

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALÚRGIA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**



TESIS:

Optimización de los niveles de ácido ascórbico, almidón y cloruro de calcio en las características físicas y químicas de piña (*Ananas comosus*) procesada con tecnología de IV gama

Para optar el título profesional de:
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

PRESENTADO POR:
Bach. Byron Raul MIRANDA POMA
Bach. Edwin Maximo LOPEZ FLORES

ASESOR:
Dr. Antonio Jesús MATOS ALEJANDRO

AYACUCHO - PERÚ

2025

DEDICATORIA

Dedicamos el presente trabajo a nuestras Madres, que siempre nos alientan a ser cada vez mejor y así lograr nuestro desarrollo profesional, a nuestras esposas y a nuestros hijos, que siempre nos motivan a lograr nuestros objetivos con perseverancia.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por su bendición y por darnos fuerza para lograr nuestros objetivos.

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga que nos brindó la oportunidad de superación profesional.

A mis maestros de la UNSCH que nos compartieron sus conocimientos para fortalecer nuestras capacidades y competencias.

A nuestro asesor, el Dr. Antonio Jesús, MATOS ALEJANDRO por brindarnos las guías para producir y desarrollar este estudio de investigación.

RESUMEN

La presente investigación tiene por objetivo el optimizar los niveles de ácido ascórbico, almidón de papa y cloruro de calcio en las características físicas y químicas de la piña procesada con tecnología de IV gama, esto en el contexto de una problemática sobre la conservación de piña en optimas cualidades fisicoquímicas mínimamente procesada para el consumo en Ayacucho, donde se presentan pérdidas significativas debido a deficientes prácticas desde la postcosecha y la comercialización. Factores críticos como la temperatura, la humedad y la falta de tecnologías adecuadas influyen negativamente en la calidad del producto. Los objetivos específicos de la investigación incluyen determinar los niveles óptimos de ácido ascórbico, almidón de papa y cloruro de calcio en los sólidos solubles, pH y pérdida de masa de la piña procesada con tecnología de IV gama, así también, evaluar el efecto de estos compuestos en la acidez titulable y el contenido de ácido ascórbico. La hipótesis plantea que los niveles óptimos de estos compuestos mejorarán significativamente las características físicas y químicas de la piña procesada. Para ello, se utilizó la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR) para modelar y analizar la influencia de las variables independientes (porcentajes de cloruro de calcio, almidón de papa y ácido ascórbico) en las variables dependientes (sólidos solubles, acidez titulable, pH, pérdida de masa y contenido de ácido ascórbico). Los experimentos se diseñaron utilizando el Diseño Compuesto Central Rotable (DCCR), permitiendo así una optimización precisa de las condiciones experimentales. Los resultados indicaron que se lograron los niveles óptimos de sólidos solubles (mínimo de 12%) al utilizar 1,50202% de cloruro de calcio, 2,51132% de ácido ascórbico y 1,46597% de almidón de papa. En cuanto a la acidez total, el nivel óptimo (4.58-6.10) se obtuvo con 1,50567% de cloruro de calcio, 2,51134% de ácido ascórbico y 4,02795% de almidón de papa. Las interacciones de los factores evaluados mostraron variaciones mínimas en el pH.

Palabra clave: *Ácido ascórbico, Cloruro de calcio, Tecnología de IV gama, Sólidos solubles, Superficie de respuesta*

ABSTRACT

The objective of this research is to optimize the levels of ascorbic acid, starch, and calcium chloride in the physical and chemical characteristics of pineapple processed with IV range technology. This is in the context of a problem in pineapple production in Ayacucho, where significant losses occur due to deficient postharvest and commercialization practices. Critical factors such as temperature, humidity, and lack of adequate technologies negatively impact product quality. In this context, the research focuses on identifying the optimal levels of certain compounds that can improve the preservation and quality of pineapple.

The specific objectives of the research include determining the optimal levels of ascorbic acid, starch, and calcium chloride in the soluble solids, pH, and mass loss of pineapple processed with IV range technology and evaluating the effect of these compounds on titratable acidity and ascorbic acid content. The hypothesis posits that the optimal levels of these compounds will significantly improve the physical and chemical characteristics of processed pineapple.

To achieve this, Response Surface Methodology (RSM) was used to model and analyze the influence of independent variables (percentages of calcium chloride, starch, and ascorbic acid) on the dependent variables (soluble solids, titratable acidity, pH, mass loss, and ascorbic acid content). The experiments were designed using the Central Composite Rotatable Design (CCRD), allowing precise optimization of experimental conditions.

The results showed that the optimal levels for soluble solids were achieved with 1,50202% calcium chloride, 2,51132% ascorbic acid, and 1,46597% starch. The optimal total acidity was achieved with 1,50567% calcium chloride, 2,51134% ascorbic acid, and 4,02795% starch. The pH showed minimal variations under the interactions of the evaluated factors.

Keyword: *Ascorbic acid, Calcium chloride, IV range technology, soluble solids, Response Surface*

ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
GENERALIDADES	3
1.1. Planteamiento del problema	3
1.2. Formulación del problema	4
1.2.1. Problema general	4
1.2.2. Problemas específicos	4
1.3. Objetivos	4
1.3.1. Objetivo general	4
1.3.2. Objetivos específicos	5
1.4. Hipótesis	5
1.4.1. Hipótesis general	5
1.4.2. Hipótesis específicas.	5
1.5. Variables e indicadores	5
CAPÍTULO II	7
MARCO TEÓRICO	7
2.1. Antecedentes de la investigación	7
2.1.1. Antecedentes internacionales	7
2.1.2. Antecedentes nacionales	9
2.2. La piña (Ananas comosus)	12
2.3. Clasificación taxonómica	13
2.4. Composición química de la piña	13
2.5. Importancia de la piña	14
2.5.1. Importancia nutritiva	14

2.5.2. Importancia económica	15
2.6. Producción de la piña	16
2.6.1. Producción mundial	16
2.6.2. Producción nacional.....	18
2.7. Eco fisiología de la piña	19
2.8. Análisis fisicoquímico de la piña	20
2.9. Alimentos de IV gama	20
2.9.1. Origen de los alimentos de IV gama	20
2.9.2. Clasificación de las gamas de alimentos	20
2.9.3. Las principales ventajas de los productos de IV gama son.....	21
2.10. Productos mínimamente procesados	21
2.11. Recubrimientos comestibles (RC)	22
2.12. Componentes de los recubrimientos comestibles	23
2.12.1. Quitosano	23
2.12.2. Aloe Vera	24
2.12.3. Vitamina C	24
2.12.4. Almidón de papa.....	25
2.12.5. Cloruro de Calcio.....	25
2.13. Función de recubrimiento comestible	25
2.14. Metodología de superficie de respuesta.....	26
2.15. Diseño Central Compuesto Rotable (DCCR)	26
CAPÍTULO III.....	28
MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
3.1. Lugar de ejecución	28
3.2. Población y muestra	28
3.2.1. Población.....	28
3.2.2. Muestra	28

3.3. Materia prima	29
3.3.1. Piña	29
3.3.2. Insumos	29
3.4. Materiales, equipos y reactivos	29
3.4.1. Materiales	29
3.4.2. Equipos	29
3.4.3. Reactivos	30
3.5. Metodología experimental	30
3.5.1. Combinación de los niveles de ácido ascórbico, almidón de papa y solución de cloruro de calcio	30
3.5.2. Descripción de las operaciones	30
3.6. Determinación de características químicas	33
3.6.1. Sólidos solubles (°Brix)	33
3.6.2. Acidez total	33
3.6.3. Vitamina C	33
3.6.4. Pérdida de masa	34
3.6.5. pH	34
3.7. Diseño experimental y análisis estadístico	34
CAPÍTULO IV	37
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
4.1. Resultados experimentales de respuesta	37
4.2. Análisis por superficie de respuesta durante el almacenamiento	38
4.2.1. Diseño superficie de respuesta para sólidos solubles (°Brix)	39
4.2.1.1. Efectos estimados de cada variable y sus interacciones	39
4.2.1.2. Análisis de varianza	41
4.2.1.3. Coeficiente de regresión	42
4.2.1.4. Superficie de respuesta estimada	44
4.2.1.5. Optimización de la respuesta	45
4.2.2. Metodología de superficie de respuesta para la acidez total (%)	46

4.2.2.1.	Efectos estimados para la acidez total	46
4.2.2.2.	Análisis de varianza para acidez total	48
4.2.2.3.	Carta estandarizada de Pareto	50
4.2.2.4.	Coeficiente de regresión para la acidez total	50
4.2.2.5.	Superficie de respuesta estimada para la acidez total	52
4.2.2.6.	Optimización de la respuesta	54
4.2.3.	Diseño de superficie de respuesta para el pH	55
4.2.3.1.	Efectos estimados de cada variable y sus interacciones	55
4.2.3.2.	Análisis de varianza para el pH	57
4.2.3.3.	Carta estandarizada de Pareto	57
4.2.3.4.	Coeficiente de regresión	58
4.2.3.5.	Superficie de respuesta estimada.....	60
4.2.3.6.	Optimización de la respuesta	62
4.2.4.	Diseño de superficie de respuesta para pérdida de masa.....	63
4.2.4.1.	Efectos estimados de cada variable y sus interacciones	63
4.2.4.2.	Análisis de varianza para pérdida de masa	65
4.2.4.3.	Carta estandarizada de Pareto	66
4.2.4.4.	Coeficiente de regresión	67
4.2.4.5.	Superficie de respuesta estimada.....	69
4.2.4.6.	Optimización de la respuesta	71
4.2.5.	Diseño de superficie de respuesta para vitamina C	73
4.2.5.1.	Efectos estimados de cada variable y sus interacciones	73
4.2.5.2.	Análisis de varianza	74
4.2.5.3.	Carta estandarizada de Pareto	76
4.2.5.4.	Coeficiente de regresión	77
4.2.5.5.	Superficie de respuesta estimada.....	79
4.2.5.6.	Optimización de la respuesta	81
CONCLUSIONES		84
RECOMENDACIONES		86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		88
ANEXOS		95

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Variables, indicadores y escalas de medición	6
Tabla 2 Clasificación taxonómica de la piña.	13
Tabla 3 Composición química de la piña	14
Tabla 4 Producción de piña (TM) por región a nivel nacional (periodo 2001 - 2005) ..	18
Tabla 5 Distribución de producción de piña en el Perú	19
Tabla 6 Variables del proceso y los datos experimentales como respuesta.....	36
Tabla 7 Resultados experimentales de cambios fisicoquímicos de la piña en almacenamiento a 5°C, durante el periodo de estudio de 10 días.	38
Tabla 8 Efectos para los sólidos solubles (°Brix)	39
Tabla 9 Análisis de varianza para sólidos solubles (°Brix)	41
Tabla 10 Coeficiente de regresión para el modelo de determinación de los sólidos solubles (°Brix)	43
Tabla 11 Condiciones de optimización de los sólidos solubles	45
Tabla 12 Efecto estimado para acidez total (%)	47
Tabla 13 Análisis de varianza para la acidez total	49
Tabla 14 Coeficiente de regresión para el modelo de determinación de la acidez total	51
Tabla 15 Condiciones de optimización de la acidez total	54
Tabla 16 Efecto estimado para pH	55
Tabla 17 Análisis de varianza para el pH.....	57
Tabla 18 Coeficiente de regresión para el modelo de determinación de pH	58
Tabla 19 Condiciones de optimización de pH	62
Tabla 20 Efectos estimados para pérdida de masa.....	63
Tabla 21 Análisis de varianza para pérdida de masa	65
Tabla 22 Coeficiente de regresión para el modelo de determinación de pérdida de masa.....	67
Tabla 23 Condiciones de optimización de la pérdida de masa	71
Tabla 24 Efecto estimado para la vitamina C	73
Tabla 25 Análisis de varianza para la vitamina C	75
Tabla 26 Coeficiente de regresión para el modelo de determinación de la vitamina C	77
Tabla 27 Condiciones de optimización de la vitamina C	81

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Producción de piña en el 2019.....	16
Figura 2 Distribución mundial de la Piña.....	17
Figura 3 Distribución latinoamericana de la producción de Piña.....	17
Figura 4 Esquema experimental del trabajo	32
Figura 5 Efectos principales para solidos solubles (°Brix).....	40
Figura 6 Carta estandarizada de Pareto para sólidos solubles	42
Figura 7 Superficie de respuesta estimada para los sólidos solubles (°Brix), cloruro de calcio (%) y ácido ascórbico (%)	44
Figura 8 Contorno de la superficie de respuesta estimada para los sólidos solubles (porcentaje de cloruro de calcio, porcentaje de ácido ascórbico).....	45
Figura 9 Efectos principales para la acidez total.....	48
Figura 10 Carta estandarizada de Pareto para la acidez total	50
Figura 11 Superficie de respuesta estimada paera la acidez total (%), cloruro de clacio (%) y acido ascórbico (%).....	52
Figura 12 Contornos de la superficie de respuesta estimada para la acidez total (%) (porcentaje de cloruro de calcio, porcentaje de ácido ascórbico).....	53
Figura 13 Efectos principales para el pH	56
Figura 14 Carta estandarizada de Pareto para el pH	58
Figura 15 Superficie de respuesta estimada para el pH, cloruro de calcio (%) y ácido ascórbico (%)	60
Figura 16 Contornos de la superficie de respuesta estimada para el pH (porcentaje de cloruro de calcio, porcentaje de ácido ascórbico)	61
Figura 17 Efectos principales para pérdida de masa.....	64
Figura 18 Carta estandarizada de Pareto paras la pérdida de masa	66
Figura 19 Superficie de respuesta estimada para pérdida de masa (cloruro de calcio (%) y ácido ascórbico (%)).....	69
Figura 20 Contorno de la superficie de respuesta estimada para pérdida de masa (porcentaje de cloruro de calcio, porcentaje de ácido ascórbico).....	70
Figura 21 Efectos principales para la vitamina C	74
Figura 22 Carta estandarizada de Pareto para la vitamina C.....	76

Figura 23	Superficie de respuesta estimada para la vitamina C (cloruro de calcio (&) y ácido ascórbico (%))	79
Figura 24	Contorno de la superficie estimada para la vitamina C (porcentaje de cloruro de calcio, porcentaje de ácido ascórbico)	80
Figura 25	Selección de la materia prima	98
Figura 26	Pelado de la piña para su acondicionamiento	99
Figura 27	Trozado y picado de la piña	99
Figura 28	Envasado y acondicionamiento de la piña picada o troceada	100
Figura 29	Pesado y registro del peso de las muestras	100
Figura 30	Almacenamiento y conservación de las muestras	101
Figura 31	Preparación de soluciones	101

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se centra en la optimización de los niveles de ácido ascórbico, almidón de papa y cloruro de calcio en las características físicas y químicas de la piña (*Ananas comosus*) procesada con tecnología de IV gama. La producción de piña en la región de Ayacucho enfrenta significativas pérdidas debido a prácticas postcosecha deficientes y métodos de comercialización inadecuados. Estos problemas se agravan por factores críticos como la temperatura, la humedad y la falta de tecnologías adecuadas, que influyen negativamente en la calidad del producto.

En el contexto actual, donde la demanda de alimentos frescos y mínimamente procesados está en aumento, la tecnología de IV gama, presenta una solución prometedora para estos desafíos.

Actualmente, la demanda de alimentos mínimamente procesados, como hortalizas y frutas de IV gama, está en aumento, en paralelo con el avance de nuevas técnicas que prolongan la calidad organoléptica de estos. Dichas técnicas han surgido a partir de diversas tecnologías que modifican las características físicas o químicas de los alimentos. En otras palabras, hay múltiples métodos que pueden alterar la estructura natural o disminuir la oxidación, la pérdida de agua, entre otras propiedades que evidencian la descomposición de los alimentos (De Corato y Cancellara, 2019). La industria alimentaria, con este fin, focaliza constantemente sus esfuerzos en desarrollar nuevos productos listos para el consumo, empleando técnicas de conservación (químicas, mecánicas, físicas o biológicas) para extender su vida útil. Estos métodos garantizan la seguridad y la calidad de los productos, así como la preservación de sus propiedades nutricionales y sensoriales (Infantes, 2015).

El fundamento teórico de este estudio se apoya en investigaciones anteriores sobre la aplicación de recubrimientos comestibles y tratamientos químicos para optimizar la conservación de frutas y verduras. Estudios como los de Linares (2019) y Maldonado (2016) han evidenciado que los biorecubrimientos son capaces de disminuir la tasa de respiración y conservar las propiedades químicas de los productos frescos. Adicionalmente, Valencia y Torres (2016) subrayaron los beneficios de las películas comestibles en la duración y calidad de los alimentos de IV gama.

La piña es un fruto tropical no climatérico que se descompone rápidamente en condiciones no refrigeradas, ya sea en su estado fresco o al estar cortada en rodajas o

cubos, y posee numerosas propiedades nutricionales. Estos frutos tienen un alto contenido de agua y, al ser troceados, quedan vulnerables al ataque microbiano y a la pérdida de calidad. Sin embargo, el uso de recubrimientos comestibles ofrece una alternativa que podría prolongar la vida útil de este fruto (Zambrano 2017).

A raíz de este hecho y en línea con la tendencia mundial de los alimentos de IV gama, surge la necesidad de explorar nuevas alternativas para el consumo de piña. Estos alimentos incluyen hortalizas y frutas "frescas procesadas", que han sido higienizadas, peladas, cortadas y envasadas en condiciones de atmósfera modificada, listas para su consumo mientras conservan sus propiedades naturales (Ancos, Gonzales y Colina, 2015). Los cambios en los estilos de vida en los últimos años, así como una mayor conciencia sobre la importancia de consumir alimentos saludables, han llevado a un aumento en el consumo de alimentos listos para comer (García et al., 2011).

En la IV gama de alimentos se abarcan diversas tecnologías, entre ellas los biorecubrimientos, que pueden describirse como una delgada matriz continua que luego se aplicará como una capa sobre el alimento. (Ruelas et al., 2016).

La aplicación de biorecubrimientos comestibles en frutas frescas y ligeramente procesadas ha sido empleada para conservar la calidad y extender su duración (Lin y Zhao, 2007). Estos biorecubrimientos disminuyen el deterioro de la fruta, al reducir la tasa de respiración y demorar el proceso de envejecimiento y deshidratación (Eum et al., 2009).

Para abordar estos objetivos, se utilizó la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR) para modelar y analizar la influencia de las variables independientes (porcentajes de cloruro de calcio, almidón de papa y ácido ascórbico) en las variables dependientes (sólidos solubles, acidez titulable, pH, pérdida de masa y contenido de ácido ascórbico). Los experimentos fueron diseñados utilizando el Diseño Compuesto Central Rotable (DCCR), lo que permitió una optimización precisa de las condiciones experimentales.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. Planteamiento del problema

La problemática de pérdidas de calidad en los productos pelados y cortados, con un alto nivel nutricional para prolongar la vida útil de las frutas, ha generado la búsqueda de alternativas para un mejor aprovechamiento de los mismos. Por ello, existen propuestas de una nueva tecnología, orientada a conocer las técnicas de acondicionamiento postcosecha de IV Gama, considerando las buenas prácticas agrícolas (BPA) y de manejo postcosecha (BPMP).

En la región de Ayacucho, se produce piña en tiempos estacionales, que por malos manejos de comercialización desde la cosecha hasta los mercados tienden a tener pérdidas, reduciendo la vida útil de las frutas, por no contar con tecnología adecuadas como un mínimo proceso de lavado, pelado y troceado. También se debe a la falta medios de transporte con jabas y control de la temperatura y humedad del medio, falta de capacitación de los intermediarios, no hay control de las operaciones de pretratamiento y almacenamiento, por ello se hace necesario nuevas tecnologías para que el producto llegue al consumidor con la frescura y calidad que garantice su sostenibilidad.

Durante la postcosecha, los factores principales que influyen en los parámetros de calidad son la temperatura, la composición de la atmósfera (controlada/modificada),

la humedad relativa, los microorganismos, así como los cambios bioquímicos y fisiológicos del tejido. Otros elementos que inciden en la calidad de productos como la piña, porque afectan la respuesta y/o vulnerabilidad del tejido al daño, incluyen la especie y variedad, el estado de madurez, los tipos de corte y los tratamientos de conservación. En nuestra región, la producción de piña ha aumentado considerablemente últimamente y es estacional. Por ello, se busca mejorar la capacidad de conservación de la piña pelada y troceada, así como aumentar el valor agregado del producto, tanto fresco como procesado. Uno de los métodos para extender su vida comercial en fresco es la aplicación de nuevas tecnologías que, al ser mínimamente procesadas, como el lavado, pelado y troceado, permiten su consumo en estado fresco.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Qué niveles de ácido ascórbico, almidón de papa y cloruro de calcio serán los óptimos en las características físicas y químicas de piña (*Ananas comosus*) procesada con tecnología de IV gama?

1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿Qué niveles de ácido ascórbico, almidón de papa y cloruro de calcio serán los óptimos en los sólidos solubles, pH y pérdida de masa de piña procesada con tecnología de IV gama?
- b) ¿Qué niveles de ácido ascórbico, almidón de papa y cloruro de calcio serán los óptimos en la acidez titulable y ácido ascórbico en piña procesada con tecnología de IV gama?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Optimizar los niveles de ácido ascórbico, almidón de papa y cloruro de calcio en las características físicas y químicas de piña (*Ananas comosus*) procesada con tecnología de IV gama.

1.3.2. Objetivos específicos

- a) Analizar mediante la metodología de superficie de respuesta a los niveles de ácido ascórbico, almidón de papa y cloruro de calcio en los sólidos solubles, pH y pérdida de masa de piña procesada con tecnología de IV gama.
- b) Evaluar la optimización de los niveles de ácido ascórbico, almidón de papa y cloruro de calcio sobre la acidez titulable y ácido ascórbico de piña procesada con tecnología de IV gama con la metodología de superficie y respuesta.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

El ácido ascórbico, el almidón de papa y el cloruro de calcio tienen niveles óptimos sobre las características físicas y químicas de piña (*Ananas comosus*) procesada mediante tecnología de IV gama.

1.4.2. Hipótesis específicas.

- a) El ácido ascórbico, el almidón de papa y el cloruro de calcio tienen niveles óptimos sobre los sólidos solubles, pH y pérdida de masa en piña procesada mediante tecnología de IV gama.
- b) El ácido ascórbico, el almidón de papa y el cloruro de calcio tienen niveles óptimos sobre la acidez titulable, y ácido ascórbico en piña procesada mediante tecnología de IV gama.

1.5. Variables e indicadores

Se establecieron las variables siguientes para la próxima investigación, como se detalla en la tabla 1.

Tabla 1

Variables, indicadores y escalas de medición

Tipo de variables	Definición de variables	Indicadores		Unidades
		Bajo	Alto	
Variables Independientes	Z1: porcentaje de cloruro de calcio	0,5	1,25	%
	Z2: porcentaje de ácido ascórbico	0,5	2,0	%
	Z3: porcentaje de almidón de papa	3,0	7,5	%
Variables dependientes	Características Físicas y químicas	Sólidos solubles		°Brix
		Acidez titulable		% de ácido cítrico
		pH		[H]
		Pérdida de masa		g
		Ácido ascórbico		mg de ácido ascórbico/100 g de muestra

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Zambrano (1997) Los hallazgos obtenidos permiten formular las siguientes sugerencias sobre el uso más idóneo de cada una de las tres variedades de piñas (Ananas comosus) que han sido analizadas. La variedad 'Valera Roja' se sugiere para el consumo inmediato y directo; presenta un alto contenido de azúcares (10-14 g por 100 mL de jugo), una baja acidez (438,834 mg de ácido cítrico por 100 mL de jugo) y una cantidad reducida de fibra (1,36 - 3,64 g por 100 g de pulpa), conteniendo la mayor concentración de ácido ascórbico (4,58 – 6,10 mg por cada 100 mL de jugo). Su poca fibra, alto contenido de azúcares y baja acidez la hacen muy deseable; sin embargo, estas características la hacen inapropiada para su transporte y almacenamiento a largo plazo; su baja rigidez requiere procedimientos especiales para su conservación.

Maldonado (2016) recubrió piña recién cortada con carragenina comestible. La receta del recubrimiento incluía carragenina, cera de abejas, ácido esteárico y aroma de piña. Durante ocho días, las muestras de piña mínimamente procesadas se mantuvieron a 4 °C y con una humedad relativa del 90 % en recipientes de poliestireno. El recubrimiento conservó las propiedades químicas de la piña durante todo el

almacenamiento, reduciendo la pérdida de peso y firmeza, según las evaluaciones físicas, químicas, microbiológicas y sensoriales.

Según Valencia y Torres (2016), la calidad y la vida útil de los alimentos procesados mejoran cuando se utilizan películas y recubrimientos comestibles en productos frescos cortados y listos para el consumo. Estos recubrimientos pueden mejorar las cualidades mecánicas, crear barreras semipermeables a los gases y vapores, y actuar como portadores de aditivos alimentarios para mejorar el sabor y el color, al tiempo que regulan el desarrollo microbiano, según las conclusiones.

Según Jiménez (2017), Se investigó si el aloe vera podía utilizarse como recubrimiento comestible para la papaya y la guayaba recién cortadas. Para el experimento se empleó un diseño completamente aleatorio (CRD), en el que el factor B indicaba las temperaturas de almacenamiento (4 °C y 10 °C) y el factor A indicaba la proporción de aloe vera (30 %, 50 % y 70 %). Se utilizaron investigaciones microbiológicas (recuento de mohos y levaduras), fisicoquímicas (pH, °Brix, color, acidez titulable, ácido ascórbico) y organolépticas (color, olor, textura, sabor, aceptabilidad) para evaluar los efectos de los recubrimientos en la papaya y la guayaba. También se demostró cómo la combinación de recubrimiento y refrigeración aumentaba considerablemente la vida útil de la fruta. Cuando se aplicó a frutas recién cortadas, el recubrimiento comestible a base de aloe vera logró retrasar los cambios en una serie de características físicas y químicas, entre ellas la pérdida de peso, el aumento de los sólidos solubles, el aumento del pH y la disminución de la acidez. Esto permitió que las frutas conservaran su calidad durante 8 a 10 días mientras estaban almacenadas.

Godoy (2017), Debido a su envasado, los productos menos procesados son más propensos a deteriorarse que los que se mantienen frescos. Se tuvo en cuenta una combinación del índice de madurez y atmósferas modificadas (bolsa de plástico hermética y envase de polietileno transparente; envase blíster) para evaluar la calidad de la piña «Española Roja», que se cortó en rodajas utilizando la técnica de procesamiento mínimo. Se mantuvieron a $8\text{ °C} \pm 2$ y $\pm 90\%$ de humedad relativa después de sumergirlas durante dos minutos en una solución de ácido cítrico al 2 %. Las frutas se recolectaron con los siguientes índices de madurez: cambio completo de color a naranja y fruta completamente madura (E), y comienzo del cambio de color de verde muy oscuro a amarillo y luego a naranja (D). El diseño experimental totalmente aleatorio consistió en cuatro tratamientos, cinco repeticiones para cada tratamiento y

evaluaciones cada tres días. Se sometieron a examen físico-químico la acidez titulable (TA), el pH, los sólidos solubles totales (TSS) (°Brix), la pérdida de biomasa (%) y la vitamina C. Al examinar las interacciones entre las variables, el pH, la TA y la vitamina C mostraron impactos significativos ($P \leq 0,05$); los TSS no mostraron cambios. La vitamina C mostró un nivel más alto cuando se utilizó el envase blíster y el índice de madurez D, con 8,21 mg/100 g; el pH mostró variaciones entre 4,08 y 4,23, pero no hubo diferencias entre los envases para ninguna de las dos variables; y el índice de madurez afectó al ATT, con valores que oscilaron entre el 0,46 y el 0,54 %, siendo el índice D el que presentó los valores más altos. En general, la calidad del producto se mantuvo al procesar las frutas con índice de madurez D y en envases blíster.

