

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO



FACULTAD DE QUÍMICA

Los factores físicos, fisicoquímicos y químicos como potenciales indicadores de la reversión de color en variedades de zarzamora (*Rubus spp.*)

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos.

Presenta:

IIA. Alma Noemi Pineda Mendoza

Dirigida por :

Dr. Edmundo Mateo Mercado Silva

Querétaro. Qro. Enero de 2024



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Química



Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Los factores físicos, fisicoquímicos y químicos como
potenciales indicadores de la reversión de color en
variedades de zarzamora (*Rubus spp.*)

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de Maestría
en Ciencia y Tecnología de Alimentos.

Presenta:

IIA. Alma Noemí Pineda Mendoza

Dirigido por:

Dr. Edmundo Mercado Silva.

SINODALES

Dr. Edmundo Mercado Silva

Presidente

Dr. Ángel Ramón Flores Sosa

Secretario

Dra. Dulce Rivera Pastrana

Vocal

Dr. Eloy Rodríguez de León

Suplente

Dra. Elia Nora Aquino Bolaños

Suplente

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la **Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ)** y al **Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt)** por la beca de Maestría otorgada para poder culminar con el presente proyecto de investigación.

Agradezco a mi director de tesis el **Dr. Edmundo Mateo Mercado Silva** y a los miembros de comité; **Dr. Ramón, Dr. Eloy, Dra. Dulce y Dra. Elia Nora** por ejercer sobre mí sus conocimientos, dirección y acompañamiento para el desarrollo de este proyecto de investigación.

Agradezco también al **Dr. Moustapha** por abrirme las puertas de su laboratorio y a sus estudiantes; **Diana, Rebeca y Pablo**.

De igual forma, agradezco a la **Dra. Minerva** por sus consejos y tutorías durante el proceso de la maestría.

A los ingenieros de calidad de **Giddings S.A de C.V;** **Ing. Juan Carlos e Ing. Edith**, que nos apoyaron con la obtención de muestras y nos brindaron sus conocimientos e información.

Y por último y no menos importante, agradezco a mis amigos; **Vicente, Manuel, Karen, Erick, Lupita, Hector y Yuri** por su acompañamiento en este proceso de crecimiento personal y de formación profesional, por sus consejos y animos.

DEDICATORIA

Este proyecto de vida se lo dedico principalmente a **Dios**, por darme la fuerza para continuar cada día y por ponerme en el camino a personas que hasta este punto de mi vida son valiosas.

Se lo dedico a mis padres, a los cuales amo; **Hilario y Alma**, porque han ejercido en mí las herramientas necesarias de la vida y me han impulsado a seguir mis objetivos.

A cada uno de mis hermanos; **Alexis, Brenda y Marce**, porque en cada momento estuvieron conmigo y me motivaron a seguir mis sueños. Su amor y acompañamiento fue parte importante para poder culminar.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	III
DEDICATORIA	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
RESUMEN.....	XIV
ABSTRACT	XV
1. INTRODUCCIÓN.....	16
2. ANTECEDENTES	18
2.1 Producción de zarzamora a nivel mundial.....	18
2.2 Producción de zarzamora a nivel nacional	20
2.3 Manejo del cultivo de zarzamora en campo abierto y tecnología protegida (Macro túneles y malla sombra)	22
2.3.1 Campo abierto.....	22
2.3.2 Cultivo protegido	22
2.3.3 Comparación de cosecha y rendimiento en campo abierto y áreas protegidas en producción de zarzamora	23
2.4 Taxonomía y generalidades de la zarzamora	25
2.4.1 Generalidades de la zarzamora	26
2.5 Etapas de maduración de la zarzamora	27
2.6 Cosecha.....	28
2.7 Daños patogénicos y físicos en la zarzamora	29
2.8 La reversión de color	29
2.9 Composición nutrimental y química de la zarzamora.....	30
2.10 Composición física de la zarzamora	32
2.10.1 Firmeza	32

2.10.2 Forma y tamaño del fruto de zarzamora.....	32
2.10.3 Acidez titulable.....	33
2.10.4 Color.....	33
2.11 Composición química de la zarzamora.....	34
2.11.1 Azúcares.....	34
2.11.2 Ácidos orgánicos.....	35
2.11.3 Antocianinas.....	35
2.11.3.1 Estructura de las antocianinas.....	36
2.11.3.2 Biosíntesis de antocianinas.....	38
2.11.4 Fenoles.....	40
3. JUSTIFICACIÓN.....	41
4. OBJETIVO GENERAL.....	42
4.1 Objetivo general.....	42
4.2 Objetivos específicos.....	42
5. METODOLOGÍA.....	43
5.1 Origen de las muestras.....	43
5.2 Estrategia experimental y manejo de los frutos.....	43
5.3 Análisis de parámetros físicos (color y firmeza).....	45
5.3.1 Medición del color de los frutos.....	45
5.4 Análisis fisicoquímicos (Acidez Titulable, pH y Solidos Solubles Totales).....	46
5.5 Composición química (contenido de azúcares reductores, antocianinas y fenoles totales).....	47
5.5.1 Contenido total de azúcares reductores.....	47
5.5.2 Extracción de compuestos fenólicos.....	47
5.5.3 Contenido de Antocianinas totales.....	48
5.5.4 Análisis de compuestos fenólicos totales.....	49
5.6 Análisis estadístico.....	49
5.6.1 Correlación de Pearson.....	49

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
6.1 El estado de madurez en la cosecha y la reversión de color.....	50
6.2 Los parámetros objetivos del color y firmeza en la predicción de la reversión de color.....	52
6.2.1 Cambios en el valor de a*	52
6.2.2 Uso del valor de L* como predictor de regresión de color	55
6.2.3 Efecto de la firmeza en los frutos en la reversión de color.....	57
6.3 Los parámetros fisicoquímicos (%AT, SST y pH) en la reversión de color..	60
6.3.1 El contenido de acidez titulable (%AT) y su relación con la susceptibilidad a la reversión de color.....	61
6.3.2 El pH del tejido y su relación con la susceptibilidad a la reversión de color	64
6.3.3 El contenido de sólidos solubles (%SST) y su relación con la susceptibilidad a la reversión de color	66
6.4 Efecto de los contenidos de los parámetros químicos en la reversión de color	68
6.4.1 El contenido de azúcares reductores y su relación con la susceptibilidad a la reversión de color.....	68
6.4.2 El contenido de antocianinas totales y su relación con la susceptibilidad a la reversión de color.....	71
6.4.3 El contenido de fenoles totales y su relación con la susceptibilidad a la reversión de color.....	75
6.5 Consideraciones generales de la predicción de la reversión de color mediante factores físicos, fisicoquímicos y químicos.	78
7. CONCLUSIONES.....	81
8. FUENTES BIBLIOGRAFICAS	82
APENDICE.....	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción mundial de zarzamora en las dos últimas décadas. Fuente: (FAOAST 2020).....	19
Figura 2. Países de importación y exportación de zarzamora a nivel mundial en el 2020 Fuente: (whitepaper-blackberry.pdf, 2023.)	20
Figura 3. Producción de zarzamora en México en la última década (2013-2023)	21
Figura 4. Cosecha de zarzamora en campo abierto en comparación en tecnologías protegidas (Macro túneles, malla sombra e invernaderos) 2013-2022	24
Figura 5. Rendimiento en campo abierto y cultivo protegido en zarzamora (2013 - 2022)	25
Figura 6. Morfología de la fruta de zarzamora (<i>Rubus</i> spp.) a) fruto de zarzamora con corte transversal y b) fruto de zarzamora completo. Fuente; (Magaña, 2020) con modificaciones	27
Figura 7. Ejemplo de etapas de cambio de color de frutos “AK2A”; 1) verde, 2) verde-rojo, 3) rojo- verde, 4) rojo, 5) rojo completo, 6) envinado o rojo-negro, 7) negro brillante. Fuente; Imagen propia.....	28
Figura 8. Frutos de zarzamora. a) zarzamora en estado de madurez 6 (RN; Roja-Negro) b) zarzamora en estado de madurez 7 (NB; Negro-Brillante), c) Zarzamora Revertida. Fuente: fotografía tomada por el equipo de trabajo del laboratorio de Poscosecha UAQ	30
Figura 9. Estructura de la antocianina cianidina-3-glucosido.....	37
Figura 10 Biosíntesis de antocianinas en la célula vegetal. Fuente; (Liu et al., 2018; Xia et al., 2021).	39
Figura 11. Estrategia experimental seguida durante el experimento. Los frutos de cuatro variedades, en dos estados de madurez (RN) y (NR) contenidos en clamshells, fueron divididos en 2 lotes, dañados mecánicamente o sin daño (control) y analizados sus de parámetros físicos, fisicoquímicos y químicos.	44
Figura 12. Aspecto visual del desarrollo de RDR inducido por compresión (RVC) en frutos de zarzamora de cuatro variedades y dos estados de madurez a la cosecha.	

RN (Rojo-Negro), NB (Negro-Brillante), RN-RVC frutos Rojo-Negro con compresión y NB-RVC frutos Negro-Brillante con compresión. 52

Figura 13. Efecto de la compresión manual (RVC) en el valor de a^* en cuatro variedades de zarzamora en dos estados de madurez a la cosecha (RN y NB). Cada barra representa la media \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre variedades. RN; Rojo-negro, NB; Negro–Brillante.... 53

Figura 14. Efecto de la compresión manual (RVC) en el valor de L^* en cuatro variedades de zarzamora en dos estados de madurez a la cosecha (RN y NB). Las barras señaladas como RN-RVC y NB-RVC son frutos RN o NB sometidos a compresión. Cada barra representa la media \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre variedades. RN; Rojo-negro, NB; Negro–Brillante 56

Figura 15. Cambios de la firmeza de frutos de diferentes variedades de zarzamora cosechados en distintos estados de madurez a la cosecha (RN y NB). Las barras señaladas como RN-RVC y NB-RVC son frutos RN o NB sometidos a compresión. Cada barra representa la media \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre variedades. RN; Rojo-negro, NB; Negro–Brillante 59

Figura 16. Cambios en la acidez titulable en cuatro variedades de zarzamora cosechadas en dos estados de madurez a la cosecha (RN y NB) y después de la aplicación del tratamiento de compresión inductor de RDR (RVC). Los resultados representan la media \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$) por variedad independiente..... 63

Figura 17. Cambios en el pH del tejido de frutos de cuatro variedades de zarzamora en dos estados de madurez (RN y NB) y después del tratamiento de compresión manual (RVC) para inducir RDR. Todos los resultados representan la media \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$) por variedad independiente 65

Figura 18. Cambios en el contenido de sólidos solubles totales (%SST) de cuatro variedades de zarzamora en dos estados de madurez (RN y NB) y después del tratamiento de compresión manual (RVC) para inducir RDR. Todos los resultados

representan la media \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativa ($p < 0.05$) por variedad independiente..... 67

Figura 19. Cambios en el contenido de azúcares reductores de cuatro variedades de zarzamora en dos estados de madurez (RN y NB) y después del tratamiento de compresión manual (RVC) para inducir RDR. Todos los resultados representan la media \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$) por variedad independiente..... 70

Figura 20. Cambios en el contenido de antocianinas (como cianidin-3-glucosido) de cuatro variedades de zarzamora en dos estados de madurez (RN y NB) y después del tratamiento de compresión manual (RVC) para inducir RDR. Todos los resultados representan la media \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativa ($p < 0.05$) por variedad independiente..... 73

Figura 21. Cambios en el contenido de fenoles totales de cuatro variedades de zarzamora en dos estados de madurez (RN y NB) y después del tratamiento de compresión manual (RVC) para inducir RDR. Todos los resultados representan la media \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativa ($p < 0.05$) por variedad independiente..... 78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Entidades federativas de México; volumen de producción, rendimiento y valor de producción de zarzamora en el 2022	21
Tabla 2. Clasificación taxonómica de la zarzamora.....	25
Tabla 3. <i>Composición nutrimental de la zarzamora por porción de 100 g</i>	31
Tabla 4. Estructura molecular de las 7 antocianinas en la zarzamora y sus longitudes onda. Fuente;.....	38
Tabla 5. Clasificación de la susceptibilidad al desarrollo RDR en cuatro variedades de zarzamora cosechadas en dos estados de madurez a la cosecha (RN y NB)...	55
Tabla 6. Comparación de medias de la firmeza de frutos de diferentes variedades de zarzamora, cosechados en dos estados de madurez a la cosecha,.....	58
Tabla 7. Correlación de Pearson de la firmeza del fruto con el valor de colorde a* en cuatro variedades de zarzamora (RN y NB) sometidas a daño mecánico por compresión (RVC).....	60
Tabla 8. Comparación de medias de la composición físico química de diferentes variedades de zarzamora cosechadas en rojo brillante (RN) y negro brillante (NB)	61
Tabla 9. Coeficientes de correlación de Pearson de la acidez titulable (%AT) con los cambios en el valor de a* en cuatro variedades de zarzamora en dos estados de madurez (RN y NB) antes y después de ser sometidos al daño mecánico de compresión (RVC).....	63
Tabla 10. Coeficientes de correlación de Pearson del valor de pH del tejido con el valor de a* (indicador de reversión de color) en cuatro variedades de zarzamora en dos estados de madurez a la cosecha (RN y NB) y después del tratamiento inductor de reversión de color.....	65
Tabla 11. Cambios en el contenido de sólidos solubles totales (%SST) de cuatro variedades de zarzamora en dos estados de madurez (RN y NB) y después del tratamiento de compresión manual (RVC) para inducir RDR. Todos los resultados representan la media \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativa ($p < 0.05$) por variedad independiente.....	67

Tabla 12. Comparación de medias del contenido de azúcares reductores en frutos de cuatro variedades de zarzamora, cosechadas en dos estados de madurez a la cosecha (RN y NB).....	68
Tabla 13. Coeficientes de correlación de Pearson del contenido de azúcares reductores con el valor de a^* (indicador de reversión de color) en cuatro variedades de zarzamora en dos estados de madurez a la cosecha (RN y NB) y después del tratamiento inductor de reversión de color (RVC)	71
Tabla 14. Comparación de medias del contenido de antocianinas totales de frutos de cuatro variedades de zarzamora, cosechados en dos estados de madurez a la cosecha (RN y NB).....	72
Tabla 15. Coeficientes de correlación de Pearson del contenido de antocianinas con el valor de a^* (indicador de reversión de color) en cuatro variedades de zarzamora en dos estados de madurez a la cosecha (RN y NB) y después del tratamiento inductor de reversión de color (RVC)	74
Tabla 16. Comparación de medias del contenido de fenoles totales en cuatro variedades de zarzamora en dos estados de madurez a la cosecha (RN y NB) ..	76
Tabla 17. Coeficientes de correlación de Pearson del contenido de fenoles totales con el valor de a^* (indicador de reversión de color) en cuatro variedades de zarzamora en dos estados de madurez a la cosecha (RN y NB) y después del tratamiento inductor de reversión de color (RVC).....	77
Tabla 18. Coeficientes de correlación de Pearson de las variables de respuesta fisicoquímicas (%AT, pH y %SST) con el valor de a^* indicador de reversión de color	79

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD DEL ESTUDIANTE:

Declaro que los datos propios obtenidos en esta investigación fueron generados durante el desarrollo de mi trabajo de tesis de forma ética y que reporto detalles necesarios para que los resultados de esta tesis sean reproducibles en eventuales investigaciones futuras.

Finalmente, este manuscrito de tesis es un trabajo original en el cual se declaró y dio reconocimiento a cualquier colaboración o cita textual presentadas en el documento.



Alma Noemi Pineda Mendoza

RESUMEN

México es principal productor y exportador de zarzamora en el mundo. No obstante, en el proceso de comercialización en los mercados de destino, se establecen normas que todos los países deben cumplir. Como la ausencia de defectos y pudriciones y la no reversión de color. La industria exportadora y las instituciones de investigación nacional e internacional han dedicado esfuerzos para contar con posibles indicadores de la reversión de color con capacidad para predecir el fenómeno y así tomar estrategias que ayuden al desarrollo de esas variedades y contribuyan a mejorar el manejo poscosecha de estos frutos. El objetivo de esta investigación fue establecer el potencial uso de los factores físicos (firmeza), fisicoquímicos (%AT, sólidos solubles totales) y de composición química (azúcares, antocianinas y fenoles totales) como posibles predictores de la reversión de color de la zarzamora. 800 frutos de cuatro variedades (AK2A.980, TUP-757, AM530 y URA-425) procedentes de Ario de Rosales Michoacán México, fueron cosechados en dos estados de madurez, rojo negro (RN) y negro brillante (NB); divididos en dos tratamientos (control e inducidos a reversión de color por compresión manual y analizados en su firmeza, color, pH, contenido de acidez titulable (%SST) y de sus contenidos de azúcares reductores, antocianinas y fenoles totales por los métodos reportados. Esta investigación mostro que el cosechar los frutos en estado RN indujo más el desarrollo de la reversión de color. Los valores de color a^* y L^* indican de manera objetiva el cambio de color de la reversión de color; no obstante, estos valores solo dan indicación del fenómeno ya inducido. La firmeza y los contenidos de azúcares reductores, antocianinas y fenoles totales no son buenos indicadores para predecir la reversión de color. Esto debido a que están influidos por la variedad y el estado de madurez en la cosecha.

Palabras clave: Zarzamora, *Rubus ssp*, reversión de color, RDR, predictores de reversión, azúcares, antocianinas, fenoles.

ABSTRACT

Mexico is the main producer and exporter of blackberries in the world. However, in the process of marketing in destination markets, it faces rules that all countries must comply with. Such as the absence of defects and rots and the non-reversal of color. The export industry and national and international research institutions have dedicated efforts to have possible indicators of color reversal with the capacity to predict the phenomenon and thus adopt strategies that help the development of these varieties and contribute to improving the post-harvest management of these fruits. The aim of this research was to establish the potential use of physical factors (firmness), physicochemical factors (%AT, total soluble solids) and chemical composition factors (sugars, anthocyanins, and total phenols) as possible predictors of blackberry color reversal. 800 fruits of four varieties (AK2A.980, TUP-757, AM530 and URA-425) from Ario de Rosales, Michoacan, Mexico, were harvested in two stages of ripeness, red-black (RN) and glossy black (NB); Color-reversal was induced by manual compression and analyzed for firmness, color, pH, titratable acidity content (%TSS) and its contents of reducing sugars, total anthocyanins and total phenols by the methods reported. This research showed that harvesting the fruits in the RN state further induced the development of color reversal. The color values a^* and L^* objectively indicate the color change of the color reversal; However, these values only give an indication of the phenomenon already induced. The firmness and contents of reducing sugars, anthocyanins, and total phenols are not good indicators for predicting color reversal. This is because they are influenced by the variety and the state of ripeness at harvest.

Keywords: Blackberry, *Rubus ssp*, color reversal, RDR, reversal predictors, sugars, anthocyanins, phenol

1. INTRODUCCIÓN

La zarzamora ha ganado una aceptación en los mercados por su sabor dulce ácido, su color intenso brillante y su contenido en compuestos fenólicos, vitaminas y minerales que tienen como beneficios para la salud. Esta aceptación, en las últimas décadas ha tenido una respuesta positiva para el crecimiento de la producción de zarzamora y ha generado un alto retorno económico para los productores.

México es el principal productor y exportador de zarzamora a nivel mundial. En el 2021 alcanzó una producción de 211 377 toneladas de las cuales el 95% se exportó. Sin embargo, para que el fruto sea aceptado en los mercados de destino debe cumplir con criterios de calidad entre los que destacan el color y la firmeza. En este sentido, el fenómeno de la reversión de color es el principal factor que influye en el rechazo de los frutos de zarzamora y genera un 5 % de las pérdidas en los mercados de exportación y un 75 % de rechazo en supermercados.

La reversión de color es un fenómeno fisiológico que hace que las drupeolas de zarzamora cambien de color negro a rojo. Se ha observado que este fenómeno puede producirse por tres fuentes mecánicas; compresión, vibración o impacto. Se ha observado que el daño por compresión es más frecuente durante la cosecha, mientras que el impacto y la vibración son más comunes en el empaque y transporte. Es importante destacar que el daño por compresión ocurre en aproximadamente en el 85% de los casos cuando la fruta ha sido manipulada y el fenómeno se presenta hasta los puntos de venta.

No obstante, no se ha encontrado solución a este comportamiento fisiológico, ya que la respuesta a este trastorno es de mayor a menor susceptibilidad entre variedades de zarzamora. Asimismo también, se ha observado que este comportamiento está relacionado con el desarrollo de maduración de los frutos de zarzamora.

La maduración de los frutos implica el desarrollo de procesos físicos, fisicoquímicos, bioquímicos, y fisiológicos. Estos cambios tienen un impacto en el momento del corte del fruto. Los frutos se cosechan cuando han alcanzado los índices de calidad ya sea en su etapa de madurez rojo negro o negro brillante.

Se ha observado que variedades cosechadas en estado de madurez Negro brillante parecen ser más resistentes a la reversión de color y variedades cosechadas en estado de madurez rojo – negro son más susceptibles al cambio de color. En este sentido, la reversión de color se podría asociar con el daño mecánico y la susceptibilidad de los distintos cultivares de zarzamora. Por lo que un estudio de los parámetros físicos, químicos y fisicoquímicos podrían predecir la reversión de color antes del momento del corte.

2. ANTECEDENTES

2.1 Producción de zarzamora a nivel mundial

La zarzamora es originaria de continentes como Asia, Europa y América del Norte. En los mercados, ha ganado una amplia aceptación debido a su sabor agrisulce, su intenso color negro brillante y por su valor nutricional, ya que es rica en compuestos fenólicos, vitaminas y minerales que pueden aportar beneficios para la salud. Su creciente popularidad ha llevado a un aumento en la producción y consumo de zarzamoras en las últimas décadas a nivel mundial. Por lo que se han generado retornos económicos positivos para los productores (Kaume et al., 2012).

En las dos últimas décadas, la producción mundial de zarzamora ha mantenido un crecimiento anual constante del 3.1 % (Figura 1). Ha aumentado desde 527,000 t en el año 2000 a cerca de 927 344 t en el año 2020. En el 2019, la producción mundial de zarzamora alcanzó un máximo histórico de 975, 490 t, esto se debió al aumento de superficie de cosecha que aumentó un 4.5 % con respecto al 2018. Sin embargo en el 2020 hubo descenso del 4.9 %, con respecto a 927,344 t , principalmente esta perdida fue generada en México (FAOSTAT, 2020). No obstante, en el 2020 México alcanzo 215,924 ton, seguido por Vietnam con 122,681 ton y Papua Nueva Guinea con 109,409 ton, por lo que las tres naciones representaron el 48.3 % del total de producción (FAOSTAT, 2022).

Esta producción ha sido liderada principalmente por países exportadores como España, México, Estados Unidos, Marruecos y Portugal. De acuerdo con la Organización de la Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura (FAO), en el 2020 el principal exportador de zarzamora fue España con 22.5 % del total de las exportaciones, seguido por México con el 19.6 %, Estados Unidos con el 15.2 %, Marruecos con el 13.4 % y Portugal con el 10.6 % (Figura 2).

Por otro lado, los países principales que han importado zarzamora son Estados Unidos, Canadá, Alemania, Reino Unido y España. En el mismo año, la FAO registró

que el mayor porcentaje de importación se encontraba en la parte norteamericana, conformada por Estados Unidos (45.9 %) y Canadá (9.7%), mientras que un porcentaje restante (34 %) estaba compuesto por países europeos como Alemania, Reino Unido y España (Figura 2). No obstante, Estados Unidos (USDA) es el principal importador de zarzamora en producto fresco a nivel mundial, por lo cual, México en los últimos 4 años exporto a USA el 98.3 % producida, seguido por Guatemala con el 1.7 % (USDA ARS, 2023).

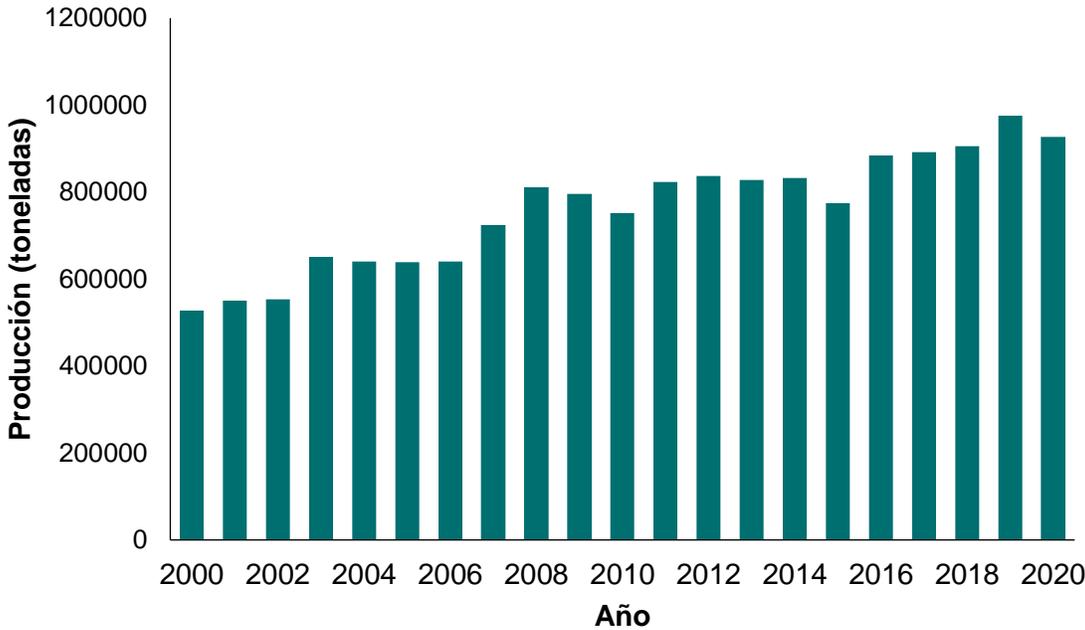


Figura 1. Producción mundial de zarzamora en las dos últimas décadas.
Fuente: (FAOAST 2020).

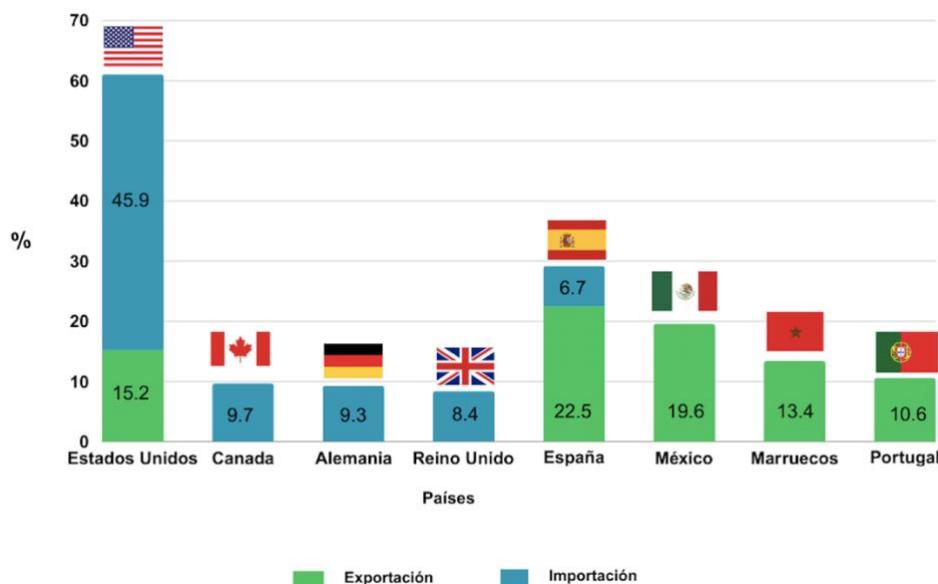


Figura 2. Países de importación y exportación de zarzamora a nivel mundial en el 2020
Fuente: (whitepaper-blackberry.pdf, 2023.)

2.2 Producción de zarzamora a nivel nacional

México se ha consolidado como un destacado referente en la producción de zarzamoras a nivel mundial. El servicio de información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2022) reportó un crecimiento de la producción de zarzamora en la última década (Figura 3). En 2012, se registró una producción de 139,803 t con un rendimiento del 12.24 %, mientras que en 2019 se registró la mayor producción que se ha obtenido en la historia de México y el mundo, ya que alcanzo una producción de 298,024 t y el mayor rendimiento registrado del 23 %. Por otro lado, en el año 2022 la producción descendió a 215 923 t.

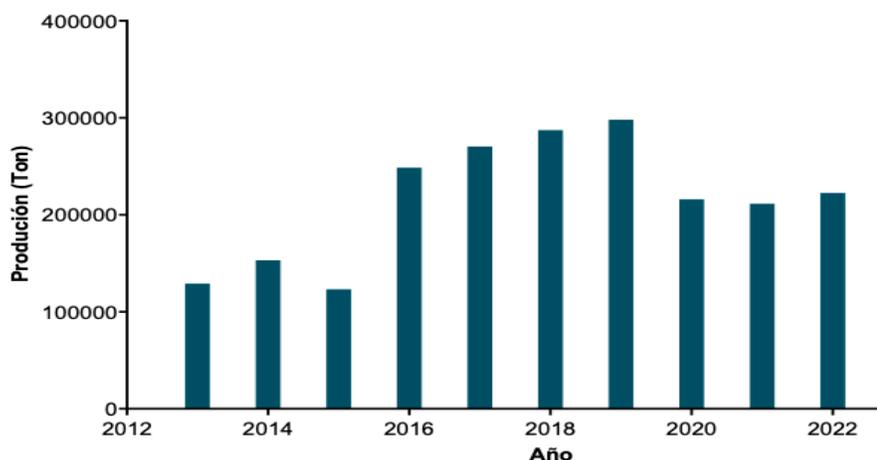


Figura 3. Producción de zarzamora en México en la última década (2013-2023)

No obstante, la producción total de zarzamora en México se encuentra distribuida entre diversas entidades federativas (Tabla 1), siendo Michoacán quien ostenta el primer lugar en producción. Según los datos más recientes registrados en 2022, Michoacán representó aproximadamente el 91 % de la producción total seguido de Jalisco con el 7 % y Baja California con el 0.58 % (SIAP, 2023). En el mismo año, Michoacán alcanzó una producción de 205,032 t y un rendimiento máximo de 24.29 ton/ha, generando un beneficio económico de 4,029,200 dólares.

Tabla 1. Entidades federativas de México; volumen de producción, rendimiento y valor de producción de zarzamora en el 2022

Entidades	Producción toneladas	Promedio de rendimiento (ton/ha)	Valor producción (miles de pesos)
Michoacán	205,032.83	24.29	4,029,200.54
Jalisco	12,456	14.80	427,171.21
Baja California	2,462.50	19.70	267,977.50
Puebla	679.50	16.82	18,169.30
Colima	1532.58	9.68	42,420.18
Guanajuato	213.63	11.13	6,983.29
Querétaro	18.13	7.25	407.42
Morelos	39.60	3.60	472.89
Tlaxcala	11.30	11.30	339.0
Ciudad de México	16.50	3.71	156.75
Hidalgo	2	2	21.80

Fuente: (SIAP, 2022)

Es importante señalar que los rendimientos de producción en el cultivo de zarzamora están condicionados por factores ambientales tales como la luz, la temperatura, la humedad, el suministro de agua y la nutrición de la planta. Además, la manera en que se gestiona el cultivo ya sea en campo abierto o mediante tecnología protegida.

2.3 Manejo del cultivo de zarzamora en campo abierto y tecnología protegida (Macro túneles y malla sombra)

2.3.1 Campo abierto

Los cultivos en campo abierto son aquellos que carecen de cualquier tipo de resguardo, sombra o protección que disminuya la exposición a la luz solar. En este enfoque, las plantas de zarzamora se disponen en hileras y están expuestas directamente a la radiación solar. Este método favorece el desarrollo de las plantas fuertes y saludables. No obstante, la elección de cultivar en campo abierto conlleva tanto ventajas como desventajas.

Una de las grandes ventajas, es que diversos factores climáticos pueden resultar de utilidad para ayudar a crecer el cultivo. Las lluvias pueden ayudar a cumplir con los requerimientos hídricos del cultivo de manera adecuada, al igual que la radiación solar que favorece la síntesis de carbohidratos. (Clark & Finn, 2014). En cambio, la principal desventaja en comparación de tener un cultivo protegido es que, hay mayor probabilidad de que se presente problemas de sanidad, cambios o falta de control de pH, así como también, mayor incidencia de plagas y enfermedades.

2.3.2 Cultivo protegido

La agricultura protegida se define como una actividad en la que los sistemas de cultivos se desarrollan bajo estructuras de protección, tales como invernaderos, macro túneles, mallas de sombra, entre otras técnicas. Estas estructuras tienen como objetivo principal resguardar los cultivos, como la zarzamora, el jitomate, los

pepinos, entre otros, de factores durante su producción. Además de proporcionar protección contra condiciones climáticas extremas, plagas y enfermedades, estas estructuras también buscan introducir una serie de modificaciones y prácticas agrícolas destinadas a mejorar el rendimiento del cultivo (Lawrence Pratt & Ortega, 2022).

Ahora bien, los cultivos en macrotúneles son estructuras ligeras de acero en forma de túnel, sobre la cual se coloca una película plástica durante la floración del cultivo o en la etapa temprana del desarrollo del fruto. Los macro túneles no son completamente cerrados hasta el suelo, son básicamente una cubierta superior a una altura de entre 3 – 3.5 m (Montelongo Chávez, 2014). Además, cumplen principalmente con funciones como ayudar a los cultivos en la mejora de la calidad, como maximizar su tamaño y proporción de drupeolas más brillantes en la zarzamora (Santos et al., 2010).

Por otro lado, la malla sombra es una estructura metálica construida con base de un tubo redondo galvanizado, anclajes a base de varilla de hierro corrugado, trenzas y cordones de hierro. El uso de malla sombra en la producción de zarzamora, se basa en la necesidad de sustituir las cubiertas plásticas (macro túneles) por una cubierta porosa. Las mallas sombras, tienen un efecto en el intercambio de aire y con ello la reducción de gradientes; como temperatura y un nivel conveniente de dióxido de carbono (Espinoza Morales, 2010). Por lo que esta tecnología es recomendada en lugares con altas temperaturas para mantener un clima y una humedad constante dentro del cultivo. Asimismo, contribuye en la distribución de la luz, lo que permite un beneficio en el proceso físico-químico de las plantas (García Mendoza, 2017)

2.3.3 Comparación de cosecha y rendimiento en campo abierto y áreas protegidas en producción de zarzamora

En la figura 4 y 5 se presenta una comparación entre la cosecha y el rendimiento de cultivos de zarzamora convencional a nivel nacional, considerando tanto el cultivo en campo abierto como en áreas protegidas mediante el uso de tecnologías como invernaderos, macro túneles y mallas sombra. Según la información expuesta, las tecnologías de cultivos protegidos empezaron a implementarse hacia finales de 2015, y su impacto en la producción fue significativo en 2016. En este año específico, se cosecharon 788.09 hectáreas con un rendimiento de 21.54 toneladas por hectárea en cultivos protegidos. Este rendimiento resultó ser superior en comparación con los cultivos en campo abierto. Durante el mismo período, en campo abierto se cosecharon 11,989 hectáreas, mostrando una diferencia notablemente menor en comparación con los cultivos protegidos (SIAP,2022). No obstante, en los últimos años la cosechas en cultivos de campo abierto han sido más pronunciadas que los cultivos protegidos.

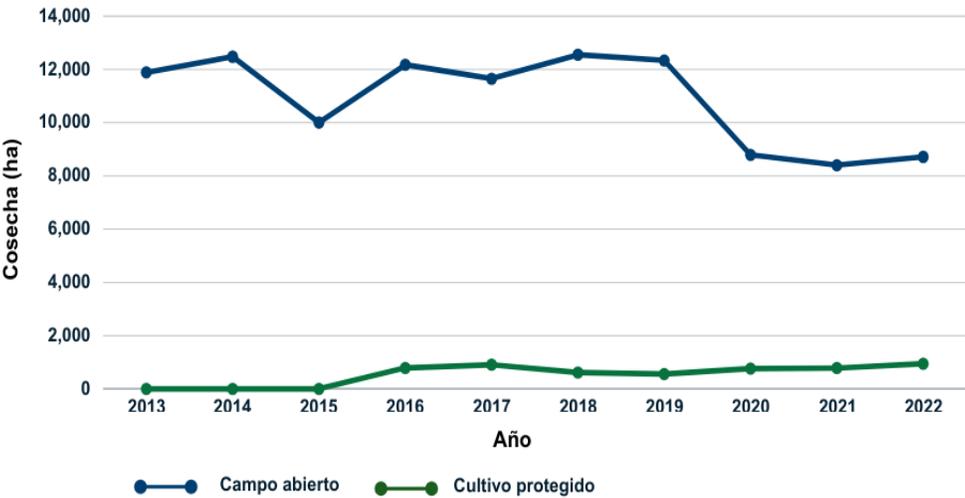


Figura 4. Cosecha de zarzamora en campo abierto en comparación en tecnologías protegidas (Macro túneles, malla sombra e invernaderos) 2013-2022

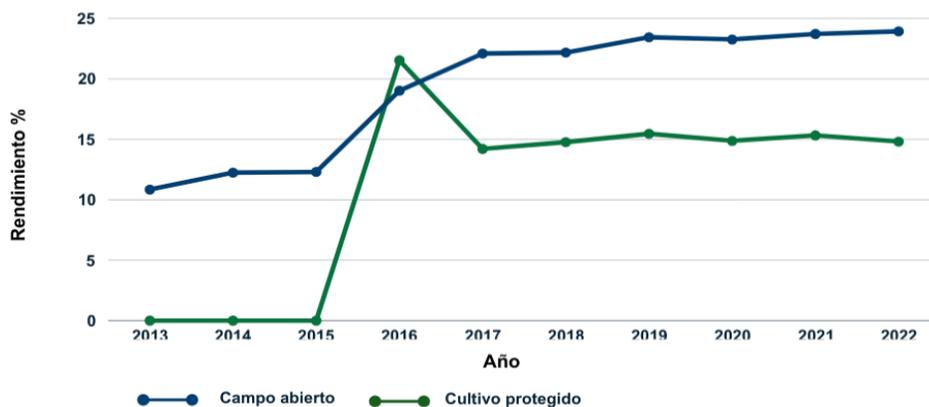


Figura 5. Rendimiento en campo abierto y cultivo protegido en zarzamora (2013 - 2022)

2.4 Taxonomía y generalidades de la zarzamora

La zarzamora pertenece al género *Rubus* de la familia Rosáceas. La familia Rosaceas es la decimovena familia de plantas más grande. *Rubus*, contiene cerca de 700 especies, por lo que es el genero más grande de esta familia. Además de que las zarzamoras pertenecen al grupo de las 4 berries (arándano, fresa, zarzamora y frambuesa). Su clasificación taxonómica se describe en la siguiente tabla 2.

Tabla 2. Clasificación taxonómica de la zarzamora

Rango	Nombre científico
Reino	Plantae
Superdivisión	Espermatofita
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Rosidae
Orden	Rosales
Familia	Rosacea
Subfamilia	Rosoidea
Tribu	Rubeae
Género	<i>Rubus</i>
Especie	<i>Rubus sp</i>

Fuente: (USDA, 2014)

2.4.1 Generalidades de la zarzamora

El cultivo de zarzamora es un arbusto semi postrado, perenne, caducifolio y espinoso, con tallos enredados y arqueados que pueden alcanzar una altura de hasta 3 metros (Famiani & Walker, 2009; Zia-UI-Haq et al., 2014). Para lograr un crecimiento y producción óptimos de frutos, estos arbustos requieren condiciones de temperatura que oscilen entre los 5 y 22 °C como máximo, junto con una precipitación anual que varía entre 1500 y 2500 mm y una humedad relativa del 80 al 90%. Además, es importante que se encuentren a una altitud de 2000 a 3000 metros sobre el nivel del mar, en suelos franco arcillosos que retengan adecuadamente el agua y permitan un drenaje eficiente, con un alto contenido de materia orgánica y un pH en el rango de 5.2 a 6.7 (Hall & Funt, 2017; Labanca et al., 2017; Zuloeta Sánchez, 2017).

Las flores del cultivo de zarzamora suelen ser aproximadamente de 2 a 3 cm y suelen tener 5 pétalos de color rosa pálido o blancos con múltiples estambres. Los pétalos de las flores suelen caerse y formar el fruto; se le llama amarre del fruto. Para lo cual, los frutos forman agregados para realizar las drupeolas. Cada drupeola es conformada por una semilla, rodeada de un mesocarpio carnoso y seguido de un exocarpio o piel exterior. El conjunto de drupeolas permanece unidas al receptáculo y conforman el fruto de zarzamora (Figura 6). El número de drupeolas por fruto varía de 50 a más de 100 con un rango de porcentaje establecido de 40 a 90 %. Cuando el fruto esta maduro, este se desprende del tallo como una sola unidad (Armour et al., 2021).



Figura 6. Morfología de la fruta de zarzamora (*Rubus* spp.) a) fruto de zarzamora con corte transversal y b) fruto de zarzamora completo. Fuente; (Magaña, 2020) con modificaciones

2.5 Etapas de maduración de la zarzamora

La maduración surge a partir de la floración y se genera en un lapso de 40 a 60 días. Durante el desarrollo de la maduración, surgen cambios bioquímicos y fisiológicos; cambios de textura, sabor, tamaño y color, así como cambios de composición de azúcares, reducción de ácidos orgánicos y un aumento en el contenido de antocianinas(Perkins-Veazie, Clark, et al., 2000) ;(Tosun et al., 2008)

En lo general, los cambios de color de la maduración inician con una tonalidad verde en los primeros 10 días posterior de la antesis (dPA), desarrollan enrojecimiento parcial y luego completo en 20 dPA y presentan un cambio a negra parcial y total en 45 a 60 dPA (Perkins-Veazie, Clark, et al., 2000).

Por lo que la zarzamora al ser una fruta no climatérica se debe cosechar en su óptima etapa de madurez. Para identificar el momento de corte del fruto, Zhang et al., (2019) describieron 7 etapas de desarrollo de maduración de acuerdo con la tonalidad del color del fruto, donde identificaron dos momentos de corte en la etapa de maduración 6 y 7 (Figura 7).

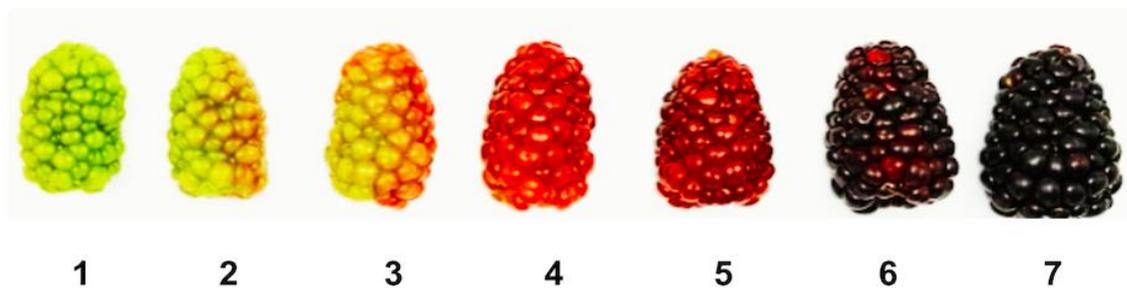


Figura 7. Ejemplo de etapas de cambio de color de frutos “AK2A”; 1) verde, 2) verde-rojo, 3) rojo- verde, 4) rojo, 5) rojo completo, 6) envinado o rojo-negro, 7) negro brillante. Fuente; Imagen propia.

2.6 Cosecha

Los frutos son cosechados y recolectados en su etapa de madurez negro brillante. Son colocados en contenedores y transportados para su almacenamiento en refrigeración (Thompson, 2011). La vida útil de los frutos es 2-3 d a temperatura de refrigeración y 7 días en temperaturas 0 - 1 °C en humedades relativas de 90 – 95 %. Aunque se consideran parámetros de conservación para ralentizar el crecimiento de hongos, reducir su tasa de respiración y evitar la pérdida de agua (Horvitz et al., 2017; Junqueira-Gonçalves et al., 2016), el almacenamiento en frío ha resultado todo un reto controlar. Ya que, la fruta puede presentar daños por patógenos y daños fisiológicos que se pueden generar desde la precosecha, cosecha y poscosecha de la fruta

Por otra parte, para evitar el daño en zarzamora desde la cosecha, las operaciones deben ser realizadas manualmente; por lo regular es con pulgares y dedos. Aunque también, se han diseñado tecnologías que puedan implementarse para realizar una rápida y eficaz cosecha sin reproducir un daño en el fruto de manera mecanizada. No obstante, se ha observado que una mala manipulación y el uso de tijeras de podar pueden generar en las frutas magulladuras o hematomas, así como el uso de tecnologías mecánicas pueden producir vibraciones que afectan la estructura celular de la zarzamora y por ende una pérdida poscosecha. Por lo tanto, es

preferible que la cosecha de estas frutillas se realice manualmente y sin producir demasiada presión en el momento del corte para evitar la mayor pérdida (Hussein et al., 2020).

2.7 Daños patogénicos y físicos en la zarzamora

Los principales daños por patógenos en zarzamora son fúngicos y causan pérdidas de cosecha y poscosecha. El daño por patógenos en frutos reduce principalmente la vida útil del fruto y puede generar pérdidas de aproximadamente del 33 % de la producción total (Romero et al., 2022). Los principales patógenos que afectan la zarzamora son *B.cinerea*, *cladosporium spp.*, *Penicillium spp.*, *Fusarium spp.*, y *Rhizopus spp.*, (Huynh et al., 2019).

Sin embargo, los daños físicos son más comunes y frecuentes. Estos se generan en la superficie de la fruta, causan reversión de color, pérdida de agua en el fruto, pérdida de firmeza, incremento de la transpiración y respiración, pérdida de calidad y de vida útil. Estos daños pueden surgir por una mala cosecha o poscosecha; desde el impacto, abrasiones, cortes, vibraciones, hematomas o posibles heridas que permiten la internalización de los patógenos (Armour et al., 2021; Brito Grandes et al., 2016). Aunque existen distintos factores que generan las pérdidas cosechas y poscosecha de la zarzamora, la reversión de color es el factor más perjudicial para la calidad y la aceptación de la fruta en el mercado.

2.8 La reversión de color

La reversión de color (RVC) es un trastorno fisiológico que se observa en el cambio de color de las drupeolas de la zarzamora, estas cambian de una coloración negro brillante a un rojo (USDA, 2014). Del 95 % de la fruta exportada, el 5 % se revierte y ocasiona grandes pérdidas económicas (Pérez Pérez et al., 2018).

Se ha observado que la reversión de color se puede desarrollar hasta los puntos de comercialización o de consumo. En los supermercados el 72 % de los consumidores rechazan los frutos con drupeolas rojas y prefieren frutos con una mayor uniformidad de color. Ya que, el cambio de color lo relacionan con un fruto que se encuentra en su etapa de madurez inmadura (Dunteman et al., 2018) (Figura 8). Se han realizado estudios que abordan las posibles causas de la reversión de color; no obstante, hasta el momento no se hallado una solución definitiva a este fenómeno fisiológico. La respuesta a este trastorno exhibe variaciones significativas entre distintas variedades de zarzamora, y su comportamiento difiere según el estado de madurez de la fruta (Flores-Sosa et al., 2022). Esta diversidad podría estar vinculada a las propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas presentes entre las diversas variedades, lo que podría proporcionar claves para comprender el comportamiento y la susceptibilidad a la reversión de color.

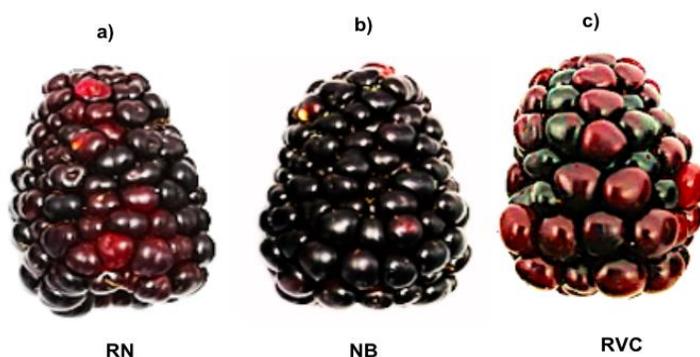


Figura 8. Frutos de zarzamora. a) zarmora en estado de madurez 6 (RN; Roja-Negro) b) zarzamora en estado de madurez 7 (NB; Negro-Brillante), c) Zarzamora Revertida. Fuente: fotografía tomada por el equipo de trabajo del laboratorio de Poscosecha UAQ.Fuente; Imagen propia

2.9 Composición nutrimental y química de la zarzamora.

La zarzamora contiene nutrientes como vitaminas, minerales, proteínas, azúcares y polifenoles; hacen de la fruta nutritiva para el consumidor. Sus nutrientes dependen de acuerdo con la ubicación del cultivo, del momento de la cosecha, de la ubicación geográfica y la variedad cultivada (Liao et al., 2020). En la tabla 2, se muestra el contenido nutrimental que conforman a la fruta.

Tabla 3. Composición nutrimental de la zarzamora por porción de 100 g

Componentes		Vitaminas		Minerales	
Agua (g)	88.2	Ácido ascórbico	total	Calcio (mg)	29
Energía (Kcal)	43	(mg)	21	Hierro (mg)	0.62
Proteína (g)	1.39	Tiamina (mg)	0.02	Magnesio	10
Lípidos totales	0.49	Riboflavina (mg)	0.03	Fósforo (mg)	22
Cenizas (g)	0.37	Niacina (mg)	0.65	Potasio (mg)	162
Carbohidratos (g)	9.61	Ácido pantoténico	0.28	Sodio (mg)	1
Fibra total (g)	5.3	Vitamina B6	0.03	Zinc (mg)	0.53
Azúcares totales (g)	4.88	Folato total (mg)	25	Cobre (mg)	0.17
Sacarosa (g)	0.07	Vitamina B12	ND	Manganeso	0.65
Glucosa (g)	2.31	Vitamina A (UI)	21	Selenio (mg)	0.4
Fructosa (g)	2.31	α-Tocoferol	1.17		
Maltosa (g)	0.07	β-Tocoferol	0.04		
Galactosa (g)	0.03	γ-tocofero	1.34		
Almidón (g)	-----	Tocoferol (mg)	0.9		
		Vitamina k (µg)	19.8		

Fuente : (Publication : USDA ARS, 2018.)

Recientes investigaciones han indicado que los estados de madurez pueden incidir en el comportamiento de las características fisicoquímicas, componentes nutricionales y bioactivo, así como en las propiedades de antioxidantes (Seraglio et al., 2018). Es relevante destacar que durante la maduración se observa un aumento en los pigmentos antocianicos, la capacidad antioxidante, los sólidos solubles totales y los azúcares (Fu et al., 2015). Contrariamente, la acidez titulable y el pH tienden a disminuir, mientras que se afirma que los compuestos fenólicos y no antocianinas no muestran una tendencia específica (Schulz et al., 2015). Así pues, el comportamiento de estos compuestos fisicoquímicos y bioquímicos podrían estar relacionados a los cambios de susceptibilidad a la reversión de color en las variedades de zarzamora.

2.10 Composición física de la zarzamora

2.10.1 Firmeza

La firmeza es un parámetro de calidad crucial para la aceptación de la de la zarzamora en el mercado y desempeña un papel fundamental en la vida poscosecha. Los cambios en la firmeza durante el desarrollo de la maduración de la fruta se atribuyen a la correlación con la solubilidad y despolimerización de los componentes de la pared celular, así como al funcionamiento de diversas enzimas relacionadas con la maduración (Brummell & Harpster, 2001).

La firmeza se erige como el principal indicador de la resistencia del fruto a daños mecánico. Los frutos con firmezas elevadas se consideran prioritarios para facilitar la cosecha, el transporte y el manejo poscosecha. Además, dado que los consumidores suelen preferir frutos más firmes y crujientes, la pérdida de la firmeza puede constituir un factor adverso para su aceptación en el consumo. (Di Vittori et al., 2018).

El cambio en la firmeza puede observarse en frutas revertidas, si bien el comportamiento de dicho cambio dependerá del cultivo de zarzamora. Los genotipos que manifiestan una alta firmeza han demostrado una baja a la reversión de color, presentando una mejor integridad de la pared celular, una reducción en la separación celular, un aumento en la firmeza y una disminución en la pérdida de peso poscosecha. Por lo que, la susceptibilidad puede estar asociada a la causa por daños mecánicos (Edgley et al., 2020).

2.10.2 Forma y tamaño del fruto de zarzamora

La definición del tamaño de la fruta se refiere a las dimensiones físicas (diámetro polar y diámetro ecuatorial) que ha alcanzado el fruto en su desarrollo; el diámetro polar es la mayor medida de dimensión longitudinal; se toma en cuenta desde la

base del fruto hasta el ápice del fruto; el diámetro ecuatorial, es el diámetro mayor del fruto, que se mide en forma perpendicular al diámetro polar (NMX-FF-129-SCFI-2016).

El tamaño de la fruta se ha determinado por una combinación de números y tamaños de las drupeolas que pueden producir una forma de la berry en barril, redonda, cuadrada, irregular o cónica. La zarzamora puede llegar a pesar desde los 8 a 15 g dependiendo de su variedad (Fernández-Salvador et al., 2015). Las evaluaciones de los rasgos sensoriales y organolépticos se basan en métodos de evaluación estándar, que han sido bien descritos y caracterizados. La forma del fruto está estrictamente relacionada con la variedad del fruto y suele evaluarse mediante descriptores en los que se deben identificar los frutos

2.10.3 Acidez titulable

La acidez representa un parámetro importante para evaluar la calidad de las frutas. Por lo cual se define como la presencia ácidos orgánicos, en especial el ácido málico. La relación entre el equilibrio del contenido de sólidos solubles y la acidez titulable está determinada por el contenido de azúcares y ácidos orgánicos. Por lo que estos cambios bioquímicos se pueden ser distintos dependiendo de los genotipos y de las prácticas agronómicas empleadas, así como, también de las etapas de maduración de recolección de fruta, las condiciones climáticas y geológicas del área donde se recolecte la fruta (Zia-UI-Haq et al., 2014).

2.10.4 Color

El color es uno de los principales indicadores del control de calidad de los frutos frescos y el más importante para identificar la etapa de madurez óptima. Además, es un atributo evaluado mediante la energía radiante o la intensidad del espectro de luz. El ser humano solo puede percibir el color cuando la energía corresponde a una onda que oscila entre 380 y 780 nm. Por esta razón, el color constituye la parte de

la energía radiante que el ojo humano que se capta a través de las sensaciones visuales provocadas por la estimulación de la retina (Dergal, 2006). Por lo que la percepción del color debe ser más objetiva.

El espacio de color CIELAB permite disponer de escalas de colores en coordenadas de L^* , a^* , b^* , donde el valor de L^* indica la luminosidad, a^* indica la variación de tonalidades entre rojo - verde y b^* indica la variación entre amarillo – azul. El tono (h^*), es atributo cualitativo del color y está vinculado con expresiones tradicionales de color como rojo, amarillo, azul y verde. Se utiliza para definir la diferencia de color con referencia con el gris, manteniendo la misma luminosidad (Rigolon et al., 2020).

Por otra parte, el color es generado en las frutas y hortalizas por pigmentos cruciales como las clorofilas, los carotenoides y las antocianinas. Son responsables de los colores verdes, amarillo y rojo de las frutas y hortalizas. Por ejemplo, las antocianinas, son los principales grupos fenólicos responsables de coloraciones rojo, azul y morado. Los carotenoides se asocian a coloraciones rojo o naranja y las clorofilas a colores verdes de las frutas y hortalizas (Cömert et al., 2019).

2.11 Composición química de la zarzamora

2.11.1 Azúcares

Los azúcares constituyen los productos primarios de la fotosíntesis y desempeñan diversas funciones cruciales en las plantas, sirviendo como moléculas de transporte de energía y carbono, actuando como precursores de compuestos aromáticos y moléculas de señalización. Asimismo, son fundamentales para definir la composición del fruto, que mantiene un equilibrio entre azúcares y ácidos orgánicos. Durante la fase avanzada de maduración, se observa un aumento en el contenido de azúcares y una disminución en el contenido de ácidos orgánicos (Veberic et al., 2014).

Por lo que los azúcares desempeñan un papel crucial en la identificación de la etapa de madurez óptima, siendo notable su acumulación significativa en cambio de color del fruto, que va desde un tono rojo claro hasta un púrpura oscuro en el fruto de zarzamora. Por lo tanto, los azúcares ayudan a identificar la etapa de madurez.

Los azúcares reductores principales en la zarzamora son la glucosa, fructosa y sacarosa (Fan-Chiang & Wrolstad, 2010).

2.11.2 Ácidos orgánicos

Los ácidos orgánicos son moléculas que se caracterizan por disociarse en una solución acuosa, para poder liberar uno o más protones. La disociación se debe al tipo de ácido en relación con pH de la solución en la que se disuelve. Por lo que, cuanto más bajo es el pH menos disociado está el ácido.

En el citoplasma de la célula vegetal existe un pH más altos. Por otra parte, muchos ácidos orgánicos están presentes casi en su totalidad como anión. En la vacuola celular el pH es más bajo y hay una proporción mucho mayor de ácidos no disociados (Famiani & Walker, 2009).

Los ácidos orgánicos son importantes para la calidad sensorial del fruto. Los ácidos orgánicos predominantes en la zarzamora son: Ácido cítrico, ácido málico y ácido tartárico, el ácido málico y cítrico y ayudan a la conservación y el mantenimiento del pH de la fruta (Kafkas et al., 2006; Kaume et al., 2012) por lo que la estabilidad del color pudiera estar realcionada con respecto al cambio de pH y contenido de ácidos orgánicos.

2.11.3 Antocianinas

Las antocianinas son un tipo de flavonoides que se producen a través de la vía de los fenilpropanoides. Están presentes en todos los tejidos de las plantas superiores incluyendo hojas, tallos, raíces, flores y frutos. Estos compuestos se almacenan en

las vacuolas de las células vegetales, y desempeñan un papel fundamental en la polinización. Además, al absorber la luz, protegen a las plantas contra el daño provocado por los rayos ultravioleta y el estrés causado por frío. También son los responsables de los colores rojos, morados, azules y violetas que encontramos en frutos como las uvas, las fresas, las cerezas, las zarzamoras, entre otras (Mattioli et al., 2020).

2.11.3.1 Estructura de las antocianinas

Las antocianinas son glucósidos solubles en agua de antocianidinas y son parte de los compuestos fenólicos conocidos como flavonoides con un anillo-A benzil y un anillo-B hidroxicinamoil. La estructura de las antocianinas se compone principalmente de un esqueleto básico de carbono C6-C3-C6 y la estructura es el fenilbenzopirilio de la sal de flavilio. Las diferencias entre las moléculas de antocianinas radican principalmente en el número de grupos hidroxilo, el tipo de posición de enlaces de los azúcares, el tipo y posición de enlace de los grupos acilo en las moléculas de azúcar modificadas (Oancea, 2021).

El glucósido más común es la glucosa y de acuerdo con el número de glucosidos las se clasifican las antocianinas (Tabla 4). Es importante mencionar que las antocianidinas más comunes en frutas y hortalizas son la cianidina, delphinidina, pelargonina, peonidina, petunidina y malvidina. En cambio, las principales antocianinas en la zarzamora son: cianidina-3-O-glucósido, Pegargonidina-3-O-glucosido y pelargonidina-3-O rutinósido. La cianidina-3-O-glucósido se encuentra en un 70 % en la zarzamora (Figura 9).

Las antocianinas se pueden encontrar de formas modificadas, como glucosiladas, metiladas y aciladas. La antocianinas aciladas son aquellas que en su grupo glucósido se encuentra un ácido alifático o aromático; principalmente en el C6 y se le conoce como antocianinas aciladas (Kaur et al., 2021). Las principales antocianinas aciladas en frutas se divide en antocianinas acriladas, antocianinas

cumaroildas, antocianinas cafeoiladas y antocianina maloniladas (Khoo et al., 2017).

Cabe mencionar que la adición de los grupos acidos en las antocianinas se lleva a cabo por la enzima enzima acil transferasa (ACT), que tienen una especificidad de sustrato muy alta, tanto como antocianinas aceptoras y donantes de grupos acilo.

La acilación en las antocianinas induce una protección para que estas no sufran un efecto descoloración en soluciones acuosas, neutras o débilmente ácidas. Por lo tanto, la acilación parece estabilizar el color de las antocianinas y por ello pueden jugar un papel importante en los cambios de color de algunos frutos.

Ahora bien, el color que representa cada antocianina depende del número y orientación de los grupos hidroxilos y metoxilos. Por ejemplo, un incremento en la hidroxilación produce un color azul, mientras un incremento en la metoxilación produce un color rojo.

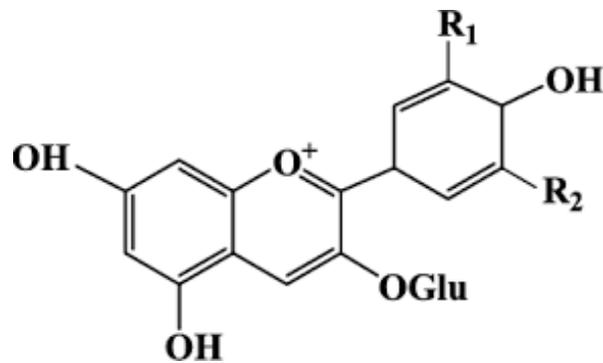


Figura 9. Estructura de la antocianina cianidina-3-glucosido

Tabla 4. Estructura molecular de las 7 antocianinas en la zarzamora y sus longitudes onda.

Antocianidinas	Substitución		Color visible	Visible máx. (nm) en MeOH-HCl
	R1	R2		
Pelargonidina	H	H	Rojo	520
Cianidina	OH	H	Mangueta	535
Delfinidina	OH	OH	Purpura	546
Peonidina	OCH3	OH	Magenta	532
Petunidina	OCH3	OH	Purpura	543
Malvidina	OCH3	OCH3	Purpura	542

2.11.3.2 Biosíntesis de antocianinas

La síntesis de antocianinas, es generada principalmente en tejidos vegetativos, más comúnmente en la epidermis, durante el crecimiento y desarrollo de las plantas y en respuesta al estrés (Kovinich et al., 2014).

La biosíntesis de antocianinas es un mecanismo de las vías de metabolitos secundarios más estudiado en las plantas. Se conoce que existen diferentes factores metabólicos que regulan el transporte de antocianinas a la vacuola RI. La ruta de biosíntesis de las antocianinas es una parte integral de la ruta fenilpropanoides (PPP). La vía de las antocianinas comienza con la fenilalanina que se convierte en ácido cinámico a través de una serie de reacciones enzimática. Luego el ácido cinámico se combina con la coenzima A (CoA) para formar el precursor 4-coumaroyl CoA (Riaz et al., 2016).

Posteriormente la molécula 4-coumaroyl CoA se transforma en un dihidroxichalcone por medio de la reacción catalizada por enzima como la chalcona sintasa y la chalcona isomerasa. Posteriormente se forma las antocianidinas, los

dihidroxichalcones se convierten en antocianidinas, que estos son precursores directos de las antocianinas finales. Para que se lleve a cabo este proceso se involucran enzimas como la dihidroflavonol 4-reductasa. A partir de la formación de las antocianidinas estas por medio de enzimas como la antocianidina-3-O-glucosiltransferasa y la antocianina-3'-O-glucosiltransferasa agregan los grupos de glucosa y realizan la glucosilación y metilación para obtener las antocianinas finales (Figura 10) (Liu et al., 2018; Xia et al., 2021).

En resumen, la biosíntesis de las antocianinas implica una serie de pasos bioquímicos que comienzan con la fenilalanina y termina con la formación de antocianinas finales, que son los pigmentos responsables de los colores de las frutas. Por otro lado, existen factores que ayudan a la regulación de la biosíntesis, dichos factores pueden ser ambientales o de desarrollo que pueden inducir la expresión de factores de transcripción (MYB) los cuales desencadenan la síntesis de antocianinas.

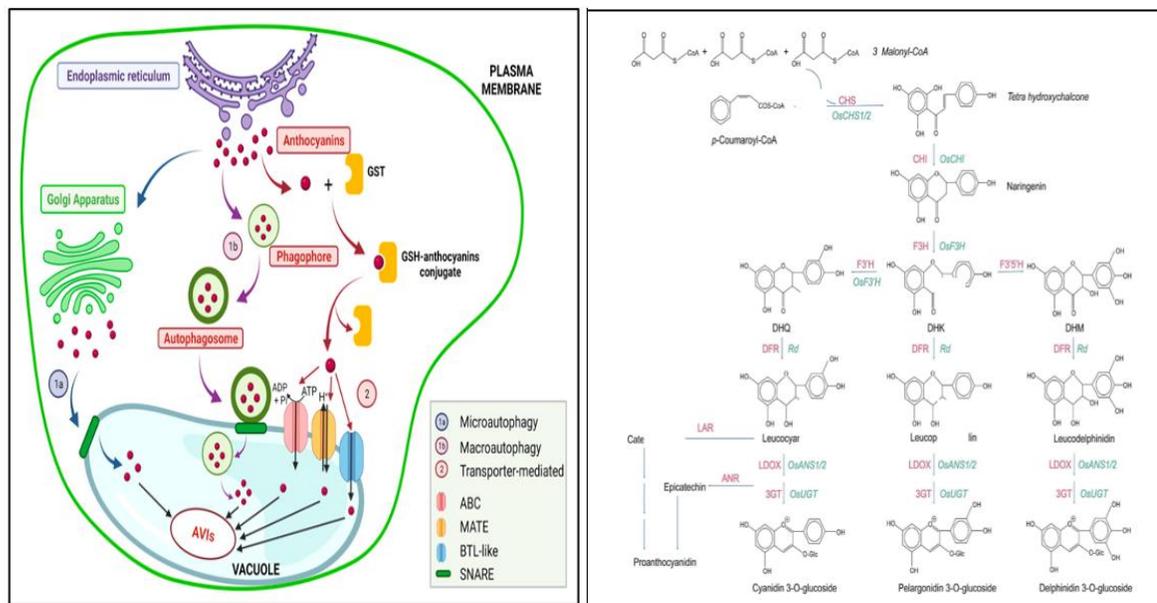


Figura 10 Biosíntesis de antocianinas en la célula vegetal. Fuente; (Liu et al., 2018; Xia et al., 2021).

2.11.4 Fenoles

Las flavonas, flavonoles, flavanonas, flavonoles, antocianidinas, flavonoles e isoflavonas son los flavonoides que se encuentran en su mayoría en la naturaleza. Estos compuestos están conformados por una estructura de C6-C3-C6, por lo que los flavonoides pueden comportarse como eliminadores de radicales libres, proporcionando átomos de hidrogeno o electrones y donar iones metálicos, lo que da como resultado presentar una actividad antioxidante (X. Huang et al., 2023).

Los compuestos fenólicos se encuentran distribuidos en el reino vegetal. Estos cuentan con más de 8,000 estructuras fenólicas, desde moléculas simples como ácidos fenólicos hasta moléculas más complejas como los taninos.

Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios y tienen distintas funciones dentro de la planta. También, contribuyen en la pigmentación de la planta y de la fruta (Dai & Mumper, 2010). Los principales compuestos fenólicos que se encuentran en la zarzamora son: flavonoides, catequinas, isoflavonoides y polifenoles; estos últimos se clasifican en ácidos fenólicos, estilbenos, taninos y lignanos. Los fenoles parten de la ruta del ácido shikímico y del ácido acético; funcionan en la asimilación de nutrientes, la síntesis proteica, la actividad enzimática, la formación de componentes estructurales y la defensa de factores adversos del ambiente a través de compuestos antioxidantes (Moyer et al., 2002).

Aunque se ha observado que en extracciones fitoquímicos y análisis de los perfiles fenólicos en frutos, se ha determinado que la concentración de compuestos fenólicos varía dependiendo de la genética (genero, especie, cultivar y genotipo), factores ambientales y el estado de madurez (Vásquez et al., 2019).

3. JUSTIFICACIÓN

México es el principal productor y exportador de zarzamora a nivel mundial. En el 2021, esta producción alcanzó las 211 377 toneladas, de las cuales el 95 % se exportó.-Sin embargo, para que el fruto sea aceptado en los mercados de destino, debe cumplir con ciertos criterios de calidad, como la coloración negra. En este sentido, el fenómeno de la reversión de color provoca el rechazo de los frutos de zarzamora, generando pérdidas de hasta el 5 % del valor total de la producción. En evaluaciones previas realizadas en el laboratorio de Fisiología y Bioquímica Poscosecha de Frutas y Hortalizas de la Universidad Autónoma de Querétaro se ha determinado que uno de los factores que induce la reversión de color es el daño mecánico, ya sea por una mala cosecha o por las vibraciones del fruto durante el transporte. Asimismo, se ha establecido que hay diferente susceptibilidad a la reversión de color entre variedades, aunque se desconoce la causa de estas diferencias. No obstante, los productores han observado que la susceptibilidad a la reversión de color depende de la etapa de madurez en la que se coseche el fruto (Rojo-negro o Negro-brillante). En este contexto, es relevante estudiar los perfiles químicos y fisicoquímicos en diferentes etapas de madurez para determinar posibles indicadores de la reversión de color y así proporcionar información útil para el desarrollo de nuevas variedades con menor la susceptibilidad a la reversión de color.

4. OBJETIVO GENERAL

4.1 Objetivo general

Establecer si existe una relación de la estructura de la fruta, sus propiedades fisicoquímicas, su composición química, el estado de madurez a la cosecha con el desarrollo de la reversión de color de diferentes variedades de zarzamora que eventualmente pudieran ser utilizados como indicadores de predicción de la reversión de color en los programas de desarrollo de nuevas variedades.

4.2 Objetivos específicos

En cuatro variedades comerciales de frutos de zarzamora cultivados en Michoacán México se pretenden lograr los siguientes objetivos específicos:

1. Evaluar si el estado de madurez en la cosecha afecta de manera significativa la susceptibilidad a la reversión de color.
2. Identificar si los parámetros físicos de color y textura tienen valor como indicadores de la reversión de color en esas variedades.
3. Identificar el potencial uso de los parámetros de composición fisicoquímica (acidez titulable, sólidos solubles totales y pH) como indicadores de reversión de color.
4. Identificar el potencial uso de los contenidos de antocianinas totales, fenoles totales y azúcares reductores como indicadores de reversión de color
5. Establecer la correlación de factores con la reversión de color en las diferentes variedades de zarzamora estudiadas.

5. METODOLOGÍA

El presente trabajo de investigación se desarrolló en el laboratorio de Fisiología y Bioquímica Poscosecha de Frutas y Hortalizas del departamento de investigación y Posgrado en Alimentos de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ).

5.1 Origen de las muestras

Los frutos de zarzamora (*Rubus* sp.) fueron recolectados en un huerto comercial situado en Ario de Rosales (19°12'32.4 N, 101°42'26.75 W), en el estado de Michoacán . Se cosecharon cuatro variedades de zarzamora (TUP-757, AK2A-980, AM-530 y URA-425) en dos estados de madurez: rojo-negro (RN) y Negro-brillante (NB). Los frutos fueron colocados en clamshells de 6 onzas. En el lugar de la cosecha, se efectuó un registro visual mediante fotografías de dos clamshells correspondientes a cada variedad y estado de madurez, posteriormente se realizaron los análisis físicos.

5.2 Estrategia experimental y manejo de los frutos

Para realizar los tratamientos que dieran respuesta a los objetivos planteados se siguió la estrategia experimental indicada en la Figura 11.

Una vez cosechados los frutos de cada variedad se dividieron en dos conjuntos para ser tratados mecánicamente y otros mantenidos como control. La reversión de color fue inducida por compresión manual ligera aplicada por el personal de Control de Calidad de la empresa que proporcionó las muestras de fruta. Este tratamiento simuló el manejo mecánico que sufren los frutos desde su cosecha y manejo dentro del empaque la empresa, Posteriormente, en campo, se llevó a cabo el registro visual y la medición de los parámetros físicos (firmeza, color y calidad visual)

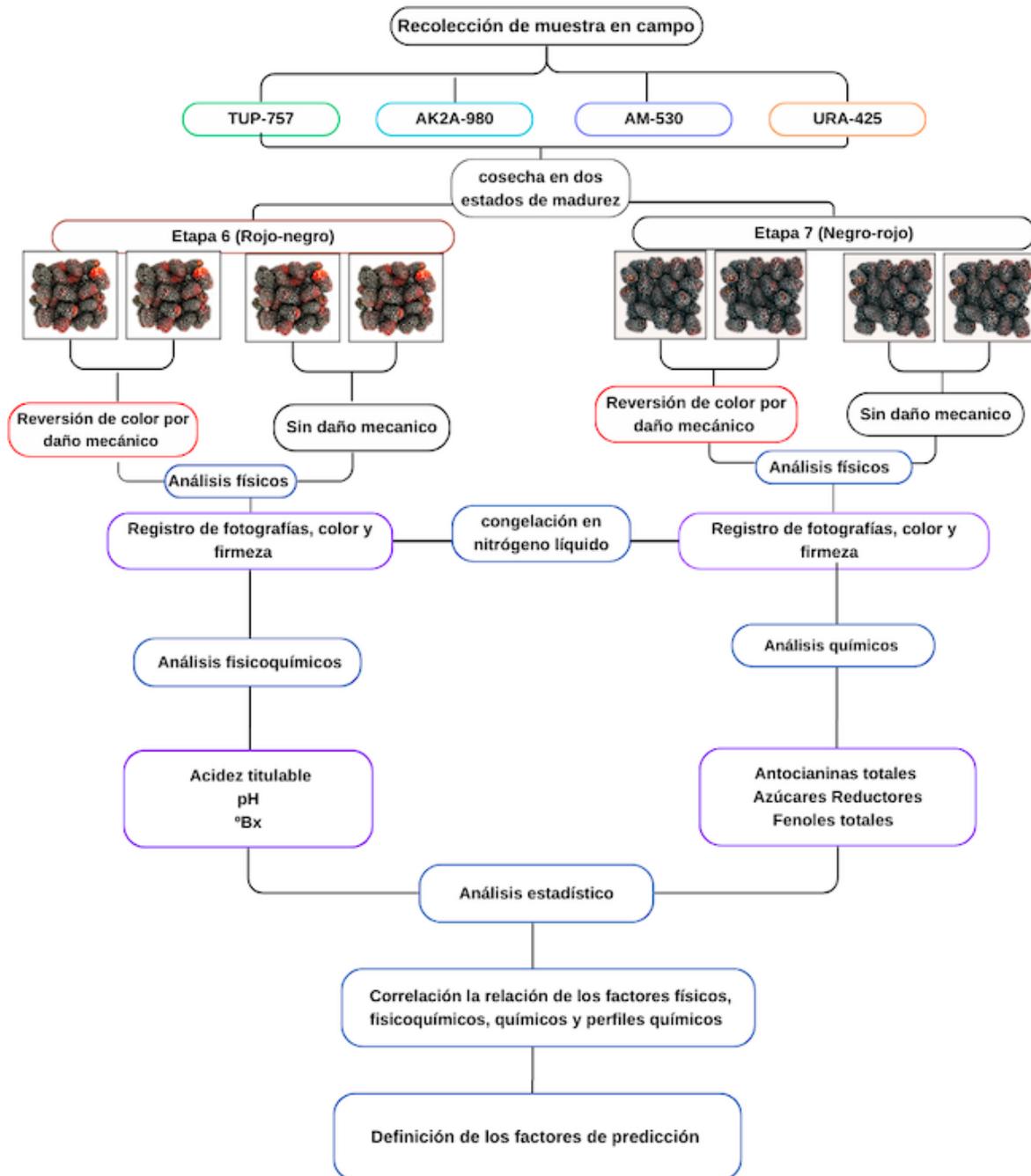


Figura 11. Estrategia experimental seguida durante el experimento. Los frutos de cuatro variedades, en dos estados de madurez (RN) y (NR) contenidos en clampshells, fueron divididos en 2 lotes, dañados mecánicamente o sin daño (control) y analizados sus de parámetros físicos, fisicoquímicos y químicos.

Después todos los frutos fueron congelados en nitrógeno líquido, empaçados en bolsas ziploc colocados en hieleras con hielo y transportados al laboratorio de Fisiología y Bioquímica Poscosecha de Frutas y Hortalizas de la UAQ. En el laboratorio, las muestras se almacenaron en congelación a -20 °C hasta su análisis.

5.3 Análisis de parámetros físicos (color y firmeza)

5.3.1 Medición del color de los frutos

Para la medición de color, se siguió la metodología descrita por McGwire, (1992). De cada unidad experimental, se seleccionaron aleatoriamente 5 frutos, y se midieron tres puntos equidistantes en la superficie de cada uno de ellos. Esto se realizó utilizando un espectrofotómetro de reflectancia Minolta (Minolta Osaka-Light) con una fuente de luz D65 (CM-600D) y un iluminante A, con un observador a 10 grados. Los valores obtenidos se presentaron en términos de L* (luminosidad), a*(componente verde-rojo), b* (componente amarillo-azul), y se calculó también el ángulo de matiz (h°) y la cromaticidad (C*).

5.3.2 Firmeza

La firmeza se evaluó mediante el procedimiento descrito por Zhang et al., (2019) con ligeras modificaciones. La firmeza se midió en cinco frutos de cada unidad experimental, seleccionados de manera aleatoria, en cada fruto se seleccionó una drupeola localizada al centro de la zona ecuatorial del fruto y en ella se aplicó la punta de la sonda y se ejerció una fuerza manual hasta romper la drupeola. Para ello, se empleó un penetrómetro manual Wagner Fruit Test FT 2 Mca Wagner Instruments equipado con una sonda plana de 3 mm de diámetro y capacidad de medición hasta 1000 g fuerza. Los resultados se expresaron como la fuerza ejercida para penetrar una drupeola en gramos fuerza (gf).

5.4 Análisis fisicoquímicos (Acidez Titulable, pH y Sólidos Solubles Totales)

La acidez titulable se determinó siguiendo el método 942.15/90 de la AOAC (1990). 4 g de drupeolas y 40 mL agua destilada se homogenizaron en tubos Falcon de 50 mL en un homogeneizador Ultra Turrax (T-25, IKA, Alemania) a una velocidad de 10,000 rpm durante 1 min, se centrifugaron a 20, 980 x g durante 15 min a 4 °C. 10 mL del extracto acuoso se le registró el pH inicial utilizando un potenciómetro (HI 2213 pH/ORP meter, HANNA instruments). Posteriormente, se ajustó el pH 8.2 ± 0.2 con NaOH 0.1 N. Los resultados se expresaron en gramos de ácido málico por 100 g de muestra fresca, aplicando la siguiente ecuación:

$$\%Acidez = \frac{Vol.NaOH \times N (NaOH) \times Vol.Aforado * Meq \text{ ácido málico} \times 100}{W}$$

Donde W es el peso de fruta utilizado.

Vol. NaOH: mL de NaOH 0.1N gastados para alcanzar pH 8.2

N: normalidad del NaOH: 0.1N

Volumen aforado: Volumen a los que se llevó la muestra de extracto

Meq ácido málico: 0.067

A partir del extracto acuoso, se determinó el contenido de sólidos solubles totales (°Brix) mediante un refractómetro digital (A. Kruss Optronic GmbH). El resultado se ajustó al peso inicial de la muestra y se expresó como porcentaje de sólidos solubles totales (% SST).

5.5 Composición química (contenido de azúcares reductores, antocianinas y fenoles totales)

5.5.1 Contenido total de azúcares reductores

Preparación de reactivo DNS (3,5-dinitrosalicílico): De acuerdo con el método de Miller, (2002) se preparó el reactivo DNS disolviendo 10.95 g de tartrato de sodio y potasio en agua destilada, posteriormente, se agregaron 0.4 g de hidróxido de sodio en 15 mL de agua destilada; y finalmente se adicionaron 0.25 g de DNS; la reacción se dejó en agitación por 12 horas y se aforó a 25 mL.

Cuantificación de azúcares reductores: Para cuantificar el contenido de azúcares reductores, se llevó a cabo un extracto acuoso de los azúcares. 1 g de drupeolas de zarzamora se les añadió 10 mL de agua destilada, se homogeneizó con un Ultra Turrax a 10 000 rpm, se centrifugó a 20, 980 x g durante 15 min; Para la reacción, se tomaron 250 µL del extracto al cual se le añadieron 250 µL del reactivo DNS. La reacción se calentó a 95 °C durante 5 min, y se suspendió en un baño de hielo por 1 min. A la mezcla se le adicionó 2500 µL de agua destilada y se midió la absorbancia a 570 nm. Los resultados se cuantificaron mediante de una curva estándar de glucosa (0.5 –2.5 g/L) y se expresaron como mg glucosa por gramo de peso fresco (mg glucosa /g mf). La curva de calibración se observa en el apéndice B1.1

5.5.2 Extracción de compuestos fenólicos.

De acuerdo con Hernández Martínez,(2023) con pequeñas modificaciones se preparó un extracto metanólico con 3 g de muestra de drupeolas en 22 mL de metanol acidificado con ácido fórmico (80:19:1, metanol/agua/acido fórmico). La muestra se homogenizó a 10,000 rpm utilizando un Ultra Turrax (T-25D) y se centrifugó a 20.980 x g min⁻¹ durante 15 min a 4 °C. El sobrenadante se filtró con manta cielo y se almacenó a -80 °C para posteriores análisis.

5.5.3 Contenido de Antocianinas totales

El contenido total de antocianinas monoméricas se determinó mediante el método de pH diferencial descrito de (Giusti & Wrolstad, 2001). A partir del extracto metanólico (sección 5.2.3.1), se realizaron dos reacciones independientes. Para la primera reacción se tomaron 300 μL del extracto al cual se le añadieron 2700 μL de una solución amortiguadora de KCl pH 1. En la segunda reacción, de igual forma se tomaron 300 μL del extracto metanólico y se añadieron 2700 μL de una solución amortiguadora de acetato de sodio pH 4.5. Estas dos reacciones se incubaron durante 15 min, protegidas de la luz. Las reacciones se llevaron a lecturas de absorbancia a 510 y 700 nm en un espectrofotómetro (Perkin Elmer. Mod Lambda 40) previamente calibrado con agua destilada. Los resultados se expresaron como mg de cianidina-3-glucósido g^{-1} . Los cálculos de absorbancia (A) se obtuvieron