Compuestos bioactivos de la harina de lúcuma y su efecto durante el almacenamiento

(Pouteria Lúcuma (R&P) Kuntze)





Rubén Virgilio Cosi Cutipa
Bradley Condori Mamani

EDITORIAL
TERCER SOL
MEXICO

Compuestos bioactivos de la harina de lúcuma y su efecto durante el almacenamiento

(Pouteria Lúcuma (R&P) Kuntze)

Rubén Virgilio Cosi Cutipa
Bradley Condori Mamani

Rubén Virgilio Cosi Cutipa

Perfil: Ingeniero en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de San Agustín (UNSA), Arequipa, Perú, Magister Scientiae en Tecnología de Alimentos por la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú con estudios de Doctorado en Administración (DBA) por la Universidad Nacional de San Agustín. Su investigación está orientada al desarrollo de cadenas productivas agroalimentaria y planes de negocios, así como al desarrollo de nuevos productos e innovación.

ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6739-0638

Afiliación: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa

Bradley Condori Mamani

Perfil: Ingeniero en Industrias Alimentarias

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7593-3759

Afiliación: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa

Todas nuestras publicaciones son sometidas a revisión doble-ciego
de pares académicos (Peer Review Double Blinded).

Esta publicación cuenta con licencia Creative Commons Reconocimiento
- NoComercial - SinObraDerivada 3.0 Unported License.



ISBN 978-607-59951-2-0

© Rubén Virgilio Cosi Cutipa
© Bradley Condori Mamani

2023
DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.10034614
© Editorial Tercer Sol
www.editorialtercersol.com

Este libro es resultado de la investigación *"Evaluación de la pérdida de color en harina de lúcuma (Pouteria Lúcuma (R&P) Kuntze) durante el almacenamiento"*, realizada en la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Queda prohibida la reproducción bajo cualquier modalidad de toda o una parte de esta obra sin autorización expresa del titular de los derechos.

Diseño de carátula y composición: Editorial Tercer Sol.

Edición electrónica: Editorial Tercer Sol

Editado en México/ *Published in Mexico*

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS 6

ÍNDICE DE FIGURAS 7

INTRODUCCIÓN 8

CAPÍTULO I 10
PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS DE LAS FRUTAS 10
1.1. Contenido de Azúcares 10
1.1.1. Método de Prueba de Azúcar 11
1.2. Contenido de Ácidos 12
1.3. Firmeza 14
1.4. Color y Pigmentación 15
1.5. Aromas – Olor 17
1.6. Contenido de Almidón 18

CAPÍTULO II 21
CARACTERIZACIÓN DE LA LÚCUMA 21
2.1. Generalidades 21
2.1.1. La lúcuma 21
2.1.2. Aspectos nutricionales 24
2.1.3. Producción y Mercado 26
2.2. Compuestos Fenólicos 29
2.2.1. Funciones 31
2.2.2. Propiedades Organolépticas 32
2.2.3. Clasificación 33
2.2.4. Cuantificación 34
2.3. Compuestos carotenoides 36
2.3.1. Funciones 37
2.3.2. Propiedades Organolépticas atribuidas a los Compuestos Carotenoides 39
2.3.3. Clasificación 41
2.3.4. Cuantificación 42

2.4. Color 42
2.4.1. Percepción 43
2.4.2. Medición 44

CAPÍTULO III 46
ESTIMACIÓN DE LA DISMINUCIÓN DE COLOR EN LA HARINA DE LÚCUMA DURANTE EL ALMACENAMIENTO 46
3.1. Objetivo General 46
3.2. Objetivos Específicos 46
3.3. Variables 47
3.3.1. Variables Independientes o Factores 47
3.3.2. Variables Dependientes 47
3.4. Tipo y Diseño de Investigación 47
3.5. Población, Muestra y Muestreo 47
3.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos 47
3.7. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos 47
3.7.1. Análisis Fisicoquímico 48
3.7.2. Metodología Experimental 51
3.7.3. Diseño Experimental Estadístico 53
3.8. Resultados 54
3.8.1. Interacción del Blanqueado, Envasado y tipo de Empaque en la Diferencia de Color (ΔE*) 57
3.8.2. Interacción del Blanqueado, Envasado y tipo de Empaque en el Índice de Amarillez (YI) 58
3.8.3. Interacción del Blanqueado, Envasado y tipo de Empaque en el Contenido de Carotenoides 59
3.8.4. Interacción del Blanqueado, Envasado y Tipo de Empaque en el Contenido deCompuestos Fenólicos Totales 62
3.8.5. Interacción del Blanqueado, Envasado y tipo de Empaque en la Actividad de Agua 65
3.8.6. Relación entre Carotenoides, Compuestos Fenólicos Totales y Actividad de Agua 67
3.9. Conclusiones 71
3.10. Recomendaciones 72

CAPÍTULO IV 73

REFLEXIONES FINALES 73

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	*Composición basada en porcentajes*	**23**
Tabla 2	*Valor nutricional en 100 gr.*	**24**
Tabla 3	*Producción anual de lúcuma*	**28**
Tabla 4	*Cronograma*	**53**
Tabla 5	*Diseño factorial*	**54**
Tabla 6	*Valores promedios de coordenadas de color L*, a*, b*, YI y ΔE*	**56**
Tabla 7	*Contenido y retención de carotenoides*	**60**
Tabla 8	*Contenido y retención de compuestos fenólicos totales*	**63**
Tabla 9	*Actividad de agua*	**65**
Tabla 10	*Factor de correlación*	**67**

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	*Lúcuma*	**22**
Figura 2	*Propiedades de la lúcuma*	**25**
Figura 3	*Cuadro nutricional x100g*	**26**
Figura 4	*Clasificación general*	**31**
Figura 5	*Estructuras químicas B-caroteno y Licopeno*	**36**
Figura 6	*Frutos carotenoides*	**42**
Figura 7	*Mediciones de los instrumentos de color*	**45**
Figura 8	*Diferencia de color (⊿E*)*	**58**
Figura 9	*Índice de amarillez (YI) debido a la acción del blanqueado, envasado al vacío y tipo de material de empaque*	**59**
Figura 10	*Retención de carotenoides debido de la interacción del blanqueado, forma de envasado y tipo de empaque, durante su almacenamiento*	**61**
Figura 11	*Retención de compuestos fenólicos totales*	**64**
Figura 12	*Actividad de agua*	**66**
Figura 13	*Relación entre la tasa de retención de carotenoides y el índice de amarillez (YI)*	**68**
Figura 14	*Relación entre la tasa de retención de compuestos fenólicos y el índice de amarillez (YI)*	**69**
Figura 15	*Relación entre la actividad de agua y el índice de amarillez (YI)*	**70**

INTRODUCCIÓN

La lúcuma es una fruta distintiva, correspondiente a la zona andina comprendida por Perú, Ecuador y el norte de Chile, que obtiene sus legendarios colores gracias a los pigmentos presentes en los plásticos, vacuolas y líquido citoplasmático. Esta particular gama de colores ha inspirado estudios tanto en las plantas ornamentales como en las frutas, dado su increíble atractivo capaz de captar la atención de los consumidores. Esto es importante porque influye de manera positiva en sus decisiones adquisitivas. Siendo que la apariencia incide de forma tan directa en su aceptación o rechazo, se vuelve de gran importancia la suma de sustancias activas al recubrimiento para ayudar a potenciar el efecto fuerte del color, en favor de un aspecto agradable y sano.

No existe una gran distribución de esta fruta lejos de su área de origen, ya que desde los valles interandinos donde fuera domesticada hace más de un milenio, apenas ha sido incluida en la dieta de Java, América Central o las Filipinas, encontrándose en mayor medida en Costa Rica, Bolivia y Colombia.

En el Perú se puede ubicar desde los 100 hasta los 3000 m s. n. m., conociéndose que la mejor producción se halla en la zona altoandina debido a su clima particular. Los frutos producidos en las zonas húmedas y cálidas presentan una menor categoría. La lúcuma precisa de suelos con abundante materia orgánica y gran profundidad, aunque resiste suelos duros, formados por rocas y la salinidad marina. Generalmente se exporta en las modalidades de harina o pulpa congelada. En el caso de la harina de lúcuma, su coloración

se ve afectada debido al proceso de almacenamiento, llegando a incumplir los estándares de venta, perjudicando su exportación.

El presente libro tiene como propósito ahondar sobre las bases teóricas que revisten las propiedades organolépticas de las futas, caracterizando a la lúcuma. El objetivo de esta investigación científica reside en la evaluación del resultado sobre la coloración de la harina, el proceso de blanqueamiento previo al secado y el impacto del envasado en dos modelos de empaque, como vendrían a ser el polipropileno y el polietileno, sometidos a diferentes atmósferas, tanto de oxígeno como de vacío.

PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS DE LAS FRUTAS

CAPÍTULO I

1.1. Contenido de Azúcares

La calidad de los productos agrícolas es un factor de alta demanda en el comercio. Cuando se habla de una adecuada calidad del producto, la referencia no se limita a una apariencia uniforme y sin daños o una larga vida útil. La exigencia del consumidor abarca ciertos parámetros como el sabor, la firmeza del color, externo e interno, y el aroma. Esto es posible de ser sometido a medición a través de equipos específicos, desarrollados a lo largo de muchos años tal como lo mencionan Valero & Ruiz-Altisent (1998). Una vez medido el nivel de cada parámetro, una comparación con una tabla de referencia, es suficiente para clasificar la fruta y tomar una decisión comercial adecuada.

El azúcar y la acidez constituyen la mayor parte del perfil de sabor de una fruta. El volumen total aumenta durante la maduración hasta la cosecha, después de lo cual fluctúa ligeramente en curso. La sacarosa (un disacárido de la fructosa y la glucosa) es el azúcar con mayor impacto en las propiedades sensoriales.

La sacarosa aumenta el tiempo de cosecha. Cuando el fruto se desprende del árbol, sube ligeramente y luego cae. La glucosa también disminuye, pero la fructosa aumenta. Al

mismo tiempo, el almidón se descompone y libera azúcares más simples, por lo tanto, conseguir niveles adecuados de azúcar en algunos lugares no es tan fácil debido a ciertas condiciones climáticas, variando año a año.

1.1.1. Método de Prueba de Azúcar

Está determinado por el índice de refracción (IR, Brix), que es el porcentaje de sólidos solubles (en peso) en el jugo. El IR se obtiene vertiendo unas gotas de jugo en la ventana del refractómetro. Tal como lo indican Díaz-Casas y Castaño-Castrillón (2005), una vez leído el número de °Brix (y corregida la temperatura si el dispositivo no lo ha hecho automáticamente), el resultado se puede convertir de "porcentajes sólidos solubles» a «azúcar total» (gramos por litro de jugo de fruta) utilizando algunas tablas que vienen con el dispositivo de la aplicación.

En cuanto a azúcares reductores, Bello et al. (2006) consideran que este es un método más preciso que ayuda a establecer la cantidad fructosa y glucosa, pero se recomienda para uso en laboratorio, debido al tiempo que toma. Esto incluye la evaluación química del jugo de frutas cuando ocurren reacciones redox agregando reactivos Fehling A y B. Tendencias futuras en su medición Ya existen prototipos para la medición inmediata y no destructiva del azúcar utilizando sus propiedades ópticas.

Para ello, se cubre la luz infrarroja con un haz de fibra óptica colocado sobre la fruta, se analiza el espectro y se aplica un modelo matemático calibrado a cada espécimen. Los prototipos están calibrados para jugo de manzana, tomate y uva. Se están investigando otros métodos, como el uso de láseres o resonancia magnética nuclear.

Núñez (2019) acota que los azúcares representan los compuestos no volátiles más importantes en la fruta, no solo porque participan en la dulzura, el ablandamiento y la

formación del color, sino también porque equilibran los ácidos producidos durante la maduración. Aquellos azúcares que pueden disolverse, se incrementan en el proceso de maduración y pueden ser utilizados para el aroma como fuentes de carbono.

La furanona tiene como precursores de su composición a la fructosa y la glucosa, esta última en menor medida. Asimismo, para lograr un correcta formación de composición del aroma, intervienen los aldehídos tales como el benzaldehído y la vainilla. Se le puede encontrar interviniendo en la percepción aromática de la almendra amarga, los melocotones, los albaricoques y ciruelas.

1.2. Contenido de Ácidos

La acidez es otro factor importante relacionado al gusto de las frutas. Éstas contienen varios ácidos orgánicos libres o nutrientes, siendo los más comunes el ácido málico, ácido cítrico, en naranjas y limones, el ácido tartárico en otros, etc. Si la fruta se mantiene a temperatura ambiente, el ácido se descompone rápidamente después de la recolección.

Esta disminución se puede prevenir con el uso de una atmósfera fría o controlada. La relación entre azúcares y ácidos es clara, existiendo un desarrollo inverso en sus respectivas concentraciones por ello a medida que aumentan los azúcares, los ácidos disminuyen. Díaz (2001) explica que, por esta razón, se han propuesto varios indicadores de calidad, incluidos los efectos del ácido y el azúcar en el sabor de la fruta. Por ejemplo, la relación azúcar/ácido es la suma del azúcar total y la acidez multiplicada por diez (AzT 10Ac).

Los datos del valor ácido de algunas frutas se pueden encontrar en bibliografías, aunque no se encuentran completos para diferentes variedades, y en muchos casos son precisos solo para el clima del país donde se realizó el análisis. En cuanto a los equipos de medición se utilizan de forma manual, buretas de laboratorio y tubos de ensayo.

Uno de los métodos para medir la acidez es la Acidez total titulable: medida al neutralizar químicamente todos los ácidos libres del jugo con solución de NaOH (0,1N). Este es un procedimiento de laboratorio que requiere una capacitación mínima y no puede sustituirse por un "medidor de durazno" porque la acidez total y el pH son conceptos diferentes.

Esta acidez titulable generalmente se expresa en miliequivalentes por litro (="meq / 1000"); también se puede expresar en gramos por litro de ácido orgánico primario y como porcentaje (g ácido / 100 g jugo o min ácido / 100 ml jugo). Ambos son valores convertibles en meq/1 por el peso molecular del ácido correspondiente (málico, cítrico o tartárico) y su valencia. Actualmente se están desarrollando prototipos basados en espectrofotometría infrarroja para la detección no destructiva de azúcares y otros compuestos.

A fin de formar los α-cetoácidos, los aminoácidos pueden verse afectados por transaminación o desaminación. Posterior a ello ocurren reacciones de descarboxilación seguidas de reacciones de reducción, oxidación y/o esterificación con la final de formar, según Reineccius (2006), ésteres, ácidos, aldehídos y alcoholes. De hecho, éstos en las cadenas de futas como tomates, fresas, manzanas y plátanos son derivadas tal como nos indican Goff y Klee (2006) de otras ramificadas como valina, isoleucina y leucina.

El 2-metilbutiril-CoA y el 3-metilbutanol son producidos por la isoleucina, siendo utilizados para la esterificación a 2-metilbutirato y 3-metilbutil en las bananas. Del mismo modo que el alcohol 2-feniletílico y el fenilacetaldehído, derivados de la fenilalanina se encuentran en gran cantidad en uvas, fresas y tomates.

Según Lupano (2013), existen tres procesos principales para transformación de los compuestos aromáticos más importantes, tales como lactonas, aldehídos, ácidos grasos alcoholes, cetonas y ésteres. Éstos serían las vías de lipoxigenasa, la α-oxidación y β-oxidación.

En una fruta indemne, la composición aromática volátil, logra su biosintetización mediante la β oxidación. Por otro lado, cuando se rompen los tejidos se realizan mediante la lipoxigenasa (LOX). Varios estudios han demostrado que una permeabilidad mayor de la membrana, sumada a la disponibilidad de ácidos grasos, también podrían activar LOX en tejidos vegetales aún intactos en remplazo de la β oxidación.

Según Autino et al. (2013), el proceso de descomposición oxidativo presentado por los ácidos linoleico y linoleico da como resultado ésteres de ácidos grasos, grupos carbonilos, ácidos y alcoholes, hallados al interior de las frutas. Núñez (2019) agrega que ciertos compuestos volátiles, resultado del mismo proceso catalizado por enzimas de ácidos grasos no saturados se pueden producir mediante la autooxidación. El ácido linolénico al someterse a la autooxidación, da como resultado 2,4-heptandial. Mediante la oxidación se producirían el 2,4-decanedial y el hexanal.

1.3. Firmeza

Su importancia radica en el almacenamiento y aceptación de la fruta. Se encuentra supeditada al tiempo en que se recolecta y el grado de calor con que se almacena, impactando en el tinte exterior. La firmeza de la fruta va disminuyendo con el tiempo, pronunciándose a medida que sube la temperatura de almacenaje.

Diezma et al. (2001), resaltan la cualidad de la firmeza por cuanto incide de manera directa en cómo se caracteriza el producto y las impresiones sensoriales que éste puede llegar a causar, así como su posible resistencia a diversos factores de daño producidos durante el proceso de recolección, acopio y traslado a manos del comprador final. Por ello se han desarrollado curvas que proporcionan información relacionada a la rigidez de las frutas en función de la temperatura. Estas curvas son útiles para planificar aspectos como:

- Período óptimo de almacenamiento, midiendo la dureza inicial y determinando el período máximo de almacenamiento en función de la temperatura.
- Momento en que el producto debe estar disponible para la venta.
- Período máximo de venta previsto, basado en el grado de calor del lugar o lugares donde se vende al público y/o mayorista.

Los valores iniciales para estos dos parámetros (dureza y color) varían según la operación.

El conocimiento del cambio del color puede llevar a la predicción de la variación de su dureza y viceversa. Sin embargo, se acota que el color también llega a depender de otros factores y esta relación podría desviarse significativamente en estas actividades.

Dependiendo de las propiedades mecánicas, existen diferentes métodos de medición de la dureza, tales como: penetración, compresión, perforación, deformación, impacto controlado, etc. Generalmente, en estos ensayos, se mide la fuerza que resiste la fruta cuando se perfora o comprime hasta una cierta profundidad de deformación.

Sin embargo, el valor absoluto de la fuerza no es un indicador confiable de la firmeza de la fruta porque los métodos de prueba como Magness-Taylor están sujetos a la variabilidad y muchos factores afectan la medición. Es más apropiado usar la pendiente del coeficiente (fuerza máxima/deformación Fmax) = curva porque es más precisa (reproducible) y menos afectada por las imprecisiones de la prueba. La rigidez se expresa en la fuerza de Newton (1 kg » 10 N) o Newton por milímetro de deformación.

1.4. Color y Pigmentación

Caiza (2021) afirma que la claridad y el tinte del recubrimiento del producto, son los principales atractivos para el consumo, determinando su elección, dado que en ello basa sus

cualidades organolépticas. Así, agregar sustancias activas para preservar un efecto de color fuente, atractivo y agradable, se vuelve una necesidad. Esto se debe a que la coloración es percibida como un aspecto importante, donde reside mayormente la evaluación visual de las propiedades superficiales de los objetos. Debido a ello han desarrollado múltiples estudios para analizarla de forma instrumental, tales como los de Mathias-Rettig & Ah-Hen (2014), o los de Shin & Bhowmik (1995) o los últimos de Ahmed et al. (2002).

Cuando se habla de las tinturas y colores de los alimentos, éstas son el producto de diversas materias orgánicas que se en cuentran en su interior. Por lo general se menciona verduras y frutas que tienen una gran cantidad de pigmentación. Badui (2006) menciona que el caroteno es uno de los representantes más importantes en el campo de la coloración natural, debido a que se utiliza en medicina, cosmética y alimentos.

Según Garza (1998), en las vacuolas, plástidos y líquido citoplasmático, se encuentran los compuestos que dotan a la fruta de su color. Los más resaltantes se encuentran clasificados en cuatro principales grupos: carotenoides, flavonoides, clorofila y antocianinas. Debido a su belleza visual, también han sido ampliamente investigados en el campo de las especies vegetales de tipo ornamental.