Sothornvit et al. (2010), estudiaron la efectividad de recubrimientos a base de alginato en la conservación de fresas, encontrando que estos recubrimientos ayudaron a reducir la pérdida de peso y a mantener la firmeza y el contenido de ácido ascórbico de las fresas durante el almacenamiento.

Olivas y Barbosa-Cánovas (2005), investigaron el uso de recubrimientos comestibles a base de quitosano en zanahorias mínimamente procesadas, demostrando que estos recubrimientos pueden extender la vida útil y mantener la calidad sensorial de las zanahorias.

McHugh y Senesi (2000), revisaron la aplicación de recubrimientos comestibles en frutas y verduras, destacando su capacidad para actuar como barreras a la humedad y al oxígeno, y su potencial para mejorar la calidad y la vida útil de los productos frescos.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Mas - Golac (2006), Señala que la piña peruana tiene presencia mayoritaria en los departamentos de Amazonas, San Martín y la mayor productora que se encuentra en Junín. Los frutos nacionales lamentablemente no cumplen las exigencias internacionales, puesto las complicaciones del control de su cosecha y el inadecuado traslado del mismo. En otros términos, no existe un manejo adecuado de los productos, no solo por transporte si no en el control de temperaturas, lo cual maltrata de forma desmedida el producto a entregar”.

Rojas (2006), señala que la piña es un fruto muy delicado, por ello es necesario mejorar constantemente la tecnología que permita su mayor duración en post del usuario

final. La piña sería un producto mucho más comercial si su conservación fuera más adecuada y con mayor tiempo”.

Conforme a Pasquel (2009), Las investigaciones sobre la piña (*Ananas comosus*) se han centrado en los zumos pasteurizados y concentrados, los productos congelados y deshidratados, y los productos frescos cortados que nunca han sido conservados mediante un procesamiento mínimo. Debido a las dificultades que plantean la manipulación poscosecha y el pelado de la fruta, la mayor parte de la fruta se consume fresca y en forma de zumo. Las comidas frescas cortadas o con un procesamiento mínimo podrían ser alternativas de mercado interesantes para satisfacer la demanda.

Aguirre (2015), muestra que en el estudio se utilizó la metodología de superficie de respuesta (RSM) con el diseño d-óptimo para determinar la aplicación de recubrimientos comestibles a base de almidón de patata y su interacción con una solución conservante para prolongar la vida útil de la papaya (*Carica papaya*) mínimamente procesada en condiciones experimentales. Las concentraciones de ácido ascórbico (0,5 a 1,5 %), ácido cítrico (0,3 a 0,7 %), cloruro de calcio (0,5 a 1 %) y dos (2) tipos de recubrimiento comestible “uno derivado del almidón de maíz y otro del almidón de papa” fueron las variables independientes que se tuvieron en cuenta. Después de sumergirlos en la solución conservante, los cubos de papaya se recubrieron, se introdujeron en bolsas de polietileno y se mantuvieron a 5 °C. Se evaluaron los siguientes parámetros tras 96 horas de mantenimiento de los cubos a 5 °C: °Brix, porcentaje de pérdida de vitamina C y pH. Aplicando el enfoque de función deseada con las siguientes restricciones: maximizar el contenido de sólidos solubles (°Brix), maximizar el pH y minimizar el porcentaje de pérdida de vitamina C, los modelos se verificaron mediante métodos de validación cruzada (95 % de fiabilidad). Se optimizaron los componentes de la solución conservante (0,5 % de ácido cítrico, 0,5 % de cloruro cálcico y 1,5 % de ácido ascórbico) en términos de concentración. Los dos recubrimientos de almidón de papa objeto de estudio mostraron una interacción positiva.

Zegarra (2015) examinó el uso de la metodología de superficie de respuesta para optimizar la formulación de una galleta enriquecida con hidrolizado de anchoveta, haciendo hincapié en el valor de este enfoque para mejorar los productos alimenticios.

Mas - Golac (2006), en su estudio sobre la poscosecha de cuatro variantes de piña en Perú, señaló que la producción de piña se concentra en los departamentos de

Amazonas, San Martín y Junín. Sin embargo, la falta de manejo adecuado durante la cosecha y el transporte limita su calidad y competitividad en el mercado internacional.

Pasquel (2009), destacó la ausencia de investigaciones sobre la conservación de piña mediante procesamiento mínimo o de IV gama en Perú, sugiriendo que esta tecnología podría ser una alternativa prometedora para mejorar la comercialización de la piña fresca.

Aguirre (2015), en su investigación sobre la aplicación de recubrimientos comestibles a base de almidón de papa en papaya mínimamente procesada, encontró que el uso de soluciones conservadoras optimizadas mediante metodología de superficie de respuesta permitió prolongar significativamente la vida útil de las frutas.

Cáceres (2017), estudió el impacto de diferentes recubrimientos comestibles en la conservación de fresas, demostrando que el uso de recubrimientos a base de quitosano y Aloe vera mejoraba significativamente la vida útil y calidad de las fresas almacenadas.

López (2018), evaluó la eficacia de recubrimientos comestibles en la conservación de manzanas, encontrando que la aplicación de recubrimientos a base de pectina y cera de abeja reducía la pérdida de peso y mantenía la firmeza de las manzanas durante el almacenamiento.

De acuerdo al Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA, 2017), se ha publicado diversas investigaciones sobre la mejora de técnicas postcosecha y el uso de recubrimientos comestibles en frutas y hortalizas para aumentar su vida útil y calidad. Estas investigaciones han sido fundamentales para desarrollar estrategias de conservación que beneficien a los pequeños productores y a la industria agroalimentaria.

Según el estudio del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MINAGRI, 2018), el Perú ha implementado programas de investigación y desarrollo enfocados en la mejora de la competitividad de los productos agrícolas peruanos, incluyendo estudios sobre el uso de tecnologías de conservación como los recubrimientos comestibles. Estos programas han permitido transferir tecnología a los agricultores y mejorar las prácticas postcosecha en diversas regiones del país.

2.2. La piña (*Ananas comosus*)

Nombre común : Piña.

Nombre científico : *Ananas comosus*.

Fuente: (MINAGRI, 2019)

Según el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MINAGRI, 2019), Debido a que en la Amazonía peruana se cultivan tantos ecotipos nativos de piña, se considera que Perú es el centro de la diversidad. El Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria (INIA) realizó estudios entre 1989 y 1991 para recopilar estos ecotipos.

Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA, 2020), menciona que en el Perú existen unas 10,000 hectáreas de piña en sus variedades criolla, Hawaiana y Golden, siendo esta última la que presenta mejores perspectivas comerciales.

González et al. (2013), reportaron que la piña es una de las frutas más importantes en términos de producción y exportación en la región tropical, destacando la variedad Golden por su alta calidad y demanda en los mercados internacionales.

Según un estudio de Rodríguez y Pérez (2016), las prácticas de manejo poscosecha son cruciales para mantener la calidad de la piña, recomendando el uso de recubrimientos comestibles y almacenamiento a bajas temperaturas para extender su vida útil.

2.3. Clasificación taxonómica

La clasificación taxonómica de la piña se detalla a continuación:

Tabla 2

Clasificación taxonómica de la piña.

Categoría	Grupo
Reino	Vegetal
Phyllum	Pteridofita
Clase	Angiosperma
Subclase	Monocotiledónea
Orden	Farinosae
Familia	Bromeliáceas
Género	Ananas
Especie	comusus
Nombre Científico	<i>Ananas comusus</i>

Nota. Coello e Hidalgo (2013)

2.4. Composición química de la piña

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2019), afirma que la composición nutricional de la fruta puede verse influida por la especie o variedad, el nivel de madurez y la zona de cultivo. La piña se compone principalmente de agua, que representa el 86 % de su peso, y carbohidratos, que representan alrededor del 13 % de su peso. También tiene un bajo contenido en proteínas y grasas. Esta fruta también tiene un alto contenido en fibra dietética y vitamina C, así como un contenido significativo de potasio, calcio y magnesio. Además, es un alimento bajo en grasas y sodio. La vitamina C se considera el principal antioxidante hidrosoluble del organismo. La piña contiene 13,12 g de carbohidratos por cada 100 g de fruta, lo que supone el 10,09 % de la ingesta diaria recomendada (IDR) de carbohidratos según la referencia dietética de Estados Unidos, según el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA). Si bien es necesaria una dieta rica en carbohidratos, el tipo de carbohidrato también tiene un impacto significativo en la salud humana.

Tabla 3*Composición química de la piña*

Componente	Unidades	Valor por 100 g
Agua	(g)	86,000
Proteína	(g)	0,540
Lípidos totales (grasas)	(g)	0,120
Carbohidratos	(g)	13,120
Fibra dietética total	(g)	1,400
Azúcares totales	(g)	9,850
Minerales		
Calcio (Ca)	(mg)	13,000
Hierro (Fe)	(mg)	0,290
Magnesio (Mg)	(mg)	12,000
Fosforo (P)	(mg)	8,000
Potasio (K)	(mg)	109,000
Sodio (Na)	(mg)	1,000
Zinc (Zn)	(mg)	0,120
Vitaminas		
Ácido Ascórbico	(mg)	47,800
Tiamina	(mg)	0,079
Riboflavina	(mg)	0,032
Niacina	(mg)	0,500
Vitamina B6	(mg)	0,112
Folato	(µg)	18,000
α-Tocoferol	(mg)	0,020
Filoquinona	(µg)	0,700

Fuente: USDA (2019).

2.5. Importancia de la piña

2.5.1. Importancia nutritiva

De acuerdo a Illescas (2018), “la piña tiene siete beneficios importantes para la salud del hombre, es decir, contiene gran importancia nutricional”. Entre los beneficios indicados por el investigador es posible señalar los siguientes: promueve una mejor digestión y tránsito a nivel intestinal, elimina ciertos microbios y es anti-inflamatorio, es un elemento antioxidante, beneficia al sistema inmunológico, otorga energía, beneficia el flujo sanguíneo, mejora la piel y permite controlar el peso.

Además de estos beneficios, otros estudios han demostrado que la piña contiene una variedad de nutrientes esenciales. Según García et al. (2015), la piña es rica en vitamina C, manganeso, y Bromelina, una enzima con propiedades antiinflamatorias y digestivas.

La vitamina C es crucial para la síntesis de colágeno, lo cual es importante para la salud de la piel y los tejidos conectivos.

Un estudio de Rodríguez y López (2016), destaca que la Bromelina presente en la piña puede ayudar en la reducción de la inflamación y en la mejora de la recuperación después del ejercicio físico, lo que la hace beneficiosa para atletas y personas con artritis.

Según el Centro de Investigación en Nutrición y Salud (CINUSA, 2017), el consumo regular de piña puede ayudar a reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares debido a su contenido de antioxidantes y compuestos antiinflamatorios, que ayudan a mantener la salud vascular.

2.5.2. Importancia económica

MINAGRI (2017), reporta que, en el subsector agrícola del Valor Bruto de la Producción en el 2016, la papa llegó a representar el 10,6%, ocupando el segundo lugar como el producto más importante de la agricultura del país, siendo superado solo por el arroz con un 13,4%.

A pesar de haber sido mencionado en los antecedentes de la investigación, es oportuno señalar que la piña es el fruto con mayor crecimiento en la demanda comercial mundial debido a su sabor y elevados nutrientes. Al ser un fruto rico en fibra, con beneficios diuréticos, casi sin grasa y colesterol, es un alimento necesario para todas las personas a nivel mundial ya que beneficia el cuidado del organismo (MINAGRI, 2017).

Un estudio de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2018), destaca que la producción mundial de piña ha crecido significativamente en la última década, convirtiéndose en uno de los frutos tropicales más comercializados a nivel global. Este aumento en la demanda está impulsado por el reconocimiento de sus beneficios para la salud y su versatilidad en la industria alimentaria.

Además, la piña juega un papel crucial en las economías de los países productores, particularmente en América Latina y el Sudeste Asiático. Según un informe del Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2019), la exportación de piña contribuye significativamente a los ingresos de divisas y al desarrollo rural, proporcionando empleo y mejorando los medios de vida de los agricultores locales.

Investigaciones adicionales realizadas por Rodríguez et al. (2020), indican que la implementación de tecnologías avanzadas en el cultivo y la postcosecha de piña ha mejorado la eficiencia productiva y la calidad del fruto, lo que ha llevado a una mayor competitividad en los mercados internacionales.

2.6. Producción de la piña

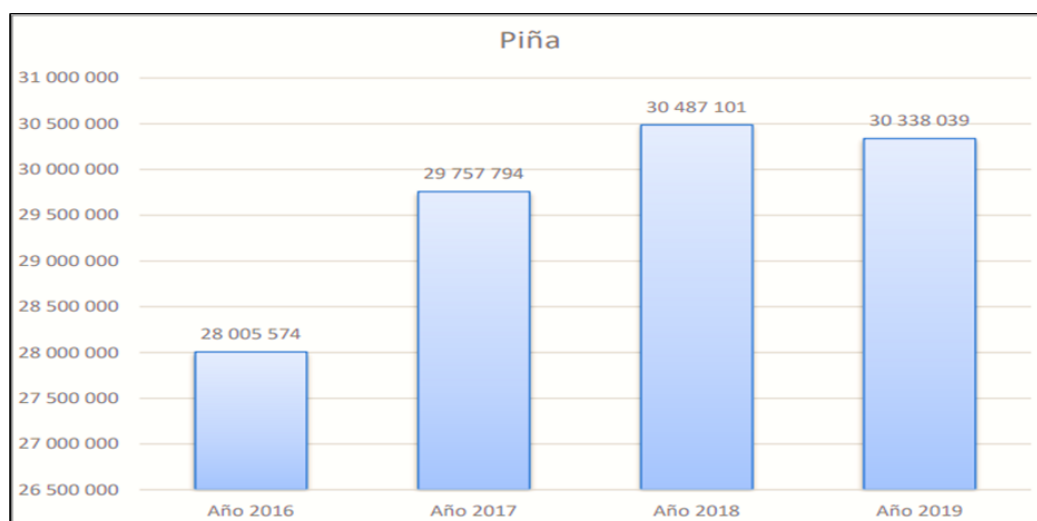
2.6.1. Producción mundial

Según Ramírez (2024), La piña se sitúa en el undécimo lugar entre las frutas más cultivadas, de acuerdo con los datos proporcionados por la FAO, con una producción de aproximadamente 25 millones de toneladas en el periodo 2020-2021. A lo largo de los años, la producción mundial de piña ha experimentado un crecimiento constante, incrementándose en más de 3 millones de toneladas entre los años 2015y 2020.

Barraza (2022), La cantidad de piña producida en todo el mundo se expresa en toneladas métricas. Los indicadores se muestran en tablas elaboradas por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, junto con la producción por país y mundial hasta 2019.

Figura 1

Producción de piña en el 2019

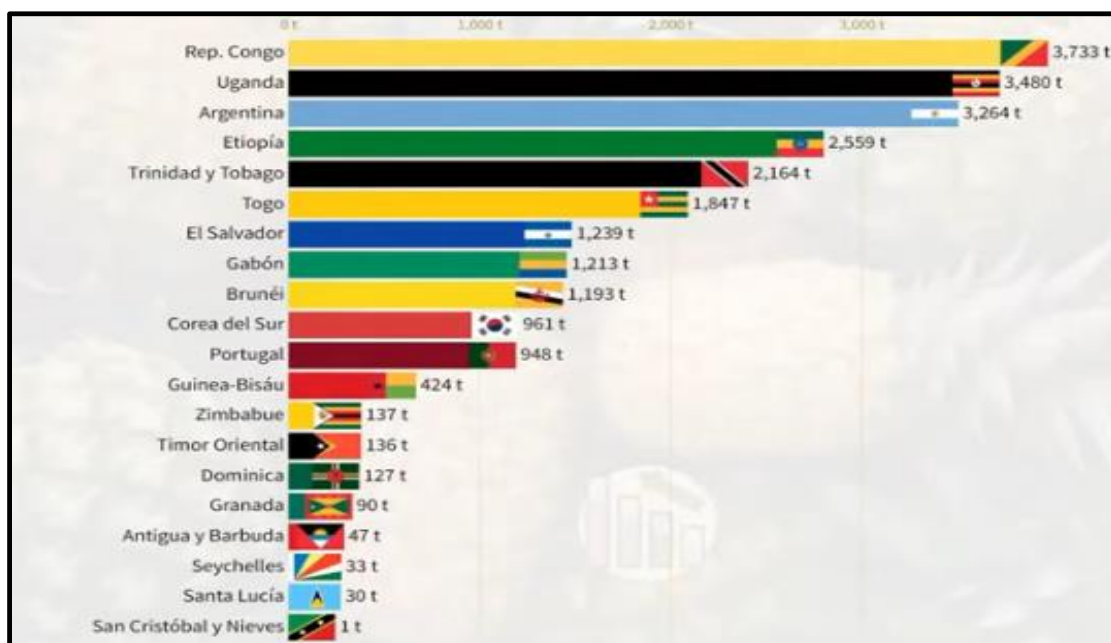


Fuente: Barraza (2022).

La Federación Internacional de la Piña (2020), afirma que la siguiente es la distribución de la producción de piña en América Latina y en todo el mundo.

Figura 2

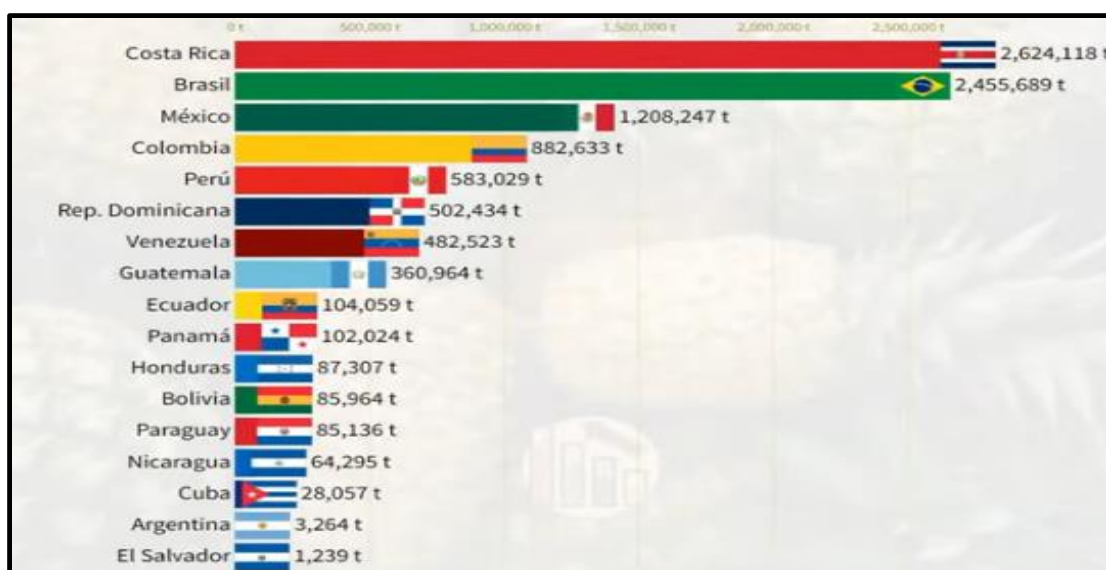
Distribución mundial de la Piña



Fuente: The Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)

Figura 3

Distribución latinoamericana de la producción de Piña



Fuente: The Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)

2.6.2. Producción nacional

Mas Golac (2006), afirma que el departamento de Junín tiene la mayor producción de piña (TM) a nivel nacional cuando se desglosa por zona o subregión. Las zonas de Amazonas, La Libertad, Ayacucho, Loreto y Ucayali superan a la región de San Martín, que ocupa el octavo lugar en términos de producción de piña.

Tabla 4

Producción de piña (TM) por región a nivel nacional (periodo 2001 - 2005)

DEPARTAMENTO	2001	2002	2003	2004	2005
Total, nacional	143,816	147,034	176,895	184,667	197,12
Tumbes	-	-	-	-	-
Piura	-	-	-	-	-
Lambayeque	-	-	-	-	-
La Libertad	26,274	27,161	28,474	29,444	31,875
San Martín	3,547	3,847	7,983	9,131	10,548
Chota	158	160	166	170	178
Amazonas	4,631	4,791	6,360	7,608	8,542
Jaén	1,797	1,821	2,059	1,461	1,728
Lima	-	-	-	-	-
Ica	-	-	-	-	-
Huánuco	2,281	2,292	2,689	3,076	3,479
Junín	50,512	50,703	62,553	68,714	75,148
Huancavelica	-	-	-	-	-
Arequipa	-	-	-	-	-
Madre de Dios	844	847	1,085	887	954
Tacna	-	-	-	-	-
Ayacucho	4,251	4,512	4,634	4,761	5,284
Apurímac	-	-	-	-	-
Abancay	-	-	-	-	-
Andahuaylas	-	-	-	-	-
Cusco	3,119	3,148	6,893	7,198	8,452
Puno	3,917	3,925	4,251	4,265	4,382
Loreto	21,511	21,712	23,366	21,446	22,814
Ucayali	21,019	22,115	26,382	26,506	27,216

Fuente: Mas Golac (2006).

La producción nacional de piña en el Perú viene creciendo a pasos agigantados, tal cual se refleja en la Tabla 5.

Tabla 5*Distribución de producción de piña en el Perú*

PRODUCCIÓN DE PIÑA EN EL PERÚ						
PERIODO 2010- 2019 A NIVEL NACIONAL						
(Miles de kg)						
PRODUCTO	2010	2011	2012	2013	2014	2019
Piña	310 566	400 429	436 807	448 44	455 297	567 1

Fuente: MINAGRI (2016)

2.7. Eco fisiología de la piña

La piña requiere mucha tierra, fertilizante y condiciones ambientales adecuadas. A continuación, se analiza cada uno de estos aspectos:

Temperatura: La temperatura anual ideal para un desarrollo saludable es de 27 °C, aunque puede oscilar entre 23 y 30 °C. Mientras que las temperaturas superiores a 30 °C pueden quemar la epidermis y los tejidos subyacentes, provocando «quemaduras solares», las temperaturas inferiores a 23 °C aceleran la floración, reducen el tamaño de los frutos y los hacen más ácidos y percederos. La temperatura, elemento crucial en la producción, tiene un impacto importante en el desarrollo, la maduración y la calidad de la fruta (Garzón, 2016).

Precipitación: Las piñas necesitan entre 1500 y 3500 mm de lluvia al año de media. Siempre que el déficit hídrico se distribuya de manera uniforme y no afecte a la productividad, su forma las hace relativamente resistentes al estrés provocado por la escasez de agua de hasta 1000 mm al año. La falta de agua en el periodo posterior a la plantación, cuando comienzan la floración y el desarrollo del fruto, afecta al crecimiento de la planta y reduce el tamaño del fruto, a pesar de que no es muy exigente (Garzón, 2016).

Luminosidad: Se requiere un mínimo de 1200 horas de sol al año, siendo 1500 horas la cantidad ideal. Mientras que una luz de intensidad moderada reduce el contenido de azúcar de la fruta y aumenta su acidez, una luz muy intensa quema la superficie de la fruta (Garzón, 2016).

Altitud: El rango ideal para el cultivo de la piña se encuentra entre los 300 y los 900 metros sobre el nivel del mar, aunque puede cultivarse entre los 0 y los 1200 metros (Garzón, 2016).

Suelos: Un suelo profundo, rico y bien drenado es ideal para el cultivo de la piña. El rango de pH ideal es de 5,5 a 6,2; los suelos con un pH alto provocan clorosis cálcica o deficiencia de hierro, mientras que los suelos con un pH bajo afectan al desarrollo de las raíces y a la disponibilidad de minerales como el calcio y el potasio (Garzón, 2016).

2.8. Análisis fisicoquímico de la piña

Los componentes principales de la piña hawaiana son: 86,0 g de agua, 0,54 g de proteína, 0,12 g de grasa, 13,12 g de carbohidratos, 1,40 g de fibra y 0,30 g de cenizas. Los siguientes son componentes menores: vitamina A 0,02, vitamina B1 0,79, vitamina B2 0,032, vitamina B6 0,112, vitamina C 47,8 mg, calcio 13,0 mg, fósforo 8,0 mg y hierro 0,29 mg. (2019, USDA).

El contenido de humedad de la piña lisa de Cayena es de 88,90, el de proteínas es de 0,30, el de grasas es de 0,20, el de carbohidratos es de 9,60, el de fibra es de 0,60 y el de cenizas es de 0,40 (Fernández, 2002).

2.9. Alimentos de IV gama

2.9.1. Origen de los alimentos de IV gama

El término "cuarta gama" o "IV gama" se refiere a productos hortícolas que han sido mínimamente procesados para facilitar su consumo. Estos productos incluyen frutas y verduras que se limpian, trocean y envasan, manteniendo sus propiedades frescas y sin agregar conservantes ni someterlos a tratamientos térmicos. Este tipo de procesamiento ofrece una solución práctica y saludable para los consumidores que buscan alimentos naturales y de alta calidad (Innofood, 2017; Fruits Hurtós, 2021; Consumer, 2021).

2.9.2. Clasificación de las gamas de alimentos

I Gama: Alimentos no transformados, sin tratamiento higienizante, por lo general muy perecederos.

II Gama: Alimentos sometidos a tratamiento térmico y envasados herméticamente, como en latas o envases de vidrio.

III Gama: Alimentos conservados por frío, como los congelados, que requieren descongelación antes de su consumo.

IV Gama: Frutas, vegetales y hortalizas limpias, troceadas y envasadas listas para su consumo inmediato. Mantienen su frescura y nutrientes gracias a técnicas de atmósfera modificada y refrigeración adecuada.

Los alimentos de IV gama son valorados por su conveniencia, ya que ahorran tiempo en la preparación y mantienen sus cualidades nutricionales y sensoriales (Consumer, 2021). Son particularmente populares en sectores como la hostelería y los supermercados, donde se busca eficiencia sin comprometer la calidad (Fruites Hurtós, 2021).

2.9.3. Las principales ventajas de los productos de IV gama son

- ✓ Las materias primas de la mejor calidad.
- ✓ Conservan todos sus nutrientes, incluyendo vitaminas, minerales, fibra y antioxidantes, así como su frescura.
- ✓ Son inocuos, ya que no se les añaden conservantes, se limpian y desinfectan para reducir el ataque microbiano y se refrigeran previamente para preservar su calidad.
- ✓ Dependiendo de la fruta o verdura, hay varias presentaciones de productos que son útiles. El embalaje transparente de estos productos permite a los usuarios una visión de 360 grados del artículo.
- ✓ Destacan por ser rápidos de usar y fáciles de consumir, y como se conservan en un entorno modificado que los protege de la oxidación natural, no se deterioran tan rápidamente (Innofood, 2017).

Las frutas y verduras frescas que han sido sometidas a un procesamiento mínimo, como pelarlas, cortarlas en rodajas, picarlas y cualquier otro procedimiento que no comprometa la frescura de los productos, se conocen como productos IV gamma o mínimamente procesados (Han, 2014).

2.10. Productos mínimamente procesados

Los productos recién cortados mantienen su actividad fisiológica y biológica durante todo el proceso de preparación. Debido a que sus tejidos celulares sufrieron daños físicos durante la preparación, los procesos metabólicos se aceleraron, las tasas de respiración y transpiración aumentaron y se perdió la turgencia, lo que resultó en una

vida útil más corta. Además, cortar y pelar produce reacciones no deseadas, como la oxidación, que no se producen con las frutas y verduras enteras.

Además, la superficie de los productos de IV Gama ofrece un entorno ideal para el desarrollo microbiano debido a diversas razones, entre ellas el aumento de la humedad y la fácil accesibilidad a los nutrientes (Ghidelli y Pérez-Gago, 2016). Por lo tanto, el aspecto fresco y continuo, la textura aceptable, el sabor y aroma agradables y distintivos, y la vida útil que les permite mantenerse frescos incluso después de su manipulación (5-14 días) son los factores que definen la calidad de estos productos.

