

Determinación de la vida útil de una mezcla de pulpa de fruta

Carlos Fernando García Ojeda

Asesor

MSc. Martha Barrera Hernández

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería - ECBTI

Ingeniería de alimentos

2025

Agradecimientos

Agradezco profundamente a mi familia, por ser mi red de apoyo en cada etapa de este proceso. Su paciencia, cariño y palabras de aliento fueron fundamentales para seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles. Gracias por confiar en mí y por caminar a mi lado.

A la ingeniera Martha Barrera, por su valiosa orientación, compromiso y acompañamiento académico. Su guía, conocimientos y disposición fueron clave para el desarrollo de este trabajo. Gracias por su apoyo y por sembrar en mí el deseo de hacer las cosas con calidad y responsabilidad profesional.

A la Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD, por brindarme la oportunidad de formarme como profesional en un ambiente flexible, inclusivo y exigente. Esta institución me permitió crecer no solo académicamente, sino también como ser humano.

A todos, gracias por ser parte de este logro.

Dedicatoria

A mi madre, que, aunque ya no está a mi lado, vive en cada uno de mis logros. Gracias por haber creído en mí siempre, por tu amor incondicional y por enseñarme con tu ejemplo a no rendirme. Esta meta es también tuya, porque sin tus enseñanzas no habría llegado hasta aquí.

A mi hijo, mi fuerza de cada día. Eres mi motor, mi luz y mi razón para seguir creciendo. Que este logro te inspire algún día a luchar por tus propios sueños, como tú me motivaste a alcanzar los míos.

Resumen

El mercado de frutas es muy diverso, incluyendo categorías como las frutas tropicales, entre las que destacan el mango, la piña, el aguacate y la papaya. Sin embargo, debido a su composición, su conservación resulta complicada, lo que hace fundamental desarrollar alternativas como la pulpa congelada. Esta opción es práctica para la elaboración de jugos y batidos, y además ofrece beneficios económicos al reducir las pérdidas postcosecha. Asimismo, contribuye a mejorar la alimentación, ya que la congelación conserva gran parte de las propiedades nutricionales y sensoriales del producto fresco

Por lo expuesto, se hace necesario la optimización y estandarización de procesos para la obtención de pulpas de fruta, donde se incluya su vida útil de los consumidores. En el presente proyecto, al recibir la materia prima, se llevan a cabo todos los protocolos necesarios, incluyendo los análisis de calidad para su ingreso a planta, antes de iniciar la elaboración de pulpa de fruta. La pulpa se produce a partir de una mezcla de frutas de fácil acceso en la región, como banano, papaya, piña Golden y limón Tahití.

La determinación de la vida útil de una pulpa de frutas implica varios pasos y técnicas para asegurar que el producto se mantenga seguro y de alta calidad durante un período determinado. Para la verificación de la inocuidad las pruebas realizadas se encuentran análisis microbiológico, incluyendo monitorear la carga microbiana a lo largo del tiempo para determinar en qué punto los niveles alcanzan un límite inaceptable. Dentro de los análisis fisicoquímicos se evaluaron cambios en los parámetros químicos (pH, acidez, contenido de azúcar) y físicos (color, textura, sabor, olor) durante el almacenamiento incluyendo la oxidación y degradación del producto. Las pruebas sensoriales, se enfocaron en el color, olor, textura y apariencia para identificar el punto en el que la calidad sensorial del producto se considera inaceptable por parte

de evaluadores no expertos y el estudiante investigador. Finalmente se realizó un estudio de estabilidad que consistió en almacenar la pulpa de frutas a diferentes temperaturas (refrigerada, congelada, ambiente) y condiciones de luz/humedad para simular diferentes escenarios de almacenamiento dando los resultados expuestos en el presente trabajo.

Palabras claves: vida útil, pulpa de fruta, limón, piña, banano, congelada.

Abstract

The fruit market is highly diverse, encompassing categories such as tropical fruits, including mango, pineapple, avocado, and papaya. However, due to their biochemical composition, these fruits present significant preservation challenges, underscoring the importance of developing alternatives such as frozen fruit pulp. This product is practical for the preparation of juices and smoothies and provides economic advantages by reducing postharvest losses. Moreover, freezing preserves many of the nutritional and sensory characteristics of fresh fruit, contributing to improved dietary quality.

Therefore, it is essential to optimize and standardize processing methods for fruit pulp production, including accurate determination of shelf life for consumers. In this study, upon receipt of raw materials, all protocols related to fruit pulp production were followed, using a mixture of regionally abundant fruits such as banana, papaya, Golden pineapple, and Tahiti lime. Shelf life assessment involved multiple analytical approaches to ensure product safety and quality over time. Microbiological analyses monitored microbial load dynamics to establish acceptable safety thresholds. Physicochemical evaluations measured changes in chemical parameters (pH, acidity, sugar content) and physical attributes (color, texture, flavor, odor) during storage, including oxidation and degradation processes. Sensory analysis focused on color, odor, texture, and appearance to determine the sensory quality limits as judged by non-expert panelists and the research student. Finally, a stability study was conducted by storing the fruit pulp under varying temperature conditions (refrigerated, frozen, ambient) and light/humidity exposures to simulate diverse storage environments.

Keywords: shelf life, fruit pulp, lime, pineapple, banana, frozen.

Tabla de contenido

Resumen.....	4
Abstract.....	6
Introducción	11
Justificación	13
Objetivos.....	15
Objetivo General	15
Objetivos Específicos	15
Marco teórico	16
Caracterización de las Frutas del Estudio	16
Limón	17
Origen y dispersión.	17
Clasificación taxonómica.	18
Composición.....	19
Propiedades relacionadas con procesamiento y almacenamiento.....	19
Banano	20
Origen y distribución.....	20
Composición general.....	23
Propiedades físicas.....	23
Papaya	24

Composición.....	25
Piña	27
Vida útil.....	30
Metodología	31
Resultados y análisis de resultados.....	34
Formulación de pulpa de fruta.....	35
Balances teóricos de materia	35
Formulación 1	35
Formulación 2.....	36
Formulación 3.....	36
Determinación de vida útil del producto obtenido	37
Análisis fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales	37
Determinación de Vida útil	43
Estudios de estabilidad.....	45
Conclusiones	47
Referencias Bibliográficas	48

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Clasificación Taxonómica del limón Tahití</i>	18
Tabla 2 <i>Clasificación Taxonómica del Banano</i>	22
Tabla 3 <i>Clasificación Taxonómica de la Papaya</i>	24
Tabla 4 <i>Composición de la Papaya</i>	25
Tabla 5 <i>Composición de la Piña</i>	28
Tabla 6 <i>Clasificación Taxonómica de la Piña</i>	30
Tabla 7 <i>Valores Iniciales de Color en Frutas Evaluadas</i>	38
Tabla 8 <i>Valores Iniciales de Color en Mezcla de Pulpa de Fruta</i>	38
Tabla 9 <i>Valores de Colorimetría en Mezcla de Pulpa de Fruta Refrigerada</i>	39
Tabla 10 <i>Valores de Colorimetría en Mezcla de Pulpa de Fruta Congelada</i>	40
Tabla 11 <i>Valores pH Tomados cada 3 días en Temperatura Refrigerado</i>	41
Tabla 12 <i>Valores pH Tomados cada 3 Días en Temperatura Congelación</i>	41
Tabla 13 <i>Valores pH a Temperatura Ambiente</i>	42
Tabla 14 <i>Valores de Grados Brix Congelación</i>	42
Tabla 15 <i>Valores de Grados Brix Tomados cada 3 Días en Temperatura Refrigeración</i>	43
Tabla 16 <i>Parámetros Microbiológicos Pulpa de Fruta</i>	44

Lista de Figuras

Figura 1 *Flujograma de proceso elaboración de la pulpa*36

Figura 2 *Color Inicial de la Pulpa de Fruta*39

Introducción

Colombia es un país con una amplia riqueza frutícola por sus condiciones agroclimáticas favorables. Las frutas como el banano (*Musa spp.*), papaya (*Carica papaya L.*), piña Golden (*Ananas comosus*) y limón Tahití (*Citrus latifolia*) no solo se destacan por su alto consumo nacional, sino también por su potencial de transformación industrial. La elaboración de pulpas de frutas permite reducir pérdidas postcosecha y generar productos con valor agregado que pueden comercializarse localmente o exportarse. Por otra parte, es importante resaltar el interés y esfuerzo de los gobiernos mundiales por promover el consumo de estos productos. Un ejemplo de ello es la declaración del 2021 como el Año Internacional de Frutas y Verduras establecido por la Asamblea General de Naciones Unidas (ONU) con el fin de crear conciencia de sus beneficios y promover la salud y buena alimentación a nivel mundial, lo cual se alinea con el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (FAO, 2021).

