

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

Evaluación de la aplicación de ácido kójico para prevenir el  
oscurecimiento de manzana (*Golden delicious*) durante la elaboración  
de jugo.

Por:

**RAUL ADRIAN DE LA CRUZ DE LA CRUZ**

**TESIS**

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:  
**INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

Saltillo, Coahuila, México.  
**Marzo 2026**

# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

Evaluación de la aplicación de ácido kójico para prevenir el oscurecimiento de manzana (*Golden delicious*) durante la elaboración de jugo.

Por:

RAUL ADRIAN DE LA CRUZ DE LA CRUZ

TESIS

Que se somete a la consideración del jurado evaluador como requisito para obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Aprobada por:

  
Dr. Armando Robledo Olivo  
Asesor principal

  
Dra. Ana Verónica Charles Rodríguez  
Coasesor

  
Dra. Dolores G. Martínez Vázquez  
Coasesor

  
Dra. María Elena Castelo Mejía  
Coasesor

  
M.C. Pedro Carrillo López  
Coordinador de la División de Ciencia Animal

Saltillo, Coahuila.



## MANIFIESTO DE HONESTIDAD ACADÉMICA

El suscrito **Raúl Adrián de la Cruz de la Cruz**, alumno del programa docente de Ingeniero en Ciencia y Tecnología de Alimentos, con número de matrícula **41206442** y autor de la presente tesis manifiesta que:

1. Reconozco que el plagio académico constituye un delito que está penado en nuestro país.
2. Las ideas, opiniones, datos e información publicadas por otros autores y que han sido incluidas en este trabajo, han sido debidamente citadas, reconociendo la autoría de la fuente original.
3. Toda la información consultada ha sido analizada e interpretada por el suscrito y redactada según su criterio y apreciación, de tal manera que no se ha incurrido en el "copiado y pegado" de dicha información, ni a la utilización de Inteligencia artificial para generar el documento.
4. Reconozco la responsabilidad sobre los derechos del autor de los materiales bibliográficos consultados por cualquier vía y manifiesto no haber hecho mal uso de ellos.
5. Entiendo que la función y alcance de mi comité de asesoría está circunscrito a la orientación de guía respecto a la metodología de investigación realizada para el presente trabajo, así como el análisis e interpretación de los resultados obtenidos. Por lo tanto, eximo de toda responsabilidad relacionada al plagio académico a mi comité de asesoría y acepto que cualquier responsabilidad al respecto es únicamente mía.

ATENTAMENTE



Raúl Adrián de la Cruz de la Cruz

Tesista

## **AGRADECIMIENTOS**

*A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, mi poderoso narro por haberme brindado la oportunidad de cumplir uno de mis sueños.*

*A mi madre Lorenza por haber criado a una persona como yo al convertirme en parte en el hombre que soy. A mi hermana Iveth, por convertirse en parte de mi inspiración y la razón de salir adelante para que no tenga que pasar lo que yo tuve que pasar.*

*A mi abuela victoria por brindarme techo, comida y también a mi primo Fernando por prestarme una laptop para seguir mis estudios.*

*Al Dr. Armando Robledo, gracias por apoyarme en mi tema de tesis, me quedo con muy buenos conocimientos, gracias a usted pude comprender mucho mejor los temas de mi tesis. Todo esto de igual manera a los maestros que integran el Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, junto con los laboratoristas y el jefe de carrera Q.F Oscar.*

*A mis amigas que apoyaron a terminar la carrera como lo es Karla Vanesa, Irene Jaqueline, Alondra, Melanie, Luz María y Karla herrera.*

*A las personas con las que tuve la fortuna de coincidir y estuvieron para mí en las buenas y en las malas durante estos 5 años: Omar Hernández Silva, Yasiel Alfredo (Pai), Irving Ignacio, Tomas Gutiérrez, Pedro Adair Bárcenas, Jairo Álvarez, Juan Manuel Mezquite y amigos como Jacibe Janeth, Alicia Baeza, Erick Hernández, Eduardo Aguilar, Carlos Macías, Miguel Rendón, Daniel Torres, Miguel Téllez, Pedro Negrete, Clarice, Isaac y Elías Gutiérrez.*

## **DEDICATORIA**

*A dios por haberme permitirme llegar a este punto de mi vida y haberme dado salud para realizar parte de mis objetivos.*

*Pero en especial a que no me rendí y el querer ser mejor.*

*Que con esfuerzo, sacrificio y múltiples trabajos como; intendente, vendedor ambulante, jornalero, ayudante de albañil entre otros trabajos fui construyendo paso a paso el camino hacia un sueño. El de convertirme en ingeniero, mi historia es ejemplo de una persona que quiere salir adelante con disciplina y pasión solo necesita creer en sí misma.*

*Este logro no solo mío si no pertenece también a todas las personas que estuvieron a mi lado (María de la luz y German Trejo) cuando quede en la calle y me ofrecieron un techo y que mecen ser familia, que me alentaron en los momentos difíciles, que creyeron en mi cuando las fuerzas escaseaban y que me apoyaron cuando más lo necesitaba.*

*Gracias a mi familia, amigos, maestros y compañeros, porque cada palabra de apoyo y cada gesto de confianza fueron parte esencial de este proceso.*

*La dedicación se transformó en inspiración, y el sueño se cumplió se convierte en un distintivo de lo que significa luchar con el corazón al iniciar sin apoyo de nadie y una meta fija.*

## RESUMEN

El oscurecimiento enzimático limita la calidad visual del jugo de manzana durante su elaboración, por lo que esta tesis evaluó el ácido kójico como alternativa para reducir el pardeamiento en manzana *Golden Delicious*. Se realizó una solución de ácido kójico al 0.5% (p/v) y se aplicó al jugo de manzana en un diseño factorial general 6×7 con seis niveles de dosis (0 - 12.5 mg) y siete tiempos de evaluación (0 – 180 min), con tres repeticiones por combinación. La respuesta principal fue el índice de pardeamiento (BI) calculado a partir de color CIELAB, midiendo adicionalmente el pH y °Brix. El jugo inicial presentó pH  $3.25 \pm 0.01$ , °Brix  $16.8 \pm 0.36$  y valores CIELAB  $L^*=74.67 \pm 4.15$ ,  $a^*=-0.82 \pm 0.24$ ,  $b^*=9.36 \pm 2.72$ , con BI= $12.49 \pm 4.43$ . En el almacenamiento, se observaron diferencias por dosis en 15 h y 30 h, donde 2.5 mg/L mostró los BI más bajos, mientras que a 180 h el menor BI se observó con 5 mg/L ( $9.8 \pm 0.2$ ) frente al control ( $23.1 \pm 7.9$ ). El ANOVA del BI transformado ( $\ln(BI)$ , Box-Cox) indicó efectos significativos de dosis y tiempo ( $p<0.001$ ), con falta de ajuste no significativa ( $p=0.066$ ). En conjunto, los resultados confirman que el ácido kójico influye de manera significativa en el pardeamiento del jugo y que dosis intermedias pueden ofrecer un mejor desempeño a tiempos prolongados, manteniendo estabilidad fisicoquímica.

**Palabras clave:** jugo de manzana, *Golden Delicious*, pardeamiento enzimático, ácido kójico, CIELAB, índice de pardeamiento (BI), polifenol oxidasa.

## ABSTRACT

Enzymatic browning limits the visual quality of apple juice during processing, so this thesis evaluated kojic acid as an alternative to reduce browning in Golden Delicious apples. A 0.5% (w/v) kojic acid solution was prepared and applied to apple juice in a 6×7 factorial design with six dose levels (0–12.5 mg) and seven evaluation times (0–180 min), with three replicates per combination. The primary response was the browning index (BI), calculated from CIELAB color, with additional measurements of pH and °Brix. The initial juice had a pH of  $3.25 \pm 0.01$ , a Brix of  $16.8 \pm 0.36$ , and CIELAB values of  $L^* = 74.67 \pm 4.15$ ,  $a^* = -0.82 \pm 0.24$ , and  $b^* = 9.36 \pm 2.72$ , with a biological index (BI) of  $12.49 \pm 4.43$ . During storage, differences were observed between doses at 15 h and 30 h, with 2.5 mg/L showing the lowest BI, while at 180 h the lowest BI was observed with 5 mg/L ( $9.8 \pm 0.2$ ) compared to the control ( $23.1 \pm 7.9$ ). The ANOVA of the transformed BI ( $\ln(BI)$ , Box-Cox) indicated significant effects of dose and time ( $p < 0.001$ ), with a non-significant lack of fit ( $p = 0.066$ ). Taken together, the results confirm that kojic acid significantly influences juice browning and that intermediate doses can offer better performance over extended periods while maintaining physicochemical stability.