Se han realizado estudios para encontrar métodos que mejoren significativamente la calidad de estos productos, con el fin de mantener ciertas cualidades. Según González-Aguilar et al. (2010), estos incluyen el uso de sistemas para regular el nivel ideal de madurez tanto antes como durante la cosecha, la implementación de técnicas adecuadas de saneamiento y procesamiento, la preservación de la cadena de frío, la aplicación de tratamientos químicos y físicos, y el uso de atmósferas modificadas y recubrimientos comestibles después de la cosecha.

2.11. Recubrimientos comestibles (RC)

Las investigaciones sobre los recubrimientos comestibles (RC) para productos enteros se realizan desde hace más de veinte años. Sin embargo, hoy en día su uso es cada vez más común en productos de IV gama. En estos recubrimientos se agregan distintos aditivos alimentarios, como agentes antimicrobianos, antipardeantes, extractos de plantas, aceites esenciales y especias, con el fin de alargar la vida útil de los productos cortados y conservar su calidad. Además, los estudios actuales buscan combinar los RC con diferentes tecnologías emergentes, lo que ha dado resultados positivos por las interacciones que se generan al aplicar varios métodos de conservación al mismo tiempo (Oms-Oliu et al., 2010).

La principal función de los recubrimientos comestibles es mantener la estabilidad y prolongar la vida útil de las frutas mínimamente procesadas (MP). Estos recubrimientos presentan varias ventajas:

La principal función de los recubrimientos comestibles es mantener la estabilidad y prolongar la vida útil de las frutas mínimamente procesadas (MP). Estos recubrimientos presentan varias ventajas: actúan como barreras frente a los gases y la humedad,

además de servir como portadores de compuestos antimicrobianos, antioxidantes, nutrientes y colorantes (Krochta & Mulder-Johnston, 1997).

Asimismo, contribuyen al control del crecimiento microbiano y ayudan a conservar propiedades importantes para los consumidores, como la firmeza, el brillo y el color de las frutas. Incluso en alimentos procesados, como los productos fritos, los recubrimientos comestibles pueden reducir la absorción de grasas (Bourtoom, 2008).

in embargo, es importante que las películas comestibles no limiten por completo el intercambio de gases, ya que esto podría causar alteraciones fisiológicas, como la fermentación de la fruta (Embuscado & Huber, 2009).

Por otro lado, los envases tradicionales sin recubrimientos comestibles no logran evitar este tipo de migraciones. Según Parzanese (2013), la tecnología de películas comestibles (PC) y recubrimientos comestibles (RC) responde a las demandas actuales de los consumidores, quienes buscan productos saludables, mínimamente procesados, libres de aditivos químicos y elaborados de manera sostenible. Por ello, esta tecnología se considera una de las alternativas más prometedoras para el envasado y la conservación de alimentos (Parzanese, 2013).

2.12. Componentes de los recubrimientos comestibles

2.12.1. Quitosano

El quitosano es uno de los componentes más investigados en los recubrimientos comestibles (RC) por su capacidad para formar películas protectoras y por sus propiedades antimicrobianas. En estudios realizados con champiñones de IV gama recubiertos con quitosano, se observó una menor aparición de pardeamiento, una disminución en el crecimiento microbiano y un menor aumento del contenido de fenoles totales durante el periodo de almacenamiento (Ghidelli & Pérez-Gago, 2016).

En zanahorias de IV gama, ya sean cortadas o ralladas, la aplicación de un recubrimiento elaborado con quitosano, almidón de papa o ñame, glicerol y ácido acético, junto con el uso de atmósferas modificadas, permitió extender la vida útil del producto hasta 14 días a 4 °C, además de incrementar el contenido de fenoles totales (Martínez-Hernández et al., 2013).

Por otro lado, la combinación de tratamientos térmicos suaves (1,5 minutos a 50 °C) con recubrimientos de quitosano y carboximetilcelulosa (CMC) logró reducir la pérdida de peso y conservar mejor el color característico del brócoli de IV gama en comparación con las muestras sin recubrimiento (Oms-Oliu et al., 2010).

2.12.2. Aloe Vera

Jiménez (2017) evaluó el uso del Aloe vera como recubrimiento comestible en papaya y guayaba de IV gama. En la fase experimental se utilizó un diseño completamente al azar (DCA), donde el factor A correspondió al porcentaje de Aloe vera (30 %, 50 % y 70 %), y el factor B a los niveles de temperatura de almacenamiento (4 °C y 10 °C). El efecto de los recubrimientos en ambas frutas se analizó mediante pruebas microbiológicas (recuento de mohos y levaduras), físico-químicas (pH, °Brix, color, acidez titulable y contenido de ácido ascórbico) y organolépticas (color, olor, textura, sabor y aceptabilidad).

El autor concluyó que la combinación del recubrimiento comestible con la refrigeración permitió prolongar la vida útil de las frutas. En el caso de la papaya, el tratamiento T6 (70 % de Aloe vera y almacenamiento a 10 °C) extendió su duración en 10 días, mientras que, en la guayaba, el tratamiento T5 (70 % de Aloe vera y almacenamiento a 4 °C) la prolongó por 8 días. Esto se debe a que el recubrimiento actúa como una barrera frente a la pérdida de agua y el intercambio de gases, además de facilitar el transporte de compuestos antioxidantes y antimicrobianos. Estas propiedades contribuyen a disminuir la velocidad de envejecimiento y a inhibir el crecimiento microbiano, permitiendo conservar las características físicas y sensoriales de la papaya y la guayaba de IV gama.

2.12.3. Vitamina C

La vitamina C es un antioxidante crucial que se utiliza en los recubrimientos comestibles para reducir la oxidación en frutas y verduras de IV gama. Además de su función antioxidante, la vitamina C también ayuda a mantener la firmeza y el color de los productos frescos, extendiendo así su vida útil (Lee & Kader, 2000). Por ejemplo, el uso de vitamina C en recubrimientos comestibles para manzanas frescas cortadas ha mostrado una significativa reducción en el pardeamiento y una mejor retención de la firmeza durante el almacenamiento (Jiang et al., 2004).

2.12.4. Almidón de papa

El almidón de papa es un componente ampliamente utilizado en recubrimientos comestibles debido a su capacidad para formar películas que actúan como barreras efectivas contra la humedad y los gases. Estas películas ayudan a prolongar la vida útil de los productos frescos al reducir la tasa de respiración y transpiración (Mali & Grossmann, 2003). En combinación con otros agentes, como el quitosano, el almidón de papa ha demostrado ser efectivo en la mejora de la calidad y la vida útil de productos como las zanahorias de IV gama (Martínez-Hernández et al., 2013).

2.12.5. Cloruro de Calcio

El cloruro de calcio es un compuesto ampliamente utilizado en los recubrimientos comestibles, ya que ayuda a conservar la firmeza de los productos frescos. Su aplicación en frutas y verduras permite mantener una textura adecuada y disminuir la pérdida de turgencia durante el almacenamiento (Rojas-Grau et al., 2009). Además, este compuesto puede funcionar como una barrera frente a la entrada de microorganismos, lo que contribuye a mejorar la seguridad y la calidad de los alimentos (Anino et al., 2006).

2.13. Función de recubrimiento comestible

Durante su preparación, los productos de IV gama permanecen fisiológica y biológicamente activos. Sin embargo, los tejidos celulares sufren daños físicos durante el proceso de corte y manipulación, lo que acelera las reacciones metabólicas, aumenta la tasa de respiración y transpiración, y provoca pérdida de turgencia, reduciendo así su vida útil. Además, al pelarse y cortarse, se inician reacciones no deseadas, como la oxidación, que no ocurre en frutas y vegetales enteros. La superficie de estos productos también se convierte en un ambiente favorable para el crecimiento de microorganismos, debido al incremento de la humedad y la disponibilidad de nutrientes (Ghidelli & Pérez-Gago, 2016). Por ello, la calidad de los productos de IV gama depende de mantener una apariencia fresca, textura firme, sabor y aroma agradables, además de una vida útil adecuada que permita conservar su frescura entre 5 y 14 días después del procesamiento.

Con el fin de conservar estas características, se han desarrollado diversas investigaciones orientadas a identificar técnicas que mejoren la calidad de los productos de IV gama. Entre ellas se incluyen la selección de un estado de madurez adecuado durante la precosecha y cosecha, la aplicación de métodos apropiados de sanitización y procesamiento, el mantenimiento de la cadena de frío, el uso de tratamientos químicos

y físicos, así como la implementación de atmósferas modificadas y recubrimientos comestibles en la etapa de poscosecha (González-Aguilar et al., 2010).

2.14. Metodología de superficie de respuesta

La metodología de superficie de respuesta (MSR) es un conjunto de técnicas estadísticas y matemáticas empleadas para modelar y analizar situaciones en las que una variable de interés se ve afectada por varios factores, con el propósito de optimizar dicha respuesta (Montgomery, 2004). Esta metodología se utiliza ampliamente en el desarrollo y formulación de productos, ya que constituye una herramienta eficaz para simplificar los diseños experimentales y permite evaluar simultáneamente el efecto de múltiples variables (Myers, Montgomery, & Anderson-Cook, 2016).

La MSR facilita la selección de un número determinado de factores que influyen de manera significativa en una función objetivo, la cual, en la industria alimentaria, puede estar relacionada con las propiedades del producto o con su nivel de aceptación. Mediante la variación de estos factores y el uso de diseños experimentales adecuados, se obtienen datos cuantitativos de la variable respuesta (por ejemplo, la aceptación del producto). Estos datos, al ajustarse a un modelo matemático, generan una ecuación multivariante que resume los resultados del estudio y permite predecir respuestas para condiciones no evaluadas experimentalmente (González et al., 2000).

Según Elías (2006), la optimización mediante la metodología de superficies de respuesta permite a los tecnólogos de alimentos reducir costos, maximizar beneficios, disminuir el uso de ingredientes o conservantes costosos, y mejorar las propiedades deseables de los alimentos sin comprometer su inocuidad, tanto en el desarrollo de nuevos productos como en la mejora de los ya existentes.

Además, la MSR se ha aplicado con éxito en distintas áreas de la ciencia y la ingeniería para optimizar procesos y productos (Khuri & Mukhopadhyay, 2010).

2.15. Diseño Central Compuesto Rotable (DCCR)

El Diseño Central Compuesto Rotable (DCCR) es un diseño experimental que se utiliza comúnmente en la metodología de superficie de respuesta para construir modelos empíricos. Este diseño permite la estimación eficiente de los términos cuadráticos necesarios para construir una superficie de respuesta. El DCCR es especialmente valioso cuando se necesita un modelo preciso para predecir la respuesta de un sistema dentro de un rango específico de factores experimentales (Montgomery, 2004).

El DCCR incluye tres tipos de puntos experimentales: puntos factoriales, puntos axiales (o estrella) y puntos centrales. Los puntos factoriales permiten la estimación de los efectos lineales e interacciones, los puntos axiales permiten la estimación de los términos cuadráticos y los puntos centrales proporcionan una estimación de la variabilidad experimental y permiten la detección de no linealidades (Box & Draper, 1987). La rotabilidad es una propiedad deseable que asegura que la variabilidad de la predicción de la respuesta sea constante en todas las direcciones equidistantes del centro del diseño.

El DCCR se ha utilizado en diversas aplicaciones de la industria alimentaria para optimizar procesos y mejorar productos. Por ejemplo, se ha aplicado en la optimización de las condiciones de procesamiento térmico de alimentos para maximizar la retención de nutrientes y la calidad sensorial (Anderson & Whitcomb, 2005). También se ha utilizado en la formulación de productos alimenticios para encontrar la combinación óptima de ingredientes que maximice la aceptabilidad del consumidor (Myers et al., 2016).

En la industria alimentaria, el DCCR ha demostrado ser efectivo en la optimización de procesos como la fermentación, la extrusión, y el envasado, contribuyendo a mejorar la eficiencia y la calidad del producto final. Además, este diseño permite realizar ajustes precisos en las variables de proceso para alcanzar el equilibrio óptimo entre costos y beneficios, garantizando productos de alta calidad y seguridad alimentaria (Khuri & Mukhopadhyay, 2010).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

La investigación se llevó a cabo en los laboratorios de Tecnología de Alimentos y Análisis de Alimentos de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia (FIQM) de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga (UNSCH), ubicada en la ciudad de Ayacucho, a una altitud de 2760 m s. n. m.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

Para la investigación se tuvo en cuenta 40 kg de piña que fueron sometidos a la tecnología de IV gama (mínimamente procesada), las frutas son de variedad Hawaiana, las cuales fueron compradas en el mercado Nery García de la ciudad de Ayacucho procedentes del VRAEM de acuerdo con el estado de madurez y tamaño.

3.2.2. Muestra

Se usó 10 kg como muestra para las diferentes evaluaciones y análisis, el muestreo fue aleatorio.

3.3. Materia prima

3.3.1. Piña

La piña (*Ananas comosus*) Se utilizó como materia prima el fruto de la piña (*Ananás comosus*), de la variedad Hawaiana

3.3.2. Insumos

- Cloruro de calcio
- Almidón de papa (*Solanum tuberosum*)
- Ácido ascórbico
- Hipoclorito de sodio

3.4. Materiales, equipos y reactivos

3.4.1. Materiales

- Pipetas de 1,5 y 1 mL
- Fiolas de 100 y 1000 mL
- Vasos precipitados 250 mL y 500 mL
- Probetas 100 mL
- Matraz Erlenmeyer 250 mL y 100 mL
- Buretas 25 mL
- Tubos de prueba
- Embudos
- Varilla de vidrio
- Pesetas con agua destilada
- Termómetro (0°C – 100°C)
- Papel tissue
- Papel filtro
- Bandejas de polietileno
- Empaques de PET (Teraftalato de Polietileno)

3.4.2. Equipos

- Espectrofotómetro modelo SpectroScan 50V
- pH -metro marca OAKTON modelo PC- 510

- Agitador magnético modelo RCT
- Balanza analítica electrónica, marca OHAUS con capacidad de 200 g.
- Cámara de refrigeración marca Tayler: temperatura 5°C
- Balanza digital ES-2100A
- Refractómetro (0 – 32 °Brix) a 20 °C ATC

3.4.3. Reactivos

- Hidróxido de sodio (NaOH 0,1N)
- Fenolftaleína
- Ácido oxálico
- Ácido ascórbico
- 2-6 diclorofenolindofenol (DFIF)

3.5. Metodología experimental

3.5.1. Combinación de los niveles de ácido ascórbico, almidón de papa y solución de cloruro de calcio

La combinación para la aplicación del tratamiento de las muestras de piñas procesadas con tecnología de IV gama fue utilizando el método de inmersión para llevar a cabo el correspondiente recubrimiento detallándose en el diagrama de flujo (Figura 4).

3.5.2. Descripción de las operaciones

Recepción de materia prima. Fueron piñas de la variedad Hawaiana con adecuadas características y en estado de madurez pintón.

Selección y clasificación. Se seleccionó las mejores piñas de la población de acuerdo al tamaño y se clasificó por uniformidad para tener mejores resultados en la investigación.

Lavado y desinfección. El lavado se hará manualmente con agua potable con el fin de eliminar todo tipo de material extraño o contaminante adherido a la superficie, de esta manera se eliminará la suciedad y tierra y la desinfección se realizará con una cucharada de hipoclorito de sodio al 4% en 3 litros de agua.

Descascarado. La cáscara de la piña se retiró de manera manual utilizando un cuchillo de acero inoxidable bien afilado, con el fin de evitar daños en los tejidos de la fruta.

Corte en trozos. Se cortaron en forma de cubos de 2 cm de arista, aproximadamente.

Drenado y secado. Se escurrió mediante un drenado para luego dejar que se seque al medio ambiente en recipiente limpio y adecuado para la fruta.

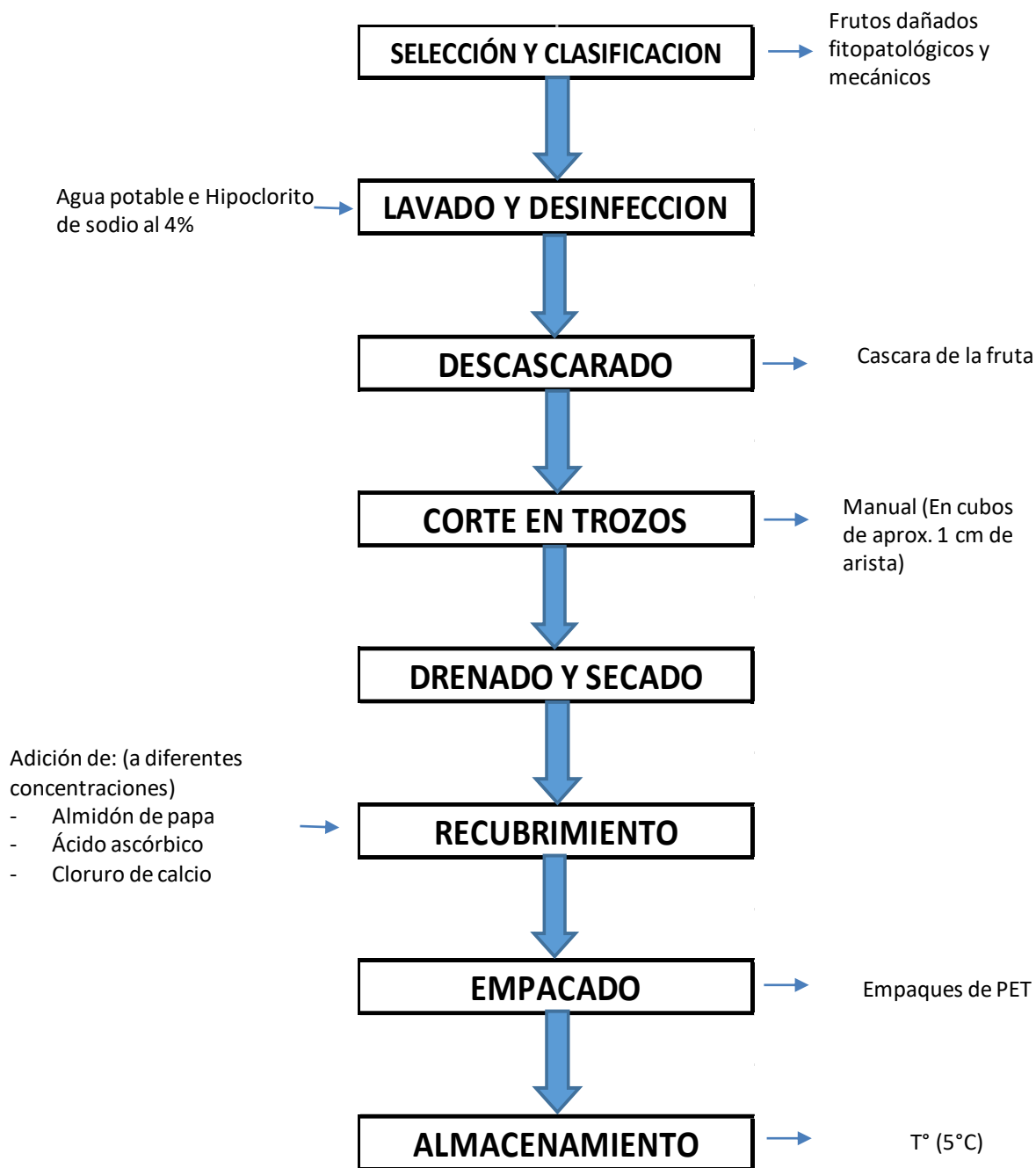
Tratamiento con recubrimiento. Se hizo la inmersión de las muestras con la mezcla combinada, luego se hizo el drenaje para que el recubrimiento tenga efecto en la investigación.

Empacado. Los cubos de piña serán envasados en empaques PET de forma circular.

Almacenamiento. se almacenó en refrigeración a 5°C para llevar a cabo los análisis correspondientes de acuerdo a las variables dependientes.

Figura 4

Esquema experimental del trabajo



Control durante el almacenamiento
(°Brix, acidez total, pH, pérdida de masa, vitamina C)

3.6. Determinación de características químicas

3.6.1. Sólidos solubles (°Brix)

El contenido de sólidos solubles se determinó mediante un refractómetro digital, expresando los resultados en grados Brix (°Brix). El procedimiento se realizó a temperatura ambiente y siguiendo las indicaciones establecidas en la Norma Técnica Peruana NTP 203.087 (2009).

3.6.2. Acidez total

Se filtraron y pesaron 10 g de pulpa molida, a los cuales se adicionaron 50 mL de agua destilada. Posteriormente, la solución se tituló con hidróxido de sodio (NaOH) 0,1 N, utilizando tres gotas de fenolftaleína como indicador. Los resultados obtenidos se expresaron en porcentaje de ácido cítrico, de acuerdo con la ecuación propuesta por Ramírez (2009).

El porcentaje de acidez titulable, expresado como ácido cítrico, se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Ácido cítrico} = \frac{V(\text{mL}) \times P_{\text{meq}} \times N}{M(\text{g})} \times 100$$

Donde:

V = Volumen de NaOH gastado o titulado (mL).

P_{meq} = Peso miliequivalente del ácido cítrico (0,064).

N = Normalidad del NaOH.

M = Masa de la muestra (g).

3.6.3. Vitamina C

La determinación del ácido ascórbico o vitamina C se realizó siguiendo la metodología propuesta por la A.O.A.C. (2000), método 967.21, mediante una titulación. Este procedimiento se basa en la reducción del colorante 2,6-diclorofenolindofenol por la acción del ácido ascórbico presente en la muestra.

3.6.4. Pérdida de masa

La medición del peso se efectuó cada 72 horas durante los 10 días de almacenamiento, utilizando una balanza analítica con capacidad de 200 g. Los resultados se expresaron como el porcentaje de pérdida de peso fresco, calculado a partir de la diferencia entre el peso registrado en cada intervalo y el peso inicial (día 0).

$$\%de\ perdida\ de\ masa = \frac{P(día\ 0) - P(día\ T)}{P(día\ 0)} \times 100$$

Donde:

P (día 0) = peso en el día cero

P (día T) = peso de la muestra en el tiempo/ cada 72 horas

3.6.5. pH

El pH de las muestras se determinó utilizando un potenciómetro provisto de un electrodo, a una temperatura ambiente aproximada de 18 °C, de acuerdo con lo establecido en la Norma Técnica Peruana NTP 203.110 (2009).

3.7. Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño adoptado en la presente investigación fue de tipo experimental, ya que se realizaron pruebas con diferentes concentraciones de cloruro de calcio, ácido ascórbico y almidón de papa, con el propósito de evaluar los posibles cambios generados en las variables respuesta. En este contexto, se determinaron los valores de °Brix, pH, acidez total, pérdida de masa y contenido de vitamina C.

Asimismo, se empleó la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR) para desarrollar un modelo matemático que permitiera interpretar de manera cuantitativa y describir la relación entre el efecto simultáneo de las concentraciones de cloruro de calcio, ácido ascórbico y almidón de papa durante el tiempo de almacenamiento. Este tipo de modelos ha demostrado ser de gran utilidad para el análisis y la predicción de procesos. Los experimentos se diseñaron siguiendo la teoría y los principios del Diseño Compuesto Central Rotable (DCCR), con seis repeticiones en el punto central, haciendo un total de 20 ensayos, conforme a lo establecido por Montgomery (2004). El diseño

consideró tres factores evaluados en diferentes niveles, con el fin de optimizar las condiciones experimentales.

La ecuación utilizada para determinar el número total de tratamientos fue la siguiente:

$$\text{N}^\circ \text{ de tratamientos} = 2p + 2p + C$$

Donde:

p = número de factores

C = número de tratamientos en el punto central (en este caso, 6)

En función de los tres factores evaluados, el número total de tratamientos se calculó de la siguiente manera

$$\text{N}^\circ \text{ de tratamientos} = 2(3) + 2(3) + 6 = 20 \text{ tratamientos}$$

El número total de tratamientos se determinó en función de los tres factores considerados en el estudio, aplicando el Diseño Compuesto Central Rotable (DCCR). Este tipo de diseño permite evaluar los efectos lineales, cuadráticos e interactivos de las variables independientes sobre las variables respuesta. De acuerdo con la ecuación presentada, el diseño incluyó 20 tratamientos en total, conformados por ocho puntos factoriales, seis puntos axiales y seis repeticiones en el punto central, lo que permitió garantizar la precisión estadística y la reproducibilidad de los resultados experimentales.

Tabla 6*Variables del proceso y los datos experimentales como respuesta*

Tratamiento	Variables independientes			Variables dependientes				
	Z1	Z2	Z3	°Brix	At	pH	Pm	Vit. C
1	0,244	1,250	5,250					
2	1,250	0,500	3,000					
3	0,875	1,250	5,250					
4	0,875	1,250	5,250					
5	0,875	2,511	5,250					
6	0,875	1,250	5,250					
7	1,250	0,500	7,500					
8	0,875	1,250	1,465					
9	0,875	1,250	5,250					
10	0,875	1,250	5,250					
11	0,500	0,500	7,500					
12	0,875	1,250	5,250					
13	0,500	2,000	7,50					
14	0,875	1,250	9,034					
15	1,505	1,250	5,250					
16	1,250	2,000	7,500					
17	0,875	-0,011	5,250					
18	0,500	2,000	3,000					
19	1,250	2,000	3,000					
20	0,500	0,500	3,000					
Z1= Porcentaje de cloruro de calcio				°Brix = sólidos solubles	pH = pH del alimento			
Z2= Porcentaje de ácido ascórbico				At = acidez total (%)	Pm = pérdida de masa (g)			
Z3= porcentaje de almidón de papa				Vit. C = contenido de vitamina C (mg)				

Para el procesamiento y los análisis de las características físicas y químicas se trabajó con el programa estadístico Statgraphics Centurión XVI.I.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados experimentales de respuesta

Las variables dependientes o respuestas (Y) —concentración de sólidos solubles (°Brix), acidez total, pH, contenido de vitamina C (mg) y pérdida de masa (g)— se evaluaron en función de tres variables independientes: concentración de ácido ascórbico (%), concentración de almidón de papa (%) y concentración de cloruro de calcio (%). En la Tabla 7 se presenta la secuencia de ensayos realizados, junto con los resultados obtenidos para cada variable de respuesta.

El diseño experimental se desarrolló considerando los valores mínimos y máximos de cada variable independiente. De los resultados obtenidos se observó que las variables de respuesta dependen directamente de las variables independientes. Para confirmar esta relación y analizar el efecto individual y combinado de cada factor, se llevó a cabo el correspondiente análisis estadístico.

Tabla 7

Resultados experimentales de cambios fisicoquímicos de la piña en almacenamiento a 5°C, durante el periodo de estudio de 10 días.