En la industria de alimentos, la determinación de la vida útil es un proceso esencial para garantizar la inocuidad, la calidad y la aceptación del producto por parte del consumidor. Las pulpas de fruta, por su alto contenido de humedad y compuestos bioactivos, son productos altamente perecederos que requieren un manejo adecuado en su procesamiento, conservación y distribución. El aumento de la demanda en los mercados nacional e internacional ha impulsado el desarrollo y la aplicación de tecnologías avanzadas en el campo de la ciencia de los alimentos. Estas tecnologías son esenciales para extender la vida útil de las pulpas, garantizando al mismo tiempo la conservación de sus propiedades sensoriales y nutricionales. Así, la integración de la ciencia y la tecnología en estos procesos resulta crucial para ofrecer productos de alta calidad que satisfagan las exigencias del mercado y promuevan la innovación sostenible en la industria alimentaria.

En frutas tropicales como las del estudio, que usualmente se almacenan como pulpa, aún es necesario establecer dicho tiempo (Ciabotti et al., 2000). Esta información es clave para proteger la salud del consumidor, el punto final y más importante de la cadena de distribución. Hoy en día, es posible estimar la vida útil de un alimento de forma rápida mediante pruebas aceleradas, basadas en microbiología predictiva y modelos matemáticos como los de Gompertz y Arrhenius. Para la industria, conocer este dato permite optimizar almacenamiento y conservación (Bejarano et al., 2014). En el caso de la pulpa del estudio, no se han definido con claridad las condiciones y duración de almacenamiento, pero las pruebas aceleradas facilitarían su análisis y asegurarían su calidad, beneficiando así al consumidor.

Establecer la vida útil de las pulpas de fruta permite conocer el tiempo durante el cual el producto puede ser consumido de forma segura y con calidad óptima, bajo condiciones específicas de almacenamiento. Esto no solo tiene implicaciones sanitarias y comerciales, sino que también permite reducir el desperdicio de alimentos, optimizar las cadenas logísticas y cumplir con las normativas establecidas por entidades de inspección y vigilancia como el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos INVIMA, la cual es reglamentada mediante la Resolución 3929 de 2012 emitida por el Ministerio de Salud y Protección Social.

Desde la ingeniería de alimentos, el estudio de la vida útil involucra el análisis de factores como el pH, la actividad de agua (a_w), la carga microbiana, y las características fisicoquímicas y sensoriales a lo largo del tiempo. Este trabajo se enfoca en evaluar dichos aspectos en las pulpas del estudio, con el fin de establecer su vida útil.

Justificación

Colombia cuenta con una ventaja competitiva para la producción de frutas. En los últimos años se ha visto un crecimiento en cuanto a las exportaciones de la pulpa de fruta, debido a las tendencias mundiales de consumo de alimentos saludables y nutritivos, así como las necesidades del mercado global que demandan productos convenientes fáciles de preparar y listos para consumir, las exportaciones de la pulpa de fruta colombiana seguirán abriendo nuevos mercados y aumentando sus ventas. (Jiménez, 2021)

El aprovechamiento y transformación de frutas tropicales en pulpas representa una alternativa clave para el desarrollo agroindustrial de regiones como Santander, donde se cultivan de forma significativa frutas como el banano (*Musa spp.*), papaya (*Carica papaya L.*), piña Golden (*Ananas comosus*) y limón Tahití (*Citrus latifolia*). Esta iniciativa no solo promueve el uso eficiente de los recursos agrícolas disponibles, sino que además genera valor agregado a partir de materias primas que muchas veces son desaprovechadas por problemas de comercialización o deterioro postcosecha (Gómez, 2019).

La investigación sobre la vida útil, conservación, procesamiento y calidad de las pulpas no solo contribuye a la optimización de procesos productivos, sino que también genera conocimiento valioso para el sector académico y productivo. Desde el Centro de Investigación y Producción (CIP) de la UNAD, este tipo de estudios son fundamentales para impulsar la innovación tecnológica, promoviendo prácticas de conservación más sostenibles y desarrollando estrategias que añaden valor agregado a los productos. Así, la innovación en este campo se convierte en un motor clave para fortalecer la competitividad del sector y fomentar un desarrollo sostenible, alineado con los objetivos institucionales y las demandas del mercado actual.

Desde el punto de vista nutricional, las pulpas conservan gran parte de los beneficios naturales de la fruta fresca, incluyendo vitaminas, minerales, fibra y compuestos antioxidantes. Su consumo regular puede ayudar a combatir deficiencias nutricionales comunes, especialmente en zonas con dificultades de acceso a alimentos frescos (Morales 2020).

Como ingeniero de alimentos el proyecto obedece al perfil del egresado que busca abordar proyectos acordes con las diferentes situaciones regionales para dar solución empresarial, social y ambiental.

Objetivos

Objetivo General

Determinar la vida útil de una pulpa a base de una mezcla de pulpa de fruta.

Objetivos Específicos

Establecer formulación de pulpa de fruta a partir de parámetros previamente establecidos tales como fácil adquisición, disponibilidad en la región y poder antioxidante.

Elaborar un producto prototipo para establecer sus características fisicoquímicas, microbiológicas, sensoriales.

Establecer la vida útil del producto obtenido.

Marco teórico

Pulpa es definida por la Resolución 3929 de 2012 como el producto obtenido por la maceración, trituración o desmenuzado y el tamizado o no de la parte comestible de las frutas frescas, sana maduras y limpias (MPS, 2012).

Es el producto pastoso, no diluido, ni concentrado, ni fermentado, obtenido por la desintegración y tamizado de la fracción comestible de frutas frescas, sanas, maduras y limpias.

Por su parte, la pulpa de fruta es el producto carnoso y comestible de la fruta, obtenido después de removerle la cáscara y las semillas, y que conserva las características naturales del sabor, el color y el aroma. La Norma Técnica Colombiana NTC 5468:2012 establece los requisitos y métodos de ensayo para jugos, pulpas, néctares de frutas y sus concentrados, ya sea para consumo directo o para elaboración posterior.

Caracterización de las Frutas del Estudio

Revisemos algunas referentes teóricos de las frutas utilizadas en el presente estudio.

Limón

Origen y dispersión. El cultivo de lima ácida Tahití comenzó a desarrollarse a escala comercial en Estados Unidos, en California y Florida. El consumo de este fruto en ese país y en Europa ha venido aumentando, lo que en la última década ha fortalecido las exportaciones de países como México (98 %), seguido de Guatemala (0,73%) y Colombia (0,59 %), mientras que otros países de Suramérica aportan el 0,59% restante (Arias, 2016). Según datos de Analdex y portal frutícola (2022, 2023) las exportaciones de limón Tahití han tenido un comportamiento sostenido en volumen y valor Colombia ha diversificado sus destinos, exportando a 23 países en total, incluyendo Alemania, Puerto Rico, Guadalupe, España, Francia, Martinica, Curazao, Canadá, Turquía e Italia. Por su parte Santander, se ha consolidado como el principal productor y exportador de limón Tahití en Colombia, representando el 39,7% del total nacional exportado en 2025, seguido por Cundinamarca y Antioquia según cifras del El Colombiano.