Otro de los compuestos responsables del color en las frutas es el betacaroteno, mayormente conocido como el incentivador de la vitamina A así como sus propiedades antioxidantes. Lock (1997) indica que existen muchas especies vegetales capaces de producir tintes que lo presentan, sin embargo, no tiene concentraciones altas, lo que impide su rápida extracción para fines económicos. Cita Carvajal (2012) a Bach, cuando habla de los grupos involucrados, siendo éstos el tetrapirrol, carotenoide, compuesto fenólico, flavonoide y compuesto N-heterocíclico, destacando la diversidad estructural y funcional.

Posterior a la etapa de cosecha, se puede observar el cambio de color como signo indicador de la maduración del fruto. El verde del casco desaparece a causa de un quiebre en la estructura molecular clorofílica, en la que interviene la clorofilasa. El recubrimiento comestible evita la decoloración de la piel interna, a diferencia de aquellas que, al perderlo, exhiben su decoloración.

Las variaciones de la colorimetría están influenciadas por la temperatura y el contexto. Según se indica existen también algunas prácticas culturales que podrían afectarlas, sin embargo, esto es aceptado con reservas. Pueden cambiar según el tipo de suelo, su ubicación y el tratamiento de cosecha y postcosecha.

1.5. Aromas – Olor

En la actualidad el parámetro del aroma se encuentra en proceso de estudio. Díaz de León et al. (2006) mencionan al respecto que estas investigaciones tienen por objetivo encontrar cuáles son los compuestos que inciden en su formación ya que son el resultado de una combinación de sensaciones creadas a partir de diferentes moléculas. Un estudio adecuado requiere la coordinación de un equipo de investigación multidisciplinar, en el que expertos sensoriales, un grupo de catadores y científicos puedan colaborar para la búsqueda de resultados.

Determinar con exactitud la naturaleza del olor emanado de las frutas, representa una tarea compleja dada la amplitud en la gama de propiedades químicas. Dixon & Hewett (2010) indican que esto se representa de manera perfecta en sus diferentes rutas de metabolismo, en relación a su regulación y biosíntesis. Se ha identificado como principales constituyentes a los alcoholes insaturados de cadena corta y los aldehídos. Éstos son formados durante el tiempo de la maduración y relacionados a una mayor respiración durante la menopausia. Los actuales ejemplos analíticos se han centrado en tomates, plátanos, manzanas y peras, compartiendo su síntesis incluyente de ácidos grasos y aminoácidos.

Los precursores del aroma con base aminoácido serían la fenilalanina, la alanina, leucina, isoleucina, valina y el ácido aspártico, descomponiéndose a su vez en ésteres, alcoholes, ácidos y carbonilos. Los análisis en las manzanas demostraron una elevación en el total producido por sustancias aromáticas capaces de volatilizarse.

Durante los primeros momentos del desarrollo de las frutas, se presentan ácidos grasos como gestores de compuestos de aroma volátiles, cuya naturaleza puede limitar a los ésteres en cuanto a su formación, almacenándose en forma de triglicéridos y después de la hidrólisis de los grupos acilo, se descomponen oxidativamente en compuestos volátiles mediante tres modos: lipoxigenasa, α oxidación y β oxidación. Schwab et al. (2008), afirman que los ácidos grasos, tanto insaturados como saturados los producen al igual que las lactonas, también fundamentales para la creación del aroma en las frutas.

1.6. Contenido de Almidón

Considerado como una de las fuentes más grandes en el campo de la dieta humana y animal, constituye un biopolímero, fruto de la unión de la amilopectina y la amilosa. A nivel industrial representa una materia prima importante por su biodegrabilidad, abundancia y renovación. El costo es accesible dado que también se puede encontrar en abundantes representantes naturales como legumbres, granos y frutos a hidrolizar. Se le puede hallar comúnmente en sorgo, trigo, arroz, maíz y cereales en general. Asimismo, en papas y mandioca. En la actualidad se intentan hallar orígenes diversos con propiedades funcionales, estructurales y fisicoquímicas a fin de emplear de manera industrial un almidón más resistente y añadirlo al grupo fuente de almidón de maíz y trigo en productos de panadería.

Según Janampa (2017), la amilopectina y la amilosa se mezclan para dar origen a los gránulos del almidón. Si bien sus estructuras son homólogas de una manera base, presentan diferencias en tanto a grados y longitudes de ramificación, lo que influye directamente en

sus propiedades. Mientras la amilopectina presenta enlaces α (1-6) en un 5 % y α (1-4) en un 95 %, la amilosa se desenvolvería como un polisacárido de enlaces α (1-4) ramificado o lineal, presentando un peso molecular 105-106 y hasta 600 en grado de polimerización.

En cuanto a su relación, es inversamente proporcional al envejecimiento almidonar. A menor porcentaje de amilasa, más resistente se muestra el producto, dado que ésta y la amilopectina proceden a una reorganización en estructuras cristalinas al enfriarse la pasta. Por ejemplo, el almidón de tapioca tiene baja tendencia retrógrada y forma geles muy transparentes y estables.

Es por ello que, de manera industrial, el almidón es utilizado para modificar la textura alimentaria, brindando espesor y estabilizando coloides y aglutinantes. Existen muchas maneras de caracterizarlo y clasificarlo en genotipos con ciertas características.

Kulp (1973) indica que la fase de calentamiento del almidón y sus características reológicas son afectadas por el tamaño de partícula. Ramos-García et al. (2018) complementan esta información, señalando que una pérdida de orden en los compuestos de la amilopectina, amilosa y algodón, representaría alteraciones de tipo irreversible en sus efectos de adherencia, disolución e hinchamiento.

El uso de almidones depende de su estructura, no de la fuente. El almidón obtenido de la fruta presenta mayor facultad adhesiva y modelo de difracción tipo C. Sin embargo, en propiedades térmicas como la temperatura máxima media y el calor de gelatinización, la respuesta se encuentra ligada al tamaño de la partícula. Su capacidad de gelificación (prueba dinámica) se vería vinculada a la heterogeneidad de los cristales en la muestra. Las diferencias fisicoquímicas, funcionales y reológicas entre los almidones de cereales y frutas surgen de su tamaño, forma y disposición cristalina característicos, lo que permite una variedad de usos.

Asimismo, Prieto-Méndez et al. (2010) reiteraron en su trabajo de investigación que el almidón es una biomolécula de reserva de los vegetales acopiada en las semillas, frutos, raíces y tubérculos, Hernández et al. (2017) destacan sus beneficios, pudiendo ser usado como alimento humano por su alto contenido de energía biodisponible para el metabolismo.

Carrión (2018) señala al almidón como un producto versátil que cada día aumenta su utilidad y se convierte en el primer producto químicamente estable e identificable resultante de la fotosíntesis celular. Nizama (2021) acota que su uso en la industria alimentaria está relacionado con las propiedades que permiten cambiar la consistencia y textura de los alimentos mencionándose el uso de productos amiláceos por brindar un mejor equilibrio en la cocción. Algunos autores señalan que se pueden enfatizar ciertas propiedades como textura, apariencia, humedad, consistencia y estabilidad en base a las texturas del almidón.

Los almidones son esenciales en la dieta ya que forman parte de los diversos alimentos que se consumen todos los días, aportando energía durante su metabolización a glucosa. En el campo de su uso industrial sus beneficios abarcan mejorar la funcionalidad, consistencia y confiabilidad del procesamiento de alimentos, así como proporcionar humedad y textura. Del mismo modo, son importantes para la resistencia de los alimentos a altas temperaturas y ciclos de refrigeración y congelación.

CAPÍTULO II

CARACTERIZACIÓN DE LA LÚCUMA

2.1. Generalidades

2.1.1. La lúcuma

Originaria de los valles comprendidos al norte de Chile, Perú y Ecuador, esta fruta fue domesticada durante más de un milenio, estableciéndose como parte oficial de la dieta nativa, encontrándose, según Janampa (2021) entre los 1500 y 3000 m s. n. m., al ser subtropical, su desarrollo se efectúa en terrenos donde existe una precipitación fluctuante entre los 1000 a 1800 milímetros cúbicos de agua y con una temperatura promedio de 20 a 22 grados. Su mayor adaptabilidad se ha presentado en altura, considerando ideales de 2700 a 3000 m s. n. m. y lejos de las temperaturas que llegan o descienden de cero.

Figura 1 *Lúcuma*



Nota. Adaptado de Pouteria Lucuma (s.f.). https://es.wikipedia.org/wiki/Pouteria_lucuma#/media/Archivo:Lucuma.png

En el Perú se puede hallar en alturas desde los 100 hasta los 3000 m s. n. m., sin embargo, de igual modo su mejor variedad se presenta en los valles altoandinos. Si bien puede resistir las bajas temperaturas altiplánicas, podría verse afectada por las heladas, muriendo alrededor de los -5 grados. Castro (2019) asegura que, según la calidad del suelo, su adaptación ha sido exitosa en cuanto a lugares de arena y roca cuando han sido drenados de manera adecuada. Tolera ciertos niveles de sal, pisos calcáreos y deficiencias oligoalimentarias, como las del hierro. Sin embargo, su mayor rendimiento se presenta en terrenos ricos en materias orgánicas.

Las hojas se caracterizan por pecíolos variables y márgenes coriáceos con márgenes intactos. Debido a los diferentes tipos de organismos, pueden contar con diferentes presentaciones: lanceoladas, ovaladas, rectangulares, de punta roma, afilada o dentada. Su longitud de capa de lecho es de 6 a 25 cm, con un ancho de 3 a 10 cm. Se presenta en tonalidades que van

desde el verde pálido al rosa, tornándose opacas y verde oscuro durante la maduración. Algunas especies tienen bordes ondulados. La lúcuma presenta flores hermafroditas, que al alcanzar los 6 a 7 mm de diámetro se vuelven receptivas al polen, presentando un tipo de polinización entomófila.

La pulpa presenta tonalidades amarillas y anaranjadas, su consistencia se encuentra subordinada al tipo perteneciente que se divide en palo firme y seda. El sabor es delicado, poseyendo un atractivo aroma, compuesto por un centenar de productos en diversas cantidades y proporciones. Tiene semillas ovoides a esféricas, de 2-3 cm de diámetro, protegidas por una cubierta llamada episperma.

Brack (1999) menciona cierta variabilidad en cuanto a la cantidad de semillas, considerando la existencia generalizada de una a dos unidades grandes por espécimen, mientras Villanueva (2002) enfatiza que existen de 1 a 5, ampliando sobre variedades que no presentan semillas. Estudios previos confirmaron esta cualidad partenocárpica, pero Alegre & Ticse (2017) aseveran que esto podría ser inducido de manera artificial con la adición de ácido giberélico durante la floración.

En la tabla a continuación se puede observar su composición.

Tabla 1 *Composición basada en porcentajes*

Componente	%
Pulpa	69 % a 82 %
Cáscara	7 % a 15 %
Hollejo	2 % a 3 %
Semilla	8 % a 14 %

Nota. Adaptado de Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2022).

2.1.2. Aspectos nutricionales

Según Janick & Paull (2008), la lúcuma presenta un porcentaje entre 69 % y 82 % de contenido de pulpa, con una humedad oscilando entre el 64 % y 72 %. Sus azúcares primordiales son, de forma ascendente: inositol, sacarosa, fructosa y glucosa. Sus ácidos principales, serían el cítrico y el succínico.

El componente proteínico de la lúcuma se encuentra de 1,5 a 2,4 gramos en una muestra de 100 g. siendo superado tan sólo por aguacates, plátanos verdes, coco y maracuyá y por su riqueza en almidón es posible consumirlo todos los días.

Tabla 2 *Valor nutricional en 100 gr.*

Componentes	Pulpa fresca*	Pulpa fresca	Harina de lúcuma
Agua (g)	73.3	72.3	9.3
Valor energético (cal)	99	99.0	329
Proteínas (g)	1.5	1.5	4
Carbohidratos (g)	25		82.0
Fibra (g)	1.3	1.3	2.3
Lípidos (g)	0.5	0.5	2.4
Ceniza (g)	0.7	0.7	2.3
Calcio (mg)	16	16	92
Fósforo (mg)	26	26	186
Hierro (mg)	0.4	0.4	4.6
Carotenos (mg)	0.3	2.3	0.0
Tiamina (mg)	0.01	0.01	0.02
Niacina (mg)	1.96	1.96	--
Ac. Ascórbico (mg)	5.40	2.2	11.6
Riboflavina (mg)	0.14	0.14	0.03

Nota. Adaptado Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2022).

En materia de vitaminas, la lúcuma presenta grandes concentraciones de niacina (B5), a raíz de 1.96 mg/100, aplicando un uso medicinal que alivia los males depresivos por su inclusión de tiamina (B1), sumada a la niacina.

Figura 2 *Propiedades de la lúcuma*



Nota. Adaptado Candela (s.f.). https://www.enbuenasmanos.com/wp-content/uploads/bfi_thumb/lucuma-3il82kf8qvhjsqsykm6422.jpg

Pocas son las frutas que pueden superar a la lúcuma en cuanto a cantidad de vitamina A, siendo quizás el plátano la única. En vitamina C, es aventajada por la naranja. Sin embargo, al medir sus minerales, se encuentra por sobre la manzana y el calcio en niveles de calcio que ayudan al crecimiento. Por otro lado, es fuente de abundantes fibras, beta carotenos y compuestos fenólicos y se ha determinado que el aceite obtenido de su semilla, incide de forma positiva en los procesos de cicatrización y regeneración de las células, siendo prometedora su aplicación en el cuidado de la piel y el campo de la medicina. También puede prevenir la acumulación de bacterias en las lesiones, presentando potenciales capacidades antimicrobianas.

Maza-De la Quintana & Paucar-Menacho (2020) consideran que una investigación más profunda, identificaría compuestos beneficiosos para el sistema cardiovascular y del mismo modo, para el respiratorio, puesto que los compuestos fenólicos poseen atributos contra el Alzheimer y la arteriosclerosis.

Figura 3 *Cuadro nutricional x100g*



Nota. Adaptado de Amazon Andes (2019). https://www.facebook.com/amazonandes.export/photos/a.807913695994734/2346207118832043/?type=3&locale=es_LA

2.1.3. Producción y Mercado

Se puede consumir fresca o procesada. En esta segunda modalidad, normalmente se presenta como harina o pulpa. Del Castillo (2006) afirma que, de modo industrial, la pulpa se emplea dentro de la elaboración de helados y confites, pudiendo conservar sus propiedades nutritivas y organolépticas. La harina encuentra un uso dentro de los yogures y galletas.

En forma de polvo, posee un sabor único y dulce que se puede utilizar como edulcorante natural, sin agregarle azúcar, según lo confirman Boza et al. (2019). Se ha venido utilizando un nueva forma de proceso llamado liofilización que consiste en agregar yema de huevo. Alegre y Ticse (2017) consideran que una vez colocado el producto a baja temperatura se debe permitir el secado por corto tiempo para conservar los valores y propiedades característicos de la fruta.

Transcurridos cuatro o cinco años de su siembra, el lúcumo inicia su temporada de producción, pudiendo generar de 300 a 500 frutos. En el lapso de 8 meses va a completarse la cosecha, con ejemplares que según Geilfus (1994), llegan a pesar entre cien y doscientos gramos. Popenoe et al. (1989) aseguran que, durante su recolección total, se pueden

presentar 500 frutas durante un año. Se pueden presentar cosechas durante las sequías o en temporadas no específicas, lo que indica la profundidad de sus raíces.

Una vez cosechada, la lúcuma se prepara para ser procesada y obtener así sus productos. Expone Llallahi (2108) que, en el caso de la pulpa, se requiere una selección de unidades en excelentes condiciones. Luego del lavado se extraen las semillas y se divide la fruta para sacar el interior, pasando a refinarlo para llevarlo a la prensa. Posteriormente, se pasa a la etapa de empacar y congelar para poder distribuir el producto.

En el Perú se ha ido presentando un incremento sólido en la producción de lúcuma, ascendiendo en un alto porcentaje entre el 2007 y el 2033, llegando a incrementar el volumen en un aproximado de 6.4 mil TM, tomando en cuenta una superficie total de 1536 hectáreas. Malpartida et al. (2021) señalan que la concentración se presenta mayormente en Lima, cuya producción representa casi el 70 % del total, siendo el menos productivo el departamento de Lambayeque, con apenas 0.19 %. febrero y abril, constituyen los meses de alta en la producción mientras que Ayacucho, gracias a su clima característico, puede contar con frutos todo el año.

Tabla 3 *Producción anual de lúcuma*

Departamento	2014	2015	2016	2017	2018
Ancash	201	127	15	97	128
Apurímac	92	89	14	43	50
Arequipa	578	516	96	559	548
Ayacucho	446	405	63	379	226
Huancavelica	48	52	6	54	59
Huánuco	87	110	13	126	140
Ica	1659	1732	157	1906	2031
Junín	83	95	16	104	79
La Libertad	775	806	119	944	971
Lambayeque	3	33	13	0	25
Lima	10953	10369	929	9297	8500
Loreto	126	113	21	132	136
Moquegua	90	90	14	122	129
Pasco	168	117	24	120	95
Piura	244	165	89	159	187
Total	**15553**	**14819**	**1589**	**14042**	**13304**

Nota. Adaptado de Malpartida, et. al. (2021).

Los canales de consumo interno de la lúcuma están conformados tanto por la venta mayorista y minorista como por el ofrecimiento empresarial para industrias que se encargarán de transformar el producto en harina o pulpa congelada. Álvarez et al. (2006) explican que son las fábricas de lácteos, helados y las panificadoras, las que intervienen en estas transacciones.

En el extranjero, el Perú se posiciona como el primer exportador a nivel mundial. Cahuas (2017) señala que maneja el 88 % de la producción total, seguido por Chile y Ecuador. Otros países no logran el volumen de exportación. Del Castillo (2006) resalta que, a diferencia del Perú, en el resto de países la temporada alta se presenta entre junio y noviembre.

Durante el periodo comprendido entre los años 2011 y 2015, el nivel de exportación de lúcuma y sus derivados, presentó cierta variación negativa, sin embargo, esto pudo ser recuperado al año siguiente, llegando a un valor FOB de $ 3’244,309.07.

Las principales presentaciones fueron en harina (38 %) y pulpa congelada (32.7 %) según el valor FOB en US$; se pueden observar también la exportación en fresco, bebidas y otras presentaciones procesadas. En cuanto a kg exportados, la pulpa congelada representa un 61.17 % y la harina el 20.59 %.

Álvarez (2006) afirma que son los valles de Chincha, Huaral, Cañete y Huacho, los lugares de mejor producción de lúcuma, gracias a la tecnificación con fines agrícolas de exportación. El Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2021) indicó que la finalidad de estas exportaciones serían los Países Bajos con un 36 %, la Federación Rusa en 27 %, Estados Unidos y otros. A pesar de contar con este mercado, el Perú está lejos de concretar una propuesta compleja a falta del manejo de volúmenes adecuados y vigilancia de la calidad. Se debe trabajar en la competitividad de los precios tratando de equilibrar con la alternancia de los competidores próximos. Los consumidores foráneos pueden realizar altas inversiones si el producto en cuestión presenta propiedades naturales y anticancerígenas, además de sabores nuevos y una multitud de derivados.

2.2. Compuestos Fenólicos

Están conformados por un diverso grupo de metabolitos secundarios, caracterizados por la posesión de grupos (-OH), unidos a un anillo aromático y siendo de reacción ácida. Ringuelet & Viña (2013) afirman que su comportamiento ácido se debe a que el oxígeno del hidroxilo se encuentra ligado con firmeza al anillo del fenilo. Por otro lado, Bowsher et al. (2008), consideran que el enlace más débil del oxígeno y el hidrogeno, admite la liberación de un protón (H+), resultando un ión fenolato cargado de manera negativa.

En el aspecto químico, según Tsimidou (1998), los polifenoles pueden presentar naturalezas diferentes, desde simples moléculas hasta compuestos poliméricos complejos. Dentro de las plantas, podrían encontrarse con algunos restos de carbón y azúcar.