Tratamiento	Variables independientes			Variables dependientes				
	Z1	Z2	Z3	°Brix	At	pH	Pm	Vit. C
1	0,244	1,250	5,250	10,6	0,25	5,10	3,00	36,15
2	1,250	0,500	3,000	13,2	0,41	5,00	4,05	31,65
3	0,875	1,250	5,250	12,7	0,23	3,90	4,00	36,35
4	0,875	1,250	5,250	12,4	0,48	3,80	0,40	36,77
5	0,875	2,511	5,250	12,0	0,35	5,18	3,20	33,45
6	0,875	1,250	5,250	12,3	0,44	4,20	0,45	35,75
7	1,250	0,500	7,500	12,6	0,38	3,90	3,04	38,21
8	0,875	1,250	1,465	11,2	0,22	5,16	3,70	36,14
9	0,875	1,250	5,250	12,1	0,44	5,03	2,00	38,90
10	0,875	1,250	5,250	12,3	0,32	5,12	2,54	39,91
11	0,500	0,500	7,500	12,1	0,32	4,00	4,82	37,62
12	0,875	1,250	5,250	11,8	0,25	5,02	3,56	36,15
13	0,500	2,000	7,500	12,3	0,24	5,09	3,36	36,14
14	0,875	1,250	9,034	10,4	0,20	5,00	3,04	36,14
15	1,505	1,250	5,250	10,1	0,41	4,40	3,00	36,93
16	1,250	2,000	7,500	13,8	0,32	4,00	3,06	39,56
17	0,875	-0,011	5,250	11,1	0,35	4,40	2,05	38,18
18	0,500	2,000	3,000	10,8	0,24	5,04	3,90	36,20
19	1,250	2,000	3,000	15,2	0,41	4,00	5,09	38,19
20	0,500	0,500	3,000	11,4	0,32	4,38	3,05	36,69

Leyenda

Z1 = Porcentaje de cloruro de calcio

Z2 = Porcentaje de ácido ascórbico

Z3 = Porcentaje de almidón de papa

°Brix = Sólidos solubles

At = Acidez titulable

pH = Potencial de hidrógeno

Pm = Pérdida de masa

Vit. C = Vitamina C

4.2. Análisis por superficie de respuesta durante el almacenamiento

En la Tabla 7, tal como se observa, muestra los resultados experimentales obtenidos para los 20 tratamientos realizados, Las respuestas fluctúan entre los siguientes límites:

sólidos solubles (°Brix) (10,1 a 15,2%); acidez total (0,20 a 0,48%); pH (3,8 a 5,18); pérdida de masa (0,4 a 5,09 g) y vitamina C (31,65 a 39,91),

4.2.1. Diseño superficie de respuesta para sólidos solubles (°Brix)

4.2.1.1. Efectos estimados de cada variable y sus interacciones

Los efectos estimados promedio y sus desviaciones estándar se muestran en la Tabla 8, La media (promedio) de los efectos fue calculada por el análisis estadístico de los efectos a través de un análisis de T-Student y luego se evaluó la incidencia de cada una de las variables sobre este valor.

Tabla 8

Efectos para los sólidos solubles (°Brix)

Efecto	Estimado	Error Estd.
Promedio	12,20670	0,52568
A: % cloruro de calcio	1,077 72	0,69756
B: Ac. ascórbico	0,63171	0,69756
C: Almidón de papa	-0,16774	0,69756
AA	-0,57115	0,67906
AB	0,90000	0,91141
AC	-1,05000	0,91141
BB	0,27737	0,67906
BC	0,00000	0,91141
CC	-0,25296	0,67906

Un coeficiente con valor positivo indica que al aumentar la variable independiente se produce un incremento en la respuesta, mientras que un coeficiente negativo refleja que una disminución en la variable independiente genera una reducción en la respuesta. En el caso de los sólidos solubles (°Brix), el valor medio obtenido en los ensayos fue de 12,2067%. Asimismo, los efectos individuales de las variables independientes, así como las interacciones entre ellas, influyen significativamente en el valor promedio estimado por el modelo para los °Brix, considerando un total de 10 grados de libertad en el análisis estadístico.

La Tabla 8, nos muestra el cálculo de los efectos de cada una de las variables, donde se observa que el incremento de cloruro de calcio (%), ácido ascórbico (%) y

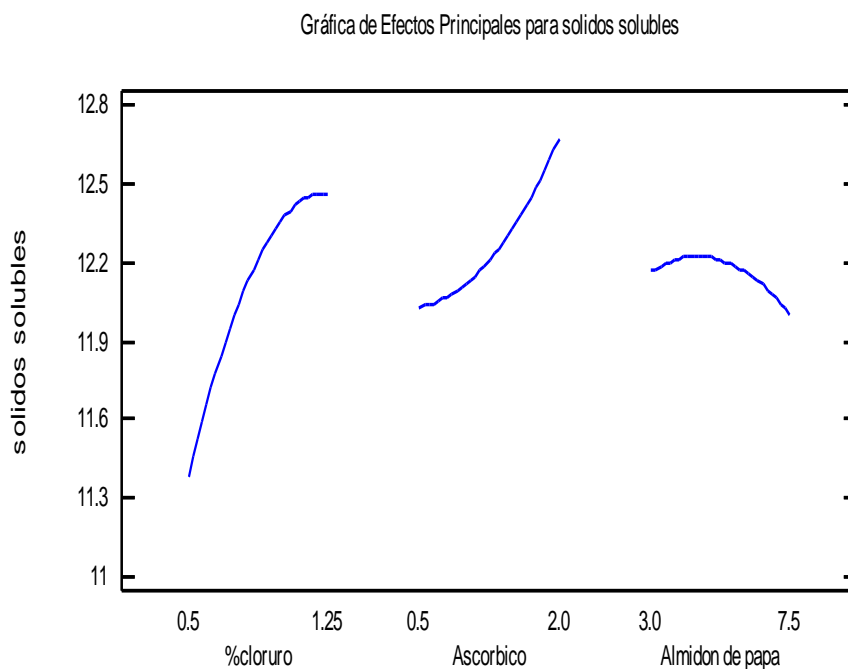
disminución en almidón de papa (%) no produce modificación en el contenido de sólidos solubles (°Brix).

Con respecto a los efectos de las interacciones se puede indicar que las interacciones AB y BB presentan un efecto positivo en la respuesta, mientras que la interacción AA presenta un efecto negativo en la variable respuesta, La interacción AB presenta un efecto positivo en la respuesta y de magnitud 0,9 mientras que la interacción BC no es positivo ni negativo, indicando que el cloruro de calcio (%), ácido ascórbico (%) y almidón de papa (%) tienen poca influencia en la respuesta del proceso.

La Figura 5, muestra el comportamiento de los sólidos solubles (°Brix) conforme hay variación en las variables independientes en el rango previsto para la investigación.

Figura 5

Efectos principales para sólidos solubles (°Brix)



De la Figura 5, se puede asegurar que los sólidos solubles (°Brix) tiene un incremento mínimo cuando el cloruro de calcio (%) y ácido ascórbico (%) aumentan, teniendo un efecto retardador el almidón de papa (%), este efecto en la variable respuesta llevado a cabo por las variables en estudio aumentan su contenido conforme ellas se incrementan.

4.2.1.2. Análisis de varianza

La Tabla 9, muestra los resultados del análisis de varianza realizado para los sólidos solubles (°Brix) en el Diseño Compuesto Central Rotable (DCCR).

Tabla 9

Análisis de varianza para solidos solubles (°Brix)

Fuente	Suma de Cuadrados	G.I.	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: %cloruro de calcio	3,96552	1	3,96552	2,39	0,1534
B: Ac. ascórbico	1,36249	1	1,36249	0,82	0,3864
C: Almidón de papa de papa	0,0960703	1	0,0960703	0,06	0,8148
AA	1,17531	1	1,17531	0,71	0,4199
AB	1,62	1	1,62	0,98	0,3467
AC	2,205	1	2,205	1,33	0,2761
BB	0,277179	1	0,277179	0,17	0,6915
BC	0,0	1	0,0	0,00	1,0000
CC	0,230546	1	0,230546	0,14	0,7173
Error total	16,6134	10	1,66134		
Total (corr.)	27,632	19			

R-cuadrada = 39,8762 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g. l.) = 0,0 por ciento

De acuerdo con el valor del coeficiente de determinación (R^2), el modelo explica el 39,88 % de la variabilidad observada en el contenido de sólidos solubles (°Brix) en función de los tres factores evaluados. El R^2 ajustado, que considera el número de variables incluidas en el modelo, indica que la variabilidad no explicada por los factores

en estudio es mínima, reflejando un ajuste moderado del modelo a los datos experimentales.

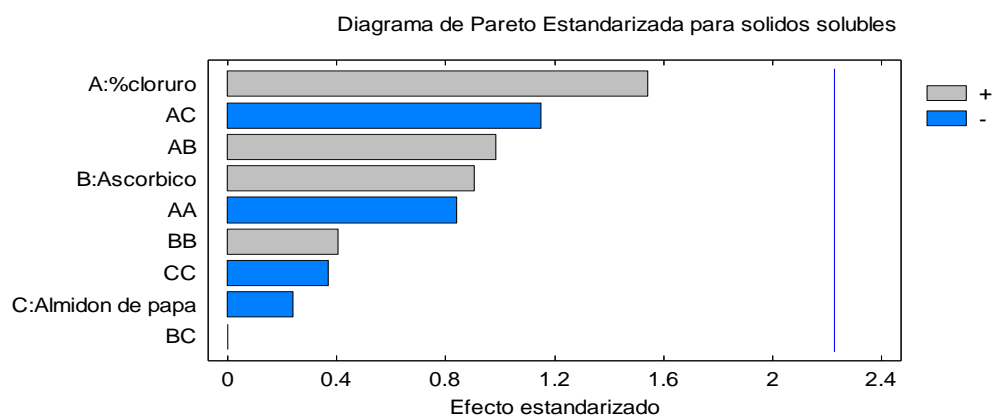
Asimismo, en la gráfica de la carta estandarizada de Pareto se puede apreciar de forma visual la significancia relativa de cada factor y de sus interacciones sobre la variable respuesta, lo que permite identificar cuáles de ellos influyen de manera más destacada en el comportamiento de los sólidos solubles.

4.2.1.2 Carta estandarizada de Pareto

La Figura 6, muestra la carta estandarizada de Pareto en donde se visualiza los factores de la investigación y sus interacciones.

Figura 6

Carta estandarizada de Pareto para sólidos solubles



A partir de la Figura 6, se observa que los factores evaluados y sus interacciones no presentan un efecto significativo sobre la variable respuesta. Esto indica que no existe una relación estadísticamente relevante entre las variables independientes y la variable dependiente analizada.

4.2.1.3. Coeficiente de regresión

La Tabla 10 presenta las estimaciones de los coeficientes de regresión correspondientes al modelo poblacional establecido para las respuestas de sólidos solubles ($^{\circ}$ Brix).

Tabla 10

Coefficiente de regresión para el modelo de determinación de los sólidos solubles (°Brix)

Coefficiente	Estimado
Constante	7,65207
A: %cloruro de calcio	6,2575
B: Ac. ascórbico	-1,59523
C: Almidón de papa de papa	0,7695
AA	-2,03079
AB	1,6
AC	-0,622222
BB	0,246551
BC	0,0
CC	-0,0249841

Se observa que el coeficiente de regresión A = 6,2575, correspondiente al factor cloruro de calcio, presenta un signo positivo. Esto indica que, por cada unidad de incremento en dicho factor, la respuesta de sólidos solubles (°Brix) aumenta en 6,2575 unidades. En cambio, el coeficiente de regresión B = -1,59523 asociado al ácido ascórbico (%) posee signo negativo, lo que significa que un aumento de una unidad en este factor ocasiona una disminución de 1,59523 unidades en los sólidos solubles (°Brix). En cuanto a la interacción AC = -0,622222, se evidencia que los cambios conjuntos entre el cloruro de calcio y el almidón de papa provocan una disminución en la respuesta de sólidos solubles (°Brix) en 0,622222 unidades por cada unidad de incremento en la interacción.

Con base en estos resultados, se puede afirmar que existe suficiente evidencia estadística al 5 % de nivel de significancia para establecer una regresión polinomial. Por tanto, la ecuación de regresión que describe el comportamiento de los sólidos solubles (°Brix) (%) en función de las concentraciones de cloruro de calcio, ácido ascórbico y almidón de papa, según el modelo ajustado, es la siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Sólidos solubles} = & 7,65207 + 6,2575 * \% \text{cloruro} - 1,59523 * \text{Ascórbico} + 0,7695 * \text{Almidón} \\ & \text{de papa de papa} - 2,03079 * \% \text{cloruro}^2 + 1,6 * \% \text{cloruro} * \text{Ascórbico} - \\ & 0,622222 * \% \text{cloruro} * \text{Almidón de papa de papa} + \\ & 0,246551 * \text{Ascorbico}^2 + 0,0 * \text{Ascórbico} * \text{Almidón de papa de papa} - \\ & 0,0249841 * \text{Almidón de papa de papa}^2 \end{aligned}$$

Según la ecuación, se establece que las variables independientes ejercen un efecto cuadrático sobre los sólidos solubles (°Brix).

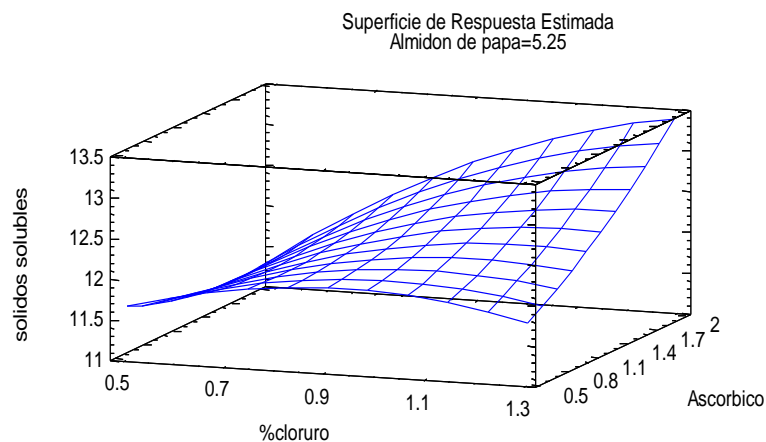
El R^2 ajustado de 0,0 % evidencia que las variables predictoras —cloruro de calcio, ácido ascórbico y almidón de papa— no explican la variación de los sólidos solubles (°Brix).

4.2.1.4. Superficie de respuesta estimada

La Figura 7, muestra que hay interacción entre el cloruro de calcio (%) y el ácido ascórbico (%), se puede observar que si se incrementa la variable cloruro de calcio hay una leve disminución del contenido de sólidos solubles (°Brix), mientras con la variable ácido ascórbico existe un incremento de la variable respuesta.

Figura 7

Superficie de respuesta estimada para los sólidos solubles (°Brix), cloruro de calcio (%) y ácido ascórbico (%)

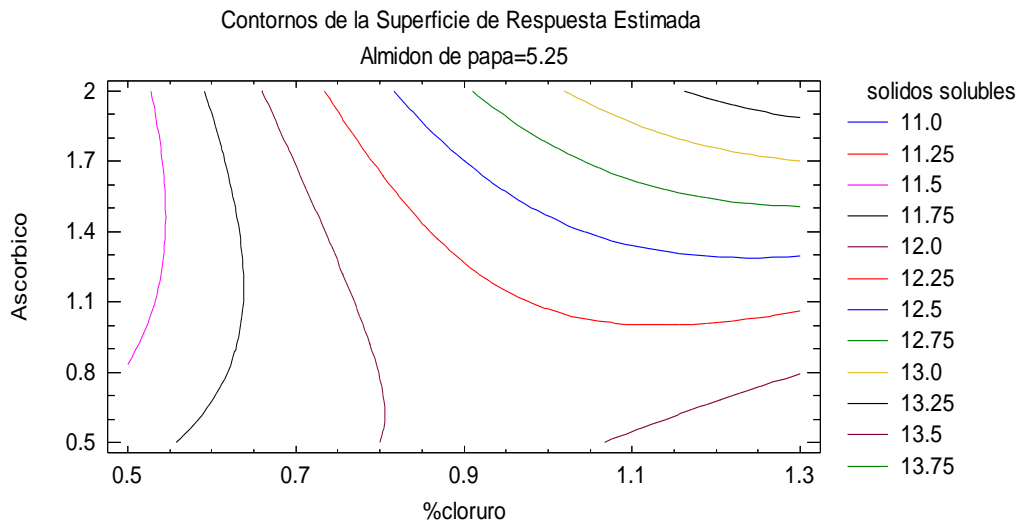


En cuanto a los sólidos solubles (°Brix), la tendencia que tienen los frutos cuando son sometidos a diferentes tratamientos, es a mantener o incrementar su porcentaje a medida que se aumenta el porcentaje de cloruro de calcio y ácido ascórbico.

En la Figura 8, se observa el diagrama de contornos de la superficie de respuesta para los sólidos solubles (°Brix).

Figura 8

Contorno de la superficie de respuesta estimada para los sólidos solubles (porcentaje de cloruro de calcio, porcentaje de ácido ascórbico)



La Figura 8 evidencia que no se presentan interacciones significativas entre las variables estudiadas. Se observa que, manteniendo constante el porcentaje de almidón de papa, el aumento de cloruro de calcio y ácido ascórbico se asocia con un incremento moderado de los sólidos solubles en el producto tratado.

4.2.1.5. Optimización de la respuesta

Haciendo uso de la ecuación de regresión, se determina que el máximo contenido de sólidos solubles se alcanza en las condiciones que se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11

Condiciones de optimización de los sólidos solubles

Valor óptimo = 15,7577 (%)

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
%cloruro de calcio	0,244328	1,50567	1,50202
% Ácido Ascórbico	-0,0113446	2,51134	2,51132
% Almidón de papa de papa	1,46597	9,03403	1,46597

La concentración máxima de sólidos solubles se alcanzó a los 10 días, coincidiendo con Dussan Sarria (2014), quien señala que después de 16 días el producto comienza a deteriorarse y pierde sus atributos de calidad.

La preservación de los atributos físicos, químicos y sensoriales de la piña mínimamente procesada hasta por 16 días se logra mediante acondicionamiento al vacío en bolsas de PEBD de 70 μm a $5\pm 1^\circ\text{C}$, sin recubrimiento comestible, y tratamiento previo con ácido ascórbico (1% v/v), ácido cítrico (1% v/v) y CaCl_2 (1% v/v).

Por otro lado, la aplicación de un recubrimiento comestible a base de almidón de yuca, cera de carnauba, glicerol y aceite de canola no resultó ser la mejor estrategia para conservar la piña mínimamente procesada. Cuando se combina el recubrimiento comestible con acondicionamiento al vacío, los atributos de calidad se mantienen hasta por 12 días a $5\pm 1^\circ\text{C}$ (Dussan Sarria, 2014).

Los valores óptimos de sólidos solubles obtenidos, de 15,75%, son consistentes con lo reportado por Coello e Hidalgo (2013), quienes mencionan que el contenido de carbohidratos en la piña varía entre 10% y 15%.

Se observó que los tratamientos con recubrimiento presentan una ligera reducción en los sólidos solubles, lo cual se atribuye a la creación de una atmósfera modificada que ralentiza las reacciones metabólicas, como la respiración, al actuar como barrera al intercambio gaseoso (Zambrano, 2017).

En los primeros días, los tratamientos registraron 16 °Brix, siendo este el valor más alto. Al día 7, las piñas cortadas en tiras e inmersas en ácido cítrico al 0,5% mostraron la menor disminución de sólidos solubles. A los 14 días, la mayoría de los tratamientos se estabilizó alrededor de 13 °Brix (Pasquel, 2009).

4.2.2. Metodología de superficie de respuesta para la acidez total (%)

4.2.2.1. Efectos estimados para la acidez total

Los efectos estimados promedio y sus desviaciones estándar se muestran en la Tabla 12, en donde la media (promedio) de los efectos fue calculado a través de un análisis estadístico y luego se evalúa la incidencia de cada una de las variables sobre este valor.

Tabla 12*Efecto estimado para acidez total (%)*

Efecto	Estimado	Error Estd.
Promedio	0,358800	0,0329982
A: %cloruro de calcio	0,097985	0,0437871
B: Ac, ascórbico	-0,032218	0,0437871
C: Almidón de papa	-0,022499	0,0437871
AA	-0,005523	0,0426257
AB	0,025000	0,0572106
AC	-0,030000	0,0572106
BB	0,008618	0,0426256
BC	-0,015000	0,0572106
CC	-0,090376	0,0426256

Los datos indican que la media para la acidez total (%) alcanzado en los ensayos fue de 0,3588% y los efectos de las distintas variables y las interacciones entre las variables estudiadas ejercen también efecto sobre el valor medio para la acidez estimada por el modelo, sobre los 10 grados de libertad.

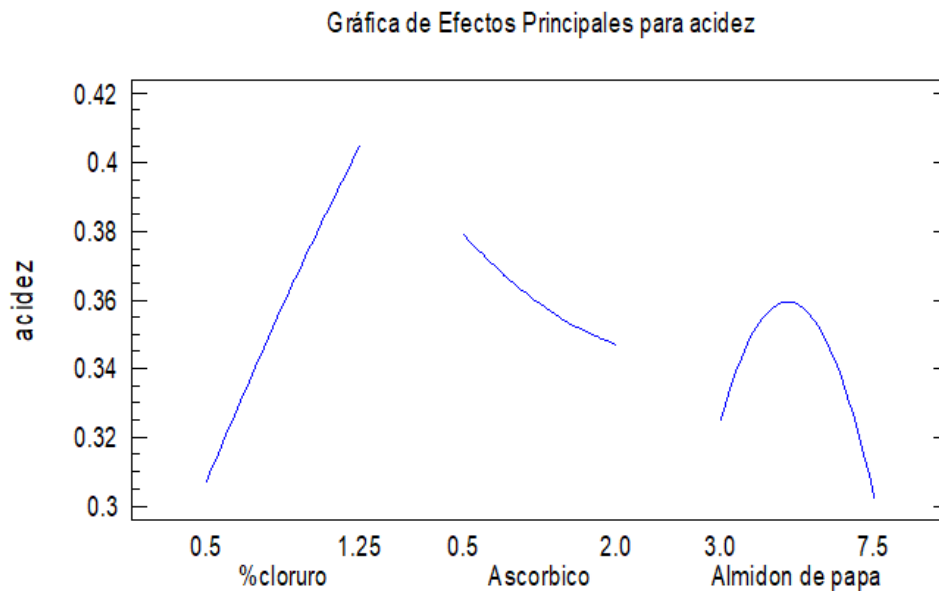
Los resultados, nos muestran el cálculo de los efectos de cada una de las variables, donde se puede observar que el incremento de cloruro de calcio (%), disminución de ácido ascórbico (%) y de almidón de papa (%) no produce modificación en el contenido de acidez total.

Con respecto a los efectos de las interacciones se puede indicar que las interacciones AB y BB presentan un efecto positivo en la respuesta, mientras que la interacción AA presenta un efecto negativo en la variable respuesta, La interacción AB, AC, BC y CC presentan efecto negativo en la respuesta y de magnitudes que no tiene incidencia en la variable respuesta, indicando que el cloruro de calcio (%), ácido ascórbico (%) y almidón de papa (%) no tienen efecto en la respuesta de los tratamientos en estudio.

La Figura 9, muestra el comportamiento de la acidez total conforme hay variación en las variables predictoras en el rango previsto para la investigación.

Figura 9

Efectos principales para la acidez total



En la Figura 9, se puede observar que el comportamiento de la acidez total tiene un incremento cuando el cloruro de calcio (%) aumenta, mientras que con el ácido ascórbico (%) tiene tendencia a disminuir y con el almidón de papa de papa (%) al inicio se incrementa para luego descender, este efecto en la variable respuesta llevado a cabo por las variables en estudio nos muestran el comportamiento en el tiempo conforme ellas se utilizan.

4.2.2.2. Análisis de varianza para acidez total

De acuerdo a la Tabla 13, los resultados del análisis de varianza realizado para la acidez total en el Diseño Compuesto Central Rotable (DCCR) nos muestra que efectos tuvieron los factores en estudio.

Tabla 13*Análisis de varianza para la acidez total*

Fuente	Suma de Cuadrados	G.I.	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: %cloruro de calcio	0,0327804	1	0,0327804	5,01	0,0492
B: Ac. ascórbico	0,003544	1	0,003544	0,54	0,4788
C: Almidón de papa de papa	0,00172836	1	0,00172836	0,26	0,6185
AA	0,000109911	1	0,000109911	0,02	0,8995
AB	0,00125	1	0,00125	0,19	0,6714
AC	0,0018	1	0,0018	0,27	0,6114
BB	0,00026762	1	0,00026762	0,04	0,8438
BC	0,00045	1	0,00045	0,07	0,7985
CC	0,0294274	1	0,0294274	4,50	0,0600
Error total	0,0654609	10	0,00654609		
Total (corr,)	0,13758	19			

R-cuadrada = 52,4197 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 9,59747 por ciento

El estadígrafo de prueba indica que el cloruro de calcio (%) tiene un efecto significativo sobre el contenido de acidez total de la piña mínimamente procesada, mientras que el ácido ascórbico, el almidón de papa y las interacciones entre las variables no presentan diferencias significativas, lo que sugiere que su influencia es mínima dentro de las condiciones evaluadas. El análisis del modelo mediante el R² muestra que los tres factores considerados explican el 52,42 % de la variabilidad del contenido de acidez total, destacando la importancia del cloruro de calcio. Por su parte, el R² ajustado, que permite comparar modelos con diferente número de variables, evidencia que un 9,60 % de la variabilidad no es explicada por los factores estudiados, indicando la posible influencia de otros factores externos.

La carta estandarizada de Pareto permite observar gráficamente la significancia de los resultados, evidenciando nuevamente que el cloruro de calcio es el factor con mayor efecto sobre el contenido de acidez total, mientras que el ácido ascórbico, el almidón de papa y las interacciones no alcanzan niveles relevantes. En conjunto, estos hallazgos muestran que el cloruro de calcio es el principal determinante del contenido de acidez

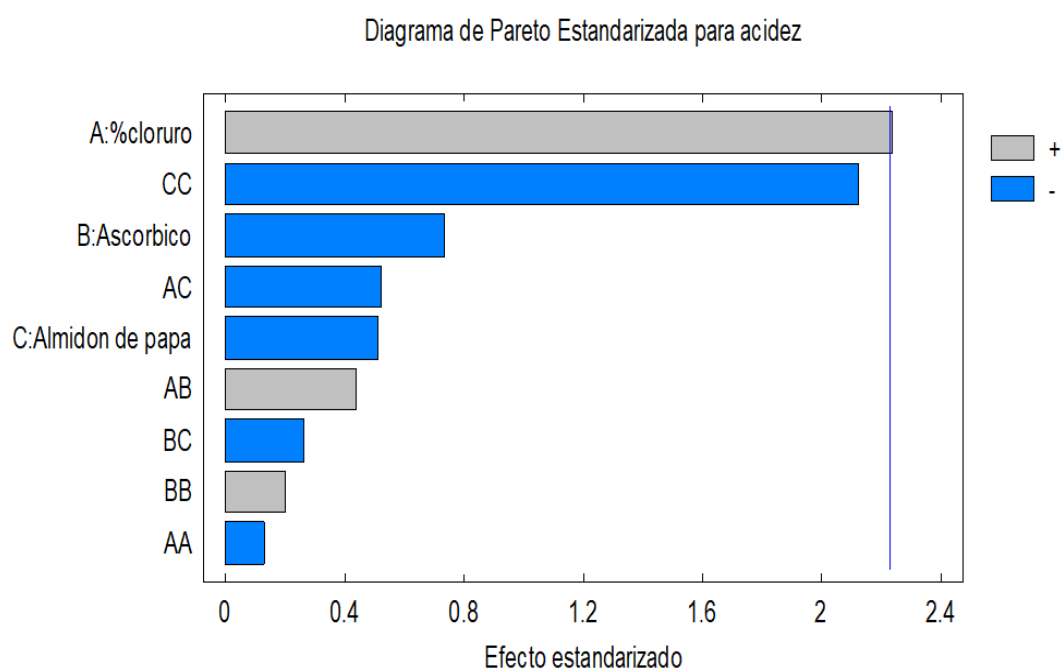
total en la piña mínimamente procesada, proporcionando información útil para la selección de tratamientos que mantengan la calidad química del producto.

4.2.2.3. Carta estandarizada de Pareto

La Figura 10, muestra la carta estandarizada de Pareto en donde se visualiza los factores en estudio y sus interacciones.

Figura 10

Carta estandarizada de Pareto para la acidez total



De la figura se afirma, que existe significancia en la variable cloruro de calcio con efecto no tan importante en la acidez, lo que no ocurre con las demás variables y las interacciones en estudio respectivamente.

4.2.2.4. Coeficiente de regresión para la acidez total

La Tabla 14, muestra las estimaciones de los coeficientes de regresión del modelo poblacional fijado para las respuestas de acidez total.