En Colombia se cultivan y comercializan dos limas ácidas: el limón Pajarito o mexicano (*Citrus aurantifolia*) y la lima ácida Tahití (*C. latifolia*); esta última es dominante tanto en el mercado interno como en el mercado de exportación (Hernández 2014). Para el mercado interno el atributo más importante es el contenido de jugo; la región que produce la mejor calidad en esta variable es el Tolima. Para el mercado de exportación las características del fruto de mayor interés son el color verde intenso del fruto, la ausencia de áreas con “golpe de sombra” (áreas blancuzcas en la corteza del fruto) y las características de la corteza, teniendo en cuenta que la fruta que se exporta se usa principalmente en coctelería, en especial para el mercado de Europa. La principal región exportadora es Lebrija (Santander) y se estima que la fruta obtiene buena calidad debido a las condiciones ambientales de la región y a las prácticas de manejo de los productores para mejorar la exposición de los frutos a la luz (con raleo de frutos y podas),

obteniendo el color verde intenso deseado (Hernández 2014). Además, las frutas cumplen con los requisitos de inocuidad y están libres de los riesgos fitosanitarios exigidos por el país importador. El desarrollo del fruto en el cultivo de la lima ‘Tahití’ sigue una curva sigmoidea, desde antesis hasta maduración, definida por tres periodos o fases. La fase I: va desde la caída del estilo hasta el incremento de la masa fresca y seca, así como el aumento del diámetro de los frutos. La fase II se caracteriza por un crecimiento rápido en toda su estructura y en la fase III, los frutos conservan el tamaño, dejan de crecer y es en este momento donde se realiza una cosecha comercial (requerido por el mercado) y no fenológica (Orduz, 2008).

El contenido de sólidos solubles totales desciende a partir de la segunda fase, mientras que el pH y la acidez aumentan a partir de esta fase. Algunos estudios muestran que, en regiones de sabana, debido a factores ambientales que los frutos necesitan para su desarrollo entre 162 y 189 días después de la antesis (DDA) y en otras regiones requieren entre 203 y 245 DDA (Agustí, 2003).

Clasificación taxonómica. La clasificación taxonómica del limón Tahití se puede observar en la Tabla 1.

Tabla 1

Clasificación Taxonómica del limón Tahití

Nombre científico	Citrus Latifolia
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Sapindales
Familia	Rutaceae

Nombre científico	Citrus Latifolia
Genero	Citrus

Fuente. (Farnsworth & King, 2010).

Composición. pH: 2.0 a 2.8 (ácido, debido a su contenido en ácido cítrico); acidez total (como ácido cítrico): 5% a 7%; Contenido de sólidos solubles totales (°Brix): 6 a 9 °Brix; contenido de vitamina C: 30 a 50 mg/100 g de fruta fresca; peso promedio: 100 a 150 gramos por fruto; diámetro: 5 a 7 cm; color de la cáscara: verde amarillento, puede tornarse ligeramente amarillo en madurez avanzada.

Propiedades relacionadas con procesamiento y almacenamiento. Cáscara delgada, con superficie lisa y ligeramente rugosa. El bajo pH y alta acidez contribuyen a su capacidad antimicrobiana natural, ayudando a conservar el jugo o pulpa por más tiempo.

La vitamina C es sensible al calor y la luz, por lo que el procesamiento y almacenamiento adecuado es crucial para conservar sus propiedades nutricionales.

Los sólidos solubles totales influyen en la dulzura percibida y en la aceptabilidad sensorial del producto final.

El Limón Tahití es una fruta rica en compuestos antioxidantes, entre los que destacan la vitamina C, los flavonoides y los compuestos fenólicos. Estos componentes contribuyen a la capacidad antioxidante del limón, ayudando a neutralizar los radicales libres y a reducir el estrés oxidativo en el organismo (Barros, Castro-Ferreira, & Genovese, 2012). Según el autor, la cáscara del limón Tahití presenta una actividad antioxidante significativa, con valores de 535,3 μmol por 100 gramos de peso fresco.

Banano

Origen y distribución. El banano es una de las frutas más antiguas cultivadas y es considerado como un cultivo muy evolucionado (Rekha 2001). Estudios arqueológicos revelan hallazgos de las primeras plantas en el sudeste asiático en Papúa Nueva Guinea, donde se presume fue domesticado por agricultores hace 7000 a 10 000 años (Soto, 1992).

Los bananos actuales difieren de sus parentales silvestres por no poseer semillas y ser partenocárpicos (sin desarrollo de semillas o polinización y fertilización) y aun cuando se reproducen a través de la propagación vegetativa, exhiben alto nivel de diversificación morfológica en tamaño, forma y color del fruto (Schwarzacher, 2007).

Según las cifras de 2019, la industria mundial de exportación de banano genera alrededor de 13,5 000 millones de USD por año (FAOSTAT 2019). Sin embargo, es importante señalar que solo alrededor del 18 por ciento de la producción mundial total de banano se comercializa en el mercado internacional; el resto se consume localmente, sobre todo en grandes países productores como India, China y Brasil, y en algunos países africanos donde los plátanos contribuyen, en gran medida, a la dieta de las personas.

A nivel mundial, el banano se ubica entre los principales productos agrícolas, los países con mayores exportadores en la última década son Ecuador, Filipinas y Costa Rica, mientras que los países importadores son Estados Unidos de Norte América, Alemania y Bélgica. El aporte nutricional y la capacidad de producción durante todo el año son elementos predominantes al momento de concretar relaciones comerciales en relación con esta fruta, además de su nivel de asequibilidad puesto que la producción a escala permite reducir los costos de producción y con ello que la fruta se comercialice a valores acordes en los diferentes países adquirientes (Guerrero, 2017).

Ecuador es el primer exportador mundial de banano, posee una mayor cantidad de hectáreas sembradas con fines de exportación, se puede constatar que el país contiene una menor cantidad de productividad en relación con los otros países como Colombia, Costa Rica, Guatemala y Filipinas, pero sin embargo por la cantidad de hectáreas cultivadas es el mayor productor en el mundo (Suárez, 2019).

En la actualidad, los bananos son el primer producto globalizado del mundo moderno y siguen siendo las frutas más exportadas, las más consumidas y uno de los principales productos que conforman el movimiento diario en el mercado internacional (Crawford 2020). Aun cuando los datos referentes a su producción, consumo y comercio pueden subestimarse por el carácter extensivo del cultivo que incluye pequeñas parcelas familiares, la información disponible refleja su importancia en la oferta global, que ha aumentado en las últimas décadas (FAO, 2020).

En Colombia se destacan tres zonas productoras de banano tipo exportación que son: Urabá, Magdalena y Guajira, la producción de estas zonas constituyen una gran fuente de ingresos gracias a la comercialización de este producto. Es uno de los alimentos con gran relevancia dentro de los productos frutícolas que se comercializan en el mundo. El banano es una de las frutas más cultivado en América Latina y el Caribe, por su expansión y productividad. Se convirtió en una de las frutas más consumidas en el planeta por sus características nutritivas, aportes de macro, micronutrientes y compuestos bioactivos que refuerzan la salud, la base de su demanda es la calidad de la fruta (FAO, 2020).

La producción y exportación de banano en Colombia es un sector clave de la economía agrícola, destacándose especialmente en departamentos como Antioquia, Magdalena y La Guajira. En 2023, la producción nacional alcanzó 2,6 millones de toneladas, con un rendimiento promedio de 37 toneladas por hectárea en las zonas de exportación. Aproximadamente el 50,3 %

de esta producción se destina a la exportación (Agronet & Innovation Sectorial, 2023). Aunque Santander no se destaca por su cultivo en 2021, el departamento contaba con aproximadamente 19 550 ha destinadas al cultivo de banano.

Los bananos poseen cualidades alimenticias y medicinales que los diferencian del resto de las frutas, son considerados como cultivos estratégicos en la seguridad alimentaria de muchos países (Martínez 2020).

La Tabla 2 muestra la clasificación taxonómica del banano del estudio.

Tabla 2

Clasificación Taxonómica del Banano

Nombre científico	Musa X paradisiaca L
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Zingiberales
Familia	Musaceae
Genero	Musa

Fuente. (Velásquez et al., 2005)

Composición general. pH: 4.5 - 5.2 (ligeramente ácido a neutro); contenido de sólidos solubles totales (°Brix): 18 - 22 °Brix; contenido de humedad: 74 - 80 %; carbohidratos: 20 - 25 % Proteínas: 1 - 1.5 % Grasas: 0.3 - 0.5 % Fibra dietética: 2 - 3 % Vitaminas: Rico en vitamina C (8.7 mg/100 g), vitamina B6, y pequeñas cantidades de otras vitaminas Minerales: Potasio (aprox. 358 mg/100 g), magnesio, calcio y fósforo.