Keywords: apple juice, Golden Delicious, enzymatic browning, kojic acid, CIELAB, browning index (BI), polyphenol oxidase

## INDICE

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| I. INTRODUCCION .....                                                          | 9  |
| II. HIPÓTESIS .....                                                            | 11 |
| III. objetivo.....                                                             | 11 |
| 3.1 Objetivo general.....                                                      | 11 |
| 3.2 Objetivo especifico .....                                                  | 11 |
| IV. JUSTIFICACION.....                                                         | 12 |
| V. ANTECEDENTES.....                                                           | 13 |
| 5.1 Variedad <i>Golden Delicious</i> .....                                     | 13 |
| 5.2 Vida de anaquel .....                                                      | 14 |
| 5.3 Producción.....                                                            | 14 |
| 5.4 Composición química.....                                                   | 15 |
| 5.5 Producción de jugo de manzana .....                                        | 16 |
| 5.6 Colorimetría.....                                                          | 16 |
| 5.6.1 Expresando el Color Usando Coordenadas L*a*b*.....                       | 17 |
| 5.7 Oscurecimiento enzimático.....                                             | 18 |
| 5.8 Polifenol oxidasa (PPO) .....                                              | 19 |
| 5.8.1. Importancia del oscurecimiento enzimático .....                         | 20 |
| 5.8.2. Estudios sobre oscurecimiento del jugo de manzana.....                  | 20 |
| 5.9 Ácido kójico .....                                                         | 21 |
| VI. METODOLOGIA .....                                                          | 23 |
| 6.1 Preparación de la solución de ácido kójico en concentración del 0.5%<br>23 |    |
| 6.2 Obtención de materia prima.....                                            | 23 |
| 6.2 Tratamientos en jugo de manzana .....                                      | 25 |
| 6.3 Determinación de color .....                                               | 25 |
| 6.4 Pruebas analíticas a la manzana.....                                       | 26 |
| 6.5 Diseño experimental .....                                                  | 27 |
| 6.6 Análisis estadístico .....                                                 | 28 |
| VI. RESULTADOS Y DISCUSION.....                                                | 29 |
| VII. CONCLUSION.....                                                           | 36 |
| VIII. Referencias.....                                                         | 37 |

## I. INTRODUCCION

Las sierras en el estado de Coahuila en especial en Arteaga, es conocida debido a sus montañas y clima templado, que es ideal para la producción de manzanas debido a su calidad sobresaliente, siendo uno de los cultivos más importantes (Gabriel, 2025) debido a su importancia económica y cultural. Este cultivo se puede definir como milenario, puesto que, las técnicas de comercialización de este producto han pasado por distintas generaciones. La historia nos indica que los tlaxcaltecas introdujeron la primera variedad de manzana al estado, siendo esta la “San Juanera” (Gabriel, 2025). Con el pasar de los años y debido a las distintas condiciones climatológicas, otras variedades fueron adaptándose para posteriormente convertirse en las principales usadas para producción a gran escala, tales como; Rosa Española, Red Delicious y Golden Delicious (Ysaura, 2020) por mencionar algunas.

La manzana Golden Delicious, llamada cotidianamente como manzana amarilla no solo es conocida a su color amarillo que la caracteriza y su agradable sabor, también destaca por su alto nivel nutritivo ideal como complemento de la dieta diaria; es recomendable para personas que padecen de glicemia, debido a su bajo contenido de azúcar (Ysaura, 2020).

Contiene propiedades nutricionales como proteínas, grasas, minerales, energía y vitaminas tales como la vitamina C, A, E, B9, B6 y B12 con muchos beneficios para la salud y necesarias para la alimentación (Gobierno de Mexico, 2022). México destaca por tener 55 mil hectáreas dedicadas para la

producción del cultivo de manzana, donde la manzana (*Golden Delicious*) se producen 367 mil toneladas, y Coahuila destaca al ser el segundo estado con mayor producción de manzana (Gobierno de Mexico, 2022). Las manzanas que son de piel dorada tienden a sufrir algunos procesos de pérdida de calidad como lo son la oxidación, así mismo esto afecta de una manera breve a las otras variedades como las manzanas de color carmesí.

El oscurecimiento, encafecimiento o pardeamiento es considerado un mecanismo que genera distintos cambios en las frutas y verduras con solo estar en presencia de oxígeno al haber sufrido un proceso de transformación. Esto tiene origen en el tejido vegetal que al sufrir alguna modificación las enzimas de la Polifenol Oxidasa crean una oxidación en los compuestos fenólicos (SCIENCE, S.f.). En el momento en que hay una alteración en los diferentes tejidos de origen animal o vegetal esta se percibe en pigmentos de tonalidad de color café, marrón o identificado como melanina. Entre las frutas y verduras de fácil visualización son manzanas de piel dorada, frutos tropicales como bananos, variedades de papas con diferentes intensidades, etc.

El uso del ácido kójico radica en su función como conservante natural al tener un efecto inhibidor en la enzima PPO.

Por lo tanto, se requieren estudios de tecnologías que permitan aprovechar la producción de manzana (*Golden Delicious*) en productos que no se vean afectados por el pardeamiento de la manzana. Tomando en cuenta que es una de las frutas más versátiles, la manzana se consume en fresco, para cocinar, en la producción de sidra e incluso su uso para hornear.

## II. HIPÓTESIS

La adición de una concentración apropiada de ácido kójico en solución disminuirá significativamente el oscurecimiento del néctar de manzana durante su elaboración.

## III. OBJETIVO

### 3.1 Objetivo general

- Determinar el efecto de las distintas concentraciones de ácido kójico comercial en solución sobre el pardeamiento del néctar de manzana durante su proceso de elaboración, mediante la evaluación de parámetros de color.

### 3.2 Objetivo específico

- Formular diferentes concentraciones de ácido kójico para aplicarse durante la preparación de néctar de manzana *Golden Delicious*.
- Evaluar las características visuales del néctar de manzana a cada concentración de ácido kójico.
- Evaluar la vida de anaquel del néctar de manzana adicionado con diferentes concentraciones de ácido kójico.
- Evaluar los cambios de calidad a través de un análisis de los resultados.

#### IV. JUSTIFICACION

El cultivo de manzana en la región de Arteaga, Coahuila se ha vuelto parte de la base económica junto con el turismo, destacando una mayor parte en la producción de manzana *Golden Delicious*. El estado de Coahuila es el segundo mayor productor de manzana en México y San Antonio de las Alazanas es el productor principal de la región de Coahuila. Pero uno de los problemas que enfrenta es el no aprovechamiento de la producción de manzana de menor calibre ya que al mercado local no le parece atractivo las manzanas de calibre pequeño. Una forma de industrialización de esta es mediante el procesamiento para la obtención de jugo.

La manzana *Golden Delicious* junto con las demás variedades enfrenta un problema al procesarse, ya que al partir o pelar la capa protectora (la cascara), deja expuesta la pulpa y provoca el cambio de color de blanco a café lo cual es conocido como oscurecimiento enzimático u oxidación. La enzima Polifenol Oxidasa (PPO) es la responsable del oscurecimiento enzimático al encontrarse esta en las células de la manzana y provocar una reacción al estar en contacto con el oxígeno. Por lo tanto, una de las soluciones propuestas es hacer uso del ácido kójico al 0.5% como agente conservante para productos procesados como el jugo y en alimentos que se encuentren frescos. El ácido kójico se obtiene a través de la fermentación por el hongo *Aspergillus oryzae* y su uso como conservante en la industria alimentaria podría ayudar a mantener un mejor color en la obtención de jugo natural de manzana.

Este estudio permitirá a los productores aprovechar mejor su producción de manzana que no salen al mercado a través del procesamiento de la manzana *Golden Delicious*. No obstante, la investigación sobre el uso de ácido kójico en jugo presenta un vacío al no haber mucha información sobre su aplicación, sin embargo, hay estudios que demuestran su uso en otros alimentos con buenos resultados.

## V. ANTECEDENTES

### 5.1 Variedad *Golden Delicious*

La manzana *Golden Delicious* pertenece a la especie denominada como *Malus domestica*, que tienen su origen en el continente asiático. Son los griegos y romanos los responsables de introducir esta especie en el resto del continente europeo, posteriormente, inicio su exportación hacia América para su domesticación y comercialización (Ysaura, 2020). Dentro de su morfología podemos mencionar su forma redonda y regular (más largo que ancho), su color amarillo dorado, su considerable tamaño; tienen la carne blanca amarillenta, con un alto contenido de jugo, destacando por su olor y sabor agradable. El pedúnculo suele ser largo, la piel llega a ser delgada y resistente, cubierta de lenticelas grisáceas (infoAgro, 2015). Es considerada una excelente polinizadora para la mayoría de las variedades comerciales. Suele ser asociada como una variedad con una alta productividad, además, tiene buena conservación tanto en natural como en frío. Su producción puede ser afectada debido al mal blanco (enfermedad de origen fúngico), moteado; plagas como el pulgón lanífero también pueden causar mermas, aunque podemos destacar su resistencia a cancro. (infoAgro, 2015).

Su clasificación taxonómica se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1.** La clasificación taxonómica de la manzana.

|                 |                         |
|-----------------|-------------------------|
| <b>Reino</b>    | <i>Plantae</i>          |
| <b>División</b> | <i>Magnoliophyta</i>    |
| <b>Variedad</b> | <i>Golden Delicious</i> |
| <b>Clase</b>    | <i>Magnoliopsida</i>    |
| <b>Orden</b>    | <i>Rosales</i>          |
| <b>Familia</b>  | <i>Rosácea</i>          |
| <b>Genero</b>   | <i>Malus</i>            |
| <b>Especie</b>  | <i>Malus domestica</i>  |

Fuente: (Libros y Manuales de Agronomía, 2021)

## 5.2 Vida de anaquel

La determinación de la vida de anaquel en el estudio que ayuda a determinar el tiempo en el cual un alimento o bebida mantiene una calidad satisfactoria de sus propiedades sensoriales, fisicoquímicas y microbiológicas, sigue siendo seguro para su consumo y sigue cumpliendo con lo declarado en su etiqueta (ISO 16779, 2017). En todo caso el jugo de Manzana fue considerado como un producto altamente perecedero obtenido de la extracción del líquido de la Manzana *Golden Delicious* (Figura 1), no obstante, uno de los retos principales son los de mejorar su apariencia y su extensión en la vida útil del producto.