Tabla 14*Coefficiente de regresión para el modelo de determinación de la acidez total*

Coefficiente	Estimado
Constante	-0,0137313
A: %cloruro de calcio	0,202793
B: Ac, ascórbico	-0,0561869
C: Almidón de papa de papa	0,109835
AA	-0,0196385
AB	0,0444444
AC	-0,0177778
BB	0,00766102
BC	-0,00444444
CC	-0,00892607

Se observa que los coeficientes regresores A = 0,202793 para el cloruro de calcio y C = 0,109835 presentan signo positivo, lo que indica que por cada unidad que aumenta cada uno de estos factores, la acidez total se incrementa en 0,202793 y 0,109835 unidades, respectivamente. Por otro lado, el coeficiente regresor B = -0,0561869, correspondiente al ácido ascórbico, muestra que, al disminuir este factor en una unidad, la acidez total también disminuye.

En cuanto a las interacciones entre los factores, los signos positivos y negativos indican que los cambios combinados pueden provocar incrementos o disminuciones en la variable dependiente, evidenciando la relevancia de estas combinaciones sobre la acidez total. Esto permite entender que no solo los factores individuales, sino también sus interacciones, influyen en la respuesta del sistema.

Los resultados confirman que existe suficiente evidencia estadística al 5 % de nivel de significancia para afirmar la presencia de regresión polinomial. Así, la ecuación de regresión obtenida a partir del modelo ajustado permite predecir la acidez total (%) para cualquier porcentaje de cloruro de calcio, ácido ascórbico y almidón de papa, proporcionando una herramienta útil para optimizar las condiciones de tratamiento del producto.

$$\begin{aligned} \text{Acidez total} = & -0,0137313 + 0,202793*\% \text{cloruro} - 0,0561869*\text{ascórbico} + \\ & 0,109835*\text{almidón de papa de papa} - 0,0196385*\% \text{cloruro}^2 + \\ & 0,0444444*\% \text{cloruro}*\text{ascórbico} - 0,0177778*\% \text{cloruro}*\text{almidón de papa} \\ & \text{de papa} + 0,00766102*\text{ascorbico}^2 - 0,00444444*\text{ascórbico}*\text{almidón de} \\ & \text{papa de papa} - 0,00892607*\text{almidón de papa de papa}^2 \end{aligned}$$

De la ecuación se observa que las variables independientes tienen un efecto cuadrático sobre la acidez total (%).

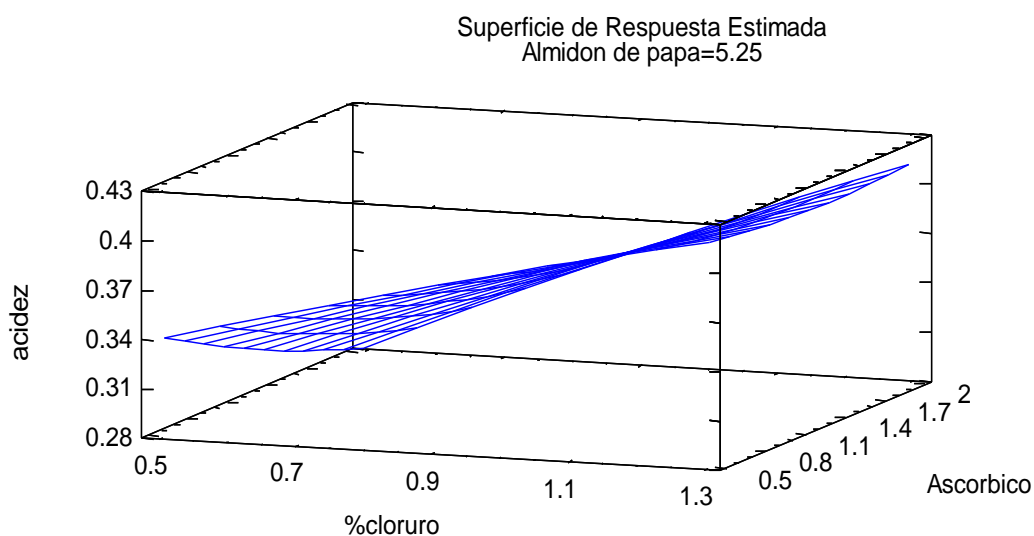
El R^2 ajustado es 9,59747 % lo que indica poco porcentaje en variación de la acidez total (%), que es explicada por las variables predictoras como el cloruro de calcio, ácido ascórbico y almidón de papa.

4.2.2.5. Superficie de respuesta estimada para la acidez total

La Figura 11, muestra que hay efecto con el cloruro de calcio (%) donde se puede observar que si se incrementa esta variable independiente hay un leve aumento del contenido de acidez total, mientras con la variable ácido ascórbico no existe efecto en la variable respuesta, teniendo como factor constante al almidón de papa de papa (%).

Figura 11

Superficie de respuesta estimada para la acidez total (%), cloruro de calcio (%) y ácido ascórbico (%)

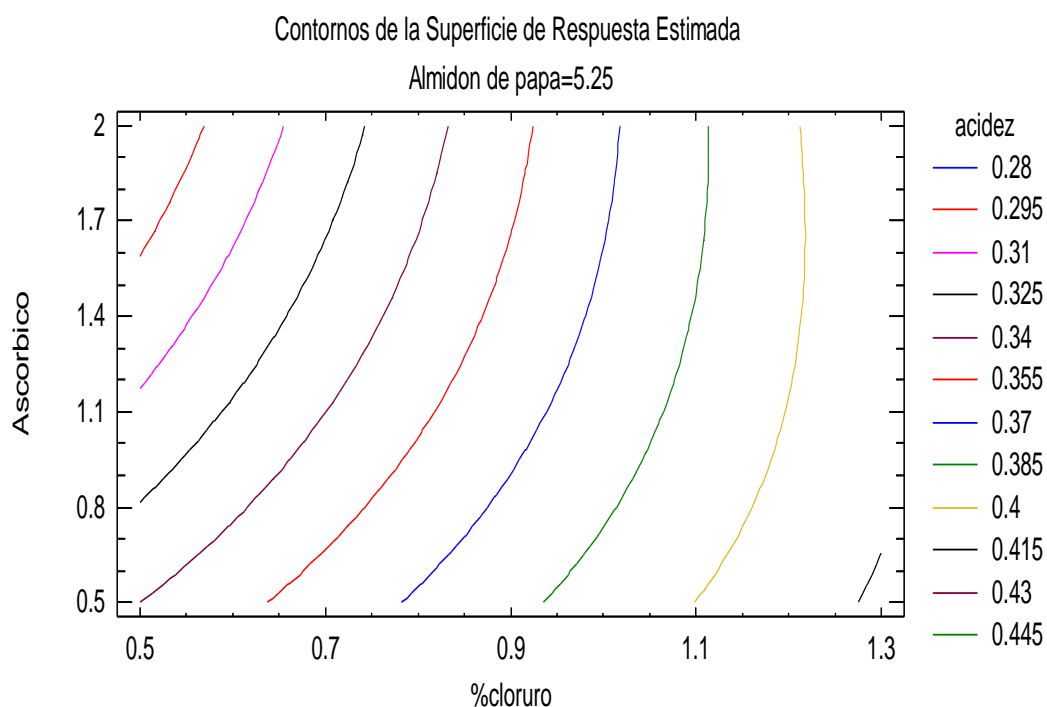


La acidez total determina el grado de madurez del fruto conjuntamente con los sólidos solubles (°Brix), los frutos cuando son sometidos a tratamientos para obstaculizar los cambios en su composición, es mantener inalterable o sin cambios el componente que se investiga a medida que se aumenta el porcentaje de cloruro de calcio y ácido ascórbico.

El comportamiento de la acidez total (%) se observa en la Figura 12, que representa el diagrama de contornos de la superficie de respuesta.

Figura 12

Contornos de la superficie de respuesta estimada para la acidez total (%) (porcentaje de cloruro de calcio, porcentaje de ácido ascórbico)



La Figura 12 muestra que no existe interacción entre las variables en estudio, afirmándose que a un porcentaje constante de almidón de papa y con un incremento de cloruro de calcio existe un incremento moderado de la acidez total en el producto tratado.

4.2.2.6. Optimización de la respuesta

Haciendo uso de la ecuación de regresión, se determinó que el máximo contenido de acidez total se tiene en las condiciones que se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15

Condiciones de optimización de la acidez total

Valor óptimo = 0,467168 (%)

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
%cloruro de calcio	0,244328	1,50567	1,50567
Ascórbico	-0,0113446	2,51134	2,51134
Almidón de papa de papa	1,46597	9,03403	4,02795

El uso de cloruro de calcio, ácido ascórbico y almidón de papa en la conservación de frutas es fundamental para mantener los productos en condiciones adecuadas para su consumo y comercialización durante un tiempo determinado. Según Maldonado (2016), al momento de la cosecha la piña debe cumplir con ciertos requisitos de calidad, incluyendo una acidez máxima de 1 %. Este valor, junto con los sólidos solubles y el pH, garantiza la aceptabilidad del producto por parte del consumidor. La acidez titulable de la piña no presenta cambios significativos tras la cosecha, lo que permite que la aplicación de recubrimientos influya en su conservación sin afectar la calidad inicial.

Coello e Hidalgo (2013) señalan que la acidez promedio de la piña varía según su estado de madurez, registrando $0,59 \pm 0,047$ % para piñas de 12 meses y $0,63 \pm 0,03$ % para piñas de 18 meses, valores que son consistentes con los 0,46 % obtenidos en nuestro estudio.

Por su parte, Zambrano (2017) observó que la aplicación de recubrimientos disminuye la pérdida de acidez titulable durante los primeros cinco días de almacenamiento, indicando que estos recubrimientos retardan la degradación de ácidos orgánicos y ayudan a mantener la calidad química de la fruta.

n el estudio de Pasquel (2009), durante el monitoreo de la acidez en piñas cortadas en tiras, se encontró que los tratamientos con ácido cítrico al 0,3 % en bolsas de media densidad presentaron un aumento de acidez al día 7, comparado con otros tratamientos, cortes y días de evaluación. Sin embargo, a los días 3 y 14, el contenido de acidez permaneció casi constante en varios tratamientos. La disminución de la acidez y el aumento de sólidos solubles se atribuyen al metabolismo ácido de las Crasuláceas (CAM) de la piña. Además, los puntajes de acidez fueron similares para piñas cortadas en rodajas o tiras en la mayoría de los tratamientos, aunque a los 3 días de almacenamiento, las tiras tratadas con ácido cítrico al 0,3 % en bolsas de media densidad fueron calificadas como levemente ácidas.

4.2.3. Diseño de superficie de respuesta para el pH

4.2.3.1. Efectos estimados de cada variable y sus interacciones

Los efectos estimados promedio y sus desviaciones estándar para el pH se muestran en la Tabla 16.

Tabla 16

Efecto estimado para pH

Efecto	Estimado	Error Estd,	V.I.F.
Promedio	4,52681	0,213607	
A: %cloruro de calcio	-0,408185	0,283447	1,0
B: Ascórbico	0,316588	0,283447	1,0
C: Almidón de papa de papa	-0,248826	0,283447	1,0
AA	-0,0294243	0,275929	1,01826
AB	-0,6625	0,370341	1,0
AC	-0,1925	0,370341	1,0
BB	-0,00113947	0,275929	1,01826
BC	0,3825	0,370341	1,0
CC	0,203922	0,275928	1,01826

De acuerdo con los resultados mostrados en la tabla anterior la media para el pH alcanzado en los ensayos es de 4,52681 y los efectos de las distintas variables y las

interacciones entre las variables estudiadas no ejercen efecto sobre el valor medio para el pH estimado por el modelo, sobre los 10 grados de libertad.

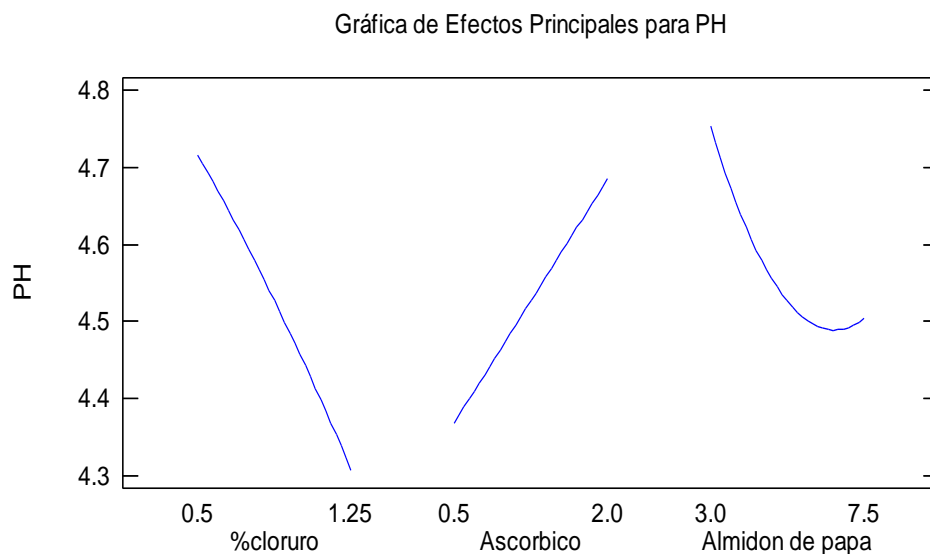
El cálculo de los efectos de cada una de las variables, donde se puede observar que el incremento de ácido ascórbico (%) y disminución de cloruro de calcio (%) y almidón de papa (%) no produce cambio en el pH.

Con respecto a los efectos de las interacciones se puede indicar que las interacciones BC y CC presentan un efecto positivo en la respuesta, mientras que las demás interacciones presentan un efecto negativo, indicando que el cloruro de calcio (%), ácido ascórbico (%) y almidón de papa de papa (%) no tienen influencia en la variable respuesta.

La Figura 13, muestra el comportamiento del pH conforme hay variación en las variables independientes en el rango previsto para la investigación.

Figura 13

Efectos principales para el pH



de acuerdo a la Figura 13 el pH tiene una disminución con el cloruro de calcio (%) y almidón de papa de papa (%), teniendo un efecto de incremento con el ácido ascórbico (%), este efecto en la variable respuesta llevado a cabo por las variables en estudio no modifican el pH.

4.2.3.2. Análisis de varianza para el pH

El análisis de varianza para el pH se llevó a cabo con un nivel de significancia de 5% en el Diseño Compuesto Central Rotable (DCCR).

Tabla 17

Análisis de varianza para el pH

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: %cloruro de calcio	0,568857	1	0,568857	2,07	0,1804
B: Ac. ascórbico	0,342199	1	0,342199	1,25	0,2901
C: Almidón de papa de papa	0,211388	1	0,211388	0,77	0,4006
AA	0,00311927	1	0,00311927	0,01	0,9172
AB	0,877813	1	0,877813	3,20	0,1039
AC	0,0741125	1	0,0741125	0,27	0,6145
BB	0,00000467782	1	0,00000467782	0,00	0,9968
BC	0,292612	1	0,292612	1,07	0,3260
CC	0,14982	1	0,14982	0,55	0,4769
Error total	2,74305	10	0,274305		
Total (corr.)	5,26988	19			

R-cuadrada = 47,9485 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 1,10213 por ciento

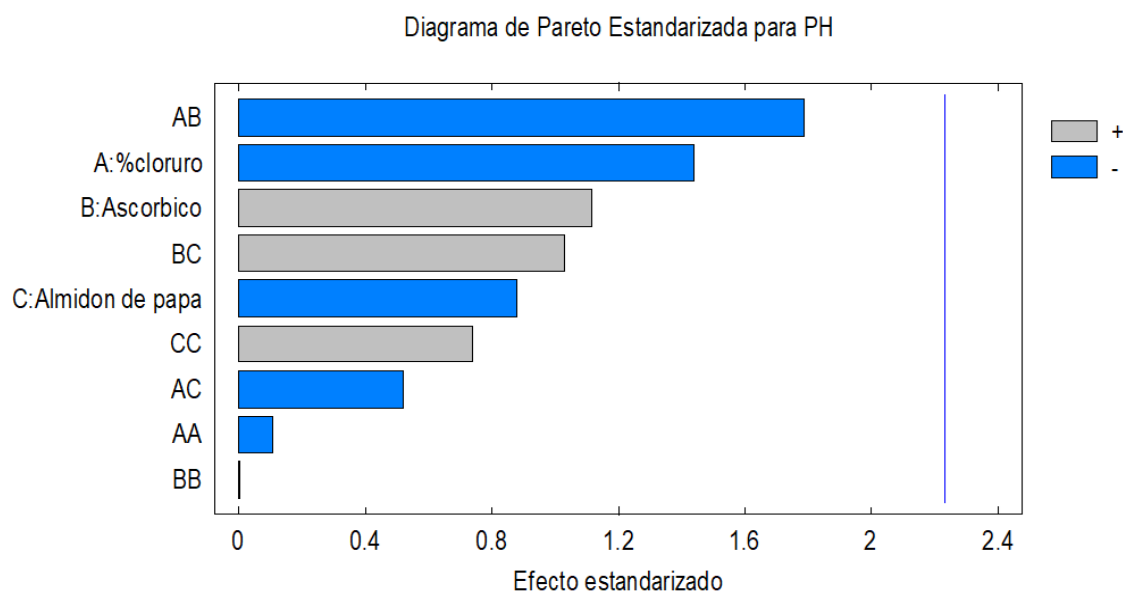
De acuerdo con el R^2 estadístico, el modelo explica el 47,9485 % de la variabilidad del contenido de hidrogeniones afectada por los tres factores, El R^2 ajustado permite hacer una mejor comparación del modelo con diferente número de variables y explica el 1,10213 % de la variabilidad que no es afectada por los factores en estudio.

4.2.3.3. Carta estandarizada de Pareto

La Figura 14, muestra la carta estandarizada de Pareto en donde nos hace visualizar los factores en estudio y sus interacciones.

Figura 14

Carta estandarizada de Pareto para el pH



De la carta estandarizada de Pareto se afirma, que no hay significancia entre los factores y sus interacciones en estudio, lo cual nos indica que no tiene efecto en el pH.

4.2.3.4. Coeficiente de regresión

La tabla 18, muestra las estimaciones de los coeficientes de regresión del modelo poblacional fijado para las respuestas de pH.

Tabla 18

Coeficiente de regresión para el modelo de determinación de pH

Coeficiente	Estimado
Constante	4,43447
A: %cloruro de calcio	1,70995
B: Ac, ascórbico	0,649146
C: Almidón de papa de papa	-0,308621
AA	-0,10462
AB	-1,17778
AC	-0,114074
BB	-0,00101286
BC	0,113333
CC	0,0201405

El coeficiente regresor A = 1,70995 correspondiente al cloruro de calcio presenta signo positivo, indicando que por cada unidad que aumenta este factor, el pH de la piña mínimamente procesada se incrementa en 1,70995 unidades. En contraste, el coeficiente C = -0,308621 del almidón de papa (%) muestra que, por cada unidad que disminuye este factor, el pH se reduce en 0,308621 unidades. Esto evidencia que ambos factores influyen directamente sobre la variable respuesta.

Las interacciones entre los factores, tanto positivas como negativas, reflejan efectos combinados que pueden aumentar o disminuir el pH. Esto demuestra que la relación entre los factores no es únicamente individual, sino que sus combinaciones afectan significativamente la variable dependiente.

Los resultados estadísticos confirman, al nivel de significancia del 5 %, que existe evidencia suficiente para afirmar la presencia de regresión polinomial cuadrática. La ecuación de regresión ajustada permite estimar el pH de la piña para cualquier porcentaje de cloruro de calcio, ácido ascórbico y almidón de papa, siendo útil para optimizar tratamientos de conservación y mantener la calidad química del producto.

$$\text{pH} = 4,43447 + 1,70995*\% \text{cloruro} + 0,649146*\text{ascórbico} - 0,308621*\text{almidón de papa de papa} - 0,10462*\% \text{cloruro}^2 - 1,17778*\% \text{cloruro}*\text{ascórbico} - 0,114074*\% \text{cloruro}*\text{almidón de papa de papa} - 0,00101286*\text{Ascorbico}^2 + 0,113333*\text{ascórbico}*\text{almidón de papa de papa} + 0,0201405*\text{almidón de papa de papa}^2$$

De la ecuación se observa que las variables independientes ejercen un efecto cuadrático sobre el pH del producto, lo que indica que los cambios en los niveles de cloruro de calcio, ácido ascórbico y almidón de papa no afectan de manera lineal la concentración de hidrogeniones, sino que su influencia puede variar según la combinación de los factores. Sin embargo, el valor del R² ajustado, de 1,10213 %, refleja que estas variables predictoras explican solo una pequeña fracción de la variación observada en el pH, sugiriendo que otros factores no incluidos en el modelo podrían tener un efecto más relevante sobre esta característica química del producto. Este hallazgo indica que, aunque los factores estudiados tienen un efecto cuantificable, su capacidad para predecir cambios en el pH es limitada, por lo que se requiere considerar

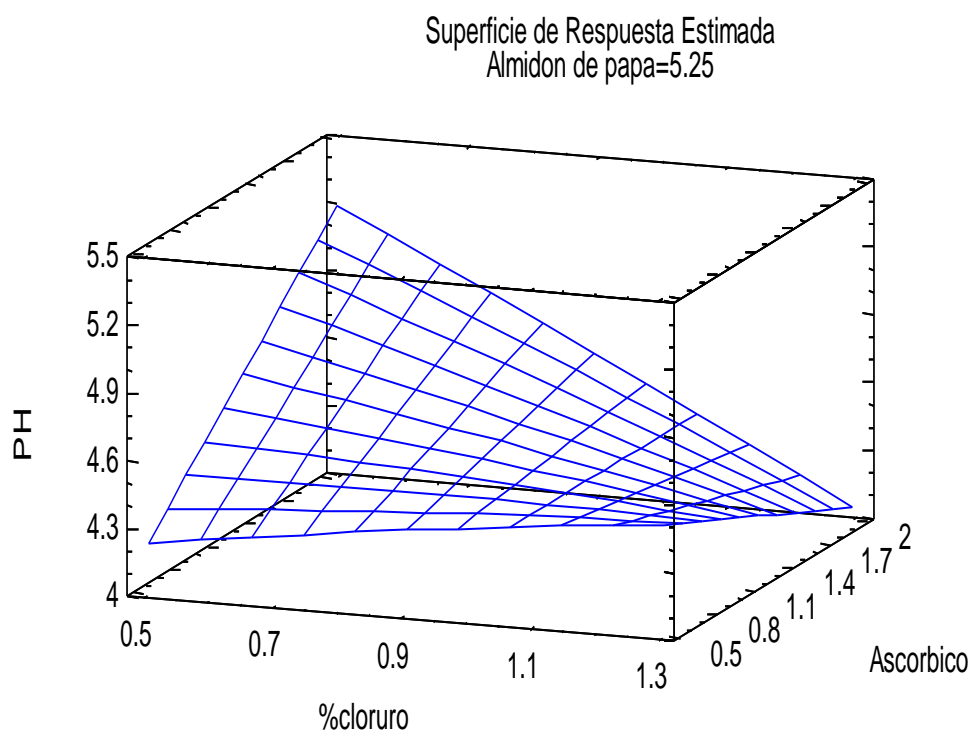
otras condiciones de almacenamiento o tratamiento para influir de manera significativa en esta variable.

4.2.3.5. Superficie de respuesta estimada

La Figura 15, muestra el efecto de las variables independientes (cloruro de calcio (%), ácido ascórbico (%) y almidón de papa de papa (%)) en la variable respuesta pH.

Figura 15

Superficie de respuesta estimada para el pH, cloruro de calcio (%) y ácido ascórbico (%)

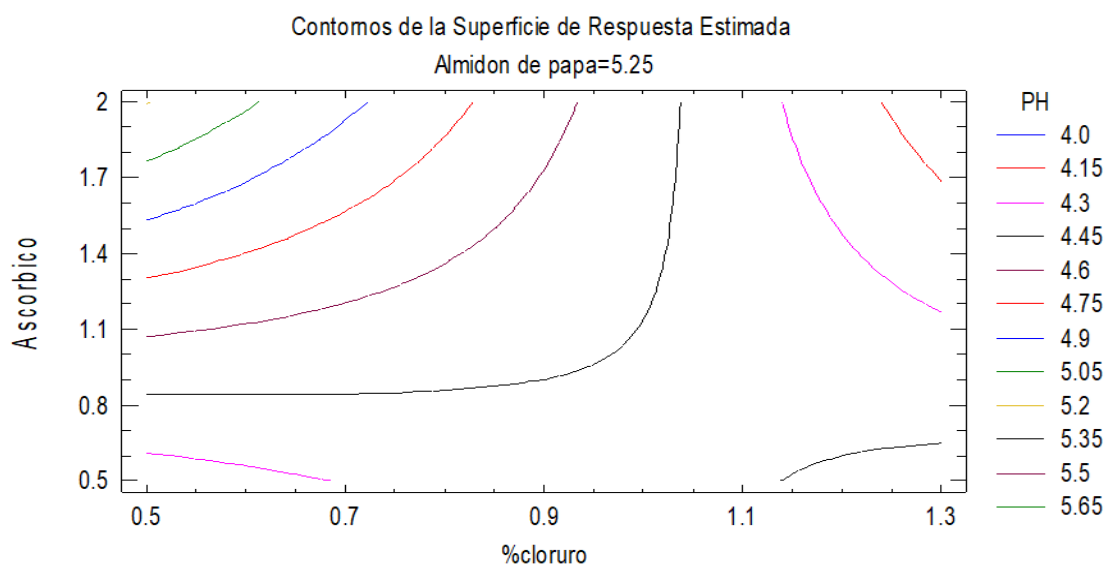


La interacción entre el cloruro de calcio (%) y el ácido ascórbico (%) indica que cuando se incrementa la variable cloruro de calcio hay un leve incremento del pH, mientras que al incrementar el ácido ascórbico existe una disminución del contenido de hidrogeniones que al final no tiene efecto de cambio en la respuesta.

El diagrama de contornos de la superficie de respuesta para el pH se muestra en la siguiente Figura.

Figura 16

Contornos de la superficie de respuesta estimada para el pH (porcentaje de cloruro de calcio, porcentaje de ácido ascórbico)



La Figura 16 evidencia que no se presentan interacciones significativas entre las variables en estudio. Esto significa que, al mantener constante el porcentaje de almidón de papa, los incrementos en los niveles de cloruro de calcio y ácido ascórbico no producen cambios apreciables en el pH del producto tratado. Este comportamiento indica que la combinación de estos factores no tiene un efecto sinérgico o antagonista sobre la acidez del producto, lo que sugiere que el pH se mantiene relativamente estable independientemente de las variaciones simultáneas de estos componentes. En términos prácticos, este resultado es relevante para la conservación de la piña mínimamente procesada, ya que permite inferir que el control del pH del producto no depende de la interacción entre cloruro de calcio, ácido ascórbico y almidón de papa, facilitando el diseño de tratamientos de conservación que mantengan la calidad química y sensorial del alimento durante su almacenamiento.

4.2.3.6. Optimización de la respuesta

El máximo de pH se alcanza en las condiciones que se muestran en la Tabla 19
Condiciones de optimización de pH

Tabla 19

Condiciones de optimización de pH

Valor óptimo = 6,64067

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
%cloruro de calcio	0,244328	1,50567	0,244328
Ascórbico	-0,0113446	2,51134	2,51134
Almidón de papa de papa	1,46597	9,03403	8,07175

El pH máximo se alcanzó experimentalmente según los resultados óptimos de los factores estudiados, tal como se indica en la tabla anterior. De acuerdo con Pasquel (2009), las piñas cortadas en tiras y en rodajas, envasadas en diferentes tipos de envases e inmersas en ácido cítrico, presentaron el mayor descenso de pH, alcanzando un valor de 3,34 en bolsas de baja densidad con una concentración de 0,5 % de ácido cítrico al día 14. Este comportamiento evidencia que la aplicación de ácido cítrico y el tipo de envase influyen sobre la acidez del producto, especialmente en períodos de almacenamiento prolongados, afectando de manera significativa la característica química evaluada.