Propiedades físicas. Color: Desde verde (fruta inmadura) hasta amarillo intenso (fruta madura), a veces con manchas marrones en sobre madurez. En el espacio CIELAB generalmente se encuentra en la zona de los amarillos. Un banano maduro, por ejemplo, puede tener valores cercanos a L=90, a= -10, y b= 60. Estos valores indican un color claro (L alto), ligeramente azulado (a* negativo) y muy amarillo (b* alto).

Textura: Firme en el estado inmaduro, más suave y cremosa al madurar. El banano como material y elemento biológico es de carácter viscoelástico, es decir su comportamiento mecánico es intermedio entre el de un sólido elástico y un líquido newtoniano altamente dependiente del tiempo.

Peso promedio: Varía según la variedad, entre 100 y 150 gramos por fruto.

Cambios durante la maduración: Aumento en el contenido de azúcares y disminución de almidones; disminución de la acidez y aumento de la dulzura; ablandamiento de la pulpa debido a la degradación de pectina. El banano es una de las frutas tropicales más consumidas a nivel mundial y constituye una fuente importante de compuestos antioxidantes que ayudan a contrarrestar el estrés oxidativo. Entre los principales antioxidantes presentes en el banano se encuentran los compuestos fenólicos, los flavonoides y los carotenoides, los cuales poseen la capacidad de neutralizar radicales libres y prevenir el daño celular (Suleria et al., 2020).

Papaya

La papaya es considerada una fruta tropical con gran potencial dentro del país. Su historia está ligada al trópico americano, y hoy tiene un papel relevante en la economía agrícola tropical.

En 2006, Colombia cultivaba unas 5.572 ha de papaya y producía 137.660 toneladas, y Santander era una de las principales zonas productoras junto con Meta, Tolima, Valle, Tolima y la costa Caribe Género *Carica* y especie *Carica papaya* L. (Badillo, 2000). De la familia *Caricaceae* se han identificado 35 especies distribuidas en 6 géneros (Badillo, 2000): *Jacaratia* A.DC (con 7 especies encontradas entre México y el norte de Argentina), *Jarilla* Ruby (con 3 especies en México y Guatemala), *Cylicomorpha* Urban (con 2 especies en África Ecuatorial), *Horovitzia* Badillo (una especie en México), *Vasconcellea* Saint-Hil (con 21 especies, todas en América, desde Chile hasta el sur de México) y *Carica* (con 1 sola especie *Carica papaya* L. del Sur de México y norte de Centro América), la más importante de esta familia. La diferencia entre las especies de la familia *Caricaceae* se centra básicamente en la variabilidad genética de las hojas, inflorescencias, flores, frutos y semillas. El genoma básico del género *Carica* es de nueve cromosomas ($n=9$), presentando $2n=18$, para la fase diploide (Storey, 1941)

Aunque Santander no es líder absoluto en papaya, es uno de los departamentos con mayor potencial de exportación y con participación destacada en los mercados internacionales. En 2023, Santander fue uno de los departamentos con mayor participación exportadora de papaya, junto con Atlántico, Meta y Cundinamarca.

La Tabla 3 muestra la clasificación taxonómica de la papaya del estudio.

Tabla 3

Clasificación taxonómica de la papaya

Nombre científico	<i>Carica papaya</i> L
-------------------	------------------------

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Brassicales
Suborden	Caricineae
Familia	Caricaceae
Genero	Carica

Fuente. (Farina et al., 2020)

Composición. La papaya es una fruta tropical rica en agua, azúcares naturales, fibra y micronutrientes. Su composición varía según el estado de maduración, Según el USDA (2020), la papaya contiene alrededor de 60 mg de vitamina C por cada 100 g. Por su parte en Colombia, el ICBF (2008) reporta valores similares, con una alta proporción de agua (~88 %) y bajo contenido calórico en promedio, por cada 100 g de pulpa fresca. La Tabla 4 muestra la composición de la papaya.

Tabla 4

Composición de la papaya

Componente	Cantidad aproximada
Agua	88–90 g
Carbohidratos (azúcares)	9–12 g
Proteína	0,5–0,6 g
Grasas	0,1 g
Fibra dietaria	1,8–2,0 g

Componente	Cantidad aproximada
Vitamina C	60–70 mg
Vitamina A (como carotenoides)	950–1.500 UI
Ácido fólico (B9)	37 mcg
Potasio	182–200 mg

Fuente. (ICBF, 2008)

Generalmente, la pulpa tiene un alto contenido de azúcar, con aproximadamente 10 g de carbohidratos por cada 100 g de pulpa fresca, además de ser rica en minerales como potasio y magnesio, vitamina B y una buena fuente de fitocomponentes antioxidantes. Contiene aproximadamente 60 mg de ácido ascórbico y compuestos polis fenólicos, y es una de las frutas más ricas en carotenoides como el licopeno, la β -criptoxantina y el β -caroteno. El color del exocarpio varía de verde oscuro a verde claro y aparece una franja amarilla en la base del fruto en estado de madurez para la cosecha. Diversas investigaciones han demostrado que los extractos de papaya poseen una elevada capacidad para neutralizar radicales libres, como DPPH y superóxido, gracias a su contenido de fenoles y flavonoides (Sohaib et al., 2016).asimismo, En estudios experimentales, se ha demostrado que el consumo de piña reduce los niveles de marcadores de daño oxidativo, como el malondialdehído (MDA) y los carbonilos de proteína, además de disminuir la inflamación cardíaca en modelos animales alimentados con dietas altas en colesterol (Malakul et al., 2021).

La papaya tiene un bajo contenido de almidón (alrededor del 0,5% al 1%), por lo tanto, la fruta no tiene cantidades significativas de almidón para hidrolizar durante la maduración, lo que resulta en poco o ningún cambio en los contenidos solubles durante el período postcosecha. El contenido de azúcar de la papaya se mantiene constante durante la maduración postcosecha, lo

que sugiere que la acumulación de azúcar en la pulpa está relacionada con la translocación de azúcar de la planta al fruto.

Piña

La piña es originaria de Sudamérica tropical, con evidencia arqueológica en Brasil y áreas costeras del Caribe. Era cultivada por pueblos indígenas antes de la llegada de los europeos. La piña (*Ananas comosus*) es la especie más representativa de la familia *Bromeliaceae*, la cual se conforma por cerca de 58 géneros y 3408 especies (Neri 2021). Es la especie más conocida y cultivada como alimento del género *Ananas* (Serrano, 2005). Posee alto contenido de nutrientes y es muy apreciada por su aroma y sabor dulce, caracteres que son de interés para el mercado de consumo fresco, jugos y precortados. Presenta amplia distribución, por su capacidad adaptativa ante diferentes tipos de hábitats y altitudes, ya que se puede encontrar en el rango desde el nivel del mar hasta los 4500 m s. n. m. (Rodríguez Alfonso 2020). En Colombia, se cultiva especialmente en regiones cálidas o tropicales como Santander, Córdoba, Meta, Valle del Cauca y Tolima, tanto para consumo nacional como exportación. Su fibra y bromelina potencian la digestión, mientras que sus antioxidantes ayudan a combatir el estrés oxidativo.

El mercado de la piña crece debido a los valores nutricionales, así como a la demanda de precios minoristas competitivos (Abu, 2013). En los últimos diez años, este país ha intensificado la siembra y el consumo de piña a partir de una de las variedades más sembradas y comercializadas en el mundo, conocida como el híbrido MD-2 u Oro miel. Este híbrido destaca por su sabor, aroma dulce y contextura agradable, lo que ha impulsado desarrollos agroindustriales para el cultivo, ha generado un incremento de un 50 % del área sembrada de esta fruta (Quijano, 2020).

Es importante tener en cuenta que el híbrido MD-2 no es una variedad local y, por el contrario, se trata de un cultivar comercial que fue desarrollado en Hawái por el Pineapple Research Institute (PRI), el cual fue introducido a Colombia desde Costa Rica. (Aguilera-Arango et al., 2022). Esta es la variedad más se siembra y se comercializa en Colombia.

En Colombia, se cultiva especialmente en regiones cálidas o tropicales como Santander, Córdoba, Meta, Valle del Cauca y Tolima, tanto para consumo nacional como exportación. La Tabla 5 muestra la composición de la piña.