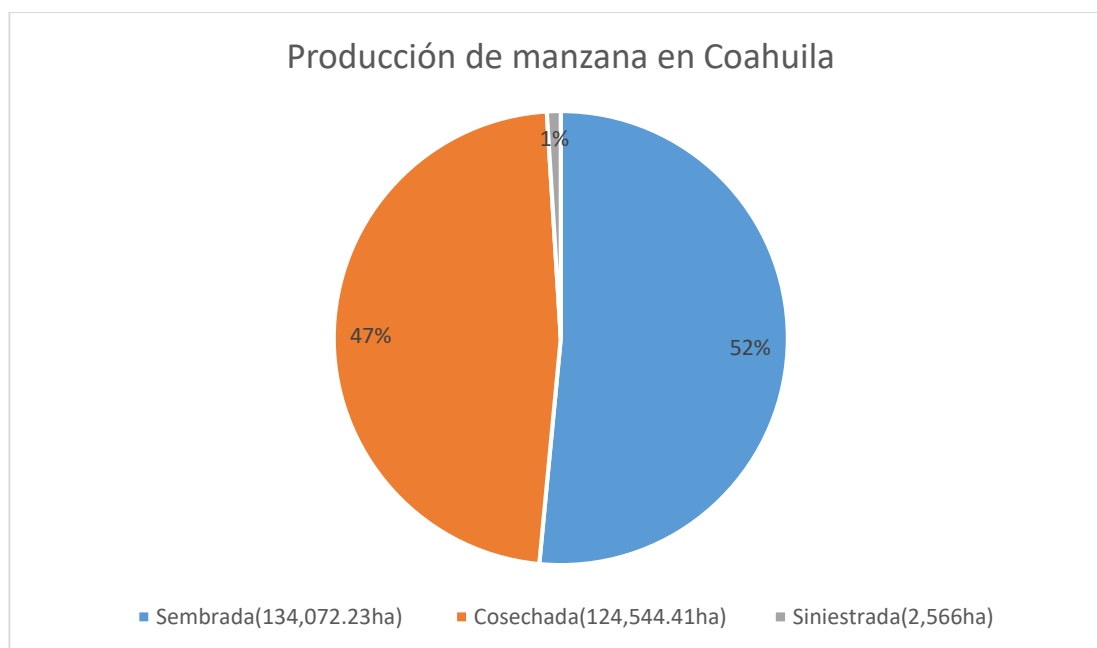


**Figura1.** Manzana *Golden Delicious*

## 5.3 Producción

La manzana se incorporó en México por medio de colonizadores de origen europeo provocando una explotación del cultivo de hasta 55 mil hectáreas que son destinadas a su producción (Gobierno de Mexico, 2022). Los distintos tipos de climas que hay en la república mexicana originó que solo pudiera producir este cultivo en tan solo 23 estados con condiciones climáticas específicas (Gobierno de Mexico, 2022). Los estados Chihuahua, Coahuila, Puebla, etc., son los más destacados en las cosechas con adaptabilidad del cultivo para que en los meses de agosto y octubre disfrutar de su cosecha (Gobierno de Mexico, 2022).

La producción de manzana en el estado de Coahuila:



**Figura 2.** Producción de manzana en la entidad federativa de Coahuila en 2025.

Fuente: (DGSIA, 2025)

#### 5.4 Composición química

Las manzanas se consideran es un alimento de fácil adquisición por su participación en la dieta humana por el aporte de compuestos fenólicos y su disponibilidad en el mercado (INECOL, (s.f.)). El valor nutricional de la manzana brinda un gran beneficio al tener disponibilidad todo el año contando con una fuente de nutrientes de una proporción del 80% de H<sub>2</sub>O en su peso total (INECOL, (s.f.)).

La cantidad de compuestos (fenólicos) que se presentan son ácidos hidroxibenzóicos (ácido gálico, syringico, gentísico), ácido hidroxicinámico en los cuales derivan ácidos como el ácido p-cumárico, cafeico, ferúlico, clorogénico, flavonoides (quercetina, epicatequina, catequina, procianidinas) y antocianinas (cianidinas y sus glucósidos) (Tsao, 2003). Dentro de las

características del genotipo el estado de madurez, las condiciones ambientales, condiciones de cultivo, enfermedades del fruto, almacenamiento y procesado están determinadas por la cantidad de compuestos fenólicos presentes en manzana (Vieira, 2011). Las modificaciones en los compuestos fenólico tienen distintos orígenes como la piel, pulpa, semillas o enteros (Vieira, 2011).

Dentro del valor nutricional incluyen presencia de potasio, magnesio, calcio que son considerados minerales esenciales así mismo vitamina C, E y del complejo B (tiamina, riboflavina y tiacina) (INECOL, (s.f.).).

### **5.5 Producción de jugo de manzana**

Las manzanas destinadas a la elaboración industrial de jugo que están en una fase más temprana que las que se destinan al consumo fresco. Durante la elaboración de jugo se prefieren manzanas de tamaño pequeño a causa de su aroma intenso, principalmente debido al vínculo relación piel-carne, ya que la piel es la mayor fuente de componentes aromáticos.

El proceso para la obtención jugo de manzana (*Pyrus malus*), consta de frutas de un grado de madurez adecuado, limpias y que cumplen con las normas de sanidad junto con el uso establecido de edulcorantes permitidos ya que se preparan con aditivos alimenticios y son envasados de forma hermética en recipientes que pasaron por un procedimiento térmico para alargar la vida de anaquel (SECOFI, 1982). El jugo deja de considerarse así cuando hay una alteración en su composición final por ejemplo el diluir con agua.

### **5.6 Colorimetría**

La representación de los distintos compuestos orgánicos en alimentos se asocia al color durante su procesamiento y la alteración por medio de colorantes de origen sintético o de los pigmentos naturales (Badui, 2006). La medición del color se realiza de forma física por la longitud de onda, la intensidad o la energía, para la representación del color en el espectro de luz hay una relación para ver las cualidades de la materia (Badui, 2006).

Las distinciones del color están realizadas de forma visual, al igual que apoyándose de herramientas como un colorímetro o el uso de la visión digital.

El objetivo de la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE) es la evaluación de los colores mientras que el espacio de color  $L^*a^*b^*$  que pertenece a la misma, es un método de lo más común al momento de medir color obteniendo (Konic Minolta , 2025). En la representación de los resultados ocurre una relación de sus valores numéricos y con la simple percepción visual para hacer uso del espacio de color (Konic Minolta , 2025).

#### **5.6.1 Expresando el Color Usando Coordenadas $L^*a^*b^*$**

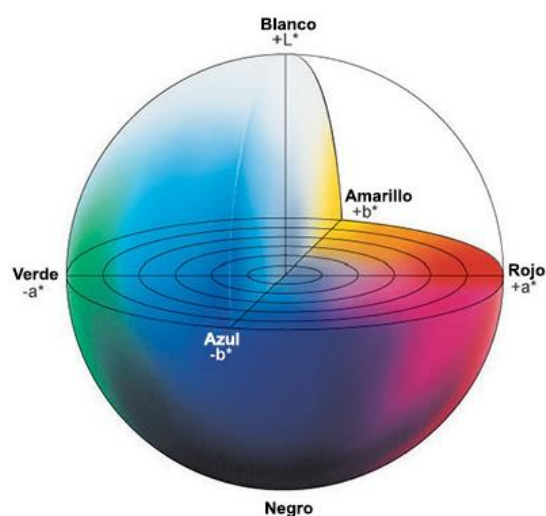
En el momento de medir el color se debe considerar las características del entorno, ya que, aspectos como el color, forma y tamaño del medio sobre el que se miden los parámetros, pueden afectar de manera negativa al contraste, resultando en una sensación errónea sobre el color que percibe el observador (CALVO, 1997). Para poder clasificar de forma precisa a los colores, podemos considerar ciertos atributos, tales como, matiz (color), luminosidad (brillo) y saturación (vividez). El espacio de color  $L^*a^*b^*$  es modelado en base a la teoría de color oponente, mencionándonos que dos colores no pueden ser rojo y verde al mismo tiempo o amarillo y azul al mismo tiempo. Como se muestra a continuación,  $L^*$  indica luminosidad,  $a^*$  y  $b^*$  corresponden a coordenadas cromáticas (Konic Minolta , 2025).

- $a^*$  y  $b^*$  corresponden a coordenadas cromáticas.
- $L^*$ = luminosidad
- $a^*$ = coordenadas rojo/verde (+a indica rojo, -a indica verde)
- $b^*$ = coordenadas amarillo/azul (+b indica amarillo, -b indica azul)

La Comisión Internacional de la Iluminación (CIE) ha desarrollado sistemas basados en la aplicación de fuentes de iluminación y observadores estándar, convirtiéndose en uno de los más utilizados para describir y medir el color (Giese, 1995). Este sistema utiliza tres coordenadas, para poder ubicar un color dentro de un espacio del color, estos espacios se describen como: 1) CIE XYZ, 2) CIE  $L^*a^*b^*$  y 3) CIE  $L^*C^*h$ .