Por otro lado, Zambrano (2017) señala que el pH inicial de la piña es de 3,34 y experimenta un ligero incremento durante los primeros siete días, alcanzando valores de 3,38 y 3,36. Los recubrimientos aplicados al producto inciden mínimamente sobre el pH, generando cambios menores a 0,5 unidades, lo que indica que estas estrategias de conservación no alteran de forma significativa la acidez, permitiendo mantener la estabilidad química del producto durante el almacenamiento. Esto es relevante para la industria de alimentos, ya que asegura que los tratamientos empleados no afectan la aceptación sensorial de la fruta por parte del consumidor.

Asimismo, Coello e Hidalgo (2013) observaron que los valores promedio de pH para piñas de 12 meses fueron de $4,14 \pm 0,04$ y para piñas de 18 meses de $4,19 \pm 0,04$. Al realizar el contraste correspondiente, no se encontraron diferencias significativas entre las muestras, lo que sugiere que la edad de la fruta no influye de manera considerable en esta característica química. En conjunto, estos hallazgos confirman que, aunque algunos tratamientos pueden provocar ligeras variaciones en el pH, el valor de esta variable se mantiene relativamente estable, lo que permite garantizar la calidad del producto durante su almacenamiento y manejo postcosecha.

4.2.4. Diseño de superficie de respuesta para pérdida de masa

4.2.4.1. Efectos estimados de cada variable y sus interacciones

La Tabla 20, muestra los efectos estimados promedio y sus desviaciones estándar para la pérdida de masa del producto en estudio.

Tabla 20

Efectos estimados para pérdida de masa

Efecto	Estimado	Error Estd,	V.I.F.
Promedio	2,13421	0,479134	
A: %cloruro de calcio	0,0161115	0,63579	1,0
B: Ac. ascórbico	0,34914	0,63579	1,0
C: Almidón de papa de papa	-0,427622	0,63579	1,0
AA	0,910406	0,618926	1,01826
AB	0,4175	0,830699	1,0
AC	-1,0675	0,830699	1,0
BB	0,645239	0,618926	1,01826
BC	-0,8325	0,830699	1,0
CC	1,17203	0,618925	1,01826

De los resultados, la media para la pérdida de masa determinado en los tratamientos en estudio fue de 0,479134 y los efectos de las distintas variables (cloruro de calcio (%), ácido ascórbico (%) y almidón de papa de papa (%)) y las interacciones entre las variables estudiadas no ejercen efecto sobre el valor medio para la pérdida de masa estimado por el modelo, sobre los 10 grados de libertad.

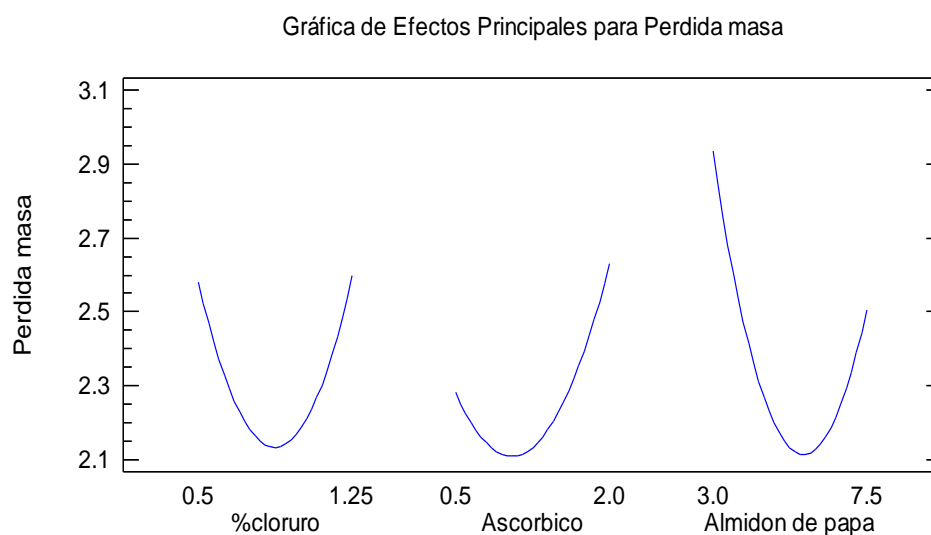
El cálculo de los efectos de cada una de las variables, donde se puede observar que el incremento de cloruro de calcio (%) y ácido ascórbico (%) y disminución de almidón de papa de papa (%) no produce cambio en el pH.

Con respecto a los efectos de las interacciones se puede indicar que las interacciones AB, AB, BB y CC presentan un efecto positivo en la respuesta, mientras que las interacciones AC y BC presentan efecto negativo en la variable respuesta, indicando que el cloruro de calcio (%), ácido ascórbico (%) y almidón de papa de papa (%) no tienen influencia en la respuesta del estudio experimental.

La Figura 17, muestra el comportamiento de la pérdida de masa conforme hay variación en las variables independientes en el rango previsto para la investigación.

Figura 17

Efectos principales para pérdida de masa



Nos muestra que la pérdida de masa tiene un decremento para luego un incremento mínimo cuando el cloruro de calcio (%), ácido ascórbico (%) y almidón de papa de papa (%) aumentan, este efecto producido en la variable dependiente llevado a cabo por las variables predictoras en estudio no tiene relevancia en cuanto a la humedad del producto.

4.2.4.2. Análisis de varianza para pérdida de masa

En la Tabla 21, se observan los resultados del análisis de varianza realizado para la pérdida de masa en el estudio realizado en la investigación.

Tabla 21

Análisis de varianza para pérdida de masa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: % cloruro de calcio	0,000886261	1	0,000886261	0,00	0,9803
B: Ac, ascórbico	0,416187	1	0,416187	0,30	0,5950
C: Almidón de papa de papa	0,624324	1	0,624324	0,45	0,5165
AA	2,98614	1	2,98614	2,16	0,1721
AB	0,348612	1	0,348612	0,25	0,6261
AC	2,27911	1	2,27911	1,65	0,2277
BB	1,49997	1	1,49997	1,09	0,3217
BC	1,38611	1	1,38611	1,00	0,3399
CC	4,94904	1	4,94904	3,59	0,0875
Error total	13,8012	10	1,38012		
Total (corr,)	26,8663	19			

R-cuadrada = 48,63 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 2,39694 por ciento

El valor de R^2 estadístico del modelo indica que los tres factores en estudio —cloruro de calcio (%), ácido ascórbico (%) y almidón de papa (%)— explican el 48,63 % de la variabilidad observada en la pérdida de masa del producto. Por su parte, el R^2 ajustado, que permite una mejor comparación entre modelos con diferente número de variables, evidencia que solo el 2,40 % de la variabilidad no es explicada por estos factores, lo que sugiere que otras condiciones externas podrían influir en la pérdida de masa.

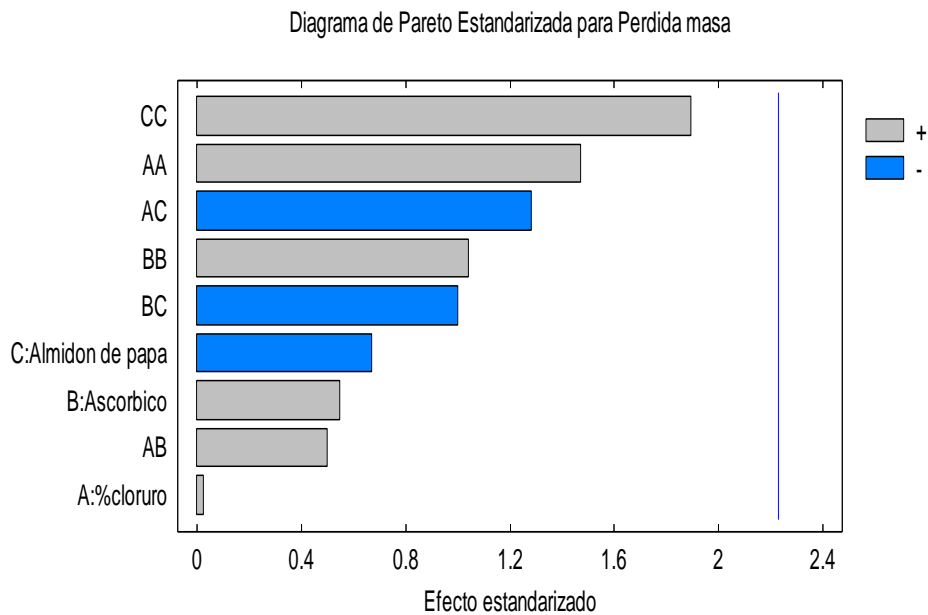
Gráficamente, la significancia de los factores evaluados puede apreciarse mediante la carta estandarizada de Pareto, en la que se identifica de manera clara cuáles variables tienen un mayor efecto sobre la respuesta medida. Este análisis facilita la interpretación de los resultados y permite establecer estrategias para optimizar los tratamientos de conservación y reducir la pérdida de masa en la piña mínimamente procesada.

4.2.4.3. Carta estandarizada de Pareto

La carta estandarizada de Pareto permite observar de manera gráfica los factores y sus interacciones que influyen sobre la variable respuesta. Esta representación facilita identificar cuáles factores tienen un mayor efecto y cuáles son menos relevantes, apoyando la interpretación de los resultados y contribuyendo a la selección de los tratamientos más adecuados para optimizar la característica evaluada.

Figura 18

Carta estandarizada de Pareto para la pérdida de masa



De acuerdo con la Figura 18, se observa que no existen diferencias significativas entre los factores estudiados ni en sus interacciones con respecto a la pérdida de masa en los tratamientos aplicados. Esto indica que ni el cloruro de calcio, el ácido ascórbico ni el almidón de papa, de manera individual o combinada, influyen de manera notable en esta variable durante el período de evaluación. En consecuencia, los cambios en la pérdida de masa parecen ser independientes de las condiciones de los factores evaluados, lo que sugiere que otras variables externas podrían estar determinando la variabilidad observada en esta característica del producto.

4.2.4.4. Coeficiente de regresión

La Tabla 22, muestra las estimaciones de los coeficientes de regresión del modelo poblacional fijado para las respuestas de pérdida de masa.

Tabla 22

Coeficiente de regresión para el modelo de determinación de pérdida de masa

Coeficiente	Estimado
Constante	5,17547
A: % cloruro	-3,24993
B: Ac, ascórbico	-0,555548
C: Almidón de papa de papa	-0,448617
AA	3,237
AB	0,742222
AC	-0,632593
BB	0,573545
BC	-0,246667
CC	0,115756

Se observa que los coeficientes regresores correspondientes al cloruro de calcio (A), ácido ascórbico (B) y almidón de papa (C) presentan signo negativo, lo que indica que por cada unidad que aumenta cualquiera de estos factores, la pérdida de masa del producto disminuye de acuerdo con los valores de los coeficientes. En contraste, las interacciones AA, AB, BB y CC muestran efectos positivos, lo que evidencia que la combinación de estos factores puede incrementar la pérdida de masa. Por otro lado, las interacciones AC y BC presentan efectos negativos, provocando que la respuesta disminuya por cada unidad de cambio en la interacción. Esto sugiere que, mientras los factores individuales tienden a reducir la pérdida de masa, ciertas combinaciones entre ellos pueden modificar esta tendencia, destacando la importancia de considerar tanto los efectos individuales como las interacciones al diseñar tratamientos de conservación para minimizar las pérdidas del producto.

En tal sentido, los resultados permiten afirmar, con un nivel de significancia del 5 %, que existe suficiente evidencia estadística para respaldar la presencia de regresión polinomial. De acuerdo con el modelo ajustado, la ecuación de regresión obtenida permite estimar la pérdida de masa para cualquier combinación de porcentajes de cloruro de calcio, ácido ascórbico y almidón de papa, constituyendo una herramienta útil para predecir y optimizar los tratamientos de conservación del producto.

$$\begin{aligned} \text{Perdida masa} = & 5,17547 - 3,24993*\% \text{cloruro} - 0,555548*\text{ascórbico} - 0,448617*\text{almidón} \\ & \text{de papa de papa} + 3,237*\% \text{cloruro}^2 + 0,742222*\% \text{cloruro}*\text{ascórbico} - \\ & 0,632593*\% \text{cloruro}*\text{almidón de papa de papa} + 0,573545*\text{Ascorbico}^2 - \\ & 0,246667*\text{ascórbico}*\text{almidón de papa de papa} + 0,115756*\text{almidón de} \\ & \text{papa de papa}^2 \end{aligned}$$

De la ecuación se evidencia que las variables independientes ejercen un efecto cuadrático sobre la pérdida de masa, lo que indica que los cambios en los niveles de cloruro de calcio, ácido ascórbico y almidón de papa no afectan esta variable de manera lineal. Esto significa que la influencia de cada factor sobre la pérdida de masa varía según la magnitud y combinación de los niveles aplicados, pudiendo generar aumentos o disminuciones en la respuesta dependiendo de cómo se combinan los factores. Este comportamiento cuadrático sugiere que no es suficiente evaluar los efectos de los factores de manera individual, sino que es necesario considerar sus interacciones para comprender completamente cómo impactan en la conservación del producto. Además, estos resultados resaltan la importancia de diseñar cuidadosamente los tratamientos de conservación, ya que pequeñas variaciones en los niveles de los factores pueden producir cambios significativos en la pérdida de masa, afectando la calidad final del producto durante el almacenamiento.

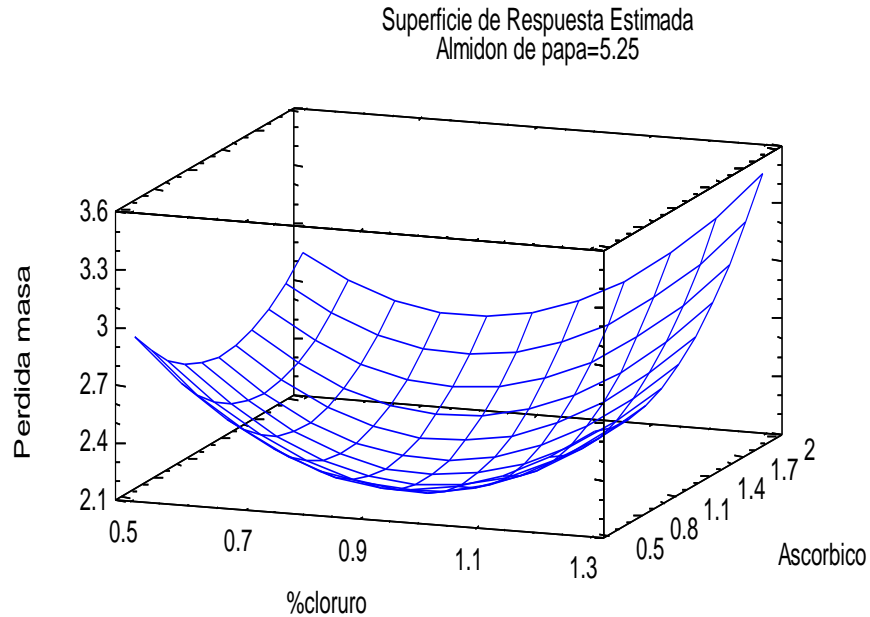
El valor del R² ajustado, de 2,39694 %, indica que las variables predictoras —cloruro de calcio, ácido ascórbico y almidón de papa— explican únicamente un porcentaje mínimo de la variación observada en la pérdida de masa. Esto sugiere que, aunque estos factores tienen cierta influencia, la mayor parte de la variabilidad de esta característica del producto depende de otros factores no considerados en el modelo, como condiciones de almacenamiento, temperatura, humedad o características propias del fruto. Por lo tanto, los resultados muestran que la pérdida de masa es un fenómeno multifactorial y que, para su control y predicción más precisa, es necesario considerar no solo los factores evaluados, sino también otras variables externas que puedan afectar la conservación del producto.

4.2.4.5. Superficie de respuesta estimada

La Figura 19 muestra los efectos generados por el cloruro de calcio (%) y el ácido ascórbico (%) sobre la variable en estudio, permitiendo visualizar cómo cada uno de estos factores influye en la respuesta del producto.

Figura 19

Superficie de respuesta estimada para pérdida de masa (cloruro de calcio (%) y ácido ascórbico (%))



Se puede observar que si se incrementa la variable cloruro de calcio hay una leve disminución para luego incrementar la pérdida de masa, así mismo con la variable ácido ascórbico existe también un decremento y luego un incremento moderado de la variable respuesta.

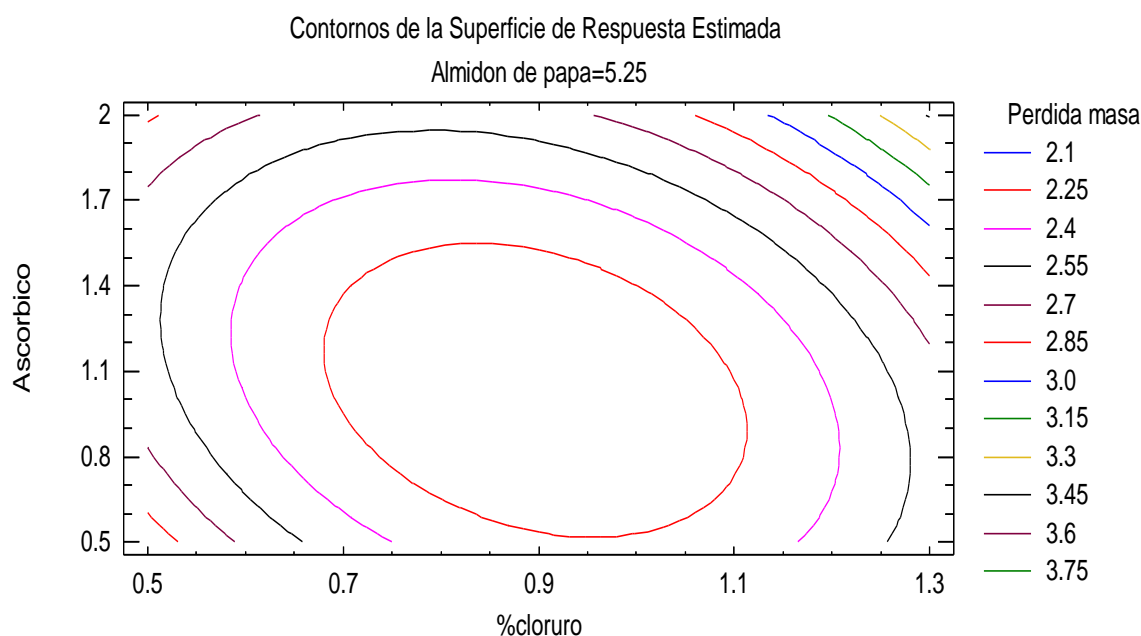
En relación con la pérdida de masa, se observa que la tendencia de los frutos sometidos a diferentes tratamientos es mantener o incluso incrementar ligeramente este porcentaje a medida que aumentan los niveles de cloruro de calcio y ácido ascórbico. Esto sugiere que, aunque estos factores ejercen cierta influencia sobre la conservación del producto, no generan reducciones significativas en la pérdida de masa, sino que

contribuyen a estabilizarla o a incrementar mínimamente su valor. Dicho comportamiento evidencia la importancia de considerar la concentración de estos compuestos al momento de diseñar tratamientos de conservación, ya que su efecto individual puede ser determinante para mantener la calidad física del producto durante el almacenamiento, sin depender de la interacción con otros factores.

En la Figura 20, se muestran los contornos de la superficie de respuesta para la pérdida de masa.

Figura 20

Contorno de la superficie de respuesta estimada para pérdida de masa (porcentaje de cloruro de calcio, porcentaje de ácido ascórbico)



Los resultados muestran que no existe interacción significativa entre las variables independientes en estudio, lo que indica que los efectos de cloruro de calcio y ácido ascórbico sobre la pérdida de masa del producto no dependen de la concentración de almidón de papa. Es decir, al mantener constante el porcentaje de almidón de papa, los incrementos en cloruro de calcio y ácido ascórbico no generan un aumento moderado en la pérdida de masa del producto tratado. Este hallazgo sugiere que la pérdida de masa está principalmente determinada por los efectos individuales de cada factor, y que la combinación de estos no produce cambios adicionales relevantes, lo que facilita el diseño

de tratamientos de conservación al considerar que las interacciones entre factores no son determinantes en esta característica del producto

4.2.4.6. Optimización de la respuesta

La máxima pérdida de masa se alcanza en las condiciones que se muestran en la Tabla 23.

Tabla 23

Condiciones de optimización de la pérdida de masa

Valor óptimo = 9,67442 (%)

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
%cloruro	0,244328	1,50567	1,48077
Ascórbico	-0,0113446	2,51134	2,51134
Almidón de papa	1,46597	9,03403	1,51317

Los resultados indican que el uso de cloruro de calcio, ácido ascórbico y almidón de papa en la conservación de productos alimenticios produce efectos distintos sobre cada una de las variables de respuesta evaluadas. En el caso de la pérdida de masa, se observó que el valor máximo se alcanzó experimentalmente con un promedio de 9,67 %, lo que demuestra que la aplicación de estos factores puede ser efectiva para mantener la integridad física del producto. Estos resultados evidencian que, además de prolongar la vida útil de los alimentos, su uso contribuye a conservar las cualidades y atributos de calidad, asegurando que los productos mantengan sus características deseables durante el almacenamiento y el consumo.

Los efectos de un recubrimiento compuesto de alginato y aceite de girasol sobre la piña de IV gama fueron estudiados por Azarakhsh et al. (2012), quienes encontraron que el recubrimiento redujo significativamente la pérdida de peso del producto. En su estudio, la piña fue procesada en forma de cubos, registrándose una pérdida de peso de $10,50 \pm 0,47$ % con recubrimiento y de $16,80 \pm 0,55$ % sin él. Estos resultados son comparables a los obtenidos en nuestro estudio, donde la pérdida de masa promedio alcanzó aproximadamente 9,67 %, lo que confirma la eficacia de los tratamientos aplicados para conservar la integridad física de la piña mínimamente procesada y prolongar su vida útil.

Maldonado (2016) sostiene que la aplicación de recubrimientos comestibles en la piña de IV gama resulta efectiva para disminuir la pérdida de masa durante el almacenamiento. En su investigación, se observó que los frutos tratados con recubrimiento presentaron una pérdida de masa de $7,5 \pm 0,14$ % al octavo día, lo cual representa una mejora significativa en comparación con los frutos sin tratamiento. Este efecto se atribuye a la capacidad del recubrimiento para actuar como una barrera semipermeable que regula el intercambio de gases y vapor de agua entre el fruto y el ambiente, reduciendo así la deshidratación y el deterioro del producto. De esta manera, el uso de recubrimientos comestibles no solo contribuye a mantener la calidad y frescura de la piña, sino que también prolonga su vida útil, lo cual es fundamental en productos mínimamente procesados destinados a la comercialización y consumo rápido.

En la piña mínimamente procesada, la pérdida de peso constituye un parámetro fundamental de calidad, ya que refleja el grado de deshidratación del fruto durante el almacenamiento. Según, Artés y Allende (2005), este fenómeno está directamente relacionado con los procesos fisiológicos de respiración y transpiración, los cuales son influenciados por factores ambientales como la temperatura y la humedad relativa. Cuando estas condiciones no se controlan adecuadamente, la pérdida de agua se incrementa, afectando la textura, el aspecto visual y la aceptación del producto por parte del consumidor. Por ello, mantener condiciones de almacenamiento óptimas resulta esencial para preservar la calidad y prolongar la vida útil de la piña de IV gama.

Sangsuwan (2008) evidenció que la piña mínimamente procesada puede presentar hasta un 40 % de pérdida de peso durante el almacenamiento. Sin embargo, esta pérdida se redujo significativamente con la aplicación de un recubrimiento a base de quitosano y metilcelulosa, demostrando la eficacia de estos materiales en la conservación del fruto. Los valores obtenidos en su estudio superan los límites aceptables comercialmente, que se establecen en un 10 % de pérdida luego de siete días de almacenamiento. Dichos resultados están estrechamente relacionados con el tipo de empaque utilizado y las condiciones de temperatura de 10 °C. De manera similar, en el presente estudio se obtuvo una pérdida de masa promedio de 9,67 %, lo cual confirma la importancia del uso de recubrimientos y empaques adecuados para reducir la deshidratación y mantener la calidad de la piña mínimamente procesada.

4.2.5. Diseño de superficie de respuesta para vitamina C

4.2.5.1. Efectos estimados de cada variable y sus interacciones

La Tabla 24, muestra las estimaciones de los coeficientes de regresión del modelo poblacional fijado para las respuestas de vitamina C.

Tabla 24

Efecto estimado para la vitamina C

Efecto	Estimado	Error Estd,	V,I,F,
Promedio	37,2828	0,787753	
A: % cloruro	0,332697	1,04531	1,0
B: Ac, ascórbico	-0,298001	1,04531	1,0
C: Almidón de papa de papa	1,28873	1,04531	1,0
AA	-0,251134	1,01759	1,01826
AB	2,465	1,36577	1,0
AC	1,765	1,36577	1,0
BB	-0,763783	1,01759	1,01826
BC	-1,545	1,36577	1,0
CC	-0,533978	1,01758	1,01826

En la Tabla 24, la media estimada para la vitamina C fue de 37,2828 mg y los efectos de las distintas variables (cloruro de calcio (%), ácido ascórbico (%) y almidón de papa de papa (%)) y las interacciones entre los factores estudiados no ejercen efecto sobre el valor medio para la vitamina C estimado por el modelo, sobre los 10 grados de libertad.

El cálculo de los efectos de cada una de las variables, donde se puede observar que el incremento de cloruro de calcio (%) y almidón de papa de papa (%) y disminución de ácido ascórbico (%) no produce cambios en el contenido de vitamina C.

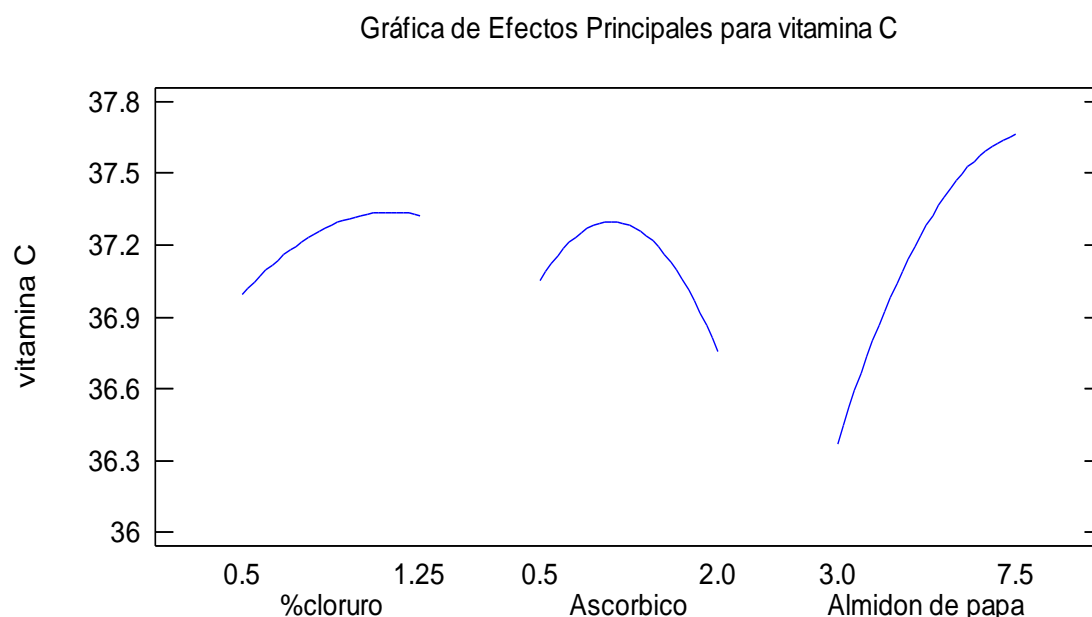
Con respecto a los efectos de las interacciones se puede indicar que las interacciones AB y AC presentan efecto positivo en la respuesta, mientras que las interacciones AA, BB, BC y CC presentan efecto negativo en la variable respuesta,

indicando que el cloruro de calcio (%), ácido ascórbico (%) y almidón de papa de papa (%) tienen influencia de incrementar y disminuir en la respuesta del estudio experimental.