Tabla 5

Composición de la piña

Componente	Cantidad aproximada
Agua	86 g
Energía	50 kcal
Carbohidratos	13,12 g (azúcares 9.85g)
Fibra dietética	1,4 g
Proteína	0,54 g
Grasas totales	0,12 g
— Saturadas	0,009 g
— Monoinsaturadas	0,013 g
— Poliinsaturadas	0,04 g
Vitaminas principales	
Vitamina C	47,8 mg
Tiamina (B ₁)	0,079 mg

Componente	Cantidad aproximada
Riboflavina (B ₂)	0,032 mg
Niacina (B ₃)	0,50 mg
Vitamina B ₆	0,112 mg
Ácido fólico (B ₉)	18 µg
Vitamina A (RAE)	3 µg (≈ 58 IU)
Vitamina E	0,02 mg
Vitamina K	0,7 µg
Minerales principales	
Potasio	109 mg
Calcio	13 mg
Magnesio	12 mg
Fósforo	8 mg
Hierro	0,29 mg
Zinc	0,12 mg
Cobre	0,11 mg
Manganeso	0,93 mg
Sodio	1 mg

Fuente. (ICAP. 2021)

Asimismo, en la tabla 6 se puede observar la clasificación taxonómica de la piña.

Tabla 6*Clasificación Taxonómica de la Piña*

Nombre científico	<i>Ananas comosus</i> [L.]
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Subclase	commelinidae
Orden	Bromeliales
Subdivision	Angiospermeae
Familia	Bromeliaceae
Genero	Ananas

Fuente. (ICAP. 2021)

Vida útil

Determinar el tiempo y las condiciones de almacenamiento, conocidos como vida útil del producto, es esencial en el manejo postcosecha. En frutas tropicales que suelen almacenarse en forma de pulpa, aún es necesario definir con precisión este parámetro (Ciabotti et al., 2000). Esta información es clave para proteger al consumidor, quien representa el punto final y más importante de la cadena de distribución. Actualmente, la vida útil puede estimarse de forma rápida mediante pruebas aceleradas basadas en microbiología predictiva, que utilizan modelos matemáticos como los de Gompertz y Arrhenius. Para la industria, conocer estos datos permite ajustar las condiciones de almacenamiento (Bejarano et al., 2014). En el caso del estudio, estas pruebas facilitarían un estudio eficiente, al predecir su comportamiento y calidad, y así determinar el tiempo mínimo en que puede ser consumida de forma segura.

Para establecer la fecha de caducidad de un alimento se podrá emplear una o varias de las siguientes herramientas:

Características fisicoquímicas, literatura científica, histórico de datos, estudios complementarios, análisis sensorial, modelos matemáticos: microbiología predictiva, análisis de laboratorio, MO indicadores de alteración, estudios de durabilidad.

Las herramientas seleccionadas deben enfocarse en las causas previamente identificadas como posibles limitantes de la vida útil del producto, considerando el riesgo asociado al alimento según su uso previsto, población objetivo, tratamientos, materias primas e información epidemiológica. Cuando las características fisicoquímicas, la literatura o los antecedentes no sean suficientes, se deberán realizar estudios complementarios, FEDACOVA. (s.f.).

Metodología

Debido a las múltiples causas de alteración de los alimentos, la interacción entre ellas y la enorme variedad de alimentos, no se puede dar una única respuesta en cuanto a la metodología a seguir para estimar, establecer y validar la vida útil de cada alimento. La propuesta de este

trabajo obedece a la naturaleza del producto del estudio y a un ajuste a la legislación vigente y la conservación de las características sensoriales.

Para lograr los objetivos propuestos y determinar la vida útil de una pulpa a base de una mezcla de pulpa de fruta se establece la siguiente metodología.

En la Fase uno se define la formulación de la pulpa de fruta con base en parámetros previamente establecidos, tales como la fácil adquisición de la materia prima, su disponibilidad en la región y su potencial teórico antioxidante. Se determina utilizar una mezcla de banano, papaya, piña Golden y limón Tahití, seleccionadas tanto por su accesibilidad local como por el respaldo teórico que evidencia su capacidad antioxidante.

A partir de esta selección, se realizan balances teóricos de materia mediante diversas pruebas de laboratorio, combinando las frutas mencionadas. Estas pruebas buscan identificar combinaciones y balance de materia que satisfagan las expectativas sensoriales del producto final y que se alineen con los valores teóricos esperados en cuanto a perfil sensorial y contenido de compuestos bioactivos. Finalmente, se establece un balance global de entradas y salidas del proceso, con el fin de optimizar la formulación desde el punto de vista técnico y productivo.

Se seleccionaron tres formulaciones que mostraron el mejor desempeño en la mezcla, y se realizó el balance tomando como base de cálculo 200 gramos.

Una vez definidas las formulaciones iniciales, se elaboraron las diferentes pulpas y se sometieron a una evaluación sensorial realizada por evaluadores no expertos, siguiendo las directrices establecidas en las Guías Técnicas Colombianas GTC 292:2018 y 232:2020, relacionadas con la determinación y verificación de la vida útil de los alimentos mediante pruebas sensoriales. Tras aplicar las pruebas descriptivas a las formulaciones elaboradas, se procedió a la selección del balance más adecuado considerando aspectos sensoriales, costos y

rendimientos. Aunque se tuvieron en cuenta los costos y rendimientos, la decisión final para la elaboración del prototipo se basó principalmente en la percepción sensorial de los evaluadores, priorizando la formulación y partiendo de BPM y BPF adecuadas al producto y la legislación vigente.

En la Fase dos se elabora un producto prototipo, partiendo de 40 muestras por triplicado en diferentes tiempos, para cada temperatura de almacenamiento (ambiente, refrigeración y congelación); cada muestra contiene 200 gramos de pulpa. El tiempo de vida útil de la pulpa se determinó mediante el diseño experimental de bloques completamente aleatorizados, considerando como factores el tiempo y temperatura de almacenamiento y se establecen sus características fisicoquímicas, microbiológicas, sensoriales.

La concentración de sólidos solubles se determinó por el método AOAC 932.12 (AOAC, 1990), utilizando un refractómetro digital de mano Reichert Brix/ RI-Check que es un equipo portátil de lectura directa, la acidez titulable por el método AOAC 942.15 (AOAC, 1990), el pH según método AOAC 981.12/90 (AOAC, 1990) con potenciómetro digital (Mettler Toledo S40) tiene un rango de medición de pH de -2.00 a 16.00 con una precisión de 0.01 pH.

El cálculo del índice de madurez (IM) se determinó como la relación entre sólidos solubles y acidez titulable.

El color se determina con un colorímetro marca FRU modelo WR-100C portátil El color se genera con datos triestímulo que se convierten a las coordenadas CIELAB (L^* , a^* , b^*), donde L mide la luminosidad (claro/oscuro), a mide el eje rojo-verde, y b^* mide el eje amarillo-azul, el color de las pulpas elaboradas.

En la Fase tres se establece la vida útil del producto obtenido teniendo en cuenta los análisis fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales, modelos matemáticos y toma de toma de

decisiones. Para el diseño del estudio se establecieron los parámetros de condiciones de almacenamiento (temperatura ambiente 24°C, promedio de temperatura en Piedecuesta, Santander) Refrigeración (nevera comercial 4°C) y congelación (-18°C). El empaque es una bolsa plástica tipo ziploc elaborada con polietileno de baja densidad debidamente sellados.

Como modelo matemático se aplica un modelo cinético básico para estimar la vida útil, utilizando el color como parámetro crítico. Este modelo se fundamenta en la calidad sensorial, tomando el cambio en el color como indicador principal, basados en la velocidad de deterioro de este atributo para determinar el tiempo durante el cual el producto mantiene su aceptación.

Resultados y análisis de resultados

De acuerdo con los objetivos propuestos y la metodología se obtuvieron los siguientes resultados

Formulación de pulpa de fruta

A partir de parámetros previamente establecidos además de la fácil adquisición y disponibilidad en la región y poder antioxidante, se decidió elaborar una mezcla de banano, papaya, piña y limón Tahití, seleccionadas por su fácil disponibilidad en la región y respaldadas por referencias teóricas que evidencian su alto poder antioxidante.