Los valores triestimulo X Y Z se obtienen a partir de multiplicar valores para el iluminante, la reflectancia o transmisión del objeto, así como las funciones del observador patrón (CAIVANO, 1995. ). El producto se suma a la longitud de onda en el espectro visible y esto podemos interpretarlo como valores triestimulo X Y Z. Otro método utilizado en el cálculo de coeficientes tricromáticos de color en muestras sometidas a una fuente de luz, a partir de la luz que refleja, es la utilización de un colorímetro equipado de tres filtros determinados, que realizaran tres medidas consecutivas de la luz reflejada, a partir de esto, se calcularan los valores X Y Z (CAIVANO, 1995. ).

Los espectrofotómetros y colorímetros son instrumentos que pueden medir y cuantificar los atributos de color con precisión y facilidad, determinado el color de un objeto dentro del espacio de color usando valores de las coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  (Konic Minolta , 2025).



**Figura 3:** Coordenadas del color en el sistema Hunter Lab

### 5.7 Oscurecimiento enzimático

Los distintos productos alimenticios se distinguen por la problemática causada por manchas oscuras provenientes del efecto enzimático (oscurecimiento) que

aparecen en distintas dimensiones, regularmente en tonalidades de color marrón, negro o rojo (Sapers., 1993).

Es considerado como un proceso por el cual ciertas frutas, verduras o alimentos de origen animal sufren un cambio de color (marrón) al tener exposición directa al oxígeno. Esto a causa de un daño en el tejido vegetal generando oxidación de los compuestos fenólicos teniendo modificaciones en el valor nutricional.

Cada una de las afectaciones por las cuales pasa el tejido vegetal como cortes o un mal almacenaje, infieren en la entrada del oxígeno sobre los compuestos fenólicos y su reacción con la enzima Polifenol Oxidasa. Esta se percibe en pigmentos de tonalidad de color café, marrón o identificado como melanina. Entre las frutas y verduras de fácil visualización son manzanas de piel dorada, frutos tropicales como bananos, variedades de papas con diferentes intensidades, etc.

Las cualidades como su temperatura, el pH o el tejido vegetal son factores a considerar como la presencia de inhibidores del pardeamiento.

### **5.8 Polifenol oxidasa (PPO)**

La agrupación de las metaloenzimas se lleva a cabo con una escala filogenética que se encuentra en los organismos tanto eucariotas y procariotas. Se identifica como una enzima con origen de algas, angiospermas, gimnospermas, briofitos y pteridofitos (Mayer, 1979).

La canalización de las enzimas en función del oxígeno al transformar los o-difenoles a o-quinonas tienen la capacidad de modificar covalentemente distintas especies de nucleófilas con el propósito de modificar la formación de los pigmentos de color café o marrón (CARRIEL M. J. A., 2014.). Las pérdidas del valor comercial y estándares de calidad son cosas que afronta toda la industria alimentaria durante el almacenamiento y procesamiento de los vegetales y frutos debido al fenómeno del pardeamiento (CARRIEL M. J. A.,

2014.). Las propiedades organolépticas de algunas frutas y verduras sufren cambios importantes en la percepción de su apariencia junto con la reducción de su valor nutritivo y olor (CARRIEL M. J. A., 2014.).

La realización de estudios clásicos ubica a la enzima de la PPO como una fracción soluble en las células o fuertemente unida a membranas subcelulares (Mayer, 1979).

#### **5.8.1. Importancia del oscurecimiento enzimático**

El impacto que tiene el cambio de color en los alimentos es muy importante ya que cambia la percepción de aceptabilidad sobre los alimentos teniendo un cambio en la aceptación por parte de los consumidores. El oscurecimiento o pardeamiento es una parte importante dentro de la industria alimentaria ya que reduce en algunos casos el consumo de alimentos por su cambio de color (marrón), teniendo una idea errónea del estado del alimento creyendo que se encuentra en mal estado. Para ser más específicos el pardeamiento cambia las características nutricionales del alimento ya que algunos de los nutrientes se pueden ser reducidos con la oxidación. Por estas razones el cambio en la descripción de su sabor y de su textura tiene un impacto importante a los ojos del consumidor.

#### **5.8.2. Estudios sobre oscurecimiento del jugo de manzana**

Los estudios realizados en investigación sobre jugo y su oscurecimiento enzimático se muestran con diferentes investigaciones de diferentes autores que evaluaron por medio de compuestos de origen natural y sintético con el fin de inhibir este fenómeno. Los estudios realizados tienen una coincidencia en que el pardeamiento si afecta la calidad sensorial del jugo, por lo tanto, se han propuesto el uso de antioxidantes, jugos naturales y agentes quelantes.

A continuación, la representación de algunos estudios en la tabla 2;

**Tabla 2.** Sobre estudios de oscurecimiento en jugo de manzana

| <b>Compuesto utilizado</b>                                                                             | <b>Fruta</b>                                             | <b>Resultado observado</b>                                                                                                                                                                 | <b>Referencia</b>                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Agua destilada                                                                                         | Manzana <i>Golden Delicious</i> en anillos.              | Desarrollo de oscurecimiento enzimático evidente y disminución de luminosidad.                                                                                                             | (Meza Velazquez & Meza Velasquez, 2007) |
| Bisulfito de sodio (0.1%)                                                                              | Manzana <i>Golden Delicious</i> en anillos.              | Prevención del oscurecimiento visible, pero pérdida de firmeza (~20% al día 14).                                                                                                           | (Meza Velazquez & Meza Velasquez, 2007) |
| Jugo de piña                                                                                           | Manzana <i>Golden Delicious</i> en anillos.              | Inhibición significativa del oscurecimiento enzimático y mantenimiento de la textura durante 21 días de almacenamiento a 5 °C.                                                             | (Meza Velazquez & Meza Velasquez, 2007) |
| Diferentes combinaciones de manzana ( <i>Golden Delicious</i> tamaño canica + estándar, Red Delicious) | Jugo de manzana recién extraído, oxidado y pasteurizado. | La unión de <i>Golden Delicious</i> (canica + estándar, 1:1) con oxidación 40 min a 40 °C mostró menor actividad de PPO, menor pardeamiento y mayor concentración de compuestos volátiles. | (Guillem Ramos, y otros, 2017)          |

### 5.9 Ácido kójico

El ácido Kójico es el resultado de la fermentación mediante hongos como *Aspergillus oryzae*. El proceso de fermentación se basa en la transformación de carbohidratos, provenientes del arroz u otros granos, en ácido kójico. El ácido resultante se aísla para poder purificarlo y subir su calidad, para posteriormente, poder usarlo de manera comercial (Reachever., 2023).

El ácido Kójico tiene una variedad de usos, siendo implementado en la prevención del oscurecimiento oxidativo en frutas que son cortas, así como en la preservación de colores (rosados y rojos) en los mariscos. Desempeña un rol relevante dentro de la industria cosmética, fungiendo como método tópico para diversas afecciones cutáneas como: manchas (color marrón claro) presentes mayormente en la cara, resultantes de la hiperpigmentación postinflamatoria (Química, P, P. , 2025).

Podemos resaltar la importancia del ácido Kójico dentro de la industria alimentaria, ya que, las propiedades antimicrobianas que posee ayudan a inhibir el crecimiento de hongos y bacterias, esto ayuda a prolongar la vida útil de alimentos perecederos como carnes, frutas y verduras. El ácido Kójico se presenta como alternativa frente a conservadores sintéticos (Reachever., 2023).

El ácido kójico tiene origen en Japón por Saito en 1907, quien fue encargado de aislar el compuesto del micelio del hongo *Aspergillus oryzae* el cual cultivo en arroz vaporizado (koji en japonés), es por ello por lo que su nombre fue dado a ese compuesto orgánico en 1913 por Yabuta (Química, P, P. , 2025).

Tamiya en 1927, descubrió que los distintos *Aspergillus* tienen la capacidad de producir ácido kójico con sacarosa. Entre el moho principal que es *A. oryzae* y los distintos; *A. flavus*, *A. gymnosardae*, *A. awamori*, *A. fumigatus*, y *A. giganteus* (Química, P, P. , 2025).

Las investigaciones realizadas en el año 1929 mostraron evidencia de como el *A. oryzae* es capaz de producir ácido kójico partir de xilosa. En el presente año, Katagiri y Kitahara se informó de la producción de ácido a partir de pentosa, ácido glucónico, etc. (Química, P, P. , 2025).

## VI. METODOLOGIA

La presente investigación fue llevada a cabo en el laboratorio de fermentaciones y biomoléculas, del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos ubicado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en la ciudad de Saltillo, Coahuila, México.

### **6.1 Preparación de la solución de ácido kójico en concentración del 0.5%**

Se empleó en la preparación de la solución al 0.5%, se pesaron 0.5g de ácido kójico por cada 100 mL de agua. Se utilizó una probeta para medir 50 mL de agua destilada una vez medido los 50 mL verterlos en un vaso de precipitado. Posteriormente, se añadieron lentamente los 0.5 g de ácido kójico incorporando de manera gradual al agua al tiempo que está en constante agitación para lograr una mezcla uniforme garantizada. La solución se consideró lista una vez que no muestre partículas visibles y sea visible una homogeneidad completa. Finalmente, se trasladó al matraz volumétrico de 100 mL que se encuentra completamente protegido de la luz con papel aluminio y se almaceno en condiciones de baja temperatura entre los 8°C.

### **6.2 Obtención de materia prima**

La materia prima fue otorgada por productores de manzana de la comunidad de Arteaga, Coahuila. Se entregaron manzanas de menor tamaño que no pudieron destinarse al mercado local ni a la exportación. Durante la utilización de tubos cónicos cada uno se cubrió con papel aluminio para evitar la exposición a la luz, después de verter el jugo. Las manzanas de la variedad *Golden Delicious* fueron peladas y cortadas para realizar la extracción de jugo a través de un extractor.