El comportamiento de la vitamina C se muestra en la Figura 21, conforme hay variación en las variables independientes en el rango previsto para la investigación.

Figura 21

Efectos principales para la vitamina C



Observando los resultados se afirma que la vitamina C tiene un incremento mínimo cuando el cloruro de calcio (%) y almidón de papa de papa (%) aumentan, teniendo un efecto retardador el ácido ascórbico (%), este efecto en la variable respuesta llevado a cabo por las variables independientes hace que haya poca variación y se mantengan casi inalterables.

4.2.5.2. Análisis de varianza

La Tabla 25 presenta los resultados del análisis de varianza (ANOVA) correspondiente a la variable vitamina C, obtenidos mediante el Diseño Compuesto Central Rotable (DCCR). Este análisis permite identificar la influencia de los factores estudiados —como el cloruro de calcio, el ácido ascórbico y el almidón de papa— sobre el contenido de vitamina C en la piña mínimamente procesada. Los valores obtenidos en

la tabla reflejan el nivel de significancia estadística de cada factor y sus interacciones, permitiendo determinar cuáles de ellos tienen un efecto relevante en la conservación de esta vitamina durante el almacenamiento.

De acuerdo con el coeficiente de determinación R^2 , el modelo explica el 46,5112 % de la variabilidad observada en el contenido de vitamina C, lo que indica que los tres factores evaluados —cloruro de calcio, ácido ascórbico y almidón de papa— influyen de manera moderada en esta variable. Por su parte, el R^2 ajustado muestra un valor de 0,0 %, lo que sugiere que, al considerar el número de variables incluidas en el modelo, la capacidad explicativa se reduce notablemente, indicando que otros factores no contemplados podrían estar afectando la respuesta. En la carta estandarizada de Pareto se observa de forma gráfica la significancia de los datos, permitiendo identificar qué factores o interacciones tienen mayor impacto sobre el contenido de vitamina C en la piña mínimamente procesada.

Tabla 25

Análisis de varianza para la vitamina C

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: % cloruro	0,37791	1	0,37791	0,10	0,7568
B: Ac. ascórbico	0,303198	1	0,303198	0,08	0,7814
C: Almidón de papa	5,67042	1	5,67042	1,52	0,2458
AA	0,227223	1	0,227223	0,06	0,8101
AB	12,1524	1	12,1524	3,26	0,1012
AC	6,23045	1	6,23045	1,67	0,2253
BB	2,10175	1	2,10175	0,56	0,4702
BC	4,77405	1	4,77405	1,28	0,2844
CC	1,02728	1	1,02728	0,28	0,6112
Error total	37,3063	10	3,73063		
Total (corr.)	69,7461	19			

R-cuadrada = 46,5112 por ciento

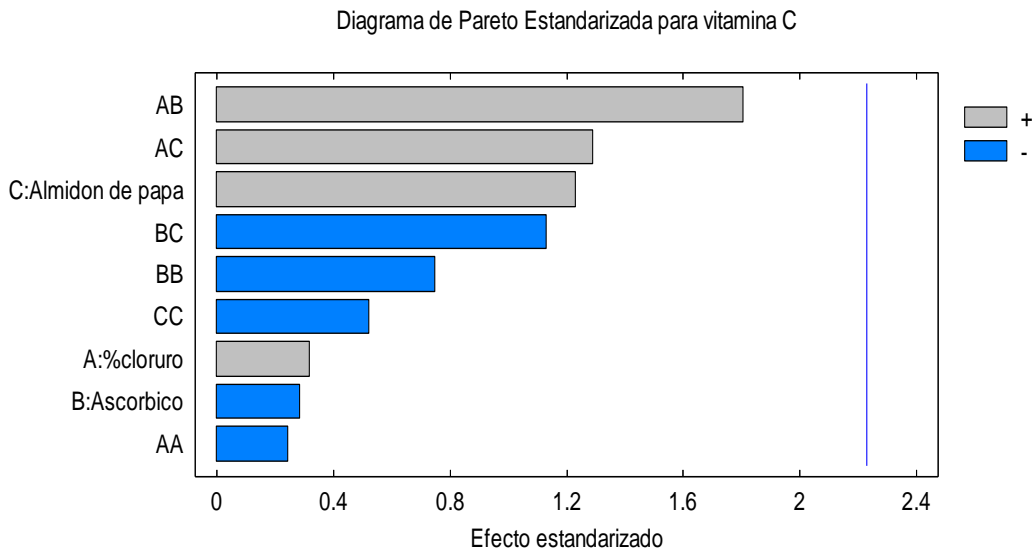
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 0,0 por ciento

4.2.5.3. Carta estandarizada de Pareto

En la Figura 22 se presenta la carta estandarizada de Pareto, la cual permite visualizar de manera clara la influencia de los factores y sus interacciones sobre la variable respuesta, en este caso, el contenido de vitamina C. Este tipo de gráfico facilita la identificación de los efectos más significativos dentro del modelo, mostrando la magnitud y dirección de la influencia de cada factor. A través de esta representación, es posible determinar cuáles variables contribuyen en mayor medida a la variabilidad observada y cuáles presentan un efecto menos relevante en la conservación de la vitamina C en la piña mínimamente procesada.

Figura 22

Carta estandarizada de Pareto para la vitamina C



De la Figura 22 se puede afirmar que no existe una diferencia significativa entre los factores cloruro de calcio (%), ácido ascórbico (%) y almidón de papa (%) ni entre sus interacciones respecto al contenido de vitamina C. Esto indica que, dentro de las condiciones experimentales evaluadas, ninguno de estos factores ejerció un efecto estadísticamente relevante sobre la variable respuesta. En otras palabras, las variaciones en las concentraciones de los componentes estudiados no produjeron cambios significativos en el contenido de vitamina C de la piña mínimamente procesada, lo que sugiere que esta característica depende de otros factores externos o del propio metabolismo del fruto durante el almacenamiento.

4.2.5.4. Coeficiente de regresión

La Tabla 26, muestra las estimaciones de los coeficientes de regresión del modelo poblacional fijado para las respuestas de vitamina C.

Tabla 26

Coeficiente de regresión para el modelo de determinación de la vitamina C

Coeficiente	Estimado
Constante	39,035
A: % cloruro	-8,96268
B: Ac, ascórbico	0,0675179
C: Almidón de papa de papa	0,497176
AA	-0,892921
AB	4,38222
AC	1,04593
BB	-0,678919
BC	-0,457778
CC	-0,0527385

El coeficiente regresor del factor cloruro de calcio (%) (A = -8,96268) presenta un signo negativo, lo que indica que, por cada unidad de incremento en este factor, la respuesta del contenido de vitamina C disminuye en 8,96268 unidades. En cambio, el coeficiente regresor del factor ácido ascórbico (%) (B = 0,0675179) muestra un signo positivo, señalando que un aumento en este factor genera un incremento proporcional en el contenido de vitamina C, comportamiento que también se observa en el factor almidón de papa. Respecto a las interacciones, las combinaciones AB y AC presentan efectos positivos, lo que demuestra que la interacción entre estos factores contribuye al aumento de la concentración de vitamina C en el producto tratado. Sin embargo, las interacciones AA, BB, BC y CC evidencian efectos negativos, es decir, que provocan una disminución en la cantidad de vitamina C conforme aumenta la intensidad de dichas interacciones. Estos resultados reflejan la complejidad del comportamiento de las variables en estudio, mostrando que tanto los efectos individuales como las interacciones entre factores influyen de manera diferenciada en la retención de vitamina C.

Se afirma que, con un nivel de significancia del 5 %, existe evidencia estadística suficiente para sostener la presencia de una regresión polinomial; por tanto, la ecuación

de regresión obtenida a partir del modelo ajustado permite estimar el contenido de vitamina C (mg) para cualquier combinación de porcentajes de cloruro de calcio, ácido ascórbico y almidón de papa, constituyendo una herramienta útil para predecir y optimizar los tratamientos de conservación.

$$\begin{aligned} \text{Vitamina C} = & 39,035 - 8,96268 * \% \text{cloruro} + 0,0675179 * \text{ascórbico} + 0,497176 * \text{almidón} \\ & \text{de papa de papa} - 0,892921 * \% \text{cloruro}^2 + 4,38222 * \% \text{cloruro} * \text{ascórbico} + \\ & 1,04593 * \% \text{cloruro} * \text{almidón de papa de papa} - 0,678919 * \text{Ascorbico}^2 - \\ & 0,457778 * \text{ascórbico} * \text{almidón de papa de papa} - 0,0527385 * \text{almidón de} \\ & \text{papa de papa}^2 \end{aligned}$$

De la ecuación se observa que las variables independientes ejercen un efecto cuadrático sobre el contenido de vitamina C, lo que indica que la relación entre los factores evaluados —cloruro de calcio, ácido ascórbico y almidón de papa— y la variable respuesta no es lineal. Esto significa que los cambios en los niveles de estos factores influyen de manera diferente según su combinación y magnitud, generando variaciones tanto positivas como negativas en el contenido de vitamina C del producto tratado.

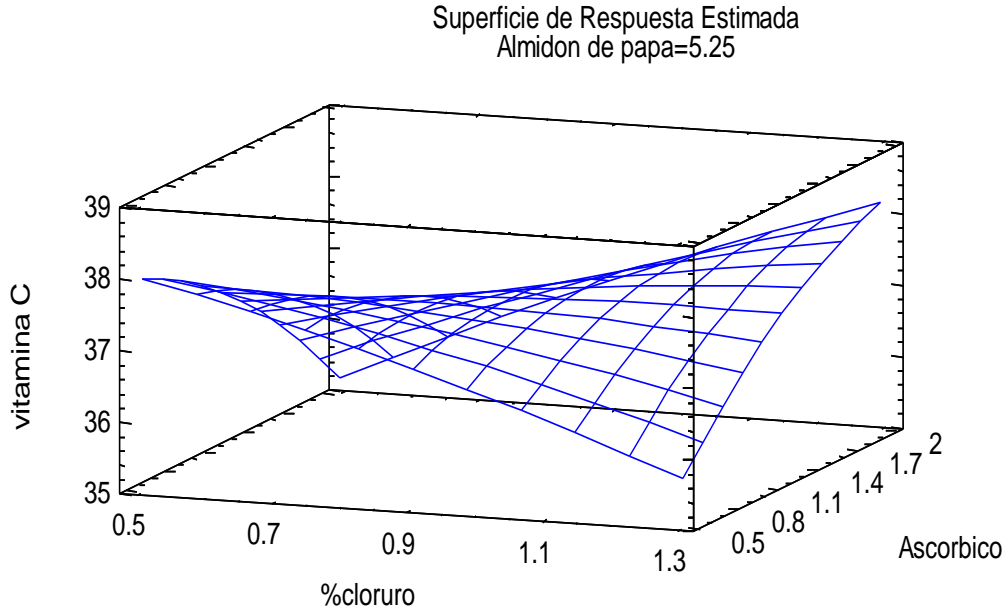
El valor del R^2 ajustado obtenido es de 0,0 %, lo que indica que el modelo no logra explicar la variación observada en el contenido de vitamina C a partir de las variables predictoras analizadas, como el cloruro de calcio, el ácido ascórbico y el almidón de papa. Este resultado sugiere que dichas variables no ejercen una influencia estadísticamente significativa sobre la concentración de vitamina C en las condiciones experimentales evaluadas. La ausencia de capacidad explicativa del modelo puede deberse a que el comportamiento de la vitamina C está condicionado por otros factores no considerados en el diseño experimental, tales como la exposición al oxígeno, la luz, la temperatura de almacenamiento o el tiempo de procesamiento. Estos factores pueden acelerar la degradación de la vitamina C y generar variaciones en su contenido, independientemente de las concentraciones de los componentes aplicados. Por lo tanto, es posible que el modelo requiera una reformulación o la inclusión de nuevas variables que permitan describir con mayor precisión el comportamiento de esta vitamina en la piña mínimamente procesada.

4.2.5.5. Superficie de respuesta estimada

El efecto de los factores en estudio se muestra en la Figura 23.

Figura 23

Superficie de respuesta estimada para la vitamina C (cloruro de calcio (&) y ácido ascórbico (%))



Se observa que, al incrementar el factor cloruro de calcio (%), el contenido de vitamina C (mg) tiende a disminuir ligeramente, lo que indica una relación inversa entre ambos. En cambio, al aumentar la concentración de ácido ascórbico, se presenta un incremento en la variable respuesta, evidenciando que esta sustancia contribuye positivamente a mantener o aumentar el contenido de vitamina C en el producto.

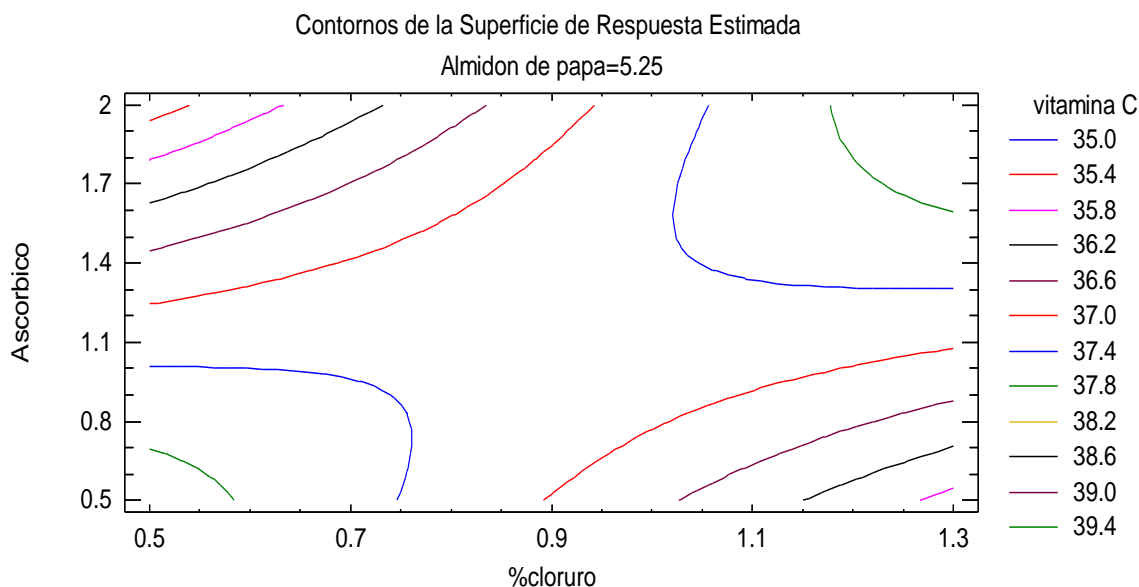
En cuanto al contenido de vitamina C, los frutos sometidos a diferentes tratamientos buscan mantener la estabilidad de este compuesto, ya que desempeña un papel fundamental en la calidad nutricional y funcional del producto. La vitamina C es sensible a factores como la temperatura, la luz y el oxígeno, por lo que la aplicación de tratamientos adecuados, como el uso de recubrimientos o la incorporación de antioxidantes, ayuda a reducir su degradación durante el almacenamiento. De esta manera, se logra conservar mejor el valor nutritivo de los frutos y prolongar su vida útil,

garantizando que mantengan sus características sensoriales y su aporte vitamínico a lo largo del tiempo.

La Figura 24, es el diagrama de contornos de la superficie de respuesta para la vitamina C.

Figura 24

Contorno de la superficie estimada para la vitamina C (porcentaje de cloruro de calcio, porcentaje de ácido ascórbico)



La Figura 24 evidencia que no existe una interacción significativa entre las variables en estudio, lo que indica que los efectos del cloruro de calcio, el ácido ascórbico y el almidón de papa actúan de manera independiente sobre el contenido de vitamina C. Al mantener constante el nivel de almidón de papa y aumentar la concentración de cloruro de calcio, se observa una tendencia a la disminución del contenido de vitamina C, lo que podría explicarse por una posible alteración en la permeabilidad celular o en la estabilidad del compuesto vitamínico frente a la acción del calcio. En contraste, el incremento del ácido ascórbico se asocia con un aumento en el contenido de vitamina C, lo cual era esperado debido a su función antioxidante y a su participación directa en la estabilidad de este componente. En conjunto, estos resultados reflejan que el ácido ascórbico favorece la conservación del contenido vitamínico en la piña tratada, mientras que el cloruro de calcio,

bajo las condiciones evaluadas, podría generar un ligero efecto inhibitor sobre este parámetro de calidad.

4.2.5.6. Optimización de la respuesta

A partir de la ecuación de regresión obtenida, se determinó que el contenido máximo de vitamina C se logra bajo las condiciones experimentales presentadas en la Tabla 27. Estas condiciones corresponden a la combinación óptima de los factores evaluados — cloruro de calcio, ácido ascórbico y almidón de papa— que permiten maximizar la retención de vitamina C en la piña mínimamente procesada. Este resultado confirma que el modelo ajustado es útil para predecir el comportamiento de la variable respuesta y para establecer los niveles adecuados de cada componente en la formulación del recubrimiento, con el fin de conservar las propiedades nutricionales del producto durante su almacenamiento.

Tabla 27

Condiciones de optimización de la vitamina C

Valor óptimo = 40,158 mg

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
%cloruro	0,244328	1,50567	1,50567
Ascórbico	-0,0113446	2,51134	1,42675
Almidón de papa	1,46597	9,03403	9,03403

Estos resultados indican que la vitamina C, es un componente que se deteriora con acciones físicas y químicas no tuvo modificación en cuanto a su contenido en los productos tratados experimentalmente.

Zambrano (2017) observó que el contenido de ácido ascórbico disminuye de manera notable a lo largo del periodo de almacenamiento, tanto en los tratamientos aplicados como en el control. Esta reducción se atribuye principalmente a la oxidación del ácido ascórbico, proceso que se ve favorecido por factores como la exposición al oxígeno, la luz y la temperatura. Además, el autor reportó diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos y el control, lo que sugiere que las condiciones de almacenamiento

y los componentes de los recubrimientos influyen directamente en la conservación de la vitamina C, afectando su estabilidad y, por ende, la calidad nutricional del producto.

Bierhals et al. (2011) encontraron una reducción significativa en el contenido de ácido ascórbico en rodajas de piña recubiertas con almidón de yuca y almacenadas a una temperatura de 5 °C. Los autores atribuyen esta disminución al estrés fisiológico generado por las operaciones del proceso, como el pelado, cortado y manipulación del fruto, que provocan la ruptura de tejidos y la exposición del ácido ascórbico al oxígeno, favoreciendo su oxidación. Este comportamiento evidencia que, aunque los recubrimientos comestibles pueden retardar la pérdida de compuestos sensibles, las condiciones de procesamiento y almacenamiento siguen siendo determinantes en la estabilidad de la vitamina C.

Vargas-Serna (2022) determinó mediante la prueba de Tukey que la vitamina C en la piña presenta una disminución durante los dos primeros días de almacenamiento, manteniéndose luego constante durante el resto del periodo evaluado. De manera similar, el contenido de polifenoles y la capacidad antioxidante mostraron una reducción inicial, pero conservaron niveles estables a partir del sexto día de almacenamiento. Estos resultados indican que, tras una pérdida inicial de compuestos bioactivos, los frutos tienden a mantener un equilibrio en su composición, probablemente debido a la estabilización de las reacciones oxidativas y enzimáticas que ocurren en las etapas iniciales del almacenamiento.

Las muestras de piña cortadas en cuartos de rodaja mantuvieron un valor de vitamina C similar a la inicial (valor normalizado cercano a 1), mientras que las muestras cortadas en cubos presentaron una disminución del 26 % (valor normalizado menor a 1). Esta reducción en el contenido de vitamina C se atribuye a la degradación natural de este compuesto, producto de los procesos metabólicos propios de la fruta, los cuales se intensifican cuando se incrementa el daño superficial del tejido, como ocurre con el corte en cubos. Según Pasquel (2009), este tipo de daño acelera las reacciones oxidativas y enzimáticas que provocan la pérdida de nutrientes sensibles, como la vitamina C, afectando así la calidad nutricional y la estabilidad del producto durante su almacenamiento.

Por otro lado, el tipo de empaque, el tipo de corte y el pre enfriamiento influyeron notablemente en la capacidad antioxidante de la piña. Los tratamientos que incluyeron el uso de almohadilla, corte en cuartos de rodaja y pre enfriamiento mostraron los valores más altos, con un promedio de $35,27 \pm 8,47$, resultados que se asemejan a los obtenidos en este estudio, donde se alcanzó un valor de 40,15. Esta similitud puede atribuirse al mayor contenido de compuestos fenólicos y vitamina C presentes en las muestras. Ambos

compuestos actúan como agentes antioxidantes, ya que protegen los tejidos del fruto frente al daño oxidativo ocasionado por el oxígeno, especialmente después de sufrir daño mecánico durante el procesamiento. Según Vargas-Serna (2022), la sinergia entre estos compuestos contribuye a mantener la estabilidad química y la calidad nutricional del producto a lo largo de su almacenamiento.

CONCLUSIONES

La combinación óptima de ácido ascórbico, almidón de papa y cloruro de calcio ha demostrado ser un tratamiento eficaz para mantener y mejorar las propiedades físicas y químicas de la piña (*Ananas comosus*) procesada con tecnología de IV gama. Los resultados obtenidos mediante el diseño experimental indicaron que los niveles más adecuados para optimizar los sólidos solubles fueron 1,50202% de cloruro de calcio, 2,51132% de ácido ascórbico y 1,46597% de almidón de papa. En el caso de la acidez total, los valores óptimos se determinaron en 1,50567% de cloruro de calcio, 2,51134% de ácido ascórbico y 4,02795% de almidón de papa. Estos valores sugieren que la interacción balanceada entre los factores estudiados contribuye significativamente a la conservación de las propiedades sensoriales, químicas y nutricionales del fruto, permitiendo reducir los efectos del deterioro durante el almacenamiento. Además, el uso de estas combinaciones favorece la estabilidad del producto final, ayudando a mantener su frescura, color, textura y sabor característicos, aspectos fundamentales para asegurar su aceptación comercial y prolongar su vida útil dentro del mercado de productos mínimamente procesados.

Se alcanzaron niveles óptimos de 1,50202% de cloruro de calcio, 2,51132% de ácido ascórbico y 1,46597% de almidón de papa, los cuales permitieron un incremento notable en los sólidos solubles de la piña, contribuyendo de manera significativa a mejorar su calidad sensorial, incluyendo sabor, textura y jugosidad. En cuanto a la acidez total, los valores óptimos fueron 1,50567% de cloruro de calcio, 2,51134% de ácido ascórbico y 4,02795% de almidón de papa, lo que evidencia que este parámetro puede ser controlado eficazmente mediante la combinación equilibrada de los compuestos evaluados, asegurando la conservación de las propiedades químicas del fruto. Por otra parte, el pH mostró variaciones mínimas bajo las interacciones de los factores estudiados, lo que indica estabilidad en la concentración de iones de hidrógeno durante el almacenamiento, mientras que la pérdida de masa se redujo de manera significativa, favoreciendo la preservación de la textura, la apariencia y la jugosidad de la piña. En conjunto, estos resultados demuestran que la combinación óptima de cloruro de calcio, ácido ascórbico y almidón de papa no solo mejora las características físicas y químicas del fruto, sino que también contribuye a prolongar su vida útil y garantizar la calidad

general del producto mínimamente procesado, lo que es esencial para su comercialización y aceptación por parte del consumidor.

La Metodología de Superficie de Respuesta (MSR) ha demostrado ser una herramienta eficaz para la optimización de las condiciones experimentales, ya que permite identificar de manera precisa las interacciones significativas entre los factores estudiados. Este enfoque no solo facilita la determinación de los niveles óptimos de componentes como cloruro de calcio, ácido ascórbico y almidón de papa, sino que también proporciona una base sólida para el desarrollo de estrategias de conservación más eficientes en frutas mínimamente procesadas. Además, los resultados obtenidos mediante MSR pueden orientar futuras investigaciones y aplicaciones tecnológicas, contribuyendo a mejorar la calidad, la estabilidad y la vida útil de los productos postcosecha, así como a garantizar su aceptación en el mercado.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que las empresas procesadoras de piña adopten las condiciones óptimas determinadas en esta investigación, equivalentes a 1,50202% de cloruro de calcio, 2,51132% de ácido ascórbico y 1,46597% de almidón de papa, con el propósito de mejorar la calidad sensorial, fisicoquímica y microbiológica de la piña mínimamente procesada. La aplicación de estas concentraciones permite preservar la firmeza, el color y el contenido nutricional del fruto durante el almacenamiento. Para su implementación, se sugiere aplicar tratamientos de inmersión controlada antes del empaque y la refrigeración, asegurando una distribución homogénea del recubrimiento. De esta manera, se contribuye a prolongar la vida útil del producto, reducir las pérdidas postcosecha y ofrecer al consumidor una fruta fresca de mayor calidad y valor comercial.
2. Es fundamental establecer un sistema integral de monitoreo y control de calidad que permita evaluar de forma continua los efectos de los recubrimientos comestibles durante todo el periodo de almacenamiento. Dicho sistema debe incluir el seguimiento de parámetros clave como sólidos solubles (°Brix), acidez titulable, pH, pérdida de masa y contenido de ácido ascórbico, indicadores que reflejan la estabilidad del producto. Para garantizar resultados confiables, se recomienda el uso de equipos de precisión como refractómetros digitales, pH-metros calibrados y espectrofotómetros de alta sensibilidad. Además, el registro periódico de datos permitirá establecer tendencias y realizar ajustes en los procesos productivos, fortaleciendo la trazabilidad y la seguridad alimentaria, aspectos esenciales para acceder a mercados nacionales e internacionales.
3. Se sugiere promover la realización de investigaciones complementarias que permitan profundizar en el estudio de biocompuestos naturales y nuevos recubrimientos comestibles aplicables a frutas mínimamente procesadas. Estas investigaciones deben enfocarse en identificar sustancias biodegradables y no tóxicas que aporten propiedades antioxidantes, antimicrobianas y estructurales al recubrimiento. Asimismo, se recomienda explorar la sinergia entre los recubrimientos y tecnologías complementarias, como la atmósfera modificada y la refrigeración controlada, para maximizar la conservación de la textura, color y aroma de las frutas. La generación de nuevo conocimiento en esta línea

contribuirá al desarrollo de procesos más sostenibles e innovadores dentro del sector agroindustrial.