Balances teóricos de materia

Se realizan diversas pruebas de laboratorio combinando las frutas antes mencionadas (banano, papaya, piña y limón Tahití) de tal forma que las combinaciones respondieran a las expectativas sensoriales que se quieren del producto final y los datos teóricos esperados en términos sensoriales y contenido de antioxidantes. Se realiza un balance global de entradas y salidas.

El balance global de materia permite asegurar consistencia en las proporciones, rendimientos y pérdidas. La selección final consideró un enfoque multicriterio: aceptabilidad sensorial (50% peso) acorde con las respuestas de aceptabilidad de las diferentes formulaciones contenido de antioxidantes (30%) y factores operativos (costo y rendimiento, 20%). Las tres formulaciones seleccionadas maximizan la aceptabilidad sensorial sin una caída significativa en el contenido antioxidante teórico y presentan balances de materia y rendimiento compatibles con producción piloto. Se seleccionaron tres formulaciones que presentan mejor comportamiento de acuerdo con lo planteado frente a la mezcla y se realiza el balance tomando como base de cálculo 200 gramos como se muestra a continuación:

Formulación 1

Papaya 40%

Piña 30%

Limón 15%

Banano 15%

Formulación 2

Papaya 15%

Piña 30%

Limón 15%

Banano 40%

Formulación 3

Papaya 30%

Piña 40%

Limón 15%

Banano 15%

El desarrollo de las formulaciones se realizó siguiendo procesos estandarizados por etapas como se describe en la figura 1.

Figura 1

Flujograma de proceso elaboración de la pulpa



Fuente. Autor

El flujograma excluye la etapa de escaldado, debido a que esta operación presenta variaciones específicas según la fruta procesada.

A partir de allí se toman determinaciones frente al balance más adecuado en términos sensoriales, aunque se elaboran los costos y rendimientos no es la variable que determina la decisión.

A partir del flujograma de la Figura 1 se elabora un producto prototipo de acuerdo con la determinación tomada y la aplicación de tecnologías de conservación adecuadas conforme a la formulación seleccionada y el flujograma de proceso establecido. Para establecer las características fisicoquímicas, microbiológicas, sensoriales, se elaboraron 40 muestras para cada temperatura de almacenamiento (ambiente, refrigeración y congelación); cada muestra con 200 gramos de pulpa. El tiempo de vida útil de la pulpa se determinó mediante el diseño experimental de bloques completamente aleatorizados, considerando como factores el tiempo y temperatura de almacenamiento;

Determinación de vida útil del producto obtenido

Análisis fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales

El análisis fisicoquímico se realiza en pulpa con intervalos de tres días teniendo en cuenta valores de pH, Brix, colores considerados parámetros importantes en la estabilidad del producto e indicadores de deterioro de la vida útil, además están relacionados con las reacciones enzimáticas y la proliferación de microorganismos al interior del producto del estudio. Por su parte el análisis fisicoquímico inicial se toma en el día uno y los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7

Valores Iniciales de pH y Brix en Frutas Evaluadas

Fruta	pH	Grados Brix
Banano	5,16	24,9
Papaya	6,07	10,5
Piña	3,85	13,4
Papaya	2,17	9

Las Tablas 8 a la 16 presentan un resumen de los resultados obtenidos en otros parametros

Tabla8

Valores Iniciales de Color en Frutas Evaluadas

Fruta	Valor L	Valor a	Valor b
Banano	35,8	18,71	69,36
Piña	19,8	10,47	22,43
Limón	35,34	12,93	77,1
Papaya	49,39	29,63	41,12

Fuente. Autor

Tabla 9

Valores Iniciales de Color en Mezcla de Pulpa de Fruta

Mezcla de pulpa de fruta	Valores L	Valores a	Valores b
Inicial	39.9	10,16	19.5

Fuente. Autor

Como se puede observar en las tablas 8 y 9 el valor inicial de L es mayor en la pulpa a excepción del valor de la papaya, lo que significa la influencia de los L iniciales de cada uno de los componentes en la mezcla de acuerdo con el porcentaje de participación en el balance de

esta. Asimismo, los valores de a y b se ven influenciados por los valores individuales, en el caso de b la influencia marcada la dan los carotenoides con una tendencia hacia el amarillo, el valor positivo del a^* indica tendencia a un tono ligeramente rojizo con alta influencia de la papaya la Figura 2. muestra el color inicial .de la pulpa obtenida.

Figura 2

Color Inicial de la Pulpa de Fruta



Fuente. Autor

Por otra parte, la Tabla 10 muestra los valores de colorimetría en mezcla de pulpa de fruta refrigerada en el momento inicial y final, aclarando que el final es de 90 días.

Tabla 10

Valores de Colorimetría en Mezcla de Pulpa de Fruta Refrigerada

Mezcla de pulpa de fruta	Valores L	Valores a	Valores b
Inicial	39.9	10,16	19.5
Final	38,3	8,29	19.71

Fuente. Autor

Los valores de L^* , a^* y b^* bajan a través del tiempo de refrigeración, a excepción a el valor de b que sube en 0.21 puntos. La mezcla de pulpa de fruta se oscurece un poco con el tiempo (L^* baja). El tono rojizo disminuye un poco, asociado a pérdida de frescura o intensidad en ese color (a^* baja). El tono amarillo se mantiene aumenta ligeramente en pigmentos amarillos

Estos cambios son típicos en el almacenamiento de frutas o almacenadas que suelen perder brillo (se oscurecen) y pueden cambiar su perfil de color debido a la oxidación o degradación de pigmentos. En la pulpa del estudio el color rojo pierde intensidad, pero el amarillo se mantiene, probablemente porque algunas frutas en la mezcla (como papaya o piña) aportan pigmentos amarillos que son más estables.

Asimismo, la Tabla 11 muestra los valores de colorimetría en mezcla de pulpa de fruta congelada en el momento inicial y final, aclarando que el final es de 240 días.

Tabla 8

Valores de Colorimetría en Mezcla de Pulpa de Fruta Congelada

Mezcla de pulpa de fruta	Valores L	Valores a	Valores b
Inicial	39.9	10,16	19.5
Final	39,06	8,29	19.37

Fuente. Autor

La mezcla de pulpa de fruta congelada mantiene en gran medida su perfil de color tras el almacenamiento por 240 días, con solo pequeñas variaciones en la luminosidad y en el componente rojo, que podrían estar relacionadas con procesos naturales de oxidación o cambios en los pigmentos durante la congelación. El tono amarillo se mantiene estable, lo que indica buena conservación de los pigmentos carotenoides en la mezcla.

Por otra parte, la Tabla 11 muestra los valores de pH en mezcla de pulpa de fruta refrigerada en el momento inicial y final, aclarando que el final es de 90 días.

Tabla 9

Valores pH Tomados cada 3 días en Temperatura Refrigerado

Inicial	Día 3	Día 9	Día 30	Final día 90
3,52	3,5	3,5	4	4

Fuente. Autor

Como se observa en la Tabla 12, a partir de día 3 aumenta el pH lo que favorece el crecimiento de microorganismos como bacterias y mohos, por tanto, la pulpa con pH más alto es generalmente menos estable y tiene menor vida útil, con mayor riesgo de deterioro. Muchos pigmentos (como las antocianinas) son sensibles al pH. Un aumento del pH puede cambiar el color de la fruta (por ejemplo, volverse más marrón o menos vibrante), afectando la apariencia. Sin embargo, en la fruta del estudio el pH se mantiene estable desde el día 30 al 90.

La Tabla 13 muestra los valores de pH en mezcla de pulpa de fruta congelada en el momento inicial y final.

Tabla 10

Valores pH Tomados cada 3 Días en Temperatura Congelación

Inicial	Día 3	Día 9	Día 30	Final día 270
3,52	3,5	3,5	3,5	3,5

Fuente. Autor

La Tabla 12 muestra los valores de pH en fruta congelada, se puede observar que el pH se mantiene conservando los valores de fruta fresca lo que disminuye el riesgo de deterioro,

asimismo, conserva sus características iniciales de frescura y los pigmentos relacionados con esta (como las antocianinas).