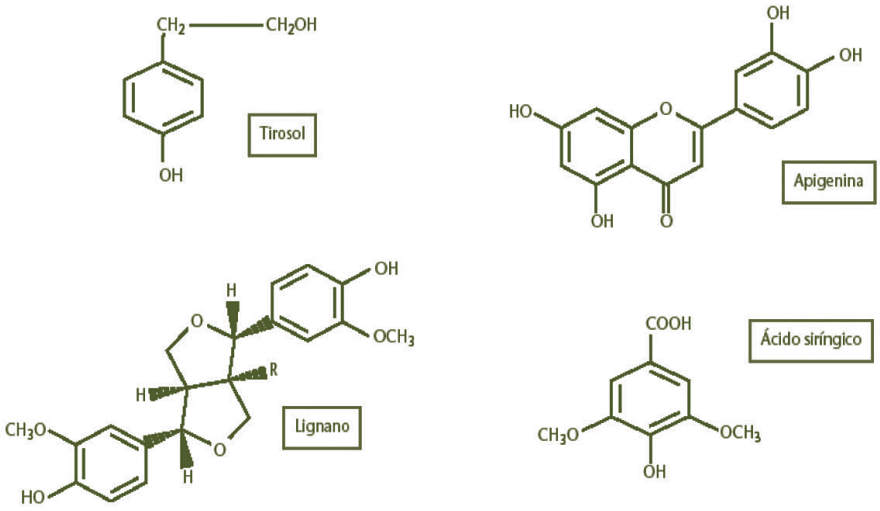
Maza-De la Quintana & Paucar-Menacho (2020) aseveran que han sido halladas altas cantidades de fenol en los tres biotipos de la variedad de la Poteria lucuma, específicamente en las conocidas como Montero, Rosalía y Leiva, presentándose de manera especial en las dos últimas. Esta composición fenólica correspondería a diferentes presentaciones tales como ácidos, flavonoides y polifenoles. Llegó a comprobarse que las variedades Leiva y Rosalía presentaban alto contenido fenólico, incluso más que el de las manzanas, duraznos, arándanos y fresas deshidratadas, en función de su ácido gálico, la unidad de determinación de estos compuestos, utilizada en las muestras espectrofotométricas.

En la lúcuma, además de los flavonoides, se encuentran los metabolitos tales como el ácido elágico y ciertos derivados de la caquetina, epigalocatequina, epicaquetina y hesperitina, considerados como antioxidantes. Como referencia, mencionamos que su presencia fue descrita en las variedades Beltrán y Seda.

Shahidi & Naczk (2003) precisan que en la naturaleza se hallan como glucósidos, capaces de disolverse a través de solventes orgánicos y el agua. Los azúcares unidos a los polifenoles, por lo general se presentan como oligosacáridos, disacáridos o monosacáridos.

Estos compuestos, según Valencia-Avilés et al. (2017) llegan a formar una clase considerada en las plantas como metabolitos secundarios, responsables de una serie de beneficios. En particular, existen muchos compuestos como el ácido shikímico, enoico, cinámico y quínico que se consideraron en esta categoría debido a las consideraciones metabólicas.

Figura 4 *Clasificación general*



Nota. Adaptado de Gimeno (2004). https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-pdf-13063508

La lignina insoluble es la forma polimérica que más abunda. Se ha ubicado en ciertos tejidos animales, siempre enlazada a la alimentación o consumo de elementos vegetales. En éstos, su distribución dependerá del tipo de compuesto involucrado ya sea en la pared celular o al interior de ésta.

2.2.1. Funciones

Muchos compuestos fenólicos (ubiquinona en plantas superiores) forman fitoalexinas a través de la vía del shikimato. Según Talcott & Howard (1999a) estos compuestos son útiles para proteger los tejidos vegetales del daño microbiano y oxidativo. Mendoza et al. (2023) ponen en alta relevancia su valor nutricional por los efectos antioxidantes relacionados a la lucha contra el envejecimiento y ciertas enfermedades como el cáncer o aquellas que afectan al corazón. Esto se produce porque incluyen bactericidas y antiinflamatorios capaces de estimular respuestas inmunitarias, así como antialérgicos y elementos inmunitarios. Martínez-Valverde et al. (2000) también comentan que guardan relación con la forma de promover la calidad de los alimentos frescos y procesados ayudando a mantener altos estándares saludables.

Como resultado de la autooxidación, la polimerización de fenoles produce un oscurecimiento en las soluciones de ácido cafeico. Esto depende del pH y va de las gamas de amarillo a marrón. El agente que puede limitar este proceso es la concentración y/o presencia de fenaciones, cuyos iones son capaces de catalizar las reacciones. Talcott & Howard (1999b) han comprobado que, de realizarse, los colores no cambiarán a menos que el oxígeno molecular se polimerice de manera directa. Excluir el oxígeno en sistemas alimentarios redunda en una mejor conservación de la coloración. El desarrollo de este proceso se llama pardeamiento. Durante la elaboración de alimentos de origen vegetal, la producción pigmentaria marrón y amarilla se puede manejar, controlando los niveles de oxígeno y la polifenol oxidasa. El cobre contenido en la enzima es capaz de catalizar la reacción de las quinonas y aguas, encargadas de los tintes amarillentos y tierras.

2.2.2. Propiedades Organolépticas

Los compuestos fenólicos están relacionados con la calidad sensorial de los alimentos vegetales frescos y procesados. Su contribución a la pigmentación de los alimentos vegetales es evidente a través de las antocianinas, que son las responsables de los colores rojo, azul, morado, naranja y morado de la mayoría de las plantas y sus productos. Las frutas en la dieta destacan por su alto contenido en flavonoides, pero también contienen cantidades importantes de otros compuestos fenólicos, según el tipo de fruta analizada.

El aporte de los compuestos fenólicos a la coloración de los vegetales se realiza mediante las antocianinas, que se encargan de una gama de tonos diversos, como el morado, azul, naranja, etc. Del mismo modo, los flavonoides como la quercetina se encuentran en un alto grado. Hertog et al. (1992) lograron identificar cuatro tipos distintos en sus estudios sobre las fresas y las uvas blancas y negras. En estos análisis se pudo encontrar que el principal ácido hidroxicinámico en estas frutas sería el cafeico, figurando en un 75 % y

haciéndose extensible a especies como arándanos, manzanas, ciruelas y albaricoques. En cambio, en la piña se puede hallar el ácido p-cumárico.

2.2.3. Clasificación

Los compuestos fenólicos se encuentran clasificados en una gran variedad de clases. Las que nos interesan se refieren a los del reino vegetal que abarcan los taninos, las lingninas, los stilbenos, los flavonoides y los fenólicos simples.

2.2.3.1. Compuestos Fenólicos Simples

Abarcan tres grupos:

- Fenilpropanoides Simples: comparten la estructura fundamental fenilpropanoide, portando una cadena lateral, lineal, de tres átomos de carbono unidos al anillo fenilo constituido por seis carbonos. Representan unidades centrales que forman prácticamente a todos los compuestos fenólicos.
- Cumarinas e hidroxicumarinas: también son parte del esqueleto básico, pero difieren de los fenilpropanoides simples en que la cadena lateral forma una estructura cíclica, un anillo. Corresponden a lactonas fenilpropanoides.
- Derivados del ácido benzoico: presentan una estructura C6-C1, como se observa en las estructuras químicas de la vainillina y del ácido salicílico.

2.2.3.2. Flavonoides y Estilbenos

- Flavonoides: grupo muy diverso, entre los cuales se conocen más de 6.000 estructuras variadas. El esqueleto común consta de dos anillos de seis átomos de carbono (designados con las letras A y B) unidos mediante un puente de tres átomos de carbono que por lo común forma un tercer ciclo (anillo C).

- Estilbenos: comparten precursores en común con los flavonoides durante su proceso de biosíntesis Bowsher et al (2008) consideran que presentan propiedades semejantes ambos compuestos.

2.2.3.3. Lignina

Polímero heterogéneo y complejo, compuesto en gran cantidad por derivados fenilpropanoides correspondientes a los monolignoles: los alcoholes p-cumarílico, coniferílico y sinapílico.

2.2.3.4. Taninos

Variedad de polifenoles vegetales. Por lo general se utilizan para las curtiembres en los periodos de transformación de pieles en cueros. Hacen la superficie impermeable al agua, las altas temperaturas y la invasión de microorganismos.

2.2.3.5. Otras Clases de Compuestos Fenólicos y Sustancias Relacionadas a los mismos

- Fenilpropenos: importantes por su contribución a olores y gusto de las plantas.
- Lignanos: La dimerización de monolignoles conduce a la formación de lignanos y puede producirse a través de sus cadenas laterales o en ciertos casos por la condensación de los dos anillos fenólicos. Estos compuestos se encuentran ampliamente distribuidos en el reino vegetal como sustancias de defensa.
- Cutina y suberina: Minimizan la pérdida de agua contribuyendo a bloquear el ingreso de hongos y bacterias.

2.2.4. Cuantificación

Ha concitado atención la identificación de los bisfenoles en los alimentos, debido a su alto valor nutricional, lo que redunda en mayores datos y referencias científicas. Para lograr

cuantificarlos y conocerlos, se requiere un gran número de métodos analíticos, dado que se encuentran distribuidos en una gran diversidad de formas en los tejidos vegetales.

Los primeros métodos desarrollados fueron los métodos espectrofotométricos. Estos se presentan adecuados si se habla del control de calidad, pero presentan deficiencias informativas con respecto al enfoque de la nutrición. Por ello se ha hecho preciso recurrir a las pruebas cromatográficas donde cada polifenol con valor nutricional se puede identificar individualmente.

2.2.4.1. Métodos Espectrofotométricos

Capaces de detectar y contar los compuestos fenólicos tanto específicos como extraíbles o de una clase específica. Se aplica con fines cuantitativos cuando los fenoles totales se obtienen de manera arbitraria. Sin embargo, esta técnica presenta dificultades insalvables y su aplicabilidad a menudo se cuestiona: en primer lugar, debido a la extracción completa con alcohol e hidro-alcohol, que excluye muchos taninos asociados a la pared celular y otros fenoles, de los cuales la cantidad total de fenoles medido se limita prácticamente a la fracción soluble. Posterior a ello, la diversidad de polifenoles implica una elección arbitraria de reactivos y longitudes de onda. Escarpa & González (2001) han acordado que la desventaja más patente se basa en la carencia de características selectivas metódicas, sobreestimando el contenido fenólico. Aun así, este método goza de gran reputación en muchos laboratorios químicos donde se han complementado con mediciones UV.

2.2.4.2. Métodos Cromatográficos

Son aquellos que permiten identificar los compuestos, separarlos y aislarlos. También brindan conocimientos sobre sus interacciones con otros componentes. Los más usados incluyen las técnicas de alta resolución (HPLC) debido a su alta precisión y bajo costo. Justesen et al. (1998) señalaron que de esta forma se puede determinar un gran número de polifenoles

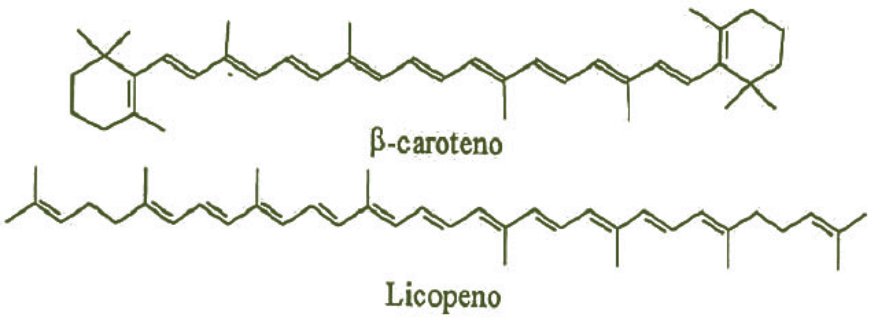
importantes. El photo-diodo array ofrece una detección sencilla. Su acoplamiento a un detector de masa ocurre cuando se desea aumentar los resultados específicos.

2.3. Compuestos carotenoides

En relación a lo expuesto por Peña & Restrepo (2013) se considera que los carotenoides representan pigmentos naturales que pueden encontrarse en frutas, flores y raíces. No pueden ser sintetizados por animales o humanos, pero si se les modifica, pueden ser absorbidos. Arango (2006) menciona que se encuentran enlazados a las proteínas o estereficados con ácidos grasos. Rodríguez-Amaya (2010) contribuye, reflexionando sobre la parte química, clasificando a los carotenoidos como una clase derivada de dos unidades de geranil-geranilpirofosfato. Asimismo, destaca su solubilidad en solventes apolares y la coloración que va desde el rojo hasta el amarillo.

Badui (2006) los agrupa en aproximadamente unos 450 pigmentos liposolubles, siendo responsables de una multitud de gamas, hallándose también en los cloroplastos de algunas plantas, pero sus tonalidades se encontrarían bajo el efecto de la clorofila y por ende no serían tan patentes. Del mismo modo, se encuentran en levaduras, algas, bacterias y hongos, participando en el proceso fotosintético, absorbiendo la luz al igual que la clorofila.

Figura 5 *Estructuras químicas B-caroteno y Licopeno*



Nota. Adaptado de Meléndez-Martínez et al. (2004). http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222004000200011

Los pigmentos carotenoides son hidrofóbicos debido a su estructura hidrocarbonada, siendo solubles sólo en grasas, solventes orgánicos y aceites. Químicamente hablando, poseen una estructura de dobles enlaces conjugados característica, determinando la insaturación y provocando reacciones de autooxidación y oxidación.

2.3.1. Funciones

Dutta et al. (2005) han valorado el papel del β-caroteno por su papel nutricional, involucrado en la síntesis glicoproteica, la reproducción y crecimiento del tejido óseo, la visión y la secreción mucosa de los tejidos epiteliales. Simpson et al. (1981) han afirmado que su rol como principal precursor de la vitamina A, ha hecho de este compuesto un elemento altamente estimable y se considera que el 60 % de la ingesta cuenta con su origen en este punto. Por el contrario, sufrir de su deficiencia, puede provocar sarampión y otros trastornos del sistema inmunitario como lo han podido estudiar, Sommer et al. (1983).

Además, se ha presentado evidencia como lo demuestran Gerster (1991) y otros, de que las reacciones obtenidas de radicales libres originan ciertas enfermedades degenerativas, cáncer, cataratas y degeneración macular. Existe una posibilidad de combatirlas reforzando el sistema inmunológico consumiendo carotenoides, los cuales, por ejemplo, pueden defender la mácula retinal del daño que le infringe la luz y reduciendo la degeneración asociada con la edad, según Abdel-Aal et al. (2013).

El consumo de licopeno de tomate solo o en combinación con otros antioxidantes naturales inhibe la oxidación de las lipoproteínas de baja densidad (LDL) (Perveen et al., 2015). Lindshield, Canene-Adams y Erdman (2007) demostraron que el licopeno, al actuar como antioxidante, previene el daño del ADN y, por lo tanto, previene las mutaciones que conducen al desarrollo de células cancerosas.

Perveen et al. (2015). complementan esta información demostrando las cualidades antioxidantes del licopeno y su redundancia en la prevención de daños en la cadena de ADN y por ende la protección contra el desarrollo de células cancerígenas y enfermedades infecciosas. Aunado a ello se encuentran de modo intracelular regulando la expresión génica. Devaraj et al. (1996). aseguran que esto se realiza de manera independiente al desarrollo de la provitamina A.

La información recogida de forma cromatográfica no debe ser el único criterio en el estudio de los carotenoides, sin embargo, se puede considerar como fuente de datos útiles en relación a su estructura. Durante las pruebas cromatográficas en columna abierta durante la fase normal, los dobles enlaces conjugados serán responsables de la afinidad de adsorción, el cierre del anillo y la aparición de sustancias que sustituyen al oxígeno. Queda ilustrado el efecto en secuencias de licopeno, fitoflueno, neurosporina, fitoneno y ξ-caroteno. La disminución de la afinidad de adsorción producida por la ciclación demuestra que el γ-caroteno se absorbe de modo más contundente que el β-caroteno.

Esto redunda en que la actividad y el color provitamínico se van perdiendo, constituyendo la causa principal de la pérdida de carotenoides. Puede ser estimulada por enzimas, hidroperóxidos lipídicos, la incidencia de la luz, encimas y co-oxidación. Estas condiciones pueden manejarse durante los procesos de producción, procesamiento, temperatura de almacenaje y recipientes.

Es durante el tratamiento térmico, según Rodríguez-Amaya et al. (2006). que ocurre mayormente la isomeración, a diferencia de los procesos de triturado, exprimido o despulpado. A propósito, Colmán (2016). pudo observar en orden de susceptibilidad a la degradación estarían el licopeno, la β-criptoxantina, el β-caroteno todo-trans y el 9-cis β-caroteno.

Esto demuestra que la dependencia del número de dobles enlaces conjugados para la estabilidad de los carotenoides en relación al proceso de oxidación. O'Neil & Schwartz (1995) realizaron informes sobre los efectos de la luz en el proceso de isomeración de los trans β-carotenos que se agregaron a los extractos de plantas. Un examen de la distribución isomérica dio como resultado que los procesos tuvieron lugar durante los periodos de exhibición a la luz.

El papel de los carotenoides en contrarrestar la footoxidación queda demostrado y cada vez más se reúnen datos de su función como secuestradores de radicales libres en el caso de organismos diferentes a las plantas. Nielsen et al. (1996) aseguran que el β betacaroteno, el α caroteno y la betacriptoxantina son provitamina A y ésta, esencialmente es la mitad de una molécula de betacaroteno. Por ende, se puede decir que se presentaría como la provitamina A potenciada y por eso se afirma que la β-criptoxantina y el α-caroteno poseen un aproximado del 50 % de la actividad de la vitamina A del β-caroteno.

Para complementar, Arándiga (2008) asegura que el principal objetivo de los carotenoides es aportar con la activación de la provitamina A, pero a su vez la poderosa inhibición de los radicales, resulta en una actividad antioxidante que resulta crucial en la prevención de ciertos tipos de cáncer, degeneraciones y problemas cardiacos.

2.3.2. Propiedades Organolépticas atribuidas a los Compuestos Carotenoides

La lúcuma ofrece a la vista tonalidades variables. Se puede presentar en tonos naranjas, rojos o amarillos, supeditado cómo se presenten en la molécula carotenoide los dobles enlaces conjugados. Moo-Huchin et al. (2015) comparten que la pulpa de color amarillo o naranja indica la presencia de estos compuestos, que en su mayoría corresponden a β-caroteno.

Dispone de altas dosis de vitamina A y de luteínas como la neoxanina que según Jomova & Valko (2013), presenta ciertas cualidades antioxidantes a pesar de no contar con actividad provitamina A. Salvatierra & Siu (2019) distinguen que la lúcuma, al atravesar por estados de intenso color, exhibe su nivel de carotenoide, siendo mucho menor durante su estado verde o no maduro.

En los cultivares de lúcuma Molina y Beltrán, Gómez-Maqueo et al. (2020) detectaron 33 variedades de carotenoides, presentando una concentración de 3944 μg/100g dm y 4334 μg/100g dm respectivamente. García (2016) hizo un reporte de concentraciones de 30.1 y 24.9 mg/100 g (seco) en el mismo espacio físico, encontrándose que presentaría mayor concentración que el mango tailandés, siendo superado solamente por otros alimentos como la papaya, la naranja, la zanahoria y el mamey.

Debido a su estructura, los carotenoides sufren muchos cambios químicos por las condiciones de procesamiento utilizadas en la industria alimentaria. Estos cambios irreversibles, operan en función de los procesos y condiciones ejercidas en diferentes etapas de su transformación a diferentes productos. Su colapso reduce el valor de nutrición alimentaria y provoca la pérdida del olor, color y sabor característicos.

Los compuestos carotenoides no se pueden disolver en el agua así que la pérdida de sus propiedades no se realiza durante el lavado o procesamiento de la fruta. Para disolverlos se necesitan hexano, éter de petróleo y tolueno. Según Rodríguez-Amaya (2001), la luteína presenta más afinidad soluble con el etanol y metanol. Aquellos que son cristalinos no presentan gran solubilidad en los disolventes, sólo en el cloruro de metileno y benceno.

Saini et al (2015) aseguran que, para la absorción de los haces de luz, las moléculas carotenoides deben presentar polienCromóforos y estarán relacionados de forma directamente proporcional.

Los cambios indican transformaciones estructurales. En el caso de la lúcuma, el color permite un informe visual y en la cromatrografía se puede obtener información fiable viendo el espectro de color.

2.3.3. Clasificación

Se clasifican en xantofilas y carotenos. Las primeras contienen oxígeno, carbono e hidrógeno, los segundos solamente hidrógeno y carbono.

Tomando en cuenta su estructura química, se dividen en carotenoides oxigenados y carotenoides hidrocarburos. (Krinsky & Johnson, 2005). Por otro lado, la zeaxantina y la luteína estarían clasificados como luteínas, presentando como mínimo un grupo hidroxilo, lo que les dota de más polaridad. Abdel-Aal et al. (2013) indican que son carotenoides oxigenados la Se conoce de un promedio de 600 compuestos carotenoides en la naturaleza. En los tejidos que forman al ser humano, el suero y la leche, se han encontrado 40 variedades. El β-caroteno es el que ha tenido mayor cantidad de estudios y uno de los más hallados. Entre los 50 diferentes carotenoides capaces de convertirse en vitamina A, es el que cuenta con mayor actividad, esto puede variar según el sujeto y la forma que tenga de seleccionar y consumir.

La luteína puede encontrarse en grandes concentraciones en las espinaca y coles. During et al. (2002) añaden que se pueden incluir las coles de bruselas, yemas de huevo y el brócoli.

Figura 6 *Frutos carotenoides*



Nota. Adaptado de Instituto Europeo de Nutrición y Salud (2021).

https://ienutricion.com/carotenos-que-son-y-cuales-son-sus-beneficios/

2.3.4. Cuantificación

En la identificación y diagnóstico de los carotenoides las primeras herramientas que se utilizaron fueron la estrectrospcopía visible y ultravioleta. Los cromóforos se distinguen por una longitud de onda de forma espectral y máxima absorción. En su mayoría, los carotenoides arrojan un espectro trimodal por su capacidad de absorción a tres longitudes de onda.

Las concentraciones de carbonilo aislado que no se encuentran unidas al cromóforo, no presentan cambios espectrales. Un cromóforo extendido por un grupo carbonilo conjugado a una serie de dobles enlaces da como resultado un cambio a los colores primarios y una pérdida de estructura espectral fina, de modo que los espectros de tres picos son reemplazados por una curva ancha.

2.4. Color

El color reviste de gran importancia en los alimentos puesto que el instinto humano de comparación llevará a una evaluación donde éste tendrá una participación activa. Los objetos reflejan los colores y lo que el ojo humano puede captar es el espectro visible,

nacido de esta interacción. Los receptores visuales se hallan al interior de la retina y se llaman gliales. Pereira (2011), aduce que es aquí donde, mediante procesos fisiológicos, físicos y químicos, la información llega a los nervios ópticos. La forma en la que se percibe el color está relacionada a diferentes factores como la iluminación, temperatura, geometría del objeto, el área, etc. En los organismos que tienen vida, los colores se denominan pigmentos. En las plantas se encuentran concentrados en los frutos, las hojas y las flores. A nivel animal y humano se pueden apreciar en la piel y otras estructuras. Mínguez et al. (2005) aseguran que pueden encontrarse en bacterias y hongos.

Los pigmentos relacionados a los vegetales se hallan divididos en tres grandes grupos: antocianinas, carotenoides y clorofilas que dan como resultado distintos colores tales como el morado, el verde, el amarillo, el azul y el rojo. Además del tipo de especie, estos pigmentos estarán relacionados con la vida de la planta y simbolizará el aporte de algunas propiedades nutritivas.

La clorofila se encuentra de forma preponderante en las especies vegetales y an algunas bacterias que aprovechan la luz. Su característico color se obtiene a los pigmentos de clorofila a aunados con los de clorofila b, dando ese tono. Su consumo es beneficioso y se considera parte esencial en la dieta humana. Dentro del campo industrial, el color constituye un parámetro importante en la clasificación y evaluación de productos. Se le considera indicador de naturaleza óptima, así como del deterioro de compuestos y pérdida de valor nutricional. Los productos visualmente atractivos logran llamar la atención de los consumidores, lo que implica condiciones de proceso y almacenamiento para lograr preservar el color de manera efectiva.

2.4.1. Percepción

En el proceso de percepción participan el objeto y el observador. De manera rigurosa se puede indicar que cada individuo es capaz de percibir los tonos de una manera distinta. A

fin de unificar estas visiones, se utiliza un lenguaje estándar. Es por ello que la organización International Commision on Illumination (2020) se ha dedicado a expresar la percepción del color de una manera objetiva, elaborando modelos que Vásquez (2015) comparte tales como CIE L*a*b*, CIE LUV, CIE XYZ, entre otros.

Es L*a*b* el espacio de color por excelencia, el que se utiliza con regularidad. Esto se debe a su solidez y consistencia en relacionar valores numéricos con la percepción visual. De este modo, usuarios, investigadores y fabricantes tienen un punto de acuerdo a la hora de evaluar atributos de color y coordinar en la identificación de sus características.

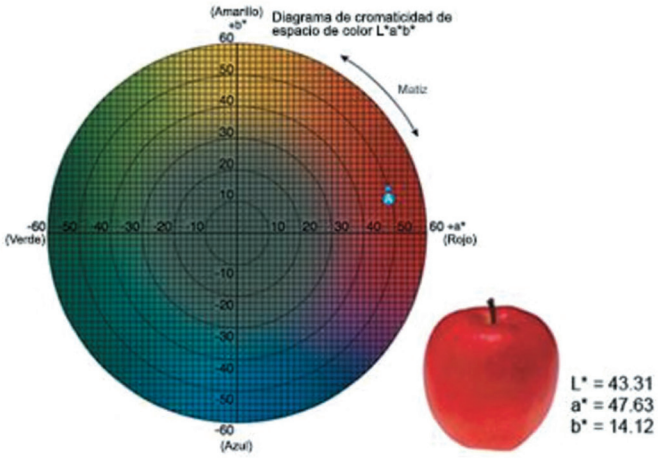
Los colores se pueden describir en función a su matiz, grado de saturación y claridad. De este modo se puede llegar a un acuerdo en las expresiones y conceptos concretos del elemento al que se hace referencia.

2.4.2. Medición

Para lograr medir el color, se utilizan las teorías de colores oponentes. Éstas se basan en que dos colores no pueden llegar a ser el mismo en el mismo momento. El elemento L* mide la claridad del color. Donde el máximo, es decir L=100 seria blanco y el mínimo, L=0, significa negro; a* se asociaría a las coordenadas de colores rojo y verde, siendo +a=rojo y -a=verde, por último, b* sería la variable de los tonos azul y amarillo, donde +b=amarillo y -b=azul. Estos atributos pueden ser medidos con instrumentos adecuados como colorímetros, espectrofotómetros y espectrorradiómetros. El espacio situado entre todas las coordenadas arroja un resultado.

A continuación, se comparten los resultados de las mediciones de color, aplicadas en el espacio CIE L*a*b*.

Figura 7 *Mediciones de los instrumentos de color*



Nota. Adaptado de Konica Minolta. (s.f.).

https://sensing.konicaminolta.us/mx/blog/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/

Las mediciones se realizaron utilizando un Colorímetro Konica Minolta CR400 (Osaka, Japón) un iluminante D65 y 10° del observador, utilizando el espacio de color L*a*b* se determinaron los parámetros de luminosidad (L*), tonalidad de rojo a verde (a*), tonalidad de amarillo a azul (b*). Utilizando las ecuaciones 1, 2 y 3 (más adelante) se calcularon los parámetros de ángulo de tono (Hab), pureza de color o croma (C*) y diferencia total de color (ΔE), respectivamente.

Ecuaciones *Ángulo de tono (Hab)*

$$Hab = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \times \frac{180}{\pi}$$

Croma o pureza de color (C)*

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

Diferencia total de color (ΔE)

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

ESTIMACIÓN DE LA DISMINUCIÓN DE COLOR EN LA HARINA DE LÚCUMA DURANTE EL ALMACENAMIENTO

CAPÍTULO III

3.1. Objetivo General

Este trabajo de investigación tiene como finalidad realizar la estimación de la categoría color en el producto conocido como harina de lúcuma, del blanqueado de la lúcuma antes del secado, y el efecto del envasado de la misma en dos tipos de empaque: polietileno (PE) y polipropileno (PP) y en dos tipos de atmósferas: al vacío (Vac) y en oxígeno (Ox). Del mismo modo, pretende establecer el vínculo entre el contenido de carotenoides, compuestos fenólicos totales y actividad de agua con el color de la harina de lúcuma durante el almacenamiento a: 0, 30, 45, 60 y 75 días en condiciones ambientales de temperatura (17.6 a 21.7 °C) y humedad relativa (89 % a 90 %).

3.2. Objetivos Específicos

- Evaluar el efecto del envasado en el color de la harina de lúcuma, empleando dos tipos de empaque y dos tipos de atmósferas durante el almacenamiento.
- Establecer la relación del contenido de carotenoides, compuestos fenólicos totales y actividad de agua con el color de la harina de lúcuma durante su almacenamiento.

3.3. Variables

3.3.1. Variables Independientes o Factores

- Tratamiento de la muestra (blanqueada y no blanqueada).
- Atmósfera dentro del empaque (al vacío y atmósfera no modificada o con aire).
- Tipo de empaque (polietileno de alta densidad y polipropileno)

3.3.2. Variables Dependientes

- Color
- Contenido de carotenoides
- Contenido de compuestos fenólicos
- Agua

3.4. Tipo y Diseño de Investigación

Experimental con el uso de la variable independiente para conocer el efecto sobre la variable dependiente. Descriptivo porque busca conocer los procesos, entenderlos y caracterizarlos. Es una investigación de enfoque cuantitativo y de corte transversal.

3.5. Población, Muestra y Muestreo

La lúcuma (Pouperia lucuma (R&P) Kuntse) utilizada pertenece a la variedad seda o yema de huevo procedente de la zona de Huaral cosechada en el mes de marzo del año 2005.

3.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Se aplicó la observación como técnica de recolectar datos y el instrumento fue su guía

3.7. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

Se dividieron en dos fases: análisis fisicoquímico y el procedimiento experimental.

3.7.1. Análisis Fisicoquímico

3.7.1.1. Determinación del Color

Para determinar el color de las distintas muestras de harina de lúcuma, se utilizó el Colorímetro Minolta CR-400, en el espacio de color CIE L*a*b*, esto significa trabajar con el iluminante C y observador colorimétrico 2° en un sistema de iluminación/visión d/0 (iluminación difusa/ángulo de visión 0°). Se realizaron nueve repeticiones en cada muestra, obteniéndose en forma directa los valores L* (claridad o luminosidad), a* y b* (coordenadas de cromaticidad).

Para realizar los cálculos de la diferencia total de color ΔE* en el espacio de color L* a* b* se utilizó la fórmula definida por la CIE en 1976, comparando los resultados durante el tiempo de almacenamiento con el inicio. ΔE* indica el grado de la diferencia de color, es decir, la magnitud absoluta de la distancia cromática entre el color de referencia y el color de la muestra almacenada, no indica la dirección.

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$$

Donde: ΔL*, Δa*, Δb* son la diferencia de los valores de L*, a* y b* entre el color de la muestra almacenada en un determinado periodo de tiempo y el color de la muestra al inicio del almacenamiento.

Se determinó el índice de amarillez (YI) de acuerdo a Francis y Clydesdale (1975) quienes mencionaron que éste nos indica la dirección con respecto al color amarillo. Se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$YI = 142{,}86\,\frac{b^*}{L^*}$$

3.7.1.2. Determinación de Carotenoides en Harina de Lúcuma

Se utilizó la metodología descrita por Talcott y Howard (1999b) siendo el procedimiento el siguiente:

- Se cubrió con papel aluminio de la luz, se colocó en un mortero 2 g de harina de lúcuma en 20 ml de una solución de acetona-etanol en una proporción de 1:1 que además contenía BHT en una dilución de 200mg/L de esta solución, procediéndose a mezclar hasta obtener una consistencia uniforme.
- En una fiola de 100 ml con su respectivo embudo y papel filtro whatman No 4, se procedió a filtrar la mezcla y se lavó el mortero y filtró con el solvente acetona-etanol hasta enrazar a un volumen de 100 ml, cubriéndola de la luz con papel aluminio.
- Se calibró a cero el espectrofotómetro usando el solvente como estándar.
- Se colocó una alícuota de la solución de carotenoide en la cubeta de vidrio y tomar la lectura del espectrofotómetro a 470 nm.
- Si la absorbancia esta sobre 0.7 diluir la muestra con el solvente.
- Se determinó la concentración de carotenoide de acuerdo a la siguiente ecuación de Gross (1991).

$$\text{mg carotenoides/g muestra} = (AV \times 106) / (A1\ \% \times 100G).$$

Donde:

A = absorbancia a 470 nm.

V = Volumen total de solución o extracto.

G = peso de la muestra en gramos.

$A^{1\%}$ = coeficiente de extinción específica (2500).

3.7.1.3. Determinación de Fenoles Totales

Se utilizó el método de Swain & Hillis (1959), basado en la cuantificación espectrofotométrica del complejo coloreado por la reacción resultante entre los compuestos fenólicos y el reactivo Folin- Ciocalteau.

El procedimiento es el siguiente:

- Se coloca 5 g de muestra y 20 ml de etanol 95 % dentro de un tubo cónico protegido de la luz.
- Mezclar usando un vortex a alta velocidad hasta obtener una consistencia uniforme (0.5 – 1 minuto).
- Dejar el homogenizado en refrigeración (4 oC) por 12 a 24 horas.
- Centrifugar la muestra a 6000 RPM por 30 minutos.
- Con una micropipeta tomar 0.5 ml del sobrenadante y se diluye con 8 ml de agua destilada. Al mismo tiempo, se prepara un blanco con 0.5 ml de etanol y se trabaja bajo las mismas condiciones que la muestra.
- Se adiciona 0.5 ml del reactivo Folin-Ciocalteau 0.25 N, agitar y dejar reaccionar por 3 minutos.
- Después de los tres minutos, añadir 1 ml de Na2CO3 1 N, agitar y dejar reaccionar por 10 minutos.
- Calibrar el espectrofotómetro con el blanco preparado de etanol 95 %.
- Colocar una alícuota del sobrenadante en una cubeta de cuarzo o vidrio y tomar la lectura de la absorbancia en el espectrofotómetro a 725 nm cada 10 min hasta que no se observe un cambio significativo en las lecturas.

- Si la lectura de la absorbancia está sobre 0.6 diluir la muestra con etanol 95 % y proceder con la reacción otra vez.
- Estimar la cantidad de fenólicos totales de la curva estándar desarrollada para ácido gálico. Los resultados se expresarán como mg de ácido gálico/100 g muestra seca utilizando la siguiente ecuación:

Equiv. Ac gálico = (a+bX) (ml extracto total/grs muestra) (0.5 ml muestra reactante / mls muestra extracto) (100)

Donde:

Equiv. Ac. Gálico = mg Equiv. Ac. Gálico / 100 g de muestra

El término a + bX viene de la curva estándar.

3.7.1.4. Determinación de la Actividad de Agua en Harina de Lúcuma

Se realizó mediante un higrómetro de punto de rocío, usando el equipo AquaLab, a una temperatura de funcionamiento promedio de 25 °C.

3.7.2. Metodología Experimental

Se realizó de acuerdo al esquema experimental:

3.7.2.1 Operaciones para la Obtención y Almacenamiento

- **Selección y Clasificación**

Se realizó en forma manual e inspección visual, seleccionando frutas sin picaduras y libres de daños físicos.

- **Lavado y Desinfección**

La fruta se lavó en abundante agua a fin de eliminar la materia adherida a la superficie; luego se procedió a desinfectar gracias a una solución de Tego 0.5 % por 15 min.

- **Blanqueado**

Por inmersión y se realizó de la mitad de la cantidad total de la muestra, en agua a 90°C por 4 minutos.

- **Pelado**

En forma manual, haciendo uso de un cuchillo de acero inoxidable, separando la cáscara de la pulpa.

- **Partido y extracción de semilla**

Las muestras blanqueadas y no blanqueadas se trabajaron por separado, partiendo la fruta por la mitad y extrayendo la semilla haciendo uso de un cuchillo.

- **Cortado**

Estando la fruta partido en mitad y sin semilla, se procede a rebanarlas en forma transversal, haciendo uso de un rebanador manual, regulándola para obtener un espesor de 2 mm tal como recomienda Inga (2004).

- **Secado**

Las muestras rebanadas a 2 mm de espesor son colocadas en bandejas, las cuales se llevaron a un secador de aire caliente, a una temperatura de 50°C según lo recomendado por Inga (2004) por un periodo de 8 horas.

- **Molienda**

Se realizó en un molino de martillos industrial de fabricación nacional con malla 200.

- **Envasado de harina de lúcuma**

Se trabajaron en forma separada los dos tratamientos (blanqueada y no blanqueada), de las cuales una parte se envasó al vacío y la otra en presencia de oxígeno o atmósfera no modificada, para cuyo efecto se utilizó dos tipos de material de envase (polietileno y polipropileno). En total se obtuvo ocho tratamientos.

3.7.2.2. Almacenamiento

El almacenamiento se realizó por un periodo de 0, 30, 45, 60 y 75 días durante los meses de mayo a julio en condiciones ambientales de temperatura máxima promedio de 17.6 °C a 21.7 °C y humedad relativa promedio de 89 a 90 %, datos según SENAMHI (2015). Para simular un mercado de venta de este producto, por las noches el ambiente se iluminó con un fluorescente. El color en el espacio CIE L*a*b*, la concentración de carotenoides totales, la concentración de compuestos fenólicos y actividad de agua se determinó en cada uno de los periodos de almacenamiento.

3.7.3. Diseño *Experimental Estadístico*

Diseño factorial de 2^3 con replicas en todos los puntos, es decir dos niveles y tres factores o variables independientes de lo cual resulta ocho muestras por triplicado, o sea 24 muestras para cada periodo de almacenamiento, considerando las variables de estudio. Los análisis durante el almacenamiento se realizaron bajo el cronograma mostrado en la tabla 4, mientras que el diseño factorial se muestra en la tabla 5.

Tabla 4 *Cronograma*

Análisis					
	1er	2do	3er	4to	5to
Días	0	30	45	60	75

Tabla 5 *Diseño factorial*

variables independientes o factores					Variables dependientes		
Nº Experimentos	Tratamientode la muestra	Tipo de atmósfera dentro del empaque	Tipo de empaque	Color(CIE L*a*b*,YI, ΔE)	Contenido de compuestos fenolicos	Contenido de carotenoides	Aw
1	B	Vac	PE				
2	B	Vac	PP				
3	B	Ox	PE				
4	B	Ox	PP				
5	NB	Vac	PE				
6	NB	Vac	PP				
7	NB	Ox	PE				
8	NB	Ox	PP				

Este diseño se repite para el análisis de la muestra, según el cronograma establecido. Donde: B=Blanqueado; NB= No blanqueado; Vac = vacío; Ox = aire; PE: Polietileno de alta densidad; PP= Polipropileno.

3.8. Resultados

Del análisis de varianza utilizando la prueba de rangos múltiples de Duncan en la Tabla 6, se aprecia que existen diferencias significativas en los valores de L* de las muestras de yema de huevo en polvo almacenadas durante 75 días en cada momento de análisis (almacenamiento 0, 30, 45, 60 y 75 días) solo entre muestras blanqueadas y sin blanquear, sin encontrar diferencias por el tipo de empaque o la atmósfera dentro del mismo.

Como resultado, la luminosidad (L*) de las muestras blanqueadas fue menor que la de las no blanqueadas (61,23±0,23 y 61,77±0,47, respectivamente). Inga (2004) reportó valores de L de 77.55±0.03 a 79.22±0.01 para seda de lúcuma deshidratada a 50 °C. Se puede observar que los valores de L* son menores en este estudio, lo que puede deberse al uso de un espacio de color diferente según International Commision on Illumination. (2020).

Después de 30 días de almacenamiento, las muestras blanqueadas tendieron a aumentar continuamente los valores de L* en el tratamiento B-Ox-PP con un valor máximo de 63,85±0,53, mientras que los valores de las muestras sin blanquear disminuyeron drásticamente en el primer 30 días. días y luego valores L*. Hubo un ligero aumento hasta los 75 días, alcanzando 62,49 ± 1,16 en muestras NB-Vac-PE.

Toribio & Lozano (1984) señalan que la reacción de Maillard es el paso inicial para causar el pardeamiento no enzimático, consistiendo en un sistema de reacciones químicas durante el tratamiento térmico y conduciendo a la formación de pigmentos marrones, lo que explica la correlación de bajo L* con valores crudos del tratamiento de harina de lúcuma blanqueada en comparación con las muestras blanqueadas.

Tabla 6 *Valores promedios de coordenadas de color L*, a*, b*, YI y ΔE*

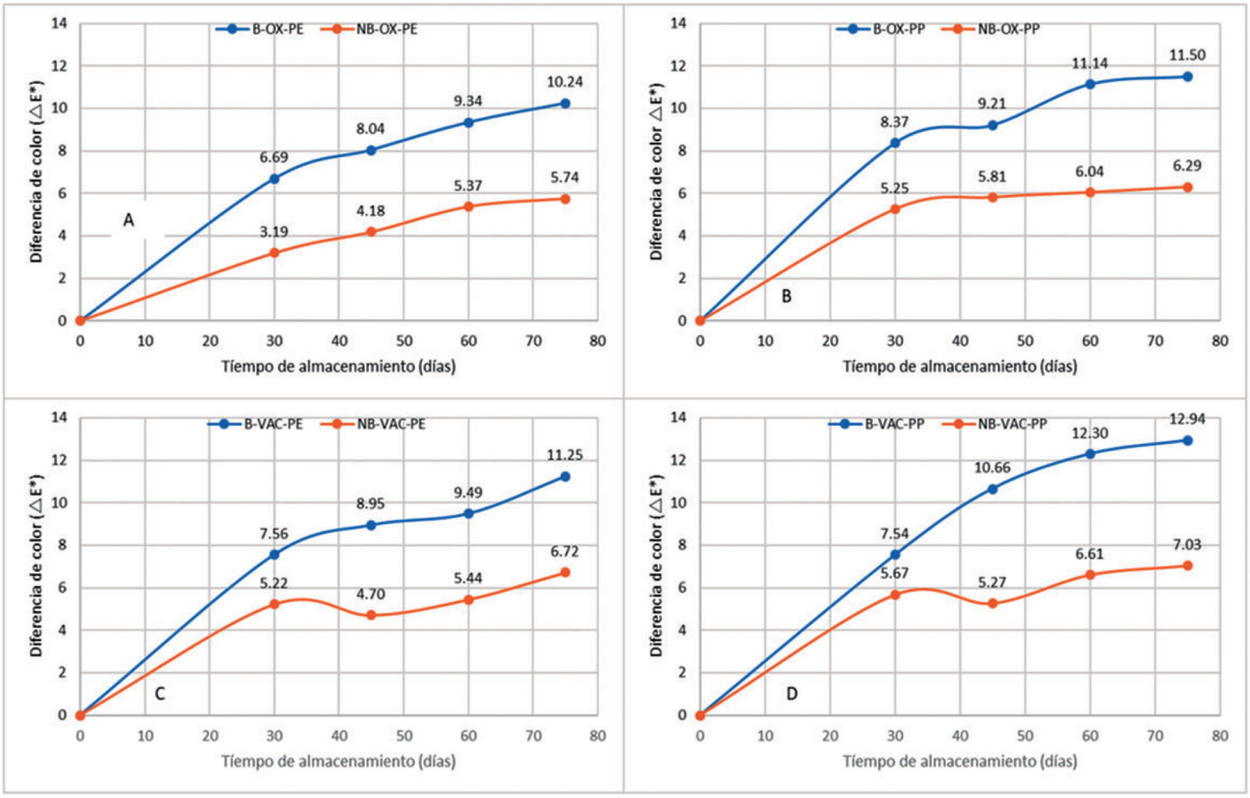
Tratamiento	Tiempo (días)	L* (luminosidad)	a*	b*	YI (Índice de amarillez)	ΔE
	0	61.23±0.23	4.49±0.23	39.11±0.08	91.25	0.00
	30	61.43±1.17	4.04±0.25	32.44±1.74	75.44	6.69
B-Ox-PE	45	63.29±0.70	3.44±0.45	31.41±1.29	70.90	8.04
	60	62.45±1.04	3.54±0.27	29.90±0.70	68.40	9.34
	75	62.85±0.71	3.42±0.16	29.06±0.54	66.05	10.24
	0	61.23±0.23	4.49±0.23	39.11±0.08	91.25	0.00
	30	61.12±1.19	3.89±0.34	30.76±0.68	71.90	8.37
B-Ox-PP	45	62.86±0.77	3.56±0.34	30.09±0.63	68.38	9.21
	60	62.76±1.17	3.12±0.27	28.16±0.78	64.10	11.14
	75	63.85±0.53	3.14±0.23	27.99±1.20	62.63	11.50
	0	61.23±0.23	4.49±0.23	39.11±0.08	91.25	0.00
	30	62.05±0.48	3.66±0.22	31.64±0.35	72.85	7.56
B-Vac-PE	45	62.74±0.71	3.44±0.18	30.35±0.57	69.11	8.95
	60	62.67±1.24	3.28±0.36	29.81±0.70	67.95	9.49
	75	63.11±0.91	3.36±0.30	28.08±0.66	63.56	11.25
	0	61.23±0.23	4.49±0.23	39.11±0.08	91.25	0.00
	30	61.27±0.80	3.68±0.18	31.61±0.66	73.70	7.54
B-Vac-PP	45	62.83±0.97	3.38±0.29	28.63±1.77	65.10	10.66
	60	63.08±1.27	2.93±0.35	27.05±1.04	61.26	12.30
	75	63.66±0.80	2.94±0.45	26.50±0.49	59.47	12.94
	0	61.77±0.47	3.52±0.10	34.46±0.15	79.70	0.00
	30	59.99±1.68	3.88±0.49	31.84±0.54	75.82	3.19
NB-Ox-PE	45	60.62±0.79	3.79±0.24	30.45±0.55	71.76	4.18
	60	61.30±1.14	3.66±0.15	29.11±0.70	67.84	5.37
	75	62.18±0.99	3.57±0.25	28.73±0.41	66.01	5.74
	0	61.77±0.47	3.52±0.10	34.46±0.15	79.70	0.00
	30	59.50±0.98	4.16±0.25	29.77±0.46	71.48	5.25
NB-Ox-PP	45	59.45±0.62	3.90±0.17	29.15±0.42	70.05	5.81
	60	60.72±1.08	3.92±0.28	28.53±0.43	67.12	6.04
	75	61.46±0.90	3.92±0.28	28.19±0.67	65.53	6.29
	0	61.77±0.47	3.52±0.10	34.46±0.15	79.70	0.00
	30	58.57±0.32	4.15±0.22	30.38±0.48	74.10	5.22
NB-Vac-PE	45	60.91±0.76	3.70±0.36	29.84±0.55	69.99	4.70
	60	60.99±0.74	3.77±0.17	29.08±0.88	68.12	5.44
	75	62.49±1.16	3.49±0.27	27.78±0.66	63.51	6.72
	0	61.77±0.47	3.52±0.10	34.46±0.15	79.70	0.00
	30	59.30±0.71	4.12±0.42	29.39±0.72	70.80	5.67
NB-Vac-PP	45	61.17±1.16	3.86±0.14	29.24±0.38	68.29	5.27
	60	59.98±0.75	3.88±0.20	28.11±0.40	66.95	6.61
	75	61.66±1.28	3.73±0.43	27.43±0.89	63.55	7.03

Al respecto, Tang y Chen (2000) determinaron cambios en los valores de L, a y b de Hunter en polvo de carotenoides almacenados a la luz a 25ºC durante 12 semanas, con valores de L que oscilan entre 92,8 (semana cero) y 90, 1 (12 semanas). Después de un almacenamiento de 30 días en condiciones ambientales con una temperatura máxima promedio de 17,6 °C a 21,7 °C y una humedad relativa promedio de 89 %, este comportamiento en valores L* fue similar al de las muestras de yema de huevo sin blanquear este estudio.

3.8.1. Interacción del Blanqueado, Envasado y tipo de Empaque en la Diferencia de Color (⊿E)*

En la figura 8 se pueden apreciar las diferencias de color ΔE*, entre las muestras analizadas al inicio del experimento (día cero) y las muestras analizadas en los diferentes lapsos temporales de almacenamiento. Durante los primeros 30 días, todas las muestras tuvieron un pronunciad incremento de ΔE*. Las muestras blanqueadas tuvieron mayor diferencia de color que las muestras no blanqueadas. Según la forma de envasado, las muestras al vacío mostraron mayor diferencia de color ΔE*. Las muestras empacadas en PP tienen mayor ΔE* respecto a las muestras empacadas en PE. Por lo tanto, hasta los 30 días de almacenamiento el menor cambio de color se presentó en las muestras de harina de lúcuma no blanqueadas, envasadas en PE y sin vacío.

Figura 8 *Diferencia de color (ΔE*)*



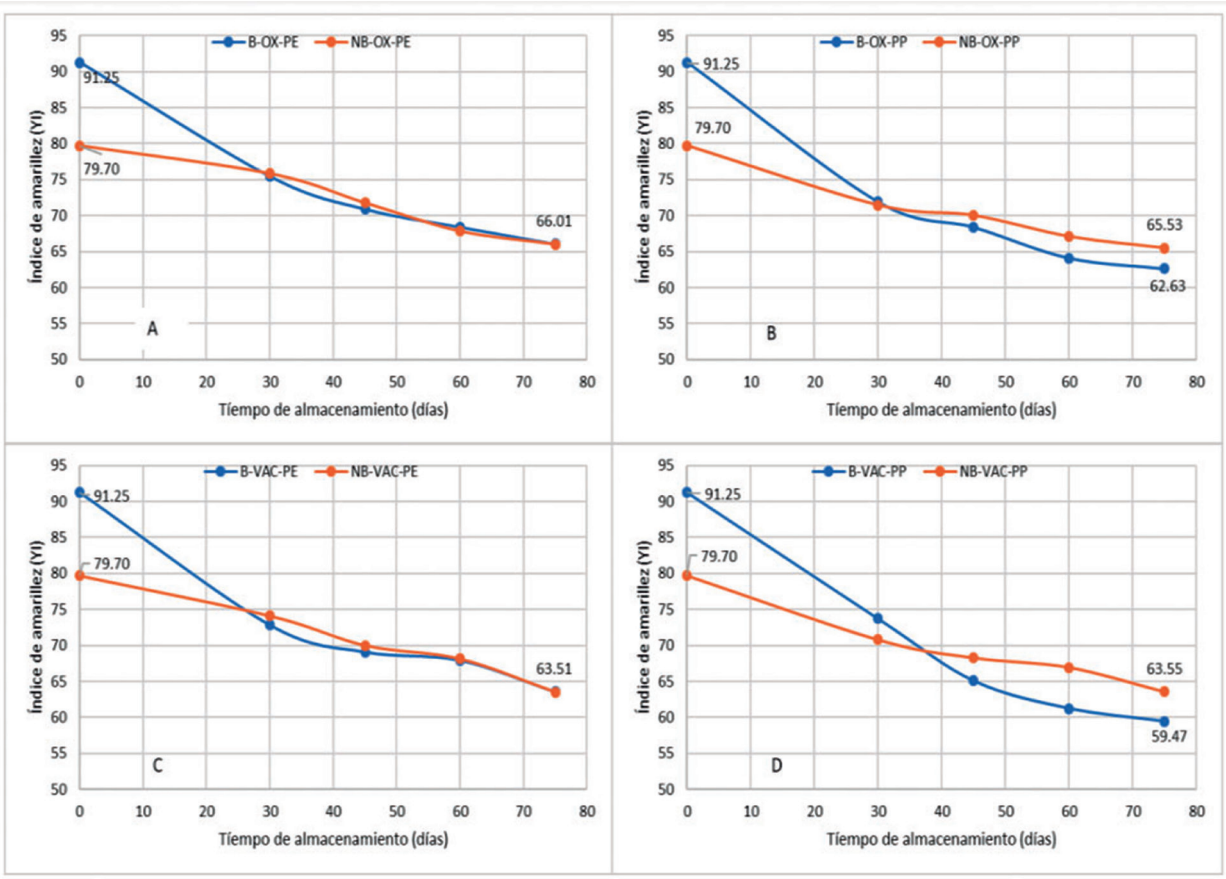
Desde el día 30 al 75 días, en todas las muestras el incremento de la diferencia de color ΔE* fue moderado, pero mantuvo el mismo comportamiento hasta el final. La muestra con mayor ΔE* es B-Vac-PP con 52 valor inicial de 7.54 (30 días) y final de 12.94 (75 días) unidades, en contraposición, el menor ΔE* la obtuvo la muestra NB-Ox-PE cuyo valor inicial fue 3.19 (30 días) y valor final fue 5.74 (75 días) unidades; aunque la mayor estabilidad después de los 30 días la presentó el tratamiento NB-Ox-PP.

3.8.2. Interacción del Blanqueado, Envasado y tipo de Empaque en el Índice de Amarillez (YI)

En la Figura 9 se aprecia el índice de amarillez (YI). A los 0 días de almacenamiento en las muestras blanqueadas es mayor que en las muestras no blanqueadas (91.25 y 79.70 respectivamente), esto sucede hasta los 30 días de almacenamiento. Luego ambos valores tienden a disminuir drásticamente en especial para las muestras blanqueadas. Entre los 30 y 75 días de almacenamiento persiste esta propensión a disminuir. Es notorio en las muestras envasadas al vacío, que presentan

valores inferiores comparándolas con las muestras que no han sido envasadas de este modo. Analizando el efecto que tiene el tipo de empaque, se puede apreciar que las muestras empacadas en PE tienen mayor índice de amarillez que las muestras en PP. Pasados los 75 días el índice más alto de amarillez lo obtuvieron las muestras B-Ox-PE y NB-Ox-PE con 66.0 unidades, mientras que la de menor índice fue B-Vac-PP con 59.47 unidades.

Figura 9 *Índice de amarillez (YI) debido a la acción del blanqueado, envasado al vacío y tipo de material de empaque*



3.8.3. Interacción del Blanqueado, Envasado y tipo de Empaque en el Contenido de Carotenoides

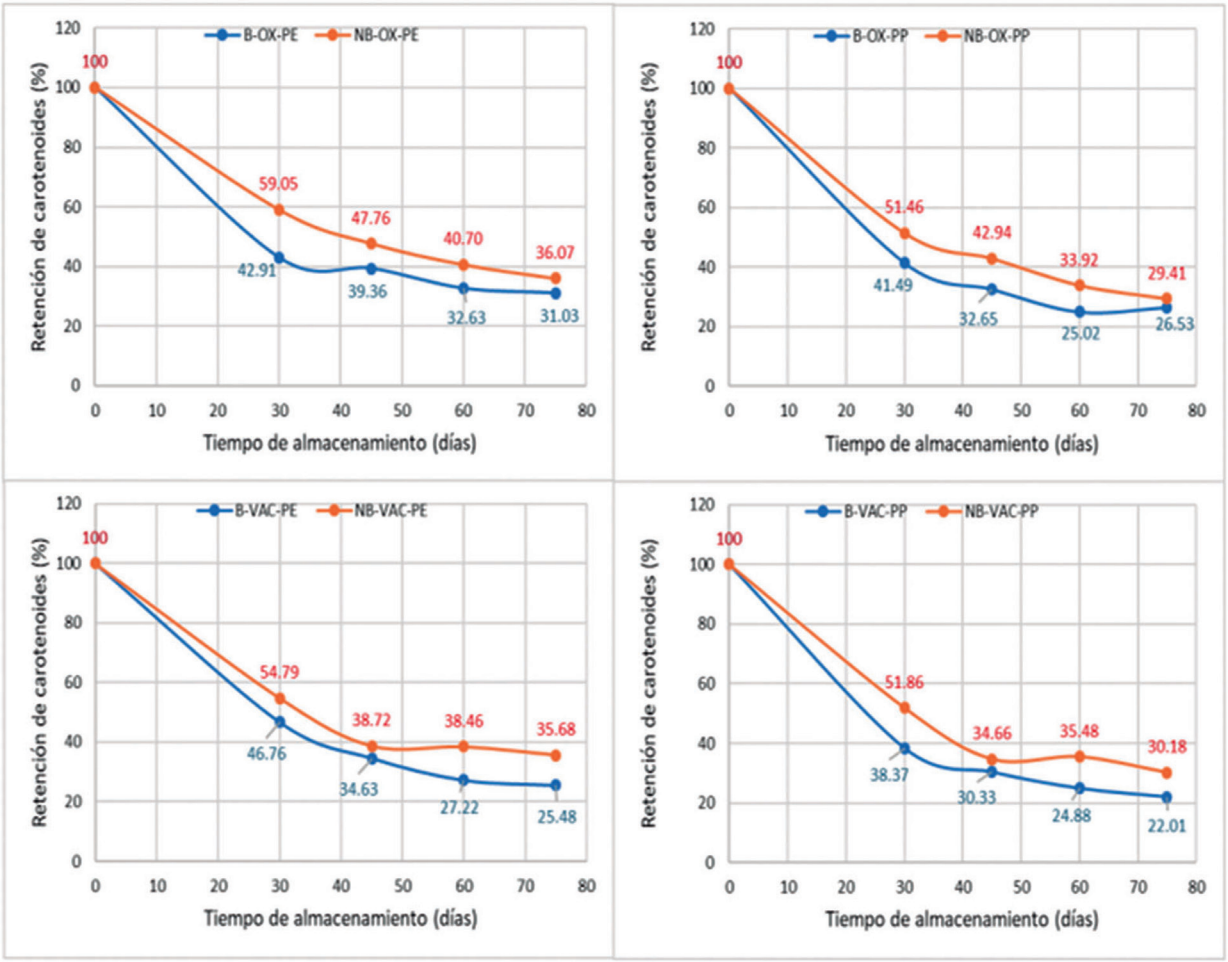
De acuerdo a la Tabla 7, el contenido de carotenoides en harina de lúcuma en muestras blanqueadas y sin blanquear, al inicio del experimento, fue de 0.173 y 0.131 mg carotenoides /g m.s. de harina de lúcuma respectivamente.

Tabla 7 *Contenido y retención de carotenoides*

Tratamiento 0		Tiempo de almacenamiento (días)				
		30	45	60	75	
B-Ox-PE	mg carotenoides /g m.s.	0.173±0.0054	0.074±0.0039	0.068±0.0044	0.056±0.0023	0.054±0.0051
	Retención (%)	100	42.91	39.36	32.63	31.03
B-Ox-PP	mg carotenoides /g m.s.	0.173±0.0054	0.072±0.0033	0.056±0.0026	0.043±0.0031	0.045±0.0057
	Retención (%)	100	41.49	32.65	25.02	26.53
B-Vac-PE	mg carotenoides /g m.s.	0.173±0.0054	0.081±0.0025	0.060±0.0086	0.047±0.009	0.044±0.0018
	Retención (%)	100	46.76	34.63	27.22	25.48
B-Vac-PP	mg carotenoides /g m.s.	0.173±0.0054	0.066±0.0053	0.052±0.0028	0.043±0.005	0.038±0.0024
	Retención (%)	100	38.37	30.33	24.88	22.01
NB-Ox-PE	mg carotenoides /g m.s.	0.131±0.0067	0.077±0.0032	0.062±0.0106	0.053±0.0015	0.047±0.0021
	Retención (%)	100	59.05	47.76	40.70	36.07
NB-Ox-PP	mg carotenoides /g m.s.	0.131±0.0067	0.067±0.0090	0.056±0.004	0.0448±0.004	0.038±0.0019
	Retención (%)	100	51.46	42.94	33.92	29.41
NB-Vac-PE	mg carotenoides /g m.s.	0.131±0.0067	0.072±0.0045	0.051±0.0068	0.050±0.0056	0.047±0.0013
	Retención (%)	100	54.79	38.72	38.46	35.68
NB-Vac-PP	mg carotenoides /g m.s.	0.131±0.0067	0.068±0.0037	0.045±0.0037	0.046±0.0007	0.039±0.0031
	Retención (%)	100	51.86	34.66	35.48	30.18

En la Figura 10 Se observa que las muestras no blanqueadas (NB-Ox-PE) retuvieron mayor porcentaje de carotenoides (36.07 %) con respecto a las muestras blanqueadas (21.8 % en B-Vac-PP). Al respecto Pitchiah (2004) encontró 19.33 % de retención de β-caroteno en polvo de zanahoria deshidratada previamente blanqueada y almacenada con exposición a la luz a 25°C, desempeño similar al hallado en este caso. Las muestras que no fueron envasadas al vacío presentan alta retención de carotenoides a diferencia de las que fueron envasadas al vacío. Las muestras almacenadas en PE presentaron mayor retención del contenido de carotenoides.

Figura 10 *Retención de carotenoides debido de la interacción del blanqueado, forma de envasado y tipo de empaque, durante su almacenamiento*



3.8.4. Interacción del Blanqueado, Envasado y Tipo de Empaque en el Contenido de Compuestos Fenólicos Totales

En la Tabla 8 se observa que, durante la etapa inicial del almacenamiento, las muestras que fueron blanqueadas y no blanqueadas no dieron señas de diferencias significativas (104.05 y 108.50 mg AGE/100 g m.s. respectivamente). Pasados los 30 días, todas las muestras presentaron una disminución pronunciada en el contenido de compuestos fenólicos totales, existiendo sustanciales diferencias entre muestras blanqueadas - no blanqueadas y polietileno – polipropileno. En la forma de envasado (al vacío y en presencia de oxígeno) no hubo diferencia significativa por lo que la muestra B-Vac-PE tuvo el menor contenido de compuestos fenólicos con 18.54±0.907 mg AGE/100 g m.s. que corresponde al 17.82 % de retención.

Hacia los 45 días, se observa un aumento del contenido de compuestos fenólicos, excepto los tratamientos no blanqueados y con polipropileno, existiendo diferencia significativa solo entre los niveles de las variables forma de envasado y tipo de empaque, así, la tasa de retención en este periodo de almacenamiento se encuentra entre 29.24 % y 37.09 %

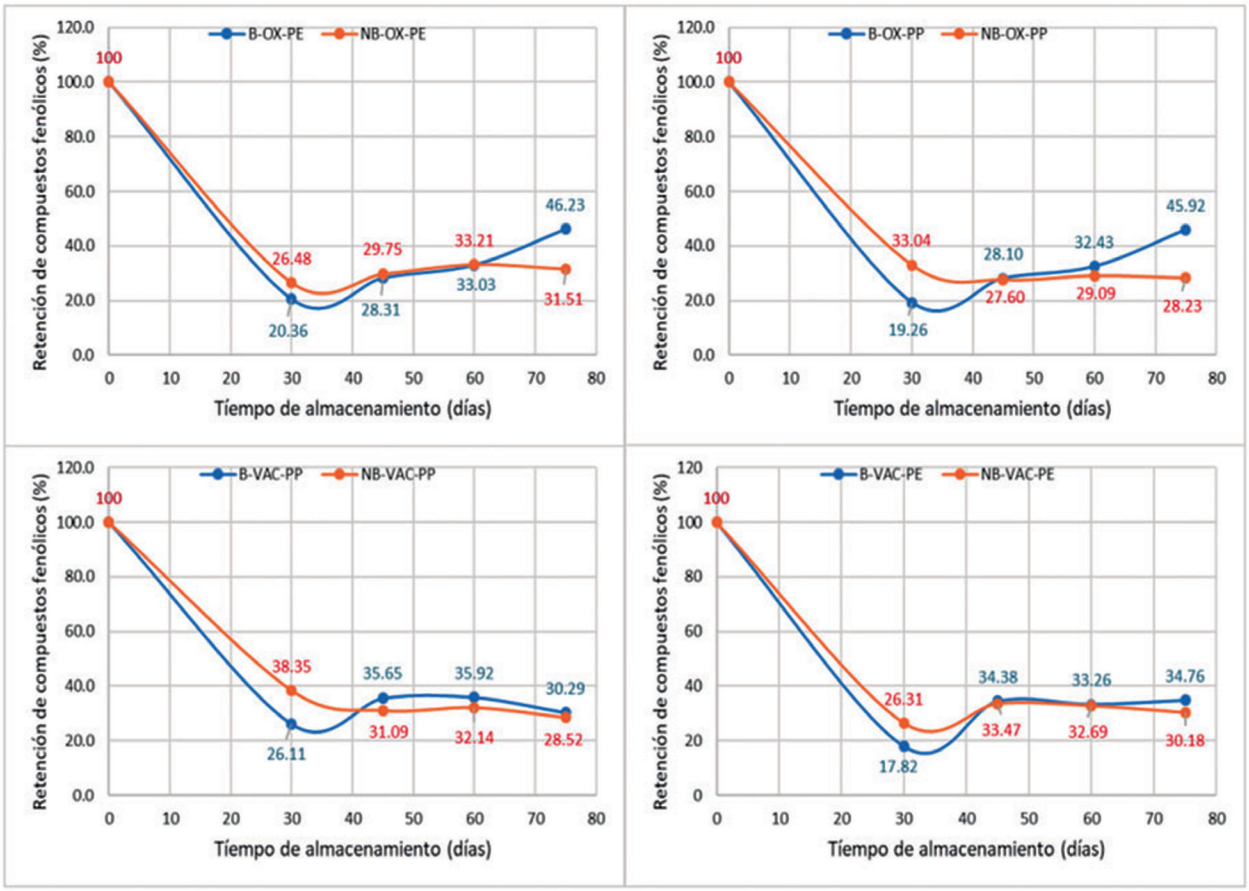
Tabla 8 *Contenido y retención de compuestos fenólicos totales*

Tratamientos		Tiempo de almacenamiento (días)				
		0	30	45	60	75
B-Ox-PE	mg AGE / 100 gm.s.	104.05±9.984	21.18±1.631	29.46±1.517	34.36±1.710	48.10±0.235
	Retención (%)	100	20.36	28.31	33.03	46.23
B-Ox-PP	mg AGE / 100 gm.s.	104.05±9.984	20.04±6.294	29.24±1.495	33.74±0.769	47.78±1.647
	Retención (%)	100	19.26	28.10	32.43	45.92
B-Vac-PE	mg AGE / 100 gm.s.	104.05±9.984	18.54±0.907	35.77±4.051	34.61±6.451	36.17±0.226
	Retención (%)	1.00	17.82	34.38	33.26	34.76
B-Vac-PP	mg AGE / 100 gm.s.	104.05±9.984	27.16±9.464	37.09±6.472	37.38±2.387	31.52±0.726
	Retención (%)	100	26.11	35.65	35.92	30.29
NB-Ox-PE	mg AGE / 100 gm.s.	108.5±1.556	28.78±4.398	32.28±0.237	36.03±1.068	34.18±1.594
	Retención (%)	100	26.48	29.75	33.21	31.51
NB-Ox-PP	mg AGE / 100 gm.s.	108.5±1.556	35.84±12.485	29.95±0.897	31.57±1.469	30.63±0.345
	Retención (%)	100	33.04	27.60	29.09	28.23
NB-Vac-PE	mg AGE / 100 gm.s.	108.5±1.556	28.54±2.403	36.32±3.759	35.47±1.802	32.75±0.794
	Retención (%)	100	26.31	33.47	32.69	30.18
NB-Vac-PP	mg AGE / 100 gm.s.	108.5±1.556	41.61±8.337	33.73±3.700	34.87±1.665	30.94±0.326
	Retención (%)	100	38.35	31.09	32.14	28.50

Llegados los 60 días, los tratamientos aumentaron ligeramente su concentración de compuestos fenólicos en relación al periodo anterior, excepto B-VacPE y NB –Vac-PE

en los que se evidenció una ligera disminución y no existe diferencia significativa entre los niveles de ninguna variable, obteniéndose una tasa de retención entre 31.57 % y 37.38 % (B-VacPP). Durante el almacenamiento de 75 días se presentaron diferencias significativas entre blanqueado (aumentó) – no blanqueado (disminuyó), vacío (disminuyó) – oxígeno (aumentó) y polietileno (aumentó) – polipropileno (aumentó), donde la tasa de retención se encuentra entre 28.23 % y 46.23 %. El tratamiento B-Ox-PE tiene el mayor contenido de compuestos fenólicos de 48.10±1.647 mg AGE/100 g m.s.

Figura 11 *Retención de compuestos fenólicos totales*



La composición de fenólicos en las especies vegetales, puede ser plantas puede ser influenciada por tecnologías de procesamiento de alimentos, así como tratamientos de calor, prensado, fermentación, secado, etc. Como regla general, durante el procesamiento,

la biosíntesis es interrumpida por la destrucción de enzimas y/o degradación de estructura celular. El procesamiento puede intensificar la degradación de compuestos fenólicos (química o enzimáticamente si las enzimas oxidativas no han sido inactivadas) o pueden producir cambios químicos que afecta las características de calidad.

3.8.5. Interacción del Blanqueado, Envasado y tipo de Empaque en la Actividad de Agua

Tanto en la Tabla 9 como en la Figura 12 se pueden apreciar los resultados de la actividad de agua.

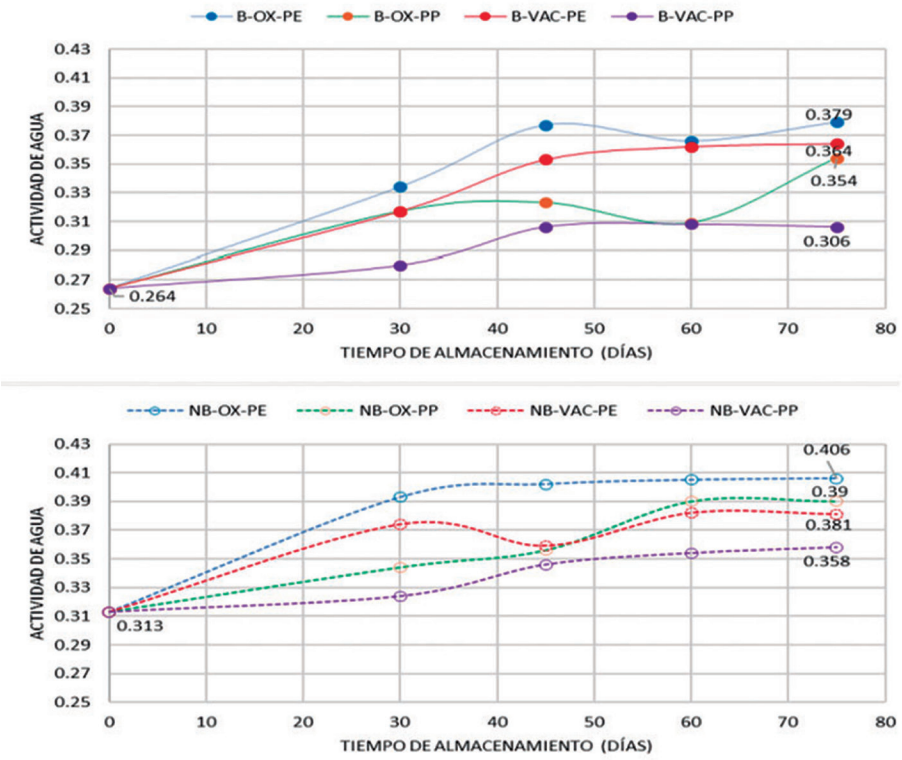
Tabla 9 *Actividad de agua*

	Tratamiento	Tiempo de almacenamiento (días)				
		0	30	45	60	75
Actividad de agua (aw)	B-Ox-PE	0.264±0.0006	0.334±0.017	0.377±0.047	0.366±0.009	0.379±0.022
	B-Ox-PP	0.264±0.0006	0.317±0.012	0.323±0.020	0.309±0.006	0.354±0.038
	B-Vac-PE	0.264±0.0006	0.317±0.009	0.353±0.038	0.362±0.027	0.364±0.018
	B-Vac-PP	0.264±0.0006	0.280±0.014	0.306±0.015	0.308±0.022	0.306±0.005
	NB-Ox-PE	0.313±0.0006	0.393±0.003	0.402±0.031	0.405±0.022	0.406±0.010
	NB-Ox-PP	0.313±0.0006	0.344±0.009	0.356±0.003	0.390±0.022	0.390±0.024
	NB-Vac-PE	0.313±0.0006	0.374±0.012	0.359±0.004	0.382±0.013	0.381±0.009
	NB-Vac-PP	0.313±0.0006	0.324±0.012	0.346±0.007	0.354±0.002	0.358±0.012

En muestras que fueron blanqueadas al inicio del experimento la actividad de agua fue 0.2643 y en muestras no blanqueadas fue 0.3127, que de acuerdo al análisis de varianza y la prueba del rango múltiple de Duncan presentaron diferencia significativa. Durante los periodos de almacenamiento (0, 30, 45, 60 y 75 días) se hicieron presentes diferencias significativas entre la actividad de agua de los tratamientos: blanqueado – no blanqueado,

vacío – oxígeno y polietileno – polipropileno, donde todos tienden a incrementar su valor de actividad de agua hasta el final.

Figura 12 *Actividad de agua*



Entre muestras blanqueadas y no blanqueadas, se encontró que las segundas, siempre tienen mayor valor de actividad, y se obtuvo que las muestras envasadas en oxígeno tuvieron valores de actividad de agua superiores en todos los casos. En el caso del empacado en PE y PP, se observó que las muestras en polietileno presentan mayor actividad en comparación con las envasadas en polipropileno. Por lo tanto, las muestras NB-Ox-PE son las que presentaron mayores valores, entre 0.313 % a 0.406 % al final, mientras que las muestras con menos valor son las que fueron sometidas al tratamiento B-Vac-PP (0.264 % a 0.306 %). El tipo empaque y la presencia de oxígeno presentaron una gran influencia en el incremento de la actividad de agua, presentándose para B-Vac-PP.

3.8.6. Relación entre Carotenoides, Compuestos Fenólicos Totales y Actividad de Agua

En la Tabla 10 se muestran los valores del coeficiente de determinación (R2) y el coeficiente de correlación (r) entre la tasa de retención de carotenoides con el índice de amarillez, la tasa de retención de compuestos fenólicos con índice de amarillez y actividad de agua con índice de amarillez.

El coeficiente de determinación y el coeficiente de correlación lineal es más elevado en el tratamiento B-Ox-PP. En general se puede afirmar que la pérdida del color amarillo está directamente relacionada con la disminución de los carotenoides y en menor relación con los compuestos fenólicos. En cuanto a la actividad de agua se observa que tiene una relación indirecta.

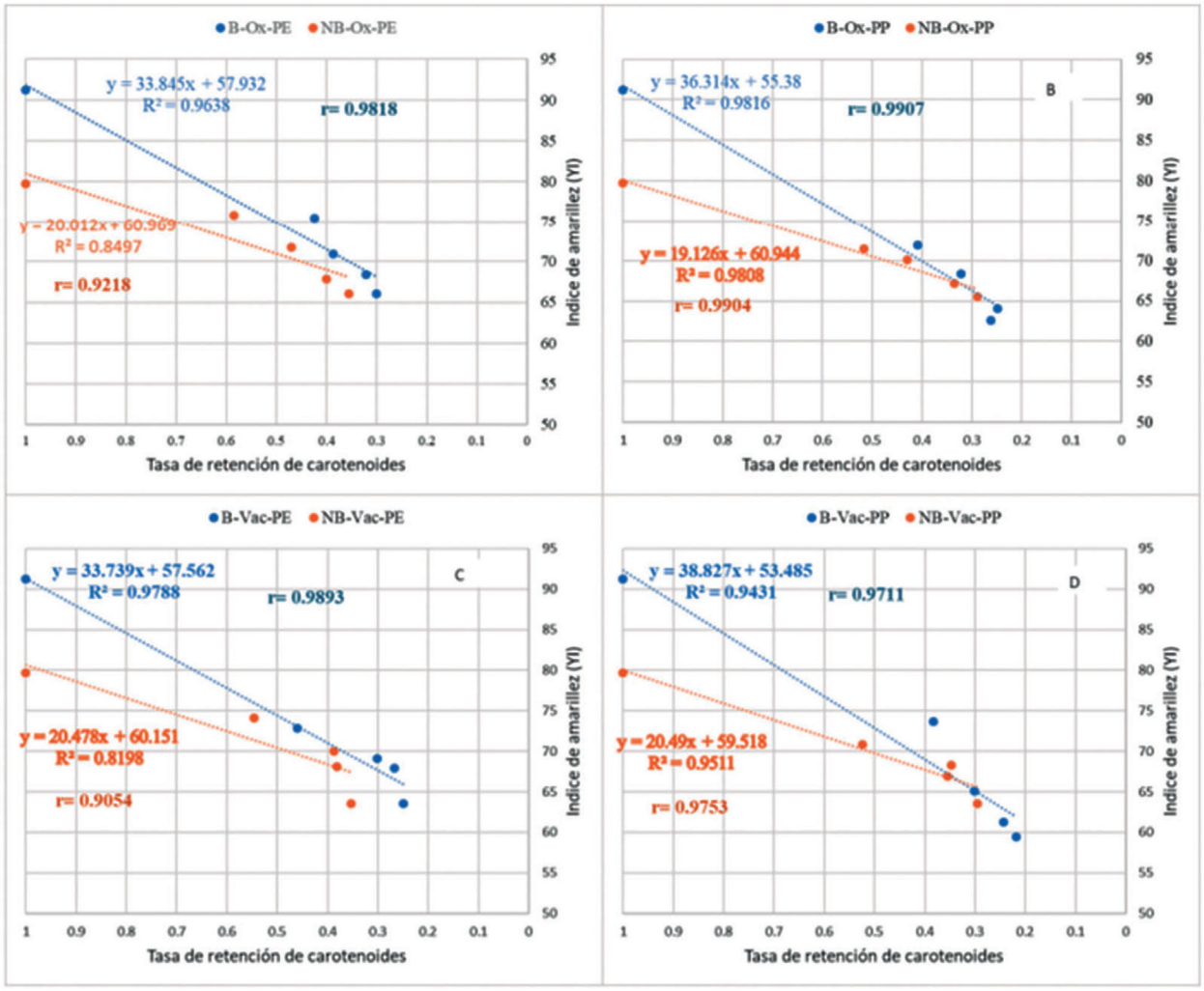
Tabla 10 *Factor de correlación*

Tratamiento	Carotenoides vs índicede amarillez		C. fenólicos vs índice deamarillez		Actividad de agua vs índice de amarillez	
	R^2	r	R^2	r	R^2	r
B-Ox-PE	0.9638	0.9818	0.652	0.8075	0.9616	-0.9806
B-Ox-PP	0.9816	0.9907	0.6731	0.8204	0.7894	-0.8885
B-Vac-PE	0.9788	0.9893	0.7651	0.8747	0.9425	-0.9708
B-Vac-PP	0.9431	0.9711	0.7518	0.8671	0.9323	-0.9656
NB-Ox-PE	0.8497	0.9218	0.4801	0.6929	0.669	-0.8180
NB-Ox-PP	0.9808	0.9904	0.8517	0.9229	0.9298	-0.9643
NB-Vac-PE	0.8198	0.9054	0.5763	0.7591	0.6872	-0.8290
NB-Vac-PP	0.9511	0.9753	0.8956	0.9464	0.8665	-0.9309

3.8.6.1. Relación entre Carotenoides e Índice de Amarillez (YI)

Se presenta en la Figura 13 el coeficiente de determinación (R2) y el coeficiente de correlación linear (r), es decir, el modelo lineal explicaría entre un 94.31 % a 98.16 % por ciento la variabilidad del índice de amarillez. Además, los valores del coeficiente de correlación lineal (r) fueron entre 0.9711 % y 0.9907 %, lo cual indica que existe una fuerte asociación entre las variables.

Figura 13 *Relación entre la tasa de retención de carotenoides y el índice de amarillez (YI)*



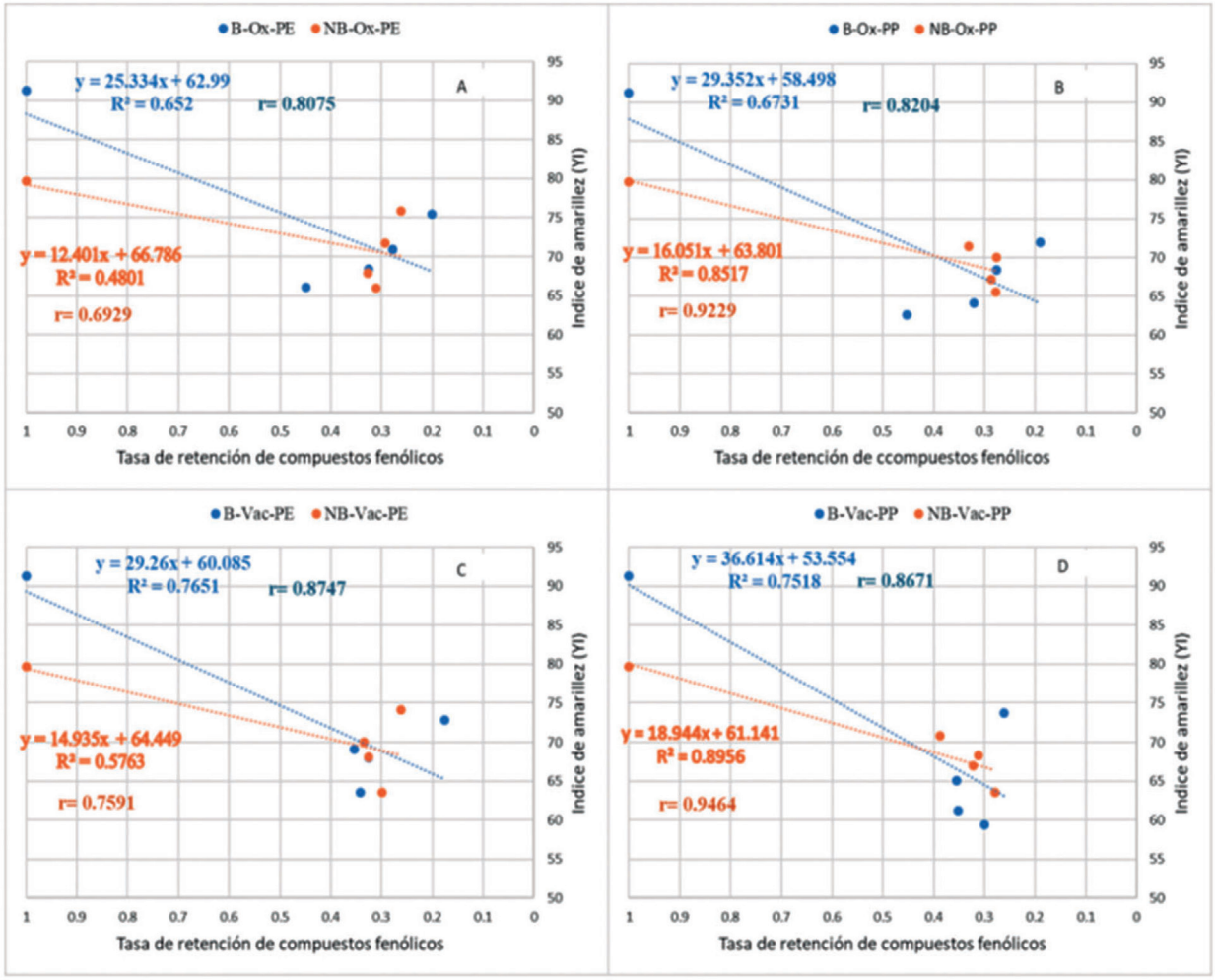
Los tratamientos no blanqueados tienen un coeficiente de determinación (R2) en un rango más amplio en la que el modelo lineal explicaría entre 81.92 % a 98.0 % la variabilidad del índice de amarillez. El coeficiente de correlación lineal estuvo entre 0.9054 y 0.9904. Estos resultados indican una elevada correlación entre la tasa de retención de los carotenoides y el índice de amarillez.

3.8.6.2. Relación entre Compuestos Fenólicos Totales e Índice de Amarillez (YI)

En la figura 14 se encontró un índice de determinación (R2) entre 48.01 % y 89.56 % y un coeficiente de correlación (r) entre 0.6929 y 0.9464. Estos valores son relativamente

más bajos y se encuentran dentro de un rango más amplio en comparación con la relación entre la tasa de retención de los carotenoides y el índice de amarillez.

Figura 14 *Relación entre la tasa de retención de compuestos fenólicos y el índice de amarillez (YI)*

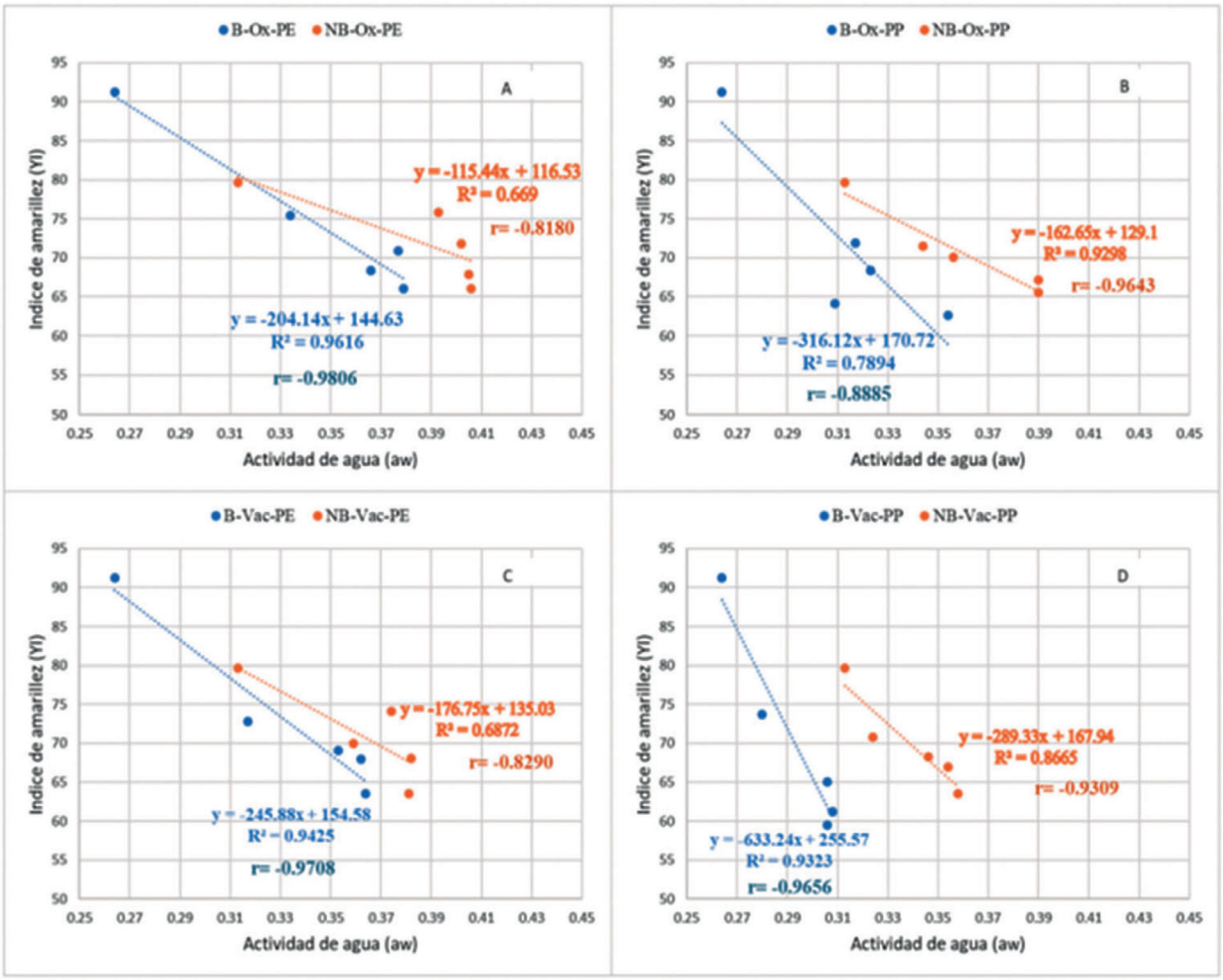


3.8.6.3. Relación entre Actividad de Agua e Índice de Amarillez (YI)

Se muestran correlaciones obtenidas en la figura 15. Los coeficientes de determinación (R2) fueron mayores a 0.9 para tres de los tratamientos donde la lúcuma fue blanqueada antes del secado (B-Ox-PE, B-Vac-PE y B-Vac-PP) en tanto para B-Ox-PP la correlación no fue muy buena con un R2 de 0.78. Para el caso de las muestras de lúcuma no blanqueadas antes del secado, la correlación entre el índice de amarillez de la harina y la actividad de

agua, durante el almacenamiento, fue mayor a 0.9 solamente para el tratamiento NB-Ox-PP, mientras que para los otros tratamientos se encontró entre 0.8 y 0.6.

Figura 15 *Relación entre la actividad de agua y el índice de amarillez (YI)*



Sin embargo, el valor (r) que explica la correlación lineal, se encontró entre -0.8180 (NBOx-PE) y -0.9806 (B-Ox-PE), señalando una elevada asociación lineal, sin embargo, esta asociación es inversa, es decir, mientras la actividad de agua se incrementa la pérdida de color se acentúa, la cual está muy relacionada con la pérdida de carotenoides. En la presente investigación, el comportamiento de la relación entre la actividad de agua y 68 el color, es corroborada por Badui (2006), quien indica que la estabilidad de los carotenoides depende de la actividad de agua y tiene un efecto indirecto.

3.9. Conclusiones

- En un principio la harina de lúcuma blanqueada demostró un índice mayor de amarillamiento y contenido carotenoideo, pero menor capacidad de compuestos fenólicos y actividad de agua, en comparación con las muestras que no se blanquearon.
- La diferencia de color ΔE* aumentó gradualmente para todos los tiempos de tratamiento durante el almacenamiento, y el tratamiento BVac-PP mostró el valor más alto. Mientras que el índice de amarilleamiento para el tratamiento blanqueado disminuyó de 91.25 a 59.47 y el tratamiento sin blanquear de 79.70 a 63.51 con el tiempo. El tratamiento NB-Ox-PE mostró un índice de amarilleamiento más alto. En caso contrario, es un tratamiento B-Vac-PP. Así, mientras exista un índice menor de amarilleamiento, se incrementará la diferencia de color ΔE*.
- La mayor retención de carotenoides se presentó en las muestras sin blanquear envasadas al aire (sin vacío) y polietileno (36,07 % NB-Ox-PE), mientras que la menor retención se presentó en las muestras tratadas con B-Vac-PP, 22,01 %.
- Para todos los tratamientos la retención de compuestos fenólicos disminuyó en los primeros 30 días y aumentó o se mantuvo constante de los 30 a los 75 días, por lo que el tratamiento B-Ox-PE fue el que mejor retuvo alcanzando el 46,23 %, en caso contrario es NB-Vac. -Procesamiento de PP 28,52 %.
- En cuanto a la actividad de agua, ésta aumentó en todos los tratamientos hasta los 45 días de almacenamiento y se mantuvo casi constante desde entonces hasta los 75 días. La lúcuma se blanqueó y la harina se envasó al vacío y se trató en polipropileno para mostrar una menor actividad de agua.
- El envasado sin vacío (Ox) conservó mejor el color, los carotenoides y los compuestos fenólicos, pero el envasado al vacío mostró una menor actividad de agua al final de los 75 días de almacenamiento.

- De los empaques que fueron sometidos a análisis, el HDPE tuvo la mayor retención de color y mejor retención de carotenoides y compuestos fenólicos bajo las condiciones de almacenamiento, luz, temperatura y humedad ambiental de este trabajo.

3.10. Recomendaciones

- Investigar acerca de la incidencia de la actividad de agua en la capacidad antioxidante de los compuestos bioactivos encontrados en la harina de lúcuma. Ésta debería provenir de diferentes métodos de secado como la ventana refractante en un lapso de almacenamiento promedio de 30 días
- Analizar e identificar los metabolitos de orden secundario en la pulpa y harina de lúcuma con calidad de exportación, para ello se debe con templar distintas condiciones de almacenaje, relacionándolas con las características organolépticas que se desee trabajar tales como sabor, color y textura.
- Investigar desde diversos puntos de enfoque disciplinario el efecto de los procesos aplicados al almacenaje de pulpa y harina de lúcuma en la disponibilidad biológica de sus compuestos bioactivos.

REFLEXIONES FINALES

CAPÍTULO IV

Se han contemplado diversos factores para analizar los compuestos que conforman la harina de lúcuma. Se ha determinado que los niveles de concentración vitamínica son altos, a comparación de otras frutas de gran consumo como lo son las manzanas, naranjas o plátanos. Es patente la contribución que podría realizar a la dieta y su valor nutricional y cultural, son aspectos que valen la pena resaltar.

A pesar de los avances tecnológicos implementados en el área de la agricultura, en el Perú aún no se han implementado de manera adecuada las políticas correspondientes para un desarrollo del agro, además de presentar deficiencias en las inversiones destinadas para la producción. Es importante resaltar esto, puesto que constituye una fuente de ingresos en beneficio del país. La exportación de productos derivados se encuentra en un nivel bajo, pudiendo sufrir un incremento sustancial de implementarse la creación de industrias, con productos originales que se situarían en lugares privilegiados del mercado internacional.

Se ha podido analizar, desde una perspectiva gastronómica, que la valoración de los productos peruanos en el extranjero, redunda de manera positiva en el mercado interno. La ingente variedad de materias primas y derivados de plantas oriundas, nativas y rebosantes de propiedades beneficiosas para la salud, podría ser el punto de inicio de una serie de productos a promocionar, asegurando un mercado internacional favorable.

En sabor de la lúcuma es un éxito en el mercado europeo, norteamericano y asiático pues a que el sabor les resulta muy diferente, también influye el aroma exótico, por lo tanto, es una buena alternativa para el nuevo consumidor.

Destaca la lúcuma por las propiedades relacionadas al sabor, aroma y textura, constituyendo una alternativa ideal para el consumo a nivel mundial. Debe ser parte de la agenda política, social y económica, el establecimiento de reglas claras y precios adecuados para impulsar su venta y consumo, considerando que en la actualidad se ha despertado la preocupación por la adquisición de productos naturales que garanticen la buena salud de los ciudadanos.

De este modo se espera haber contribuido con el conocimiento necesario sobre productos relacionados a esta especie nativa, sus componentes, subproductos y alto potencial económico de comercialización interna y externa. Se puede asegurar que sus perspectivas a futuro son alentadoras debido a la ingente cantidad de beneficios que conlleva. Se incentiva desde la presente investigación, a continuar estudiando procedimientos que permitan trabajar con la lúcuma, una herencia desde tiempos andinos, en vías de mejorar la calidad de vida de los futuros peruanos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdel-Aal, E., Akhtar, H., Zaheer, K. y Ali, R. (2013). Dietary sources of lutein and zeaxanthin carotenoids and their role in eye health. *Nutrients, 5*(4), 1169-1185. doi: 10.3390/nu5041169

Aguirre, C. (2016). *Efecto de la adición de pulpa de lúcuma (pouteria ovoata), variedad seda sobre el color sensorial, color y firmeza instrumental y aceptabilidad general en muffins* [Tesis de Titulación, Universidad Privada Antenor Orrego]. https://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/20.500.12759/2474/1/RE_IND.ALIM_CAROL.AGUIRRE_EFECTO.DE.LA.ADICION.DE.PULPA.DE.LUCUMA_DATOS.PDF

Ahmed, J., Kaur, A. y Shivhare, U. (2002). Color degradation kinetics of spinach, mustard leaves, and mixed puree. *Journal of Food Science, 67*(3), 1088-1091. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb09457.x

Alegre, M. y Ticse, A. (2017). *Caracterización de macrocomponentes en pulpa congelada de tres biotipos de lúcuma (Pouteria lucuma)* [Tesis de Grado, Universidad San Ignacio de Loyola]. https://repositorio.usil.edu.pe/entities/publication/70c39b1a-c926-4aef-ba21-22091b1a52f4

Álvarez, Z., Bravo, L. y Tagami, R. (2006). Plan de negocios para la industrialización y exportación de lúcuma de seda. *Cuadernos de Difusión, 11*(21), 97-114. https://doi.org/10.46631/jefas.2006.v11n21.05

Amazon Andes. (2019). *Nutridato Lúcuma.* Facebook. https://www.facebook.com/amazonandes.export/photos/a.807913695994734/2346207118832043/?type=3&locale=es_LA

Arándiga, G. (2008). *Estudio del licopeno del tomate como colorante natural desde la perspectiva analítica e industrial* [Trabajo de Investigación, Universidad Politécnica de Catalunya]. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/5544/Resum.pdf

Arango, J. (2006). *Análisis de expresión de los genes de la ruta biosintética de carotenos, y cuantificación de carotenos en hojas y raíces de plantas de yuca a diferentes edades.* [Trabajo de Grado, Pontificia Universidad Javeriana]. https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8858/tesis80%20(1).pdf

Autino, J., Romanelli, G. y Ruiz, D. (2013). *Introducción a la Química Orgánica.* Editorial de la Universidad de Río de la Plata. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/31664/AUTINO;jsessionid=D4BF870FBE514C8665701BCEAA892B78

Badui, S. (2006). *Química de los Alimentos.* Pearson Addison Wesley. https://fcen.uncuyo.edu.ar/upload/libro-badui200626571.pdf

Bello, D., Carrera, E. y Díaz, Y. (2006). Determinación de azúcares reductores totales en jugos mezclados de caña de azúcar utilizando el método del ácido 3,5 dinitrosalicílico. *ICIDCA, 40*(2), 45-50. https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120664006.pdf

Brack, A. (1999). *Diccionario Enciclopédico de plantas útiles del Perú.* Cusco CBC. http://biblioteca.culturacusco.gob.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=3524

Bowsher, C., Steer, M. y Tobin, A. (2008). *Plant Biochemistry*. GS, Garland Science, Taylor & Francis Group. https://doi.org/10.4324/9780203833483

Boza, D., Caipo, D., Flores, B., Ramírez, G. y Salsavilca, B. (2019). *Endulzante a base de lúcuma* [Tesis de Bachiller, Universidad San Ignacio de Loyola]. https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core/bitstreams/932e0f7e-5233-4124-9e0a-fc9019da00ec/content

Cahuas, E. (2017). Estrategias comerciales y exportación de harina de lúcuma deshidratada al mercado español, Huaral 2017. [Tesis de Licenciatura, Universidad Inca Garcilaso de la Vega]. http://repositorio.uigv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.11818/2187/TESIS%20DE%20CAHUAS%20FLORES%20EMILIO.pdf

Caiza, J. (2021). *El almidón, su uso y efecto como recubrimiento comestible en la conservación de frutas* [Tesis de Pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba]. http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/17061/1/27T00534.pdf

Candela, V. (s.f.). *Propiedades de la lúcuma, la fruta de Perú*. En Buenas Manos. https://www.enbuenasmanos.com/propiedades-de-la-lucuma

Carrión, L. (2018). *Obtención de almidón y glucosa a partir de la oca (oxalis tuberosa) por hidrólisis ácida y su cinética de extracción* [Tesis de Titulación, Universidad Nacional del Altiplano]. https://1library.co/document/zwvmnv0q-obtencion-almidon-glucosa-oxalis-tuberosa-hidrolisis-cinetica-extraccion.html

Carvajal, I. (2012). *Actividad antioxidante de carotenoides frente a hidroperóxidos lipídicos de origen endógeno y exógeno en el tracto intestinal* [Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla]. https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/64599/E_TD_PROV35.pdf

Casarrubias-Castillo, M., Méndez-Montealvo, G., Rodríguez-Ambriz, L., Sánchez-Rivera, M. y Bello-Pérez, A. (2012). Diferencias estructurales y reológicas entre almidones de frutas y cereales. *Agrociencia*, *46*(5), 455-466. https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v46n5/v46n5a3.pdf

Castro, C. (1999). *Evaluación de algunos índices de madurez para cosecha en lúcuma (Pouteria lucuma (R&P) Kuntze cv. Lúcuma B-2 en el valle de Chancay Huaral* [Tesis de Grado, Universidad Nacional Agraria La Molina].

Colmán, L. (2016). *Efecto del licopeno y los carotenoides del tomate en marcadores inflamatorios de la aterosclerosis en pacientes de riesgo cardiovascular* [Tesis Doctoral, Universitat de Barcelona]. https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/399325/LMCM_TESIS.pdf

Cosi, R. (2020). *Evaluación de la pérdida de color en harina de lúcuma (Pouteria lucuma (R&P) Kuntze) durante el almacenamiento* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina]. https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4478/cosi-cutipa-ruben-virgilio.pdf

Del Castillo, R. (2006). *Estudio técnico de la producción de harina de lúcuma en la sierra de Piura* [Estudio Técnico, Universidad de Piura]. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1486/ING_443.pdf

Devaraj, S., Li, D. y Jialal, I. (1996). The effects of alpha tocopherol supplementation on monocyte function. Decreased lipid oxidation, interleukin 1 beta secretion, and monocyte adhesion to endothelium. *The Journal of Clinical Investigation, 98*(3), 756-763. doi: 10.1172/JCI118848

Díaz, A. (2001). El sabor en las frutas. Sistémica. *Revista de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Unifé, 3*, 60-66. https://www.unife.edu.pe/publicaciones/revistas/ingenieria/SISTEMICA_3/60-66.pdf

Díaz-Casas, A., y Castaño-Castrillón, J. (2005). Producción de mermelada con extracto crioconcentrado de café. *Cenicafé*, *56*(2), 175-188. https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/202/1/arc056%2802%29175-188.pdf

Díaz de León, F., Pelayo, C., Escalona, H., Fernández, J., Rivera, F., Buentello, B. y Pérez, L. (2006). El aroma de las frutas. *ContactoS,* 61, 32-39. http://www2.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n61ne/aroma.pdf

Diezma, B., Marañón, A., Ruiz-Altisent, M., Flores, L. y Diez, J. (2001). Firmeza de la fruta: determinación por métodos no destructivos. *Revista Horticultur*a, 154, 62-68. https://www.researchgate.net/publication/28275143_Firmeza_de_la_fruta_determinacion_por_metodos_no_destructivos

Dixon, J. y Hewett, E. (2010). Factors affecting apple aroma/flavour volatile concentration: a review. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, 28*(3), 155-173. https://doi.org/10.1080/01140671.2000.9514136

During, A., Hussain, M., Morel, D. y Harrison, E. (2002). Carotenoid uptake and secretion by CaCo-2 cells: b-carotene isomer selectivity and carotenoid interactions. *Journal of Lipid Research, 43*(7), 1086-1095. https://doi.org/10.1194/jlr.M200068-JLR200

Dutta, D., Chaudhuri, U. y Chakraborty, R. (2005). Structure, health benefits, antioxidant property and processing and storage of carotenoids. *African Journal of Biotechnology, 4*(13), 1510-1520. doi: 10.4314/ajfand.v4i13.71773

Escarpa, A. y González, M. (2001). Approach to the content of total extractable phenolic compounds from different food samples by comparison of chromatographic and spectrophotometric methods. *Analytica Chimica Acta, 427*(1), 119-127. http://dx.doi.org/10.1016/S0003-2670(00)01188-0

Francis, F. y Clydesdale, F. (1975). *Food Colorimetry: theory and Applications*. AVI Publishing Co., Westport, CT. https://archive.org/details/foodcolorimetryt0000fran

Gamarra, R. (2019). *Efecto de la temperatura de secado y las condiciones de almacenamiento sobre la calidad organoléptica de la harina de lúcuma (Pouteria Lucuma) tipo seda* [Tesis de Pregrado, Universidad San Ignacio de Loyola]. https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core/bitstreams/bbaa52b2-78e7-4a5d-a5d9-080b24ca0344/content

García, D. (2016). *Caracterización de algunos metabolitos primarios y secundarios en dos variedades comerciales de lúcuma (Pouteria lucuma)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/2565/Q04-G377-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Garza, S. (1998). *Caracterización reológica y microbiológica, y cinéticas de deterioro en cremogenado de melocotón*. Servei de Publicacions Universitat de Lleida. https://www.cervantesvirtual.com/nd/ark:/59851/bmcxg9k5

Geilfus, F. (1989). *El árbol al servicio del agricultor: manual de agroforestería para el desarrollo rural. Volumen 1. Principios y técnicas.* CATIE. https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/1523

Gerster, H. (1991). Potential role of beta-carotene in the prevention of cardiovascular disease. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research, 61*(4), 277-91.

Gimeno, E. (2004). Compuestos fenólicos. Un análisis de sus beneficios para la salud. *Offarm, 23*(6), 80-84. https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-pdf-13063508

Goff, S. y Klee, H. (2006). Plant volatile compunds: sensory cues for healt and nutritional value? *Science, 311*(5762), 815-819. doi: 10.1126/science.1112614

Gómez-Maqueo, A., Bandino, E., Hormaza, J. y Cano, M. (2020). Characterization and the impact of in vitro simulated digestion on the stability and bioaccessibility of carotenoids and their esters in two Pouteria lucuma varieties. *Food Chemistry*, 316, https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.12636

Gross, J. (1991). *Pigments in Vegetables: Clorophylls and Carotenoids*. Springer US. https://books.google.com.pe/books/about/Pigments_in_Vegetables.html?id=avHwAAAAMAAJ&redir_esc=y

Hernández, J., Medina, O., Hernández, A. y Coha, P. (2017). Oxidación y caracterización fisicoquímica de almidón de sagú "Marantha Arundinacea" para la elaboración de bioplástico. *Revista Fuentes, El Reventón Energético, 15*(1), 19-26. https://doi.org/10.18273/revfue.v15n1-2017002

Hertog, M., Hollman, P. y Vennema, D. (1992). Optimization of a quantitative HPLC determination of potentially anticarcinogenic flavonoids in vegetables and fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 40*(9), 1591-1598. En la página web https://doi.org/10.1021/jf00021a023

Inga, M. (2004). *Optimización del deshidratado de 2 biotipos de Lúcuma (Pouteria lucuma (R y P) Kuntze) usando la técnica de superficie de respuesta* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina]. http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/912

Instituto Europeo de Nutrición y Salud (2021). *Carotenos: ¿qué son y cuáles son sus beneficios?* https://ienutricion.com/carotenos-que-son-y-cuales-son-sus-beneficios/

International Commision on Illumination. (2020). *Collection of papers aceted of the 5th CIE Symposium on Colour and Visual Appareance*. CIE Central Bureau. https://files.cie.co.at/x047_2020/x047_CIE_2020_Open_Access_Papers.pdf

Janampa, C. (2017). *Determinación de metabolitos primarios, actividades enzimáticas y características físico-químicas de lúcuma (Pouteria lucuma) en dos estados fisiológicos* [Tesis de Titulación, Universidad Nacional Agraria la Molina]. https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3008/Q04-J3-T.pdf

Janick, J. y Paull, R. (2008). The Encyclopedia of Fruit & Nuts. London, UK, CABI. https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/682536/1/S8543.pdf

Jomova, K. y Valko, M. (2013). Health protective effects of carotenoids and their interactions with other biological antioxidants. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 70, 102-110. https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2013.09.054

Justesen, U., Knuthsen, P. y Leth, T. (1998). Quantitative analysis of flavonols, flavones, and flavanones in fruits, vegetables and beverages by high-performance liquid chromatography with photo-diode array and mass spectrometric detection. *Journal of Chromatography A, 799*(1-2), 101-110. doi: 10.1016/s0021-9673(97)01061-3.

Konica Minolta. (s.f.). *Entendiendo el espacio de color CIE L*A*B**. https://sensing.konicaminolta.us/mx/blog/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/

Krinsky, N. y Johnson, E. (2005). Carotenoid actions and their relation to health and disease. *Molecular Aspects of Medicine, 26*(6), 456-516. https://doi.org/10.1016/j.mam.2005.10.001

Kulp, K. (1973). Characteristics of Small-Granule Starch of Flour and Wheat. Cereal Chemistry. *American Association of Cereal Chemists Inc, 666-679*. https://www.cerealsgrains.org/publications/cc/backissues/1973/Documents/chem50_666.pdf

Llallahui, N. (2018). *Producción y exportación de los derivados de la lúcuma 2010-2017* [Tesis de Licenciatura, Universidad César Vallejo]. https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/32242

Lock, O. (1997). *Colorantes Naturales.* Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú. https://doi.org/10.18800/9789972420931

Lupano, C. (2013). *Modificaciones de componentes de los alimentos: cambios químicos y bioquímicos por procesamiento y almacenamiento.* Editorial de la Universidad de La Plata. https://libros.unlp.edu.ar/index.php/unlp/catalog/download/91/73/239-1

Malpartida, R., Chagua, P., Echevarría, J. y Adama, J. (2021). Lúcuma (Pouteria lúcuma): Potencial bioactivo y agroindustrial del valle interandino peruano. *Ciencia Latina, Revista Multidisciplinar, 5*(2), 1250-1266. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i2.326

Martínez-Valverde, I., Periago, M. y Ros, G. (2000). Significado nutricional de los compuestos fenólicos de la dieta. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 50*(1), 5-18. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222000000100001

Mathias-Rettig, K. y Ah-Hen, K. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *AgroSur, 42*(2), 57-66. http://revistas.uach.cl/pdf/agrosur/v42n2/art07.pdf

Maza-De la Quintana, R. y Paucar-Menacho, L. (2020). Lúcuma: Composición, componentes bioactivos, actividad antioxidante, usos y propiedades beneficiosas para la salud. *Revista Scientia Agropecuaria, 11*(1), 135-142. https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.15

Meléndez-Martínez, A., Vicario, I. y Heredia, F. (2004). Estabilidad de los pigmentos carotenoides en los alimentos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 54*(2), 209-215. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222004000200011

Mendoza, B., Estrada, A. y García, E. (2023). Saponinas, péptidos y compuestos fenólicos, antihipertensivos naturales. Estudios in vitro e in vivo. *Ciencia Latina, Revista Multidisciplinar, 7*(1), 1-30. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4695

Mínguez, M., Pérez, A. y Hornero-Méndez, D. (2005). Pigmentos carotenoides en frutas y vegetales: mucho más que simples "colorantes" naturales. *Agrocsic*, 26, 2-7. https://digital.csic.es/bitstream/10261/5754/1/IG_AGROCSIC_4.pdf

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2021). *Análisis de Mercado - Lúcuma 2021*. Gobierno del Perú. En la página web https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2801081/AN%C3%81LISIS%20DE%20MERCADO%20L%C3%9ACUMA%202021.pdf.pdf

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2022). *Lúcuma*. Gobierno del Perú. https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/sectoragrario/agricola/lineasdecultivosemergentes/LUCUMA.pdf

Moo-Huchin, V., Moo-Huchin, M., Estrada-León, R., Cuevas-Glory, Iván., Estrada-Mota, A., Ortiz-Vázquez, E., Betancur-Ancona, D. y Sauri-Duch, E. (2015). Antioxidant compounds, antioxidant activity and phenolic content in peel from three tropical fruits from Yucatan, Mexico. *Food Chemistry,* 166, 17-22. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.127

Nielsen, B., Mortensen, A., Jørgensen, K. y Skibsted, L. (1996). Singlet versus Triplet Reactivity in Photodegradation of C40 Carotenoids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 44*(8), 2106-2113. https://doi.org/10.1021/jf9508007

Nizama, W. (2021). *Técnicas de extracción de almidón de frutas y residuos vegetales* [Trabajo de Investigación, Universidad Nacional de Frontera]. http://repositorio.unf.edu.pe/handle/UNF/125

Núñez, A. (2019). *Compuestos bioactivos y aromáticos de harina de lúcuma obtenida mediante secado en cabina y atomización* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Agraria la Molina]. https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4162

O'Neil, C. y Schwartz, S. (1995). Photoisomerization of .beta.-Carotene by Photosensitization with Chlorophyll Derivatives as Sensitizers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry,* 43, 631-635. https://doi.org/10.1021/jf00051a014

Peña, C. y Restrepo, L. (2013). Compuestos fenólicos y carotenoides en la papa: revisión. *Actualización en Nutrición*, *14*(1), 25-32. http://www.revistasan.org.ar/pdf_files/trabajos/vol_14/num_1/RSAN_14_1_25.pdf

Pereira, R. (2011). *Expresión antígena de las células peripapilares en la retina de los vertebrados* [Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla]. https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/53367/S_TD_PROV127.pdf

Perveen, R., Ansar, H., Muhammad, F., Sadiq, M., Pasha, I. y Ahmad, S. (2015). Tomato (Solanum lycopersicum) Carotenoids and Lycopenes Chemistry; Metabolism, Absorption, Nutrition, and Allied Health Claims--A Comprehensive Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 55*(7), 919-929. doi: 10.1080/10408398.2012.657809.

Pitchiah, S. (2004). *Development and evaluation of carrot powder as a food ingredient* [Tesis de Maestría, Texas Tech University]. http://hdl.handle.net/2346/12842

Popenoe, H., King, S., León, J. y Sumar, L. (1989). *Lost Crops of the Incas: Little – known Plants of the Andes with Promise for Worldwide Cultivation.* NRC. https://ia800300.us.archive.org/2/items/bub_gb_iT0rAAAAYAAJ/bub_gb_iT0rAAAAYAAJ.pdf

Pouteria Lucuma. (s.f.) *En Wikipedia*. Recuperado el 29 de setiembre de 2023 de https://es.wikipedia.org/wiki/Pouteria_lucuma

Prieto-Méndez, J., Trejo-Cárdenas, C., Prieto-García, F., Méndez-Marzo, M., Bello-Pérez, L. y Román-Gutiérrez. (2010). Acetilación y caracterización del almidón de la cebada. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales, 6*(1), 32-43. https://revista.itson.edu.mx/index.php/rlrn/article/view/181/117

Ramos-García, M., Romero-Bastida, C. y Bautista-Baños, S. (2018). Almidón modificado: Propiedades y usos como recubrimientos comestibles para la conservación de frutas y hortalizas frescas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, 19* (01). https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81355612003

Reineccius, G. (2006). *Flavor Chemistry and Technology*. CRC Press. https://doi.org/10.1201/9780203485347

Ringuelet, J. y Viña, S. (2013). *Productos Naturales Vegetales*. Universidad Nacional de La Plata. https://libros.unlp.edu.ar/index.php/unlp/catalog/view/106/88/285-1

Rodríguez-Amaya, D. (2010). Quantitative analysis, in vitro assessment of bioavailability and antioxidant activity of food carotenoids - A review. *Journal of Food Composition and Analysis, 23*(7), 726-740. doi:10.1016/j.jfca.2010.03.008

Saini, R., Nile, S. y Park, S. (2015). Carotenoids from fruits and vegetables: Chemistry, analysis, ocurrence, bioavailability and biological activities. *Food Research International, 76*(6). 735-750. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.07.047

Salvatierra, L. y Siu, R. (2019). *Evaluación del contenido de compuestos fenólicos y carotenoides totales, capacidad antioxidante y propiedad antihiperglicemica in vitro de tres variedades de lúcuma (Pouteria lúcuma)* [Tesis de Grado, Universidad San Ignacio de Loyola]. En la página https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core/bitstreams/4dd60375-af01-4ecc-9a85-da436cc02fb9/content

Shahidi, F. y Naczk, M. (2003). *Phenolics in Food and Nutraceuticals.* Taylor & Francis. https://doi.org/10.1201/9780203508732

Schwab, W., Davidovich-Rikanati, R. y Lewinsohn, E. (2008). Byosynthesis of plant-derived flavor compounds. *The Plant Journal, 54*(4), 712-732. doi: 10.1111/j.1365-313X.2008.03446.x

Shin, S. y Bhowmik, S. (1995) Thermal kinetics of color changes in pea puree. *Journal of Food Engineering 24*(1), 77-86. https://doi.org/10.1016/0260-8774(94)P1609-2

Simpson, K., Katayama, T. y Chichester, C. (1981). Carotenoids in fish feeds. En: J. C. Bauernfeind y G. F. Stewart (Eds.) *Carotenoids as colorants and Vitamin A precursors* (pp. 463-538). Academic Press

Sommer, A., Hussaini, G., Tarwotjo, I. y Susanto, D. (1983). Increased mortality in children with mild vitamin A deficiency. *The Lancet, 322*(8350), 585-588. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(83)90677-3

Swain, T. y Hillis, E. (1959). The phenolic constituents of Prunus domestica. The quantitative analysis of phenolic constituents. En *Journal of the Science of Food and Agriculture, 10*(1), 63-68.

Talcott, S. y Howard, L. (1999a). Phenolic Autoxidation Is Responsible for Color Degradation in Processed Carrot Puree. *Journal of Agriculture and Food Chemistry, 47*(5), 2109-2115. https://doi.org/10.1021/jf981134n

Talcott, S. y Howard, L. (1999b). Chemical and Sensory Quality of Processed Carrot Puree as Influenced by Stress-Induced Phenolic Compounds. *Journal of Agriculture and Food Chemistry. 47*(4), 1362-1366. https://doi.org/10.1021/jf981135f

Tang, Y. y Chen, B. (2000). Pigment change of freeze-dried carotenoid powder during storage. *Food Chemistry, 69*(1), 11-17. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00216-2

Toribio, J. y Lozano, J. (1984). Nonenzymatic browning in apple juice concentrate during storage. *Journal of Food Science, 49*(3), 889-892. En la página https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1984.tb13234.x

Tsimidou, M. (1998). Polyphenols and quality of virgin olive oil in retrospect. *Italian Journal of Food Science, 10*(2), 1120-1170. https://hero.epa.gov/hero/index.cfm/reference/details/reference_id/1183531

Valencia-Avilés, E., Ignacio-Figueroa, I., Soza-Martínez, E., Bartolomé-Camacho, M., Martínez-Flores, E. y García-Pérez, M. (2017). Polifenoles: propiedades antioxidantes y toxicológicas. *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas*, 16, 15-29. http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/29781

Valero, C., y Ruiz-Altisent, M. (1998). Equipos de medida de calidad organoléptica en frutas. *Revista Fruticultura profesional,* 95, 38-45. https://oa.upm.es/6393/

Vásquez, A. (2015). *Estimación de las coordenadas CIEL*a*b* en concentrados de tomate utilizando imágenes digitales* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. https://docplayer.es/25488429-Estimacion-de-las-coordenadas-ciel-a-b-en-concentrados-de-tomate-utilizando-imagenes-digitales-andrea-melisa-vasquez-riascos.html

Villanueva, Carlos Manuel. (2002). *Cultivo comercial de la lúcuma en Perú y el mercado internacional.* Schmidt Impresores.