4. Es conveniente ampliar el alcance de esta investigación a otras frutas y hortalizas de importancia económica en el Perú, tales como mango, papaya, fresa o palta, utilizando la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR) para determinar las condiciones óptimas de conservación en cada caso. Esta metodología permitiría identificar interacciones significativas entre factores químicos y físicos que influyen en la calidad postcosecha, optimizando así los procesos de tratamiento. La aplicación de los resultados en diferentes cultivos podría generar beneficios productivos y económicos para los agricultores y las industrias procesadoras, impulsando la diversificación agroindustrial, la innovación tecnológica y la competitividad del país en el mercado internacional.
5. Finalmente, se recomienda fomentar la implementación gradual de estas recomendaciones técnicas en el sector productivo nacional, considerando la capacitación del personal técnico y la adaptación de la infraestructura existente. La aplicación de los parámetros propuestos puede mejorar significativamente la calidad y conservación de la piña procesada, reducir el desperdicio alimentario y aumentar la rentabilidad de las empresas dedicadas a su transformación. A nivel macroeconómico, esta mejora tecnológica fortalecerá la competitividad del producto peruano en mercados internacionales, favoreciendo la sostenibilidad del sector agroindustrial y contribuyendo al desarrollo económico regional mediante la generación de empleo y valor agregado en la cadena productiva

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, V. E. B. (2015). Aplicación de revestimientos comestibles en papaya (*Carica papaya*) mínimamente procesada. *Revista Ingeniería: Ciencia Tecnología e Innovación*, 2(1).
- Ancos, B., Gonzales, D., & Colina, C. (2015). Uso de películas/recubrimientos comestibles en los productos de IV y V gama. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*.
- Anderson, M. J., & Whitcomb, P. J. (2005). *RSM simplified: Optimizing processes using response surface methods for design of experiments*. Productivity Press.
- Anino, F., Salvatori, D., & Alzamora, S. M. (2006). Changes in calcium level and mechanical properties of apple tissue due to impregnation with calcium salts. *Journal of Food Science*, 71(9), E307–E313. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00112.x>
- Artés, F., & Allende-Fernández, F. (2005). Minimal fresh processing of vegetables, fruits and juices. En D. Sun (Ed.), *Emerging technologies for food processing* (pp. 677–716). Elsevier.
- Barbosa-Cánovas, G. V., Zhang, Q. H., & Balasubramaniam, V. M. (2014). *High pressure processing of food: Principles, technology, and applications*. Springer.
- Barraza López, N. D. (2022). Aprovechamiento de la cáscara de piña para mejora de producción de mermeladas en una planta de alimentos ubicada en el municipio de Sumpango, departamento de Sacatepéquez, Guatemala [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala].
- Bourtoom, T. (2008). Edible films and coatings: Characteristics and properties. *International Food Research Journal*, 15(3), 237–248.
- Box, G. E. P., & Draper, N. R. (1987). *Empirical model-building and response surfaces*. John Wiley & Sons.
- Centro de Investigación en Nutrición y Salud (CINUSA). (2017). Impacto del consumo de piña en la salud cardiovascular. *Boletín de Nutrición y Salud*.

- Coello, E., & Hidalgo, M. (2013). Comparación de la concentración y actividad enzimática de la bromelina obtenida a partir de la pulpa de la piña (*Ananas comosus*) variedad Perolera de dos grados de madurez.
- Consumer. (2021). IV gama: vegetales envasados y listos para comer. <https://www.consumer.es/alimentacion/iv-gama-vegetales-ensados-y-listos-para-comer.html>
- De Corato, U., & Cancellara, F. A. (2019). Measures, technologies, and incentives for cleaning the minimally processed fruits and vegetables supply chain in the Italian food industry. *Journal of Cleaner Production*, 237, 117735. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117735>
- Dussan Sarria, S. P., Reyes Calvache, J., & Hleap-Zapata, P. (2014). Efecto de un recubrimiento comestible y diferentes tipos de empaque en los atributos físico-químicos y sensoriales de piña 'Manzana' mínimamente procesada. *Información Tecnológica*, 25(5).
- Elías, D. (2006). Optimización de procesos en la industria alimentaria mediante superficies de respuesta. *Revista de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 8(2), 123–129.
- Elías, R. J. (2006). Optimización de procesos en la industria alimentaria. *Journal of Food Science and Technology*, 43(3), 234–242.
- Embuscado, M. E., & Huber, K. C. (2009). *Edible films and coatings for food applications*. Springer.
- Eum, H., Hwang, D., Linke, M., Lee, S., & Zude, M. (2009). Influence of edible coating on quality of plum (*Prunus salicina* Lindl. cv. 'Sapphire'). *European Food Research and Technology*, 229(3), 427–436.
- Fruites Hurtós. (2021). ¿Qué son los alimentos de IV gama? <https://fruiteshurtos.com/que-son-los-alimentos-de-iv-gama/>
- García, M. A., Ventosa, M., Díaz, R., & Casariego, A. (2011). Efecto de cobertura de alginato de sodio enriquecida con *Aloe vera* en la calidad de zanahoria mínimamente procesada. *Ciencia y Tecnología de la Alimentación*, 21.

- Ghidelli, C., & Pérez-Gago, M. B. (2016). Aplicación de quitosano como recubrimiento en champiñones de IV gama. *Postharvest Biology and Technology*.
- Ghidelli, C., & Pérez-Gago, M. B. (2016). Recent advances in modified atmosphere packaging and edible coatings for fresh-cut fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(13), 2384–2401. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.841119>
- Godoy, Y., et al. (2017). Influencia del índice de madurez en la calidad de la piña (*Ananas comosus* L. Merr) mínimamente procesada. *Revista Científica A.S.A.*
- González, A., López, M., & Silva, R. (2013). Producción y exportación de piña en la región tropical. *Journal of Tropical Agriculture*.
- González, R., Pérez, J., & Martínez, L. (2000). Modelos multivariantes en la optimización de productos alimentarios. *Food Engineering Reviews*, 12(1), 45–56.
- González-Aguilar, G. A., Ayala-Zavala, J. F., & Olivas, G. I. (2010). Technologies for the preservation of fresh-cut fruits and vegetables. En O. Martín-Belloso & G. Oms-Oliu (Eds.), *Advances in fresh-cut fruits and vegetables processing* (pp. 205–241). CRC Press.
- Infantes, Z. (2015). Últimas investigaciones utilizando tratamientos químicos para conservación de frutas mínimamente procesadas [Tesis de grado, Universidad de Trujillo]. <https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/4294/INFANTES%20RODRIGUEZ%20ZULMA%20ELISSA.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Innofood. (2017). ¿Qué son los alimentos de IV gama? <https://www.innofood.es/noticias/que-son-los-alimentos-de-iv-gama>
- Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). (2017). *Investigaciones sobre técnicas poscosecha y recubrimientos comestibles*. INIA.
- Jiménez Trujillo, A. M. (2017). Recubrimiento comestible a base de *Aloe vera* (*Aloe barbadensis* Miller) para papaya (*Carica papaya*) y guayaba (*Psidium guajava*) como alimentos de IV gama [Tesis de licenciatura, Universidad Técnica del Norte].

- Jiménez, A. (2017). Evaluación del *Aloe vera* como recubrimiento comestible en frutas de IV gama. *Revista de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 11(3), 253–262.
- Khuri, A. I., & Mukhopadhyay, S. (2010). Response surface methodology. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 2(2), 128–149.
- Krochta, J. M., & Mulder-Johnston, C. D. (1997). Edible and biodegradable polymer films: Challenges and opportunities. *Food Technology*, 51(2), 61–74.
- Lin, D., & Zhao, Y. (2007). Innovations in the development and application of edible coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 6(1), 60–75.
- Linares Valbuena, C. L. (2019). Efecto de biorecubrimiento y atmósferas activas y pasivas en la conservación de mango de azúcar en IV gama [Tesis de maestría, Universidad Jorge Tadeo Lozano].
- Linares, J. (2019). Desarrollo experimental del biorecubrimiento a partir de biocompuestos. *Journal of Food Engineering*.
- López, R. (2018). Eficacia de recubrimientos comestibles en la conservación de manzanas. *Journal of Food Science*.
- Maldonado Taype, N. F. (2016). Desarrollo y estudio de un recubrimiento comestible a base de carragenina para piña de IV gama [Tesis de maestría, Escuela Politécnica Nacional].
- Martínez-Hernández, G. B., Artés-Hernández, F., Gómez, P. A., Artés, F., & Aguayo, E. (2013). Use of postharvest techniques to maintain the quality of 'Bartlett' pears under long-term cold storage and controlled atmosphere conditions. *Postharvest Biology and Technology*, 78, 37–48.
- Mas-Golac, W. E. (2006). Estudio del comportamiento poscosecha de cuatro variedades de piña (*Ananas comosus*) bajo dos sistemas de almacenamiento [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Martín].
- McHugh, T. H., & Senesi, E. (2000). Edible coatings to improve storability and enhance quality of fresh-cut fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 17(3), 261–269.

- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). (2009). *Centro de diversificación de la piña en Perú*. MINAGRI.
- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). (2018). *Programas de investigación y desarrollo en conservación de productos agrícolas*. MINAGRI.
- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). (2019). *El cultivo de piña*. AgroRural.
- Montgomery, D. C. (2004). *Design and analysis of experiments* (5th ed.). John Wiley & Sons.
- Montgomery, D. C. (2004). *Diseño y análisis de experimentos* (2da ed.). Limusa Wiley.
- Myers, R. H., Montgomery, D. C., & Anderson-Cook, C. M. (2016). *Response surface methodology: Process and product optimization using designed experiments* (4th ed.). John Wiley & Sons.
- Olivas, G. I., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2005). Edible coatings for fresh-cut fruits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45(7–8), 657–670.
- Oms-Oliu, G., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2010). Advances in modified atmosphere packaging and minimally processed foods. *Food and Bioprocess Technology*, 3(1), 21–34.
- Paredes, L., et al. (2019). Uso de recubrimientos comestibles a base de almidón de yuca en fresas. *Postharvest Biology and Technology*.
- Parzanese, A. (2013). Tecnología de PC y RC para productos saludables y sustentables. *Journal of Food Packaging and Shelf Life*.
- Pasquel Reátegui, J. L. (2009). Conservación por mínimo proceso de la piña (*Ananas comosus*) en rodajas y tiras [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Martín].
- Ramos-Villarroel, A. Y., Martín-Belloso, O., & Soliva-Fortuny, R. (2012). Effects of high-intensity pulsed electric fields on the safety and quality of fresh-cut fruits and vegetables: A review. *Food and Bioprocess Technology*, 5(5), 1820–1832.
- Ramírez Caicedo, L. V. (2024). Propuesta de aprovechamiento de piña mayanes (*Ananas comosus*) para extracción de bromelina con etanol [Tesis de maestría, Corporación Universitaria del Meta].

- Rodríguez, J., & Pérez, L. (2016). Efectos de la bromelina de la piña en la inflamación y recuperación post-ejercicio. *Journal of Sports Science and Medicine*.
- Rojas, M. (2006). Recubrimientos comestibles y sustancias de origen natural en manzanas frescas cortadas: Una nueva estrategia de conservación [Tesis de maestría, Universidad de Lleida].
- Ruelas, X., Córdova, A., Reboloso, O., Aguilera, A., Montañez, J., Fuentes, L., & García, M. (2016). Influencia de la calidad microbiológica y sensorial de un biorecubrimiento funcional a base de goma guar y aceite de oliva sobre la vida de anaquel de guayaba. *Seguridad Alimentaria*.
- Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA). (2020). *Cultivo de piña en Perú*. SENASA.
- Sothornvit, R., Ketsilp, S., & Kiatchanapaibul, P. (2010). Effect of coatings on the postharvest quality of fresh-cut mangoes. *Journal of Food Science*, 75(6), E336–E340.
- United States Department of Agriculture (USDA). (2019). *FoodData Central*. Agricultural Research Service. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html>
- United States Department of Agriculture (USDA). (n.d.). *National Nutrient Database for Standard Reference Release*. <http://www.ars.usda.gov/ba/bhnrc/ndl>
- Valencia, M. C., & Torres, J. A. (2016). Aplicación de películas y recubrimientos comestibles en productos de IV y V gama. *Journal of Food Packaging and Shelf Life*, 12(3), 215–225.
- Vargas, E., et al. (2020). Aplicación de recubrimientos comestibles a base de mucílago de tuna en mango. *Journal of Agricultural Science*.
- Vargas-Serna, C. (2022). Conservación de piña mínimamente procesada: Evaluación de parámetros físico-químicos. *Ingeniería*, 27(1).
- Zambrano, J. (1997). Características físico-químicas de tres variedades de piña (*Ananas comosus*) durante el periodo de postcosecha. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*, 14, 349–357.

Zambrano, J., et al. (2017). Efecto de un recubrimiento comestible formulado con mucílago de cactus (*Opuntia elator* Mill.) sobre la calidad de frutos de piña mínimamente procesada. *Bioagro*, 29(2), 129–136.

Zegarra Samamé, S. I. (2015). Optimización de la formulación de una galleta enriquecida con hidrolizado de anchoveta aplicando metodología de superficie de respuesta [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina].

ANEXOS

ANEXO 1

Determinación del contenido de ácido ascórbico

La determinación de ácido ascórbico o vitamina C, se efectuó de acuerdo a la metodología recomendada por la A,O,A,C, 2000, 967,21, mediante el método de titulación, Metodología que se basa en la reducción del colorante 2,6 diclorofenolindofenol por una solución de ácido ascórbico,

El contenido de ácido ascórbico es directamente proporcional a la capacidad de un extracto de la muestra para reducir una solución estándar de colorantes determinados por titulación, El procedimiento fue el siguiente:

a, Estándar de trabajo: Disolver 100 mg de ácido ascórbico en 100 mL de una solución de ácido oxálico al 0,5% en una fiola de 100 mL, Esta solución contiene 0,1% de ácido ascórbico y es inestable por lo que deberá utilizarse inmediatamente,

b, Solución 2,6 diclorofenolindofenol: Disolver 100 mg de 2,6 diclorofenolindofenol en 100 mL de agua destilada, Se utilizó agua destilada hirviendo y se enrasó a 100 mL cuando se enfrió, Se almacenó en botella de color oscuro y en refrigeración,

Luego se realizó el análisis del estándar de trabajo el cual consistió en tomar 1 mL de la solución estándar y colocarla en un Erlenmeyer de 50 mL se agregó 100 mL de una solución de ácido oxálico al 0,5% y se tituló con la solución de 2,6 diclorofenolindofenol, Al final de la titulación se observó un cambio de color rosa débil, color que persistió por 10 a 15 s, Lecturas a mayor tiempo dan coloración algo más rosado lo cual es fuente de error, La solución 2,6 diclorofenolindofenol deberá ser estandarizada cada día,

El cálculo del equivalente (T) en ácido ascórbico por mL de solución 2,6 diclorofenolindofenol: $T = \frac{\text{mg de ácido ascórbico}}{\text{mL de solución 2,6 diclorofenolindofenol}}$

Para el análisis de la muestra:

- ✓ Se colocó 10g en una homogenizadora, y se agregó 50 mL de solución al 0,5% de ácido oxálico y se desintegro por cinco minutos,
- ✓ Se procedió a filtrar la muestra en un Erlenmeyer,
- ✓ Se pipeteo 1 mL de la solución filtrada en un Erlenmeyer de 50 mL posteriormente se le adicionó 30 mL de ácido oxálico al 0,5%,
- ✓ Finalmente se realizó la titulación con 2,6 diclorofenolindofenol hasta obtener un color rosado persistente; del mismo modo se hizo la titulación del blanco sobre 30

mL de la solución de ácido oxálico al 0,5% con 2,6 diclorofenolindofenol para así poder restar este valor al gasto de la muestra problema,

$$\text{mg, AA } 100 \text{ mL} = V \times T \times 100W$$

Donde:

V = mL de 2,6 diclorofenolindofenol utilizados para titular la alícuota de muestra,

T = Equivalente en ácido ascórbico de la solución 2,6 diclorofenolindofenol expresado en mg por mL de colorante

W = g de muestra en la alícuota analizada

ANEXO 2

Procesos de acondicionamiento de la materia prima y acondicionamiento del alimento mínimamente procesado de IV gama

Figura 25

Selección de la materia prima



Figura 26

Pelado de la piña para su acondicionamiento



Figura 27

Trozado y picado de la piña



Figura 28

Envasado y acondicionamiento de la piña picada o troceada



Figura 29

Pesado y registro del peso de las muestras



Figura 30

Almacenamiento y conservación de las muestras



Figura 31

Preparación de soluciones



**UNSCH**FACULTAD DE INGENIERÍA
QUÍMICA Y
METALURGIA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS PRESENCIAL:
(Reglamento de grados y títulos, aprobado con RCU N° 314-2021-UNSCH-CU)

Optimización de los niveles de ácido ascórbico, almidón y cloruro de calcio en las características físicas y químicas de piña (*Ananas comosus*) procesada con tecnología de IV gama

Expositor: Bayron Raul Miranda Poma

Bachiller en Ingeniería en Industrias Alimentarias

Expediente N° 2520508

Resolución Decanal N° 056-2025-UNSCH-FIQM/D

Fecha: 22-05-2025

En la Sala de Conferencias "Pedro VILLENA HIDALGO" de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, ubicada en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (H-121), siendo las ocho de la mañana con cinco minutos del día jueves cinco de junio del año dos mil veinticinco, se reunieron el Bachiller en Ingeniería en Industrias Alimentarias **Bayron Raul Miranda Poma**, los Docentes Miembros del Jurado de Sustentación Ingenieros: Dr. Juan Carlos PONCE RAMIREZ, Dr. Percy Fermín VELASQUEZ CCOSI y Mg. Wiler Hugo DE LA CRUZ QUISPE, bajo la Presidencia del Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA (Decano de la FIQM), Dr. Antonio Jesús MATOS ALEJANDRO (Docente Asesor de la Tesis), el Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE (Secretario-Docente) y el público asistente.

Acto seguido, el Presidente del Jurado de Sustentación dispuso que el Secretario Docente dé lectura a los antecedentes tramitados para el presente Acto Público de Sustentación de la Tesis: **Optimización de los niveles de ácido ascórbico, almidón y cloruro de calcio en las características físicas y químicas de piña (*Ananas comosus*) procesada con tecnología de IV gama**, presentado por el Bachiller **Bayron Raul Miranda Poma**. A continuación, el Secretario-Docente procedió a dar lectura a la Resolución Decanal N° 056-2025-UNSCH-FIQM/D.

Luego, el Presidente del Jurado invitó al Bachiller **Bayron Raul Miranda Poma**, a pasar al estrado y exponer su trabajo de Tesis en un tiempo máximo de cuarenta y cinco minutos.

Terminada la exposición del Bachiller, el Presidente invitó a los Señores Miembros del Jurado de Sustentación a que formulen sus preguntas y señalen sus observaciones, en el siguiente orden: Mg. Wiler Hugo DE LA CRUZ QUISPE, Dr. Percy Fermín VELASQUEZ CCOSI y Dr. Juan Carlos PONCE RAMIREZ. Luego el Presidente invitó al Dr. Antonio Jesús MATOS ALEJANDRO para que, en su condición de Docente Asesor, se sirva levantar las observaciones del Jurado y efectuar las aclaraciones que considere conveniente.

Concluyó con esta etapa el Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA, en su condición de Presidente.



UNSCH

FACULTAD DE INGENIERÍA
QUÍMICA Y
METALURGIA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS PRESENCIAL:

(Reglamento de grados y títulos, aprobado con RCU N° 314-2021-UNSCH-CU)

Optimización de los niveles de ácido ascórbico, almidón y cloruro de calcio en las características físicas y químicas de piña (*Ananas comosus*) procesada con tecnología de IV gama

Expositor: Bayron Raul Miranda Poma

Bachiller en Ingeniería en Industrias Alimentarias

Expediente N° 2520508

Resolución Decanal N° 056-2025-UNSCH-FIQM/D

Fecha: 22-05-2025

Culminada la etapa de preguntas, el Presidente del Jurado invitó al Sustentante y al público para que se sirvan abandonar la Sala de Conferencias con la finalidad de permitir al Jurado de Sustentación deliberar sobre la evaluación a otorgar. Se alcanzó el siguiente resultado. **APROBADO POR UNANIMIDAD PROMEDIO TRECE (13)**.

Finalmente el Presidente del Jurado dispuso que se invite al Sustentante y al público asistente a que se sirvan ingresar a la Sala de Conferencias, y anunció que el Bachiller **Bayron Raul Miranda Poma**, ha resultado **APROBADO POR UNANIMIDAD**, y por lo tanto a partir de la fecha la Universidad y la Facultad cuenta con un flamante **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS** y le augura éxitos en su desempeño profesional.

Siendo las diez de la mañana con cinco minutos, se dio por concluido el acto académico de Sustentación de Tesis. En fe de lo cual firmamos:

.....
Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA
Presidente

.....
Dr. Juan Carlos PONCE RAMIREZ
Miembro

.....
Dr. Percy Fermín VELASQUEZ CCOSI
Miembro

.....
Mg. Wiler Hugo DE LA CRUZ QUISPE
Miembro

.....
Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE
(Secretario Docente)

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS PRESENCIAL:**

(Reglamento de grados y títulos, aprobado con RCU N° 314-2021-UNSCH-CU)

Optimización de los niveles de ácido ascórbico, almidón y cloruro de calcio en las características físicas y químicas de piña (*Ananas comosus*) procesada con tecnología de IV gama

Expositor: Edwin Maximo Lopez Flores

Bachiller en Ingeniería en Industrias Alimentarias

Expediente N° 2520508

Resolución Decanal N° 056-2025-UNSCH-FIQM/D

Fecha: 22-05-2025

En la Sala de Conferencias "Pedro VILLENA HIDALGO" de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, ubicada en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (H-121), siendo las ocho de la mañana con cinco minutos del día jueves cinco de junio del año dos mil veinticinco, se reunieron el Bachiller en Ingeniería en Industrias Alimentarias **Edwin Maximo Lopez Flores**, los Docentes Miembros del Jurado de Sustentación Ingenieros: Dr. Juan Carlos PONCE RAMIREZ, Dr. Percy Fermín VELASQUEZ CCOSI y Mg. Wiler Hugo DE LA CRUZ QUISPE, bajo la Presidencia del Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA (Decano de la FIQM), Dr. Antonio Jesús MATOS ALEJANDRO (Docente Asesor de la Tesis), el Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE (Secretario-Docente) y el público asistente.

Acto seguido, el Presidente del Jurado de Sustentación dispuso que el Secretario Docente dé lectura a los antecedentes tramitados para el presente Acto Público de Sustentación de la Tesis: **Optimización de los niveles de ácido ascórbico, almidón y cloruro de calcio en las características físicas y químicas de piña (*Ananas comosus*) procesada con tecnología de IV gama**, presentado por el Bachiller **Edwin Maximo Lopez Flores**. A continuación, el Secretario-Docente procedió a dar lectura a la Resolución Decanal N° 056-2025-UNSCH-FIQM/D.

Luego, el Presidente del Jurado invitó al Bachiller **Edwin Maximo Lopez Flores**, a pasar al estrado y exponer su trabajo de Tesis en un tiempo máximo de cuarenta y cinco minutos.

Terminada la exposición del Bachiller, el Presidente invitó a los Señores Miembros del Jurado de Sustentación a que formulen sus preguntas y señalen sus observaciones, en el siguiente orden: Mg. Wiler Hugo DE LA CRUZ QUISPE, Dr. Percy Fermín VELASQUEZ CCOSI y Dr. Juan Carlos PONCE RAMIREZ. Luego el Presidente invitó al Dr. Antonio Jesús MATOS ALEJANDRO para que, en su condición de Docente Asesor, se sirva levantar las observaciones del Jurado y efectuar las aclaraciones que considere conveniente.

Concluyó con esta etapa el Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA, en su condición de Presidente.

**UNSCH**FACULTAD DE INGENIERÍA
QUÍMICA Y
METALURGIA**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS PRESENCIAL:**

(Reglamento de grados y títulos, aprobado con RCU N° 314-2021-UNSCH-CU)

Optimización de los niveles de ácido ascórbico, almidón y cloruro de calcio en las características físicas y químicas de piña (*Ananas comosus*) procesada con tecnología de IV gama**Expositor: Edwin Maximo Lopez Flores****Bachiller en Ingeniería en Industrias Alimentarias**

Expediente N° 2520508


Resolución Decanal N° 056-2025-UNSCH-FIQM/D

Fecha: 22-05-2025

Culminada la etapa de preguntas, el Presidente del Jurado invitó al Sustentante y al público para que se sirvan abandonar la Sala de Conferencias con la finalidad de permitir al Jurado de Sustentación deliberar sobre la evaluación a otorgar. Se alcanzó el siguiente resultado. **APROBADO POR UNANIMIDAD PROMEDIO TRECE (13).**

Finalmente el Presidente del Jurado dispuso que se invite al Sustentante y al público asistente a que se sirvan ingresar a la Sala de Conferencias, y anunció que el Bachiller **Edwin Maximo Lopez Flores**, ha resultado **APROBADO POR UNANIMIDAD**, y por lo tanto a partir de la fecha la Universidad y la Facultad cuenta con un flamante **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS** y le augura éxitos en su desempeño profesional.

Siendo las diez de la mañana con cinco minutos, se dio por concluido el acto académico de Sustentación de Tesis. En fe de lo cual firmamos:


.....
Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA
Presidente
.....
Dr. Juan Carlos PONCE RAMIREZ
Miembro
.....
Dr. Percy Fermín VELASQUEZ CCOSI
Miembro
.....
Mg. Wiler Hugo DE LA CRUZ QUISPE
Miembro
.....
Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE
(Secretario Docente)



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El Director de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, hace CONSTAR:

Que, los Sres. Bayron Raul MIRANDA POMA y Edwin Maximo LOPEZ FLORES egresados de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias han remitido, con el aval y por intermedio de su asesor Ing. Antonio Jesús MATOS ALEJANDRO, la Tesis: Optimización de los niveles de ácido ascórbico, almidón y cloruro de calcio en las características físicas y químicas de piña (*Ananas comosus*) procesada con tecnología de IV gama, y se precisa con el Informe de Originalidad de Turnitin, que el índice de similitud del trabajo es de 17% y que se ha generado el Recibo digital que confirma el Depósito que el trabajo ha sido recibido por Turnitin con fecha octubre 20 de 2025 e Identificador de la Entrega N° 2786943841.

Se expide la presente, para los fines pertinentes.

Ayacucho, 27 de octubre del 2025.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL
DE HUAMANGA
E. P. DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Ing° CIP Antonio J. Matos Alejandro
DIRECTOR

c.c. : Archivo.
Constancia N° 111

Optimización de los niveles de ácido ascórbico, almidón y cloruro de calcio en las características físicas y químicas de piña (Ananas comosus) procesada con tecnología de IV gama

por Bayron Raul Miranda Poma y Edwin Maximo Lopez Flores

Fecha de entrega: 20-oct-2025 08:31a. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2786943841

Nombre del archivo: TESIS_FINAL_EDIN_Y_BAYRON.pdf (1.96M)

Total de palabras: 23517

Total de caracteres: 119617

Optimización de los niveles de ácido ascórbico, almidón y cloruro de calcio en las características físicas y químicas de piña (Ananas comosus) procesada con tecnología de IV gama

INFORME DE ORIGINALIDAD

17%	16%	4%	6%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	4%
	Trabajo del estudiante	
2	repositorio.unsch.edu.pe	2%
	Fuente de Internet	
3	hdl.handle.net	2%
	Fuente de Internet	
4	repositorio.utn.edu.ec	1%
	Fuente de Internet	
5	www.redalyc.org	1%
	Fuente de Internet	
6	repositorio.upct.es	1%
	Fuente de Internet	
7	bibdigital.epn.edu.ec	1%
	Fuente de Internet	
8	repositorio.lamolina.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
9	Ramos Alata, Dawes. "Efecto de la masa, velocidad de avance y presión de inflado de neumáticos del tractor sobre la compactación del suelo agrícola", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru)	<1%
	Publicación	

10	Fuente de Internet	<1 %
11	es.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
12	revistas.udistrital.edu.co Fuente de Internet	<1 %
13	www.scielo.org.ar Fuente de Internet	<1 %
14	eprints.uanl.mx Fuente de Internet	<1 %
15	patents.google.com Fuente de Internet	<1 %
16	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1 %
17	www.ecovidiasolar.es Fuente de Internet	<1 %
18	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
20	repositorio.uchile.cl Fuente de Internet	<1 %
21	repositorio.unal.edu.co Fuente de Internet	<1 %
22	qdoc.tips Fuente de Internet	<1 %
23	idoc.tips Fuente de Internet	<1 %
24	saber.ucv.ve Fuente de Internet	<1 %

25 www.downtoearthnw.com <1 %
Fuente de Internet

26 repositorio.unac.edu.pe <1 %
Fuente de Internet

27 repositorio.utc.edu.ec <1 %
Fuente de Internet

28 repositorio.uns.edu.pe <1 %
Fuente de Internet

Excluir citas Activo Excluir coincidencias < 30 words
Excluir bibliografía Activo