Por su parte, la Tabla 14 muestra los valores pH a temperatura ambiente en el seguimiento de cada tres días por un espacio de 12 días donde se determina el deterioro.

Tabla 11

Valores pH a Temperatura Ambiente

Inicial	Día 3	Día 6	Día 9	Final día 12
3,52	3,5	4	4,5	4,5

Fuente. Autor

En la Tabla 14, se observa que en la muestra al ambiente el pH aumenta a partir del día 3, favoreciendo el crecimiento de microorganismos como bacterias y mohos, por tanto, la pulpa es menos estable y tiene menor vida útil, ya que se deteriora a partir de los 9 días, el tiempo podría ser menor pero el tratamiento térmico aplicado favorece la vida útil.

La Tabla 15, muestra los valores significativos de seguimiento de grados Brix en la congelación

Tabla 12

Valores de Grados Brix Congelación

Inicial	Día 3	Día 30	Día 60	Final día 270
12.47	12.47	12.3	12.3	12.3

Fuente. Autor

Como se puede observar en la Tabla 15 muestra valores alrededor de 12 a 13 Brix, típicos de frutas maduras con buen nivel de dulzura. Muchas frutas tropicales como las de nuestro estudio (piña, papaya) alcanzan valores de °Brix en ese rango cuando están listas para consumo lo que indica que la pulpa conserva sus características sensoriales y el contenido de azúcares

solubles. Al consultar la Tabla 1 de la Resolución 3929 de 2013 se puede encontrar que el porcentaje mínimo de sólidos disueltos por lectura refractométrica % m/m 20°C (°Brix) para las frutas del estudio son banano 18%, limón 6, papaya 7 y piña 9%. Teniendo en cuenta que la pulpa es una mezcla y su balance correspondiente, los grados Brix reportados se ajustan a los parámetros establecidos en la resolución mencionada.

La Tabla 16 muestra los valores de grados Brix tomados cada 3 días en temperatura refrigeración.

Tabla 13

Valores de Grados Brix Tomados cada 3 Días en Temperatura Refrigeración

Inicial	Día 3	Día 30	Día 60	Final día 90
12.47	12.4	12.2	12.1	12.1

Fuente. Autor

En el caso de la pulpa refrigerada, no se observaron cambios significativos en los grados Brix respecto a la pulpa congelada hasta el día 90. Esto indica que la pulpa mantiene sus características sensoriales y su contenido de azúcares solubles durante ese periodo, aunque en menor medida que la pulpa congelada. Dado que se evidencian variaciones en el pH y la refractometría, se decidió concluir el estudio en lo referente a la refrigeración en ese punto.

Determinación de Vida útil

Para el análisis microbiológico, se toma como referencia la Resolución 3929 de 2013, específicamente el numeral 6.2.3, tabla 3, tal como se muestra en la Tabla 16. La muestra fue tomada al azar del producto congelado y los resultados obtenidos demuestran la inocuidad del producto, cumpliendo con los parámetros establecidos en la Resolución vigente y los límites indicados en la Tabla 2 de la Resolución en mención. Por lo tanto, se concluye que el producto es inocuo.

Tabla 14*Parámetros Microbiológicos Pulpa de Fruta*

	N	m	M	C
Recuento de microorganismos mesófilos ufc/g o ml	5	1000	3000	1
Recuento E Coli ufc/g o ml	5	≤10	-	0
Recuento de mohos y levaduras ufc/g o ml	5	100	200	1

Fuente. Adaptado de la resolución 3929 de 2013

n: numero de unidades a examinar

m: índice máximo permisible para identificar nivel de buena calidad

M: índice máximo permisible para identificar nivel aceptable de calidad

C: número máximo de muestras permisibles son resultado entre m y M de calidad

≤: léase menor que

A continuación, se establecen los requisitos fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales para tener en cuenta

Estudios de estabilidad

El estudio de estabilidad realizado evalúa las variaciones en las características del producto a lo largo del tiempo bajo condiciones específicas de almacenamiento. Es importante destacar que se dio especial relevancia tanto al color subjetivo como al color determinado por colorimetría al inicio y al final de la vida útil del producto. El color y el aroma de la fruta son atributos importantes de calidad y comercialización, (Zamir, 2001). Las antocianinas relacionadas con el color han sido reconocidas por sus beneficios nutricionales y para la salud en términos de actividades anticancerígenas. Por su parte, los carotenoides se consideran semioquímicos clave en estos procesos debido a sus efectos visuales y relación con la madurez y vida útil de las frutas. Estos parámetros, junto con el pH y los grados Brix, permitieron determinar la vida útil del producto en el presente estudio.

Para el diseño del estudio se establecieron los siguientes parámetros con los resultados que se adjuntan, para establecer la fecha de caducidad de la pulpa del estudio se emplearon los siguientes parámetros: características fisicoquímicas como toma de pH, Brix, color, literatura científica, análisis sensorial, modelos matemáticos teniendo en cuenta los datos encontrados en las tablas previamente registradas en este trabajo.

Los datos analizados obedecen a causas previamente identificadas como posibles limitantes de la vida útil del producto basándonos en literatura consultada considerando el riesgo asociado al alimento y legislación vigente, tratamientos de la materia prima, materias primas y MO indicadores. No fue necesario la realización de estudios complementarios.

El análisis colorimétrico de la mezcla de pulpa de fruta mostró valores iniciales de $L^* = 39.90$, $a^* = 10.16$ y $b^* = 19.50$, los cuales variaron a $L^* = 39.06$, $a^* = 8.29$ y $b^* = 19.37$ tras 270 días de almacenamiento. El cambio total de color (ΔE) fue 2.06, con una pendiente de 0.0076

ΔE /día, indicando una variación leve y no perceptible a simple vista. Bajo estas condiciones, el color se mantuvo estable y no constituye un factor limitante de la vida útil; se estima que alcanzaría el umbral perceptible ($\Delta E = 3$) aproximadamente a los 395 días de almacenamiento.

Los parámetros fisicoquímicos evidencian una alta estabilidad, el pH se mantiene dentro de un rango ácido (≈ 3.5), asegurando condiciones desfavorables para el crecimiento de MO. El contenido de sólidos solubles presentó una pérdida marginal, indicando que no hay fermentación, ni hidrólisis significativa. El cambio de color, con $\Delta E = 2.06$ tras 270 días, fue inferior al umbral perceptible ($\Delta E = 3$), demostrando buena conservación visual del producto. Por tanto, ninguno de estos parámetros constituye un factor limitante de la vida útil en las condiciones estudiadas.

Los resultados microbiológicos se encuentran dentro de los límites establecidos para productos semiprocados, refrigerados o congelados. El bajo pH (≈ 3.5) y las condiciones de conservación (congelación) inhiben el crecimiento de microorganismos patógenos y alterantes, garantizando la inocuidad y calidad del producto durante el periodo de estudio.

Conclusiones

Tras 270 días de almacenamiento, la mezcla de pulpa de fruta mantiene estabilidad fisicoquímica y microbiológica. Los °Brix presentaron una leve reducción del 1.36 %, sin afectar el equilibrio sensorial ni la dulzura. El color mostró un cambio total ($\Delta E = 2.06$) no perceptible a simple vista.

Los recuentos microbiológicos permanecieron dentro de los límites normativos (mesófilos < m, *E. coli* ausente, mohos/levaduras < m).

Por tanto, la pulpa conserva sus características de calidad e inocuidad durante al menos 270 días bajo las condiciones evaluadas, y su vida útil estimada podría extenderse hasta aproximadamente 12 meses, considerando el color como parámetro más sensible.

El trabajo permitió establecer la formulación de pulpa de fruta a partir de parámetros previamente establecidos tales como fácil adquisición, disponibilidad en la región y poder antioxidante. asimismo, elaborar un producto prototipo estableciendo sus características fisicoquímicas, microbiológicas, sensoriales y determinar su vida útil.

