidos entre 12 a 16 es indicativo de pan con una corteza bien desarrollada y un color atractivo inducidas por las reacción de Maillard y la caramelización.

Tabla 35

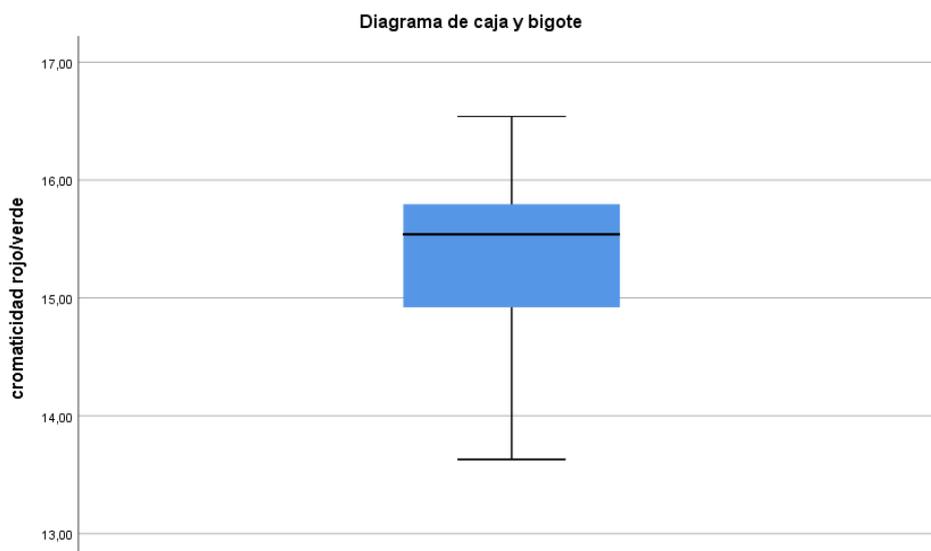
Cuartiles estadísticos de la cromaticidad del pan torta

Estadísticos para la variable cromaticidad rojo/verde		
N	Válido	16
	Perdidos	0
Cuartiles	25	14.8750
	50	15.5450
	75	15.8525

El análisis de cuartiles del parámetro a^* (Tabla 35) reveló una mediana de 15.54 con un rango intercuartil 0.98, esta distribución estrecha sugiere uniformidad en el color rojizo del pan torta producido por distintas panaderías, este resultado es adecuado para la aceptabilidad sensorial. Sin embargo valores menores han sido reportados por otros investigadores Ortiz et al. (2020) en pan de trigo enriquecido con β -glucano utilizando fibra de avena soluble, Pereira et al. (2010) en pan con sustitución parcial por harina de tapioca y queso ricota.

Figura 23

Diagrama de caja y bigote de la variable cromaticidad de rojo a verde del pan torta



La Figura 23 se muestra el rango intercuartil es de aproximadamente 0,98 y la mediana (50%) es de 15. 54, lo que indica que la mitad de las observaciones están por debajo de este valor y la otra mitad por encima, se observa que los cuartiles indican que la mayoría de las observaciones están concentradas en un rango estrecho (14.8750 y 15.8525). Los bigotes indican que no hay valores atípicos o extremos en los datos por lo tanto podemos decir que la variable cromaticidad rojo/verde tiene una distribución relativamente simétrica ya que la mediana está cerca del centro de la caja y los bigotes son similares en longitud. Sin valores atípicos sugiere que los datos son relativamente similares, como ya se venía explicando esto se debe a la uniformidad en las formulaciones y en los parámetros de horneado, tal como lo explica Dziki et al. (2021) donde si encontraron diferencias significativas a medida que aumentaban los porcentajes de fruta en el pan de trigo. Esto se reafirma en la Tabla 36 en la cual se reportan los resultados del análisis ANOVA aplicado al parámetro a* del pan torta producido en diferentes panaderías. El valor de $p > 0.05$ lo cual indica que no hay diferencias significativas en el parámetro a* entre las panaderías evaluadas

al nivel de confianza del 95 %, pese a que los resultados revelan cierta dispersión que varía entre 13.63 y 16.54. mostrando uniformidad en el proceso de producción.

Tabla 36

Análisis de varianza para la cromaticidad verde - rojo (a*)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Panaderías	15	31.17	2.078	1.74	0.074
Error	48	57.36	1.195		
Total	63	88.53			

4.6.3 Cromaticidad azul a amarillo (b*)

El color evaluado mediante CIELAB nos da diferentes parámetros uno de ellos es el b* (Figura 22) este parámetro mide la tonalidad en el eje amarillo a azul, los valores positivos implican una tendencia hacia el color amarillo y valores negativos tendencia al color azul, valores altos de b* significan que los panes tienen un color dorado típico en productos de panificación debido a las reacciones de Maillard y caramelización ocurridas en el proceso de horneado, medirlo permite identificar diferencias entre las formulaciones, optimizar el proceso de cocción y asegurar la aceptabilidad de los consumidores (Singh et al., 2012). Los resultados obtenidos en esta investigación del parámetro b* (Figura 24) están en un rango de 24.58 a 28.62, valores positivos que indica un buen desarrollo de la corteza y adecuada reacción de Maillard. Estos resultados están por encima de los reportados por Singh et al. (2012) en pan con harina de mijo, Ortiz et al. (2020) en pan de trigo enriquecido con harina de avena. Estas diferencias se podrían atribuir a la diferencia en los ingredientes y a los parámetros del proceso de horneado.

Figura 24

Cromaticidad de azul a amarillo del pan torta

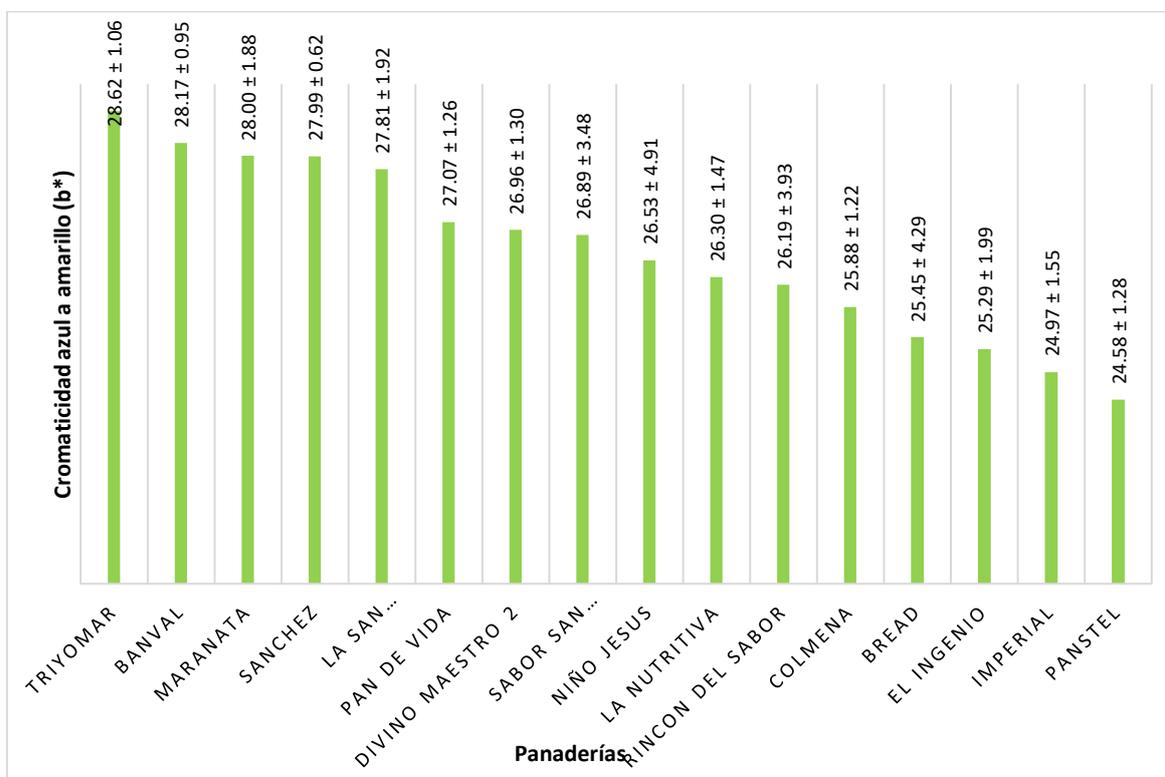


Tabla 37

Datos estadísticos de Cromaticidad de azul a amarillo del pan torta

Descriptivos	Estadístico	Desv. Error
Media	26.0438	0.81226
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	24.3125 27.7750
Media recortada al 5%	26.5375	
Mediana	26.7100	
Varianza	10.556	
Desv. Desviación	3.24903	
Mínimo	24.58	
Máximo	28.62	

Los estadísticos descriptivos de b^* (Tabla 37) revelan que el promedio de a^* del pan torta es de aproximadamente 26.04, lo que sugiere un color amarillo predominante característico de panes horneados con una buena reacción de Maillard. Por otro lado, muestra una desviación estándar de 3.24 indicando moderada variabilidad (varianza 10.55) entre las muestras de las diferentes panaderías, posiblemente se debe a una desviación en los procesos de producción del pan. Este resultado es mayor a los reportados por otros investigadores como Dziki et al. (2021) en pan de trigo con adición de frutas, aseguran que la formación del color amarillo está influenciado por los ingredientes y condiciones de cocción del pan.

Tabla 38

Cuartiles estadísticos de la variable cromaticidad de azul a amarillo del pan torta

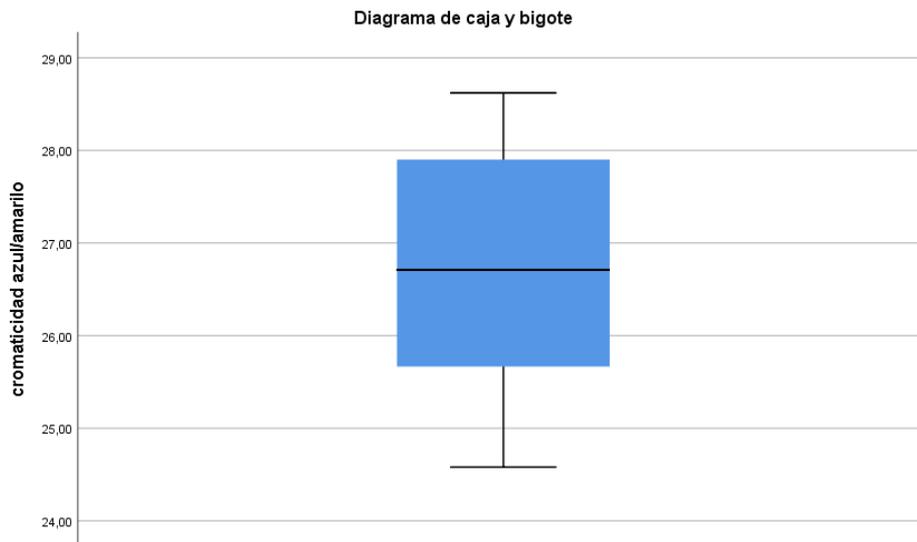
Estadísticos para la variable cromaticidad azul/amarillo		
N	Válido	16
	Perdidos	0
Cuartiles	25	25.5575
	50	26.7100
	75	27.9450

Los cuartiles ($Q1 = 25.56$; $Q2 = 26.71$; $Q3 = 27.95$) (Tabla 38) muestran una distribución muy concentrada, indicando que el 50% central de las muestras se encuentra dentro de un rango intercuartil de 2.39, lo que refleja una buena uniformidad en el color amarillo deseado en la mayoría de los panes. Comparado con estudios como los de Singh et al., (2012) y Zegarra et al. (2019) que reportaron valores de b^* (entre 0.03 y 19.1) para panes con buena aceptación sensorial son menores a los encontrados en esta investigación, esta

diferencia se atribuye a la variación de ingredientes cabe mencionar que en el estudios anteriores se utilizó harinas diferentes a la de trigo.

Figura 25

Diagrama de caja y bigote de la variable cromaticidad azul/amarillo del pan torta



El valor b^* del pan torta, con mediana de 26.5 y rango intercuartílico aproximadamente de 2.3875 (Figura 25), refleja una tonalidad amarilla consistente con lo descrito por Koç y Atar (2023), quienes indican que las reacciones de Maillard junto con compuestos fenólicos aumentan el parámetro b^* durante el proceso de horneado.

No obstante, en la Tabla 39 en la cual se reportan los resultados del análisis ANOVA aplicado al parámetro b^* del pan torta producido en diferentes panaderías mostró que no existen diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) entre panaderías en relación con la cromaticidad b^* del pan torta, lo cual sugiere una homogeneidad en el tono amarillo del producto evaluado. Este hallazgo es consistente con estudios como el de Vega et al. (2018) quienes reportaron que, a pesar de diferencias en formulación, el color tiende a mantenerse estable siempre que las condiciones de horneado y tipo de harina sean similares. Mientras que Singh et al. (2012) si encontraron diferencias significativas en el parámetro b^* a medida que el porcentaje de reemplazo de la harina de trigo por la harina de mijo aumento.

Por tanto, a tratarse de un solo tipo de pan en este caso el pan torta se encuentra similitud en las diferentes panaderías, es decir todas ellas elaboran estos productos con formulaciones similares y aplican los mismos parámetros en el proceso de elaboración.

Análisis de varianza para la cromaticidad amarillo - azul (b*)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Panaderías	15	91.36	6.091	1.03	0.444
Error	48	284.08	5.918		
Total	63	375.44			

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El pan torta presenta una densidad aparente de entre 0.13 y 0.20 g/cm³, lo que hace que su textura sea ligera, esponjosa y favorable; el volumen específico osciló entre 145.92 cm³/100g y 253.33 cm³/100g, muestra una buena retención de aire y una miga suave y aireada; la humedad tuvo un rango entre 18.59% y 27.58%, que da cuenta de una adecuada conservación y textura fresca, además de otras propiedades importantes para la calidad y vida útil del producto.
- La luminosidad (L*) fue desde 43.84 hasta 50.45, un color claro y visualmente atractivo. En el caso de a* (cromaticidad de verde a rojo) se presentaron valores que oscilaron entre 13.63 y 16.54, lo que da cuenta de una ligera tonalidad rojiza propia del dorado superficial por efecto del horneado, mientras que la cromaticidad b* (de azul a amarillo) se vio oscilando entre 24.58 y 28.62, lo que hace que la tonalidad amarilla sea moderada, pero siempre uniforme y deseable en productos horneados; evidencian buena uniformidad en el color, elemento que es fundamental en la aceptación del consumidor.
- Los diagramas de caja y bigote dieron a conocer variables como densidad, humedad, pH, cohesividad, elasticidad, luminosidad, cromaticidad a* y b* las cuales se distribuyen con simetría que evidencian una buena composición y estructura interna de los panes entre las panaderías estudiadas conforme a lo evaluado; al margen de las variables como el volumen, dureza y masticabilidad mostraron distribución asimétrica, evidenciando mayor variabilidad entre muestras, lo que podría incidir en la percepción de textura y aceptabilidad sensorial del producto final.

5.2. Recomendaciones

- Evaluación de la calidad microbiológica del pan torta en diferentes etapas de producción para identificar posibles puntos críticos en el proceso de producción.
- Análisis de la presencia de contaminantes químicos (aditivos alimentarios no autorizados) en el pan torta de Cajamarca.
- Desarrollo de un sistema de control de calidad basado en la norma ISO 22000, para la producción de pan torta en Cajamarca.
- Desarrollo de un pan torta enriquecido con nutrientes esenciales, como hierro o vitamina B12, para contribuir a la seguridad alimentaria y nutricional de Cajamarca.
- Hacer un estudio de aceptabilidad con mayor énfasis en las panaderías con valores menores y fuera del rango establecido por la norma y otras investigaciones en todas las variables evaluadas.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Astiz, V., Salinas, M. V., & Puppo, M. C. (2023). Propiedades fisicoquímicas de harinas de trigo y avena de alta calidad panadera. *Revista de La Facultad de Agronomía*, 121(2), 113. <https://doi.org/10.24215/16699513e113>
- Bello, A. S., y Castrejón, M. J. (2019). Propuesta De Implementación De La Matriz De Polivalencia Iluo Para Incrementar Sus Niveles De Productividad En Una Empresa Panificadora, Cajamarca 2019. Tesis De Pregrado, Univerddidad Privada Del Norte. Perú, 0–116.
- Bonilla, L. A., & Maldonado, E. (2005). Estandarización del Proceso de Panificación en la Empresa Ricuras de la Ciudad de Puerto Tejada. *Trabajo de Pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Colombia.*
- Borja, M. (2016). Metodología de la Investigación Científica Para Ingenieros.
- Bustamante, B. (2019). Aplicación De Pre Fermentado Liquido (Poolish), Para Optimizar La Formulación Del Pan Libre De Gluten A Base De Harina De Arroz. Tesis De Pregrado, Univerddidad Nacional Del Callao. Perú, 56.
- Calvo, M. De La C., López, O. X., Carranco, M. E., y Jared, M. (2020b). Evaluación Físicoquímica Y Sensorial De Un Pan Tipo Baguette Utilizando Harinas De Trigo (*Triticum Spp*) Y Chícharo (*Pisum Sativum L.*). *Revista De Ciencias Biológicas Y De La Salud*, 3(23), 116–124.
- Chávez, R. (2023). Evaluación del perfil de textura de pan elaborados con sustitución parcial de harina de trigo por harina de maíz. *Tesis de Pregado. Universidad Nacional de Cajamarca. Perú,* 1–90. [chrome-extension://efaidnbmninnibpcjpcglclefindmkaj/https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/5910/EVALUACIÓN DEL PERFIL DE TEXTURA DE PAN](https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/5910/EVALUACIÓN%20DEL%20PERFIL%20DE%20TEXTURA%20DE%20PAN)

ELABORADOS CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE HARINA DE TRIGO POR
HARINA DE MAÍZ.pdf?sequence=1&isAllowed

- Codex Stan 118-1979. (2015). Norma Relativa A Los Alimentos Para Regímenes Especiales Destinados A Personas Intolerantes Al Gluten.
- Covinich, M. M., Neis, E. R., y Scipioni, G. P. (2019). Volumen Específico, Porosidad Y Propiedades Texturales De Panes Artesanales Elaborados Con Extractos Obtenidos De Subproductos De La Yerba Mate.
- Delmoro, J., Muñoz, D., Nadal, V., Clementz, A., y Pranzetti, V. (N.D.). El Color En Los Alimentos: Determinación De Color En Mieles.
- Dziki, D., Cacak-Pietrzak, G., Hassoon, W. H., Gawlik-Dziki, U., Sułek, A., Różyło, R., & Sugier, D. (2021). The fruits of sumac (*Rhus coriaria* L.) as a functional additive and salt replacement to wheat bread. *Lwt*, *136*(October 2020).
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110346>
- Edel, A., & Rosell, C. (2007). *De Tales Harinas, Tales Panes* (1a ed).
<http://hdl.handle.net/20.500.12324/20246>
- Esteller, M. S., & Lannes, S. C. (2005). Parámetros Complementarios De Fijación De Identidad Y Calidad De Los Productos Horneados. *Ciencia Y Tecnología De Alimentos*. Campinas, 25(4).
- García Arámbulo, R. J., & Menchán Lloncop, J. (2022a). Optimización De Las Características Texturales Y Sensoriales Del Pan De Molde A Base De Harina De *Prosopis Pallida*, *Amaranthus Caudatus* Y Almidón De Papa. Trabajo De Pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Perú.
- García, R. J., y Menchán, J. (2022b). Optimización De Las Características Texturales Y Sensoriales Del Pan De Molde A Base De Harina De *Prosopis Pallida*, *Amaranthus*

- Caudatus Y Almidón De Papa. Trabajo De Pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Perú.
- García, M. Á., García, A. E., De La Cruz, E., & Bardales, J. R. (2023). Effect of partial substitution of wheat flour by pituca (*Colocasia esculenta*) puree on the quality of french type bread. *Agroindustrial Science*, *13*(1), 23–31. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2023.01.03>
- Gómez, K. Y., Caballero, L. A., y Maldonado, Y. Del C. (2021). Mejora De Un Proceso Productivo De Elaboración De Pan. *Revista De Ingeniería E Innovación*. Colombia.
- Gómez, M., Ronda, F., Blanco, C. A., & Caballero, P. A. (2005). Effects of polyols and nondigestible oligosaccharides on the quality of sugar-free sponge cakes. *Food Chemistry*, *90*(4), 549–555. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.05.023>
- Gómez, M., Ronda, F., Blanco, C. A., Caballero, P. A., & Apesteguía, A. (2003). Effect of dietary fibre on dough rheology and bread quality. *European Food Research and Technology*, *216*(1), 51–56. <https://doi.org/10.1007/s00217-002-0632-9>
- Hernandez, R. (2014). *Metodología de la Investigación* (S. A. D. C. . McGRAW-WILL/INTERAMERINACA EDITORES (ed.); 6ta ed.). <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Ho, L. H., Abdul Aziz, N. A., & Azahari, B. (2013). Physico-chemical characteristics and sensory evaluation of wheat bread partially substituted with banana (*Musa acuminata* X *balbisiana* cv. Awak) pseudo-stem flour. *Food Chemistry*, *139*(1–4), 532–539. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.01.039>
- Koç, B., & Atar Kayabaşı, G. (2023). Enrichment of White Wheat Bread with Pistachio Hulls and Grape Seeds: Effect on Bread Quality Characteristics. *Applied Sciences (Switzerland)*, *13*(6). <https://doi.org/10.3390/app13063431>

- Kong. (2014). El Color En Los Alimentos Un Criterio De Calidad Medible. *Agro Sur*, 42(2), 57–66. <https://doi.org/10.4206/Agrosur.2014.V42n2-07>
- Lopez, G. (2019). Costeo De Producción Y Determinación De Precios En El Sector Panadería. Caso Panadería Rosmery. 75.
- Madrid, A. E., Valenzuela, S. M., Batanero, C., y Garzón, J. A. (2022). Interpretación Del Diagrama De Caja Por Estudiantes Universitarios De Ciencias De La Actividad Física Y Deporte. *Educacion Matematica*, 34(3), 275–300. <https://doi.org/10.24844/Em3403.10>
- Martínez-Jiménez, A., Martínez-Jiménez, F., Rodríguez-Sandoval, E., & Soledad Hernández-Gómez, M. (2015). *Impact of Carboxymethylcellulose and Water Addition on Baking Quality and Physicochemical Properties of Gluten-Free Bread*. 18(2), 445–454.
- Mastromatteo, M., Guida, M., Danza, A., Laverse, J., Frisullo, P., Lampignano, V., & Del Nobile, M. A. (2013). Rheological, microstructural and sensorial properties of durum wheat bread as affected by dough water content. *Food Research International*, 51(2), 458–466. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.01.004>
- Márquez, A. K. (2007a). “Elaboración y Evaluación de un Producto De Panificación Con Harina De Cebada .” Tesis De Pregrado, Universidad Autónoma Del Estado De Hidalgo. México.
- Márquez, A. K. (2007b). “Elaboración y Evaluación de un Producto de Panificación Con Harina De Cebada .” Tesis De Pregrado, Universidad Autónoma Del Estado De Hidalgo. México.
- Mathias, K., & Ah-Hen, K. (2014a). El Color En Los Alimentos Un Criterio De Calidad Medible. *Agro Sur*, 42(2), 57–66. <https://doi.org/10.4206/Agrosur.2014.V42n2-07>

- Mathias, K., & Ah-Hen, K. (2014b). El Color En Los Alimentos Un Criterio De Calidad Medible. *Agro Sur*, 42(2), 57–66. <https://doi.org/10.4206/Agrosur.2014.V42n2-07>
- Mesas, J. M., & Alegre, M. T. (2009). El Pan Y Su Proceso De Elaboración. *Cyta - Jornal Of Food*, 3(5), 307–313. <https://doi.org/10.1080/11358120209487744>
- Miranda, K. C., Sanz-Ponce, N., & Haros, C. M. (2019). Evaluation of technological and nutritional quality of bread enriched with amaranth flour. *Lwt*, 114(March), 108418. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108418>
- Morales, H. M. (2014). Control De Calidad En Las Panaderías Del Municipio De El Progreso, Jutiapa. Tesis De Pregrado, Universidad Rafael Landívar. Guatemala.
- Nobile, M. A. (2013). Rheological, microstructural and sensorial properties of durum wheat bread as affected by dough water content. *Food Research International*, 51(2), 458–466. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.01.004>
- Ortiz, M., He, F., Wang, T., & Chen, G. (2020). Development of β -glucan enriched wheat bread using soluble oat fiber. *Journal of Cereal Science*, 95(July), 103051. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.103051>
- Pereira, P. A. P., Ramos, T. de M., Gajo, A. A., & Gomes, U. J. (2010). Viabilidade da utilização de queijo tipo ricota na elaboração de pão de queijo. *Ciência Rural*, 40(11), 2356–2360. <https://doi.org/10.1590/s0103-84782010005000179>
- Peressini, D., & Sensidoni, A. (2009). Effect of soluble dietary fibre addition on rheological and breadmaking properties of wheat doughs. *Journal of Cereal Science*, 49(2), 190–201. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.09.007>
- Perez, C., & Luzuriaga, O. (2010). Caracterización de la Harina de Semillas de Amaranto *AmaranthusCaudatus* para Elaboración de Pan en Mezclas con Harina de Trigo. *Quimica Central*, 1(01), 61–70.

- Pelàez, J. C., Basant, D. A., y Prado Cadavid, F. (N.D.). Densidad Aparente Y Densidad Real.
- Ríos, S. (2009a). La Panadería Tradicional Del Perú Y Sus Expresiones Plásticas. Repositorio Digital Cidap, 69, 125–148.
- Ríos, S. (2009b). La Panadería Tradicional Del Perú Y Sus Expresiones Plásticas. Repositorio Digital Cidap, 69, 125–148.
- Rodas, L. R. (2013). Universidad Del Azuay Facultad De Ciencia Y Tecnología. Trabajo De Pregrado, Universidad Del Azuay. Ecuador.
- Rodríguez, R. (2021). Evaluación Del Grado De Sustitución Del Grano De Trigo (*Triticum Durum* L.) Por Harina De Loche (*Cucurbita Moschata* Duch.) En La Elaboración De Pan Molde. Tesis De Pregrado, Univerdidad Señor De Sipán. Perú.
- Singh, K. P., Mishra, A., & Mishra, H. N. (2012). Fuzzy analysis of sensory attributes of bread prepared from millet-based composite flours. *Lwt*, 48(2), 276–282. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.03.026>
- Surco, J. C., & Alvarado, J. A. (2010). Harinas Compuestas De Sorgo-Trigo Para Panificación. *Revista Bolivariana de Química*, 27(1), 19–28.
- Suárez, J. R., Hernández, C., Domínguez, F. A., y Aceves, F. J. (2022a). Caracterización De La Guayaba Cultivada En México. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 13(7), 1233–1245.
- Suárez, J. R., Hernández, C., Domínguez, F. A., y Aceves, F. J. (2022b). Caracterización De La Guayaba Cultivada En México. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 13(7), 1233–1245.
- Suca, C. A., Suca, F., y Rojas, D. C. (2022). Clasificación De Pan Francés Según Sus Propiedades Fisicoquímicas Mediante La Aplicación De Los Análisis De

- Conglomerados Y Discriminante. *Información Tecnológica*, 33(1), 259–270.
<https://doi.org/10.4067/S0718-07642022000100259>
- Talens, P. (2017). Caracterización de las propiedades mecánicas de alimentos mediante análisis de perfil de textura. *Universitat Politècnica de València*, 1–6.
<https://riunet.upv.es/handle/10251/83513>
- Tanta, L. (2015). Diseño De Manual De Procedimientos Para Optimizar Los Procesos En El Area De Producción En La Panadería Y Pastelería “El Padrino” Cajamarca.
- Torpoco Vivas, N. A. (2014). Evaluacion De La Calidad Panadera De 4 Lineas Promisorias De Trigo De La Estacion Experimental Santa Ana Inia - Huancayo. Tesis De Pregrado, Universidad Nacional Del Centro Del Perú. Perú.
- Triola, M. F. ., y Pineda Ayala, L. Esther. (2009). Estadística (10a. Ed.). Pearson Educación.
- Vásquez, F., Verdú, S., Islas, A., Barat, J., Grau, R., & Casillas, R. (2017). Efecto de la sustitución de harina de trigo con harina de avena, maíz y sorgo sobre las propiedades reológicas de la masa, texturales y sensoriales del pan. *Investigación y Ciencia de La Universidad Autónoma de Aguas Calientes*, 3917, 25–31.
- Vega, O., De Marco, R., & Di Risio, C. (2018). Propiedades físicas y sensoriales de un pan fresco, con la adición de las enzimas Lacasa, Xilanasas y Lipasa. *Revista EIA*, 87–100.
<https://doi.org/10.24050/reia.v0i0.635>
- Vegatoscano, R. F. (2019). Determinación De Vida Util Del Pan. Tesis De Pregrado, Universidad Nacional Del Callao, 1–56.
- Vergara Ortega, L. L. (2022). Caracterización De La Porosidad En Pan De Molde Mediante Técnicas De Análisis Digital 2d. Trabajo De Posgrado, Universidad Técnica Estatal De Quevedo. Ecuador, 78.
- Vicente, A., Villanueva, M., Caballero, P. A., Lazaridou, A., Biliaderis, C. G., & Ronda, F. (2024). Microwave treatment enhances the physical and sensory quality of quinoa-

- enriched gluten-free bread. *Food Hydrocolloids*, 155(March), 110244.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110244>
- Villanueva, R. (2014). El Gluten Del Trigo Y Su Rol En La Industria De La Panificación. *Ingeniería Industrial*, Universidad De Lima. Perú, 32, 231–246.
- Wang, S., Li, C., Copeland, L., Niu, Q., & Wang, S. (2015). Starch Retrogradation: A Comprehensive Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(5), 568–585. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12143>
- Yela, A. L. A. (2004). Determinación de Proteínas, Cenizas, Solidos Totales, Humedad, Grado de Imbibición, pH y Cloruro de Sodio De Diferentes Marcas De Pan Blanco Tipo Sándwich De Consumo Masivo En Guatemala. Tesis De Pregrado, Universidad De San Carlos De Guatemala.
- Zegarra, S., Muñoz, A. M., & Ramos-Escudero, F. (2019). Elaboration of a gluten-free bread based on cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) flour and sensory acceptability evaluation. *Revista Chilena de Nutricion*, 46(5), 561–570.
<https://doi.org/10.4067/S0717-75182019000500561>
- Zhang, L., Huang, S., Ananingsih, V. K., Zhou, W., & Chen, X. D. (2014). A study on *Bifidobacterium lactis* Bb12 viability in bread during baking. *Journal of Food Engineering*, 122(1), 33–37. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.08.029>

VII. ANEXOS

Anexo 1

Precios del pan torta en cada panadería

N°	Razón Social	Precio
1	Banval	5 unidades x 1 sol
2	Panstel	5 unidades x 1 sol
3	Maranata	5 unidades x 1 sol
4	Colmena	3 unidades x 1 sol
5	Niño Jesús	5 unidades x 1 sol
6	Pan De Vida	5 unidades x 1 sol
7	La San Marquinita	5 unidades x 1 sol
8	Rincón del Sabor	4 unidades x 1 sol
9	La Nutritiva	6 unidades x 1 sol
10	El Ingenio	4 unidades x 1 sol
11	Imperial	4 unidades x 1 sol
12	Divino Maestro 2	4 unidades x 1 sol
13	Triyomar	5 unidades x 1 sol
14	Sánchez	5 unidades x 1 sol
15	Sabor San Marquino	5 unidades x 1 sol
16	Bread	5 unidades x 1 sol

Anexo 2

Panel fotográfico