**Figura 4.** Proceso de supervisión y preparación del jugo de manzana para la vida de anaquel. a) Obtención y limpieza de materia prima, b) Identificación de tubos cónicos, c) Extracción de jugo de manzana, d) Dosificación de las diferentes cantidades de ácido kójico al 0.5%(0 a 25 mL), e) Medición de °Brix, f) Determinación de pH, g) Determinación de colorimetría, h) Refrigeración, i) Identificación de efecto del ácido kójico al 0.5%.

## **6.2 Tratamientos en jugo de manzana**

La primera muestra testigo fue realizada por triplicado con ausencia de ácido kójico al 0.5%. En el caso de las demás muestras, se agregaron diferentes dosis de ácido kójico al 0.5% por triplicado. En un vaso de precipitado se llevó a cabo la medición de 30 mL de jugo, y posteriormente se mide el pH, los °Brix y la colorimetría. El jugo fue vertido en los tubos cónicos por triplicado, a los cuales se añadieron distintas dosis de ácido kójico al 0.5% de acuerdo con el diseño experimental.

## **6.3 Determinación de color**

Las muestras de jugo de manzana fueron seleccionadas por la madurez y homogeneidad. Posteriormente se extrajo el jugo y se colocaron en tubos cónicos en los cuales se encontraban con diferentes dosificaciones del ácido kójico al 0.5% (de 0 a 2.5 mL) como compuestos antioxidantes mediante el uso de una micropipeta (100–1000 µL). Los vasos fueron refrigerados y pasados los 15 min comenzaron la primera medición con el colorímetro digital para los primeros datos (100–1000 µL, marca DLAB).

La colorimetría se utiliza con la finalidad de descubrir mejor los colores de una forma cualitativa a través de una medición. Para llevar a cabo la determinación del color se empleó un colorímetro CR-400 (cromámetro portátil, Konica Minolta, USA), con el cual se evaluaron todos los jugos sometidos a tratamiento. La medición se realizó bajo el sistema colorimétrico CIELAB ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), donde  $L^*$  representa la luminosidad,  $a^*$  la coordenada cromática en el eje verde-rojo y  $b^*$ , la coordenada cromática en el eje azul-amarillo (López-Roblero et al., 2026). La intensidad de pardeamiento se evaluó mediante el índice de pardeamiento (BI), calculado a partir de las coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  del sistema CIELAB. Este parámetro se utilizó como una medida cuantitativa objetiva para determinar las variaciones de color en los jugos de manzana sin tratamiento y en aquellos tratados con ácido kójico, permitiendo comparar el grado de pardeamiento entre tratamientos y durante el tiempo de evaluación.

El valor de BI se obtuvo con base en las coordenadas cromáticas de cada muestra, de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$BI = \frac{100(x - 0.31)}{0.17}$$

Donde:

$$x = \frac{a^* + 1.75L^*}{5.645L^* + a^* - 3.012b^*}$$

#### **6.4 Pruebas analíticas a la manzana**

Los grados Brix son una medida de suma importancia para determinar la cantidad de azúcares en los jugos de frutas. Esta medida es muy influyente en el sabor, la calidad, la conservación de la fruta y la comercialización de los jugos. La evaluación de los grados Brix se realiza mediante el uso de un refractómetro, para la medición de la refracción de la luz en el jugo (Jugando A,, s.f.).

Un parámetro esencial en la revisión de calidad de las frutas frescas fue la medición de los sólidos solubles totales. Las mediciones se realizaron con ayuda de un refractómetro digital (Figura 5.), el cual proporciono resultados para el análisis de los sólidos solubles totales en jugo de manzana (*Golden Delicious*). El procedimiento consistió en calibrar el equipo con agua destilada y, posteriormente, colocar una gota de jugo en el orificio de medición para presionar la opción START y obtener la lectura. Al término de la medición, el refractómetro fue enjuagado con agua destilada para la siguiente lectura.



**Figura 5.** Refractómetro digital

La determinación de pH fue realizada en cada una de las muestras con la finalidad de obtener los datos correspondientes a diferentes concentraciones de ácido kójico al 0.5%. El procedimiento se llevó a cabo bajo condiciones de poca luz y con ayuda de un potenciómetro digital (Figura 6) . Dicho fue lavado por cada muestra para evitar la variación en los resultados.



**Figura 6.** Potenciómetro.

### **6.5 Diseño experimental**

Se utilizó un diseño factorial general de múltiples niveles ( $6 \times 7$ ) con el fin de analizar el efecto de las dosis de ácido kójico y el tiempo de su evaluación

sobre el índice de pardeamiento (BI) del jugo de manzana. Los factores estudiados fueron: dosis de ácido kójico (factor A) en 6 niveles (0, 2.5, 5.0, 7.5, 10.0, 12.5), y tiempo de evaluación (factor B) en 7 niveles (0, 15, 30, 45, 60, 120, 180). El arreglo experimental generó 42 combinaciones de tratamiento, y cada combinación se evaluó mediante tres repeticiones, para un total de 126 unidades de medición experimentales. La variable de respuesta fue que el índice de pardeamiento (BI), calculado fue partir de los parámetros de color  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  del sistema CIELAB, mediante las ecuaciones:

### **6.6 Análisis estadístico**

Los datos del índice de pardeamiento (BI) del jugo de manzana se analizaron mediante un diseño factorial general de múltiples niveles ( $6 \times 7$ ), con las tres repeticiones por tratamiento. Se determinó un análisis de varianza (ANOVA) para poder evaluar los efectos principales de las dosis y tiempo, así como su interacción, con un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ . Previamente, se corroboraron todos los supuestos componentes del modelo (normalidad, homogeneidad de la varianza e independencia de los residuos) mediante gráficas diagnósticas. Debido a desviaciones en dichos supuestos, se realizó una transformación Box-Cox de la variable respuesta, seleccionándose la transformación logarítmica natural  $\ln(BI)$  ( $\lambda \approx 0$ ). El análisis se complementó junto con el diagrama de Pareto sobre efectos estandarizados con el fin de identificar la magnitud relativa sobre los factores sobre la respuesta. Todos los análisis se realizaron en Minitab 19.

## VI. RESULTADOS Y DISCUSION

En esta parte se presentan y discuten cada uno de los resultados obtenidos sobre el efecto de la dosis de ácido kójico y del tiempo de evaluación en el pardeamiento del jugo de manzana. Se analizó el índice de pardeamiento (BI) como variable principal de respuesta, complementado con la evaluación de color en el sistema CIELAB ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), pH y sólidos solubles totales ( $^{\circ}$ Brix). Lo anterior con la finalidad de determinar el comportamiento cromático y fisicoquímico del jugo bajo las diferentes condiciones experimentales establecidas en el diseño factorial.

La caracterización inicial del jugo de manzana mostró un pH de  $3.25 \pm 0.01$ , y presencia de unos sólidos solubles totales de  $16.8 \pm 0.36$ . Respecto a los valores iniciales CIELAB, se representan en la tabla 3.

**Tabla 3.** Parámetros colorimétricos iniciales de jugo de manzana ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) e índice de pardeamiento (BI) antes de la aplicación de los tratamientos con ácido kójico

| Parámetro | Valor            |
|-----------|------------------|
| $L^*$     | $74.67 \pm 4.15$ |
| $a^*$     | $-0.82 \pm 0.24$ |
| $b^*$     | $9.36 \pm 2.72$  |
| BI        | $12.49 \pm 4.43$ |

Los valores en la tabla representan la media ( $n=3$ )  $\pm$  su desviación estándar.

El valor alto de  $L^*$  (cercano a 75) sugiere alta luminosidad, consistente con un jugo que aún no ha desarrollado pigmentos pardos. En jugos con pulpa, la presencia de sólidos suspendidos aumenta la dispersión de la luz, lo que suele “aclerar” visualmente la muestra y, en algunos casos, reducir la saturación aparente del color (valores  $a^*$  y  $b^*$  más cercanos a cero). Estos comportamientos se asocian a la distribución del tamaño de la partícula y a su dispersión de la luz en sistemas turbios. En estudios de jugo de manzana sometido a homogenización, cambios en el tamaño de partícula se han asociado con variaciones en  $L^*$  y  $b^*$  debido a modificaciones en la interacción luz-matriz (Marszałek, 2023).

En conjunto, los valores iniciales de color muestran que el jugo de manzana presentó una apariencia clara-brillante, con predominio de tonos amarillos y un bajo índice de pardeamiento. Estos valores indican que las muestras partieron de condiciones cromáticas adecuadas para evaluar el efecto del ácido kójico sobre la inhibición del oscurecimiento.

Los valores del índice de pardeamiento (BI) para las dosis y tiempos evaluados se presentan en la tabla 4. Se observa que solo para los tiempos de 15 h y 30 h, hay diferencias estadísticas entre dosis de AK, siendo la dosis de 2.5 mg de AK/L en ambos tiempos el más bajo.

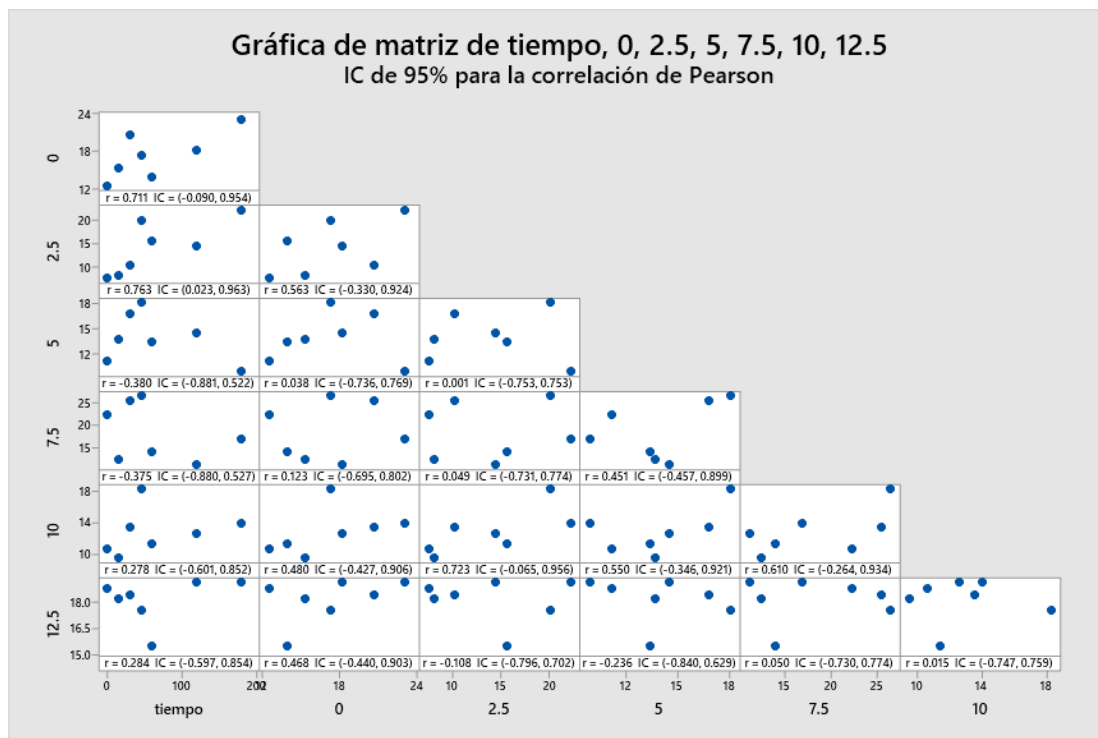
**Tabla 4.** Índice de pardeamiento (BI) obtenido en los diferentes tiempos y dosis evaluadas.

| mg/L de AK | Tiempo de anaquel |             |            |            |            |            |
|------------|-------------------|-------------|------------|------------|------------|------------|
|            | 15 h              | 30 h        | 45 h       | 60 h       | 120 h      | 180 h      |
| 0          | 15.3 ± 5.8 ab     | 20.7±9.6 ab | 17.3±8.2 a | 13.9±2.3 a | 18.2±0.4 a | 23.1±7.9 a |
| 2.5        | 8.0 ± 1.3 b       | 10.2±2.5 b  | 20.1±3.3 a | 15.6±6.4 a | 14.4±5.0 a | 22.3±5.5 a |
| 5          | 13.7±2.9 ab       | 16.8±5.1 ab | 18.1±4.2 a | 13.3±5.6 a | 14.5±8.7 a | 9.8±0.2 a  |
| 7.5        | 12.4±1.6 ab       | 25.6±4.2 a  | 26.6±9.1 a | 13.9±1.8 a | 11.1±0.8 a | 16.8±4.5 a |
| 10         | 9.5±2.0 ab        | 13.5±4.0 ab | 18.3±4.1 a | 11.4±1.5 a | 12.6±3.8 a | 14.0±2.5 a |
| 12.5       | 18.2±5.1 a        | 18.5±5.4 ab | 17.6±2.4 a | 15.4±6.5 a | 19.2±2.5 a | 19.2±5.4 a |

Cada una de las letras indican significancia estadística (Tukey  $p<0.05$ ) entre las filas. Los valores en la tabla representan la media ( $n=3$ ) ± su desviación estándar.

La correlación con las dosis y el tiempo de vida de anaquel (figura 7) mostró un comportamiento diferencial del BI en función del tiempo para cada dosis de ácido kójico. Las correlaciones entre tiempo y BI fueron positivas en las dosis de 0 mg/L ( $r = 0.711$ ) y 2.5 mg/L ( $r = 0.763$ ), lo que sugiere una tendencia al incremento del pardeamiento con el transcurso del tiempo en estas condiciones. En contraste, en las dosis intermedias de 5.0 y 7.5 mg/L se observaron correlaciones negativas ( $r = -0.380$  y  $r = -0.375$ , respectivamente), indicando una tendencia opuesta y sugiriendo un posible efecto inhibitorio del pardeamiento bajo estas concentraciones. Para las dosis más altas (10.0 y

12.5 mg), las correlaciones con el tiempo fueron positivas, pero de menor magnitud ( $r = 0.278$  y  $r = 0.284$ ), lo que indica una asociación débil.



**Figura 7.** Matriz de correlación de Pearson (IC 95%) entre el tiempo de evaluación y las dosis de ácido kójico aplicadas al jugo de manzana, con base en el índice de pardeamiento (BI)

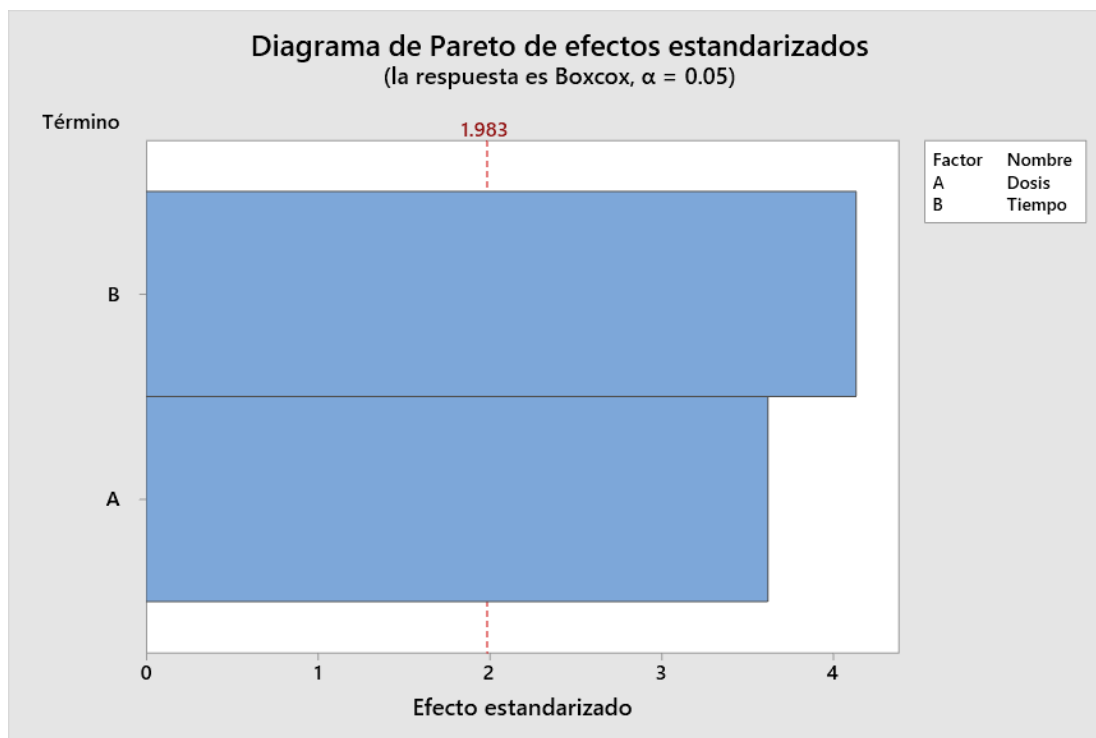
Los valores BI evidencian que el oscurecimiento del jugo de manzana es dependiente del tiempo y que la respuesta cambia con la dosis de AK. En el control (0 mg) se observó una tendencia a incrementar el BI hacia tiempos largos, alcanzando el valor más alto a 180 h ( $23.1 \pm 7.9$ ), lo cual es consistente con el avance del pardeamiento asociado a la oxidación de los compuestos fenólicos y su formación progresiva de los pigmentos pardos. En contraste, las muestras evaluadas con el AK mostraron un comportamiento sin variaciones, lo que sugiere que el efecto inhibitorio puede ser transitorio y depender tanto del nivel de AK como de la evolución del sistema durante el almacenamiento.

El índice de pardeamiento (BI) del jugo de manzana se analizó mediante un diseño factorial general de múltiples niveles (dosis × tiempo). Después de aplicar la transformación Box-Cox ( $\lambda \approx 0$ ;  $\ln(\text{BI})$ ), el modelo de efectos principales (Tabla 5) resultó estadísticamente significativo ( $F = 5.37$ ;  $p < 0.001$ ), confirmando que la respuesta fue influenciada por las condiciones experimentales evaluadas. De manera individual, tanto la dosis de ácido kójico ( $F = 4.90$ ;  $p < 0.001$ ) como el tiempo de evaluación ( $F = 5.37$ ;  $p < 0.001$ ) presentaron efectos significativos sobre el BI transformado. Asimismo, la prueba de falta de ajuste no fue significativa ( $F = 1.56$ ;  $p = 0.066$ ), lo que representa que el modelo describe de manera aceptable la variación observada en los datos dentro del rango experimental. En conjunto, estos resultados muestran que el pardeamiento del jugo de manzana depende significativamente tanto de la dosis de ácido kójico como del tiempo.

**Tabla 5.** ANOVA del índice de pardeamiento [ $\ln(\text{BI})$ ] del jugo de manzana en función de la dosis de ácido kójico y el tiempo.

| Fuente:         | GL  | SC     | Ajust. MC | Ajust. Valor F | Valor p |
|-----------------|-----|--------|-----------|----------------|---------|
| Modelo          | 11  | 6.112  | 0.55566   | 5.37           | 0.000   |
| Lineal          | 11  | 6.112  | 0.55566   | 5.37           | 0.000   |
| Dosis           | 5   | 2.536  | 0.50720   | 4.90           | 0.000   |
| Tiempo          | 6   | 3.335  | 0.55589   | 5.37           | 0.000   |
| Error           | 103 | 10.653 | 0.10343   |                |         |
| Falta de ajuste | 28  | 3.922  | 0.14008   | 1.56           | 0.066   |
| Error puro      | 75  | 6.731  | 0.08975   |                |         |
| Total           | 114 | 16.766 |           |                |         |

El diagrama de Pareto de efectos estandarizados (Figura 8) confirmó la significancia de ambos factores, con una mayor contribución relativa de la dosis respecto al tiempo.



**Figura 8.** El diagrama de Pareto de los efectos estandarizados para el índice de pardeamiento transformado  $[\ln(BI)]$  del jugo de manzana en función de la dosis de ácido kójico y el tiempo de evaluación.

En la Figura 9 muestra cada comportamiento del pH en el jugo de manzana en función de la dosis de ácido kójico y del tiempo de evaluación (0–45 min). En general, el pH se mantuvo en un intervalo ácido y estrecho (3.02–3.22), lo que indica estabilidad fisicoquímica del sistema durante el periodo analizado. Las concentraciones de 10.0 y 12.5 presentaron los valores de pH más altos, mientras que la concentración de 2.5 mostró los valores más bajos, particularmente a los 45 min. Las letras sobre las barras evidencian diferencias significativas entre algunas combinaciones dosis–tiempo ( $p < 0.05$ ).

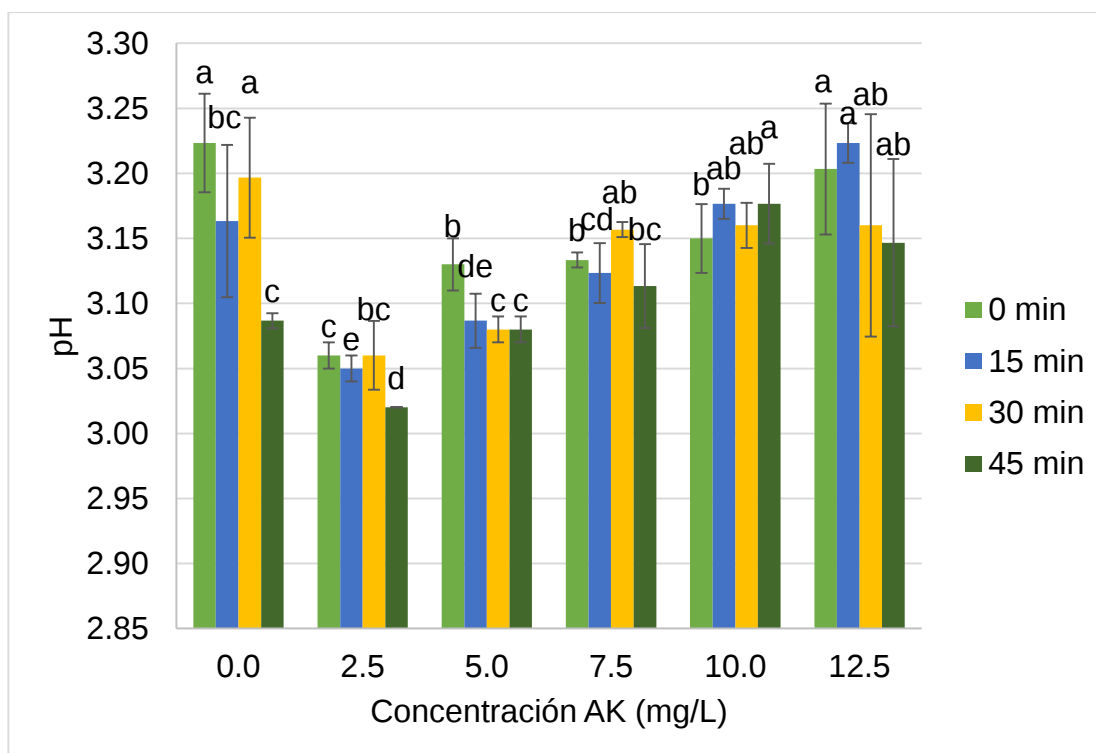
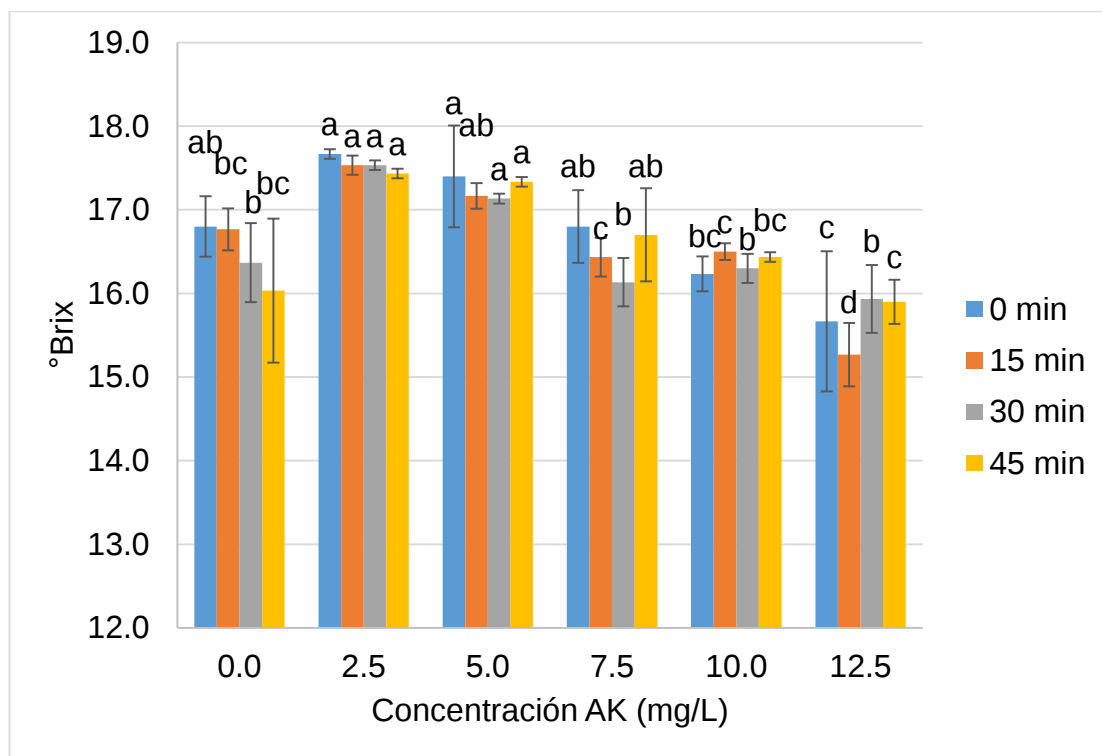


Figura 9. Efectos de cada concentración del ácido kójico (AK) y con el tiempo de evaluación (0, 15, 30 y 45 min) sobre el pH del jugo de manzana. Los valores evidencian la media  $\pm$  desviación estándar. Con letras distintas sobre las barras que cada una indican diferencias significativas entre los tratamientos ( $p < 0.05$ ).

La condición tener un pH elevado es relevante porque el pH influye en la velocidad del pardeamiento, especialmente en toda la actividad de las enzimas oxidativas y en la estabilidad de cada uno de los compuestos fenólicos responsables del oscurecimiento (Moon, 2020).

La Figura 10 presenta el comportamiento de los sólidos solubles totales ( $^{\circ}$ Brix) presentes en el jugo de manzana en función de su concentración del ácido kójico y del tiempo de evaluación. En general, los valores de  $^{\circ}$ Brix se mantuvieron dentro de un intervalo relativamente estrecho (15.2–17.6  $^{\circ}$ Brix), lo que indica una estabilidad fisicoquímica aceptable durante el periodo analizado. Las concentraciones de 2.5 y 5.0 tendieron a mostrar unos valores más altos de  $^{\circ}$ Brix, mientras que en la concentración de 12.5 presentó los

valores más bajos. Las letras sobre las barras evidencian diferencias significativas entre algunas combinaciones dosis–tiempo ( $p < 0.05$ ); sin embargo, la magnitud de los cambios fue moderada. En conjunto con los resultados del ANOVA del índice de pardeamiento (BI) y el comportamiento del pH, estos resultados sugieren que el efecto observado sobre el pardeamiento se debe principalmente a la dosis de ácido kójico y al tiempo de evaluación, más que a variaciones importantes en los sólidos solubles del jugo.



**Figura 10.** Efecto de las concentraciones de ácido kójico (AK) y su tiempo de evaluación (0, 15, 30 y 45 min) sobre los sólidos solubles totales (°Brix) en el jugo de manzana. Los valores representan la media  $\pm$  desviación estándar. Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas entre los tratamientos ( $p < 0.05$ )

## VII. CONCLUSION

El estudio sobre la evaluación de las diferentes aplicaciones del ácido kójico al 0.5% para prevenir el oscurecimiento en manzana (*Golden Delicious*) durante la elaboración de jugo demostró que el uso de ácido kójico al 0.5% tiene una inhibición del oscurecimiento enzimático del jugo de manzana. La dosis y el tiempo de almacenamiento son los factores determinantes en el comportamiento del índice de pardeamiento, con resultados significativos. Las dosis intermedias (5.0 y 7.5 mg/L) mostraron una la tendencia de reducir el pardeamiento con el tiempo, mientras que las dosis bajas y altas presentaron efectos con una menor estabilidad. Los parámetros fisicoquímicos del pH y sus sólidos solubles totales permanecieron dentro de intervalos estrechos, lo que nos indica que la variación que se observó en el color se debió principalmente al efecto del ácido kójico al 0.5% sobre la actividad enzimática y no genera cambios dentro de la composición del jugo.

Por último, los resultados confirman al hacer uso de ácido kójico al 0.5% puede ser una alternativa prometedora para la prolongación la vida de anaquel en el jugo de manzana sin generar cambios en su composición, ofreciendo un mejor balance significativo dentro de la inhibición del pardeamiento y la estabilidad fisicoquímica de la misma.

## VIII. REFERENCIAS

- Badui, S. D. (2006). *Química de los Alimentos*. Mexico: 4 ed. Pearson Educacion.
- CAIVANO, J. L. (1995. ). *Sistemas de orden del color (Vol. 12)*. Buenos Aires, Argentina.: Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires.
- CALVO, C. y. (1997). *Propiedades físicas II: Ópticas y color. Temas en Tecnología de Alimentos*. J. M. Aguilera. Instituto Politécnico Nacional (IPN), México.
- CARRIEL M. J. A., O. A.-M. (2014.). Distribución, localización e inhibidores de las polifenol oxidasas en frutos y vegetales usados como alimento. *Revista Ciencia y Tecnología*. Vol. 7, Nº 1., 23–31.
- DGSIAP. (30 de Noviembre de 2025). *Produccion mensual agricola*. Obtenido de Produccion mensuall agricola: [https://nube.agricultura.gob.mx/avance\\_agricola/](https://nube.agricultura.gob.mx/avance_agricola/)
- El cultivo de manzana*. (septiembre de 2015). Obtenido de El cultivo de manzana: [https://www.infoagro.com/frutas/frutas\\_tradicionales/manzana.htm](https://www.infoagro.com/frutas/frutas_tradicionales/manzana.htm)
- FIGURA, O. T. (2007). *Food Physics: Physical Properties, Measurement and Applications*. Heidelberg, Berlin, New York.: Springer-Verlag.
- Gabriel, A. (13 de Enero de 2025). *POSTA*. Obtenido de ¿Qué tipos de manzana se cosechan en Arteaga?: <https://www.posta.com.mx/mexico/que-tipos-de-manzana-se-cosechan-en-arteaga/vl1743779>
- Giese, J. (1995). Measuring physical properties of foods. *Food Technology*., 49(2); 53–63.
- Gobierno de Mexico. (25 de Septiembre de 2022). *Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural* . Obtenido de Manzana, la tentación del campo mexicano: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/manzana-la-tentacion-del-campo-mexicano>
- Guillem Ramos, Y. A., Villegas Perez, M., Olivas Orozco, G. I., Robles Hernandez, L., Gonzalez Franco, A. C., Nuñez Barrios, A., & Salas Salazar, N. A. (Agosto de 2017). INFLUENCIA DE LA MATERIA PRIMA PARA LA ELABORACIÓN DE JUGO DE MANZANA EN LA SÍNTESIS DE POLIFENOLOXIDASA Y COMPUESTOS DE SABOR. *INTERCIENCIA* , 42, 509-514.
- INECOL. ((s.f.)). *Las manzanas y sus compuestos quimicos beneficos para la salud*. Obtenido de Las manzanas y sus compuestos quimicos beneficos para la salud: <https://www.inecol.mx/index.php/divulgacion/ciencia-hoy/las-manzanas-y-sus-compuestos-quimicos-beneficos-para-la-salud-2?highlight=WyJ2aXNOYSJd>
- infoAgro. (Septiembre de 2015). *EL CULTIVO DE LA MANZANA (1ª parte)*. Obtenido de EL CULTIVO DE LA MANZANA (1ª parte): [https://www.infoagro.com/frutas/frutas\\_tradicionales/manzana.htm](https://www.infoagro.com/frutas/frutas_tradicionales/manzana.htm)
- ISO 16779. (NOVIEMBRE de 2017). *Analisis sensorial Evaluacion (determinacion y verificacion) de la vida util durante la conservacion de productos alimenticios* .

Obtenido de Analisis sensorial Evaluacion (determinacion y verificacion) de la vida util durante la conservacion de productos alimenticios .

Jugando A,. (s.f.). *Determinación de grados brix en jugos: importancia y método*. Obtenido de Determinación de grados brix en jugos: importancia y método.: <https://www.jugandoando.com.ar/determinacion-de-grados-brix-en-jugos/>

Konic Minolta . (15 de Abril de 2025). *Entendiendo El Espacio de Color CIE L\*A\*B\**. Obtenido de Entendiendo El Espacio de Color CIE L\*A\*B\*: Recuperado de <https://sensing.konicaminolta.us/mx/blog/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/>

Libros y Manuales de Agronomía. (11 de Abril de 2021). *Manual Del Cultivo de Manzana. PDF*. Obtenido de Manual Del Cultivo de Manzana. PDF.: Recuperado de [https://www.librosymanualesdeagronomia.com/manual-del-cultivo-de-manzana-pdf/?utm\\_source=copilot.com](https://www.librosymanualesdeagronomia.com/manual-del-cultivo-de-manzana-pdf/?utm_source=copilot.com)

Marszałek, K. T. (2023). Application of High-Pressure Homogenization for Apple Juice: An Assessment of Quality Attributes and Polyphenol Bioaccessibility. *Antioxidants*, 12(2), 451. doi:<https://doi.org/10.3390/antiox12020451>

Mayer, A. M. (1979). Polyphenol oxidases in plants. *Phytochemistry*, 18(2); 193–215.

Meza Velazquez, J. A., & Meza Velasquez, F. (2007). INHIBICIÓN DEL OSCURECIMIENTO ENZIMÁTICO Y CAMBIOS TEXTURALES EN MANZANA GOLDEN DELICIOUS TRATADA CON JUGO DE PIÑA. *Revista Chapingo Serie Zonas Aridas*, VI, 1-7.

Moon, K. M.-B. (2020). Recent Trends in Controlling the Enzymatic Browning of Fruit and Vegetable Products. *Molecules*, 25(12), 2754. doi:<https://doi.org/10.3390/molecules25122754>

Quimica, P, P. . (9 de Enero de 2025). *Ácido kójico -Subproducto de la fermentacion*. Obtenido de Ácido kójico -Subproducto de la fermentacion.: Recuperado de; <https://quimicapRACTICAPUE.wixsite.com/quimica-practica-pue/post/%C3%A1cido-k%C3%B3jico-subproducto-de-la-fermentacion>

Ramirrez, R. H. (1993). *El manzano. 2 a, ed*. Trillas, Mexico.

Reachever. (28 de Julio de 2023). *Ácido Kójico: Producción, Propiedades y Aplicaciones*. Obtenido de .Ácido Kójico: Producción, Propiedades y Aplicaciones: Recuperado de; [https://es.reachever.com/blog/kojic-acid-production-properties-and-applications\\_b156](https://es.reachever.com/blog/kojic-acid-production-properties-and-applications_b156)

Sapers., G. M. (1993). Browning of foods: Control by sulfites, antioxidants, and other means. *Food Technology*. Vol. 47, 75–84.

SCIENCE. (S.f.). *Ciencia*. Obtenido de ¿Qué es el pardeamiento enzimático?: <https://es.scienceaq.com/Biology/1003200100.html>

SECOFI. (1982). *NMX-F-045-1982: Norma Mexicana de Jugo de Manzana*. Obtenido de NMX-F-045-1982: Norma Mexicana de Jugo de Manzana:

<https://studylib.es/doc/6915041/nmx-f-045-1982.-alimentos.-frutas-y-derivados.-jugo-de-ma...>

- Secretaría de EconomíaSecretaría de Economía. (2003 de Febrero de 2003). *NMX-FF-061-SCFI-2003. Productos agrícolas no industrializados para consumo humano – Fruta fresca – Manzana (Malus pumila Mill) – (Malus domestica Borkh) – Especificaciones*. Obtenido de NMX-FF-061-SCFI-2003. Productos agrícolas no industrializados para consumo humano – Fruta fresca – Manzana (Malus pumila Mill) – (Malus domestica Borkh) – Especificaciones.: Diario Oficial de la Federación
- Tsao, R. Y. (2003). Polyphenolic profiles in eight apple cultivars using High-Performance Liquid Chromatography (HPLC). *Journal of Agricultural and Food Chemistry.*, 51: 6347-6353. .
- Vieira, F. B. (2011). Phenolic compounds and antioxidant activity of the apple flesh and peel of eleven cultivars grown in Brazil. *Scientia Horticulturae.* , 128: 261-266.
- Ysaura, P. (30 de 10 de 2020). *Plantamina*. Obtenido de Manzana Golden Delicious: Origen, Descripción, Valor Nutricional Y Más: <https://ecologymania.site/manzana-golden-delicious/>