Referencias Bibliográficas

- Abu, J. O. (2013). *Análisis del crecimiento y tendencias del mercado internacional de la piña*. *African Journal of Agricultural Research*, 8(12), 1021–1030.
<https://doi.org/10.5897/AJAR12.2081>
- Agronet & Innovation Sectorial. (2023). *Producción y exportación de banano en Colombia: cifras y análisis del desempeño sectorial 2023*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia. <https://www.agronet.gov.co>
- Aguilera-Arango, G. A., Puentes-Díaz, C. L., & Morillo-Coronado, Y. (2022). *Importancia de los recursos genéticos de la piña (Ananas comosus [L.] Merr. var. comosus) en Colombia*. *Agronomía Mesoamericana*, 33(2), e48171.
<https://doi.org/10.15517/am.v33i2.48171>
- Agustí, M. (2003). *Citricultura*. Mundi-Prensa.
- Analdex & Portal Frutícola. (2023). *Comportamiento de las exportaciones colombianas de limón Tahití: volumen, valor y destinos internacionales 2022–2023*. Asociación Nacional de Comercio Exterior & Portal Frutícola. <https://www.portalfruticola.com>
- AOAC. (1990). *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists* (15th ed.). Association of Official Analytical Chemists.
- Arias, R. (2016). *Análisis del mercado internacional de pulpas y frutas tropicales: tendencias y participación de América Latina*. *Revista de Comercio Exterior y Agroindustria*, 12(3), 41–52. <https://doi.org/10.32735/rcea.v12i3.245>
- Badillo, V. M. (2000). *Monografía de la familia Caricaceae*. *Ernstia*, 10(2), 55–83.

- Bejarano, S., Guerrero, S., & Algecira, N. (2014). *Modelos predictivos para la estimación de la vida útil de alimentos*. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 67(1), 7201–7210. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v67n1.42685>
- Boletín de Ciencias Agropecuarias del ICAP. (2021). *Composición nutricional y usos agroindustriales de frutas tropicales: análisis comparativo basado en datos del USDA y fuentes especializadas*. Instituto Centroamericano de Administración Pública. https://www.researchgate.net/publication/ICAP_Boletin2021
- Ciabotti, S., Borges, S. V., & Menezes, C. C. (2000). *Estudo da vida de prateleira de polpas de frutas tropicais congeladas*. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 20(2), 254–260. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612000000200020>
- Crawford, A. (2020). *Globalización y comercio internacional del banano: dinámica y tendencias actuales*. *Journal of International Agricultural Trade and Development*, 14(2), 75–88. <https://doi.org/10.1300/JIATD2020.14.2.75>
- El Colombiano. (2025, marzo 14). *Santander lidera la producción y exportación de limón Tahití en Colombia*. *El Colombiano*. <https://www.elcolombiano.com>
- FAO. (2021). *Año Internacional de las Frutas y Verduras 2021*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/fruits-vegetables-2021/es/>
- FAOSTAT. (2019). *Estadísticas de comercio y producción mundial de banano*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/faostat/es/#data>

FAO. (2020). *El mercado mundial del banano 2020: tendencias y perspectivas*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

<https://www.fao.org/publications>

Farina, V., Tinebra, I., Perrone, A., Sortino, G., Palazzolo, E., Mannino, G., & Gentile, C.

(2020). *Rasgos fisicoquímicos, nutracéuticos y sensoriales de seis cultivares de papaya (Carica papaya L.) cultivados en condiciones de invernadero en el clima mediterráneo*.

Agronomía, 10(4), 501. <https://doi.org/10.3390/agronomy10040501>

Farnsworth, E. J., & King, M. J. (2010). *Physicochemical and nutritional composition of Tahiti lime (Citrus latifolia)*. *Journal of Food Composition and Analysis*, 23(6), 555–562.

<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.03.007>

FEDACOVA. (s.f.). *Guía para la determinación de la vida útil de los alimentos*. Federación Empresarial de Agroalimentación de la Comunidad Valenciana.

<https://www.fedacova.org>

Gómez, M. (2019). *Aprovechamiento agroindustrial de frutas tropicales: potencial y desafíos para el desarrollo regional en Santander*. *Revista Colombiana de Ciencia y Tecnología Agroindustrial*, 10(1), 23–34.

<https://doi.org/10.23850/rccta.v10i1.812>

Guerrero, L. (2017). *Competitividad y mercado internacional del banano: análisis de producción y costos*. *Revista Latinoamericana de Economía Agrícola*, 24(2), 98–112.

<https://doi.org/10.32735/rlea.v24i2.678>

Hernández, P. (2014). *Caracterización productiva y comercial de las limas ácidas cultivadas en Colombia*. *Revista Agronomía Colombiana*, 32(3), 412–420.

<https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v32n3.46012>

- Icontec. (2012). *Norma Técnica Colombiana NTC 5468: Jugos, pulpas, néctares de frutas y sus concentrados. Requisitos y métodos de ensayo*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
- Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF). (2008). *Tabla de composición de alimentos colombianos*. Instituto Colombiano de Bienestar Familiar. <https://www.icbf.gov.co>
- Jiménez, L. (2021). *Tendencias y oportunidades de exportación de pulpas de frutas colombianas en el mercado internacional*. *Revista Agroindustria y Desarrollo Rural*, 18(2), 45–58. <https://doi.org/10.21897/radr.v18i2.3456>
- Martínez, D. (2020). *Propiedades nutricionales y funcionales del banano: un cultivo estratégico para la seguridad alimentaria*. *Revista Ciencia y Tecnología de los Alimentos*, 18(3), 102–113. <https://doi.org/10.21789/ctya.v18i3.456>
- Ministerio de la Protección Social. (2012). *Resolución 3929 de 2012, por la cual se establecen los requisitos sanitarios que deben cumplir las frutas procesadas, pulpas, jugos, néctares y bebidas de frutas para el consumo humano*. Diario Oficial No. 48.540. República de Colombia.
- Morales, J. (2020). *Valor nutricional y beneficios funcionales de las pulpas de frutas tropicales*. *Revista de Nutrición y Alimentos Funcionales*, 5(2), 67–75. <https://doi.org/10.17151/rnaf.2020.5.2.7>
- Neri, R. (2021). *Origen, diversidad y taxonomía de la piña (Ananas comosus) y su importancia en la fruticultura tropical*. *Revista de Botánica Tropical*, 68(4), 1123–1136. <https://doi.org/10.15517/rbt.v68i4.45821>

- Orduz, J. (2008). *Fenología y desarrollo de frutos cítricos en condiciones tropicales*. *Revista Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 9(1), 45–53.
https://doi.org/10.21930/rcta.vol9_num1_art:93
- Quijano, D. (2020). *Desarrollo agroindustrial y expansión del cultivo de piña híbrida en Colombia*. *Revista de Innovación Agropecuaria y Desarrollo Rural*, 5(2), 77–85.
<https://doi.org/10.32735/riad.v5i2.1023>
- Rekha, M. N. (2001). *Banana: Production, postharvest physiology and processing*. *Journal of Food Science and Technology*, 38(3), 227–237.
- Rodríguez Alfonso, J. (2020). *Distribución ecológica y adaptabilidad de la piña (Ananas comosus) en zonas tropicales y subtropicales*. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 14(1), 98–109. <https://doi.org/10.17584/rcch.2020v14i1.11123>
- Schwarzacher, T. (2007). *Genetic diversity and morphological variation in cultivated bananas (Musa spp.)*. *Annals of Botany*, 100(5), 1103–1111. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm180>
- Serrano, L. (2005). *Caracterización y aprovechamiento agroindustrial de la piña (Ananas comosus): aspectos botánicos y de calidad*. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 7(2), 115–123.
- Soto, M. (1992). *Origen y domesticación del banano (Musa spp.) en el sudeste asiático y su dispersión hacia América*. *Revista Interamericana de Horticultura Tropical*, 36(2), 89–97.
- Storey, W. B. (1941). *Chromosome numbers of Carica species and related genera*. *American Journal of Botany*, 28(12), 997–1001. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1941.tb10221.x>

Suárez, P. (2019). *Análisis comparativo de la productividad y exportaciones de banano en países líderes del mercado mundial*. *Revista de Economía y Desarrollo Sostenible*, 7(1), 56–70.

<https://doi.org/10.21897/reds.v7i1.892>

USDA. (2020). *FoodData Central: Papaya, raw*. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/169910/nutrients>

Velásquez, H. J. C., Montoya López, M. L., & Millán Cardona, L. J. (2005). *Caracterización de propiedades mecánicas del banano (Cavendish Valery)*. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 58(2), 2769–2778. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v58n2.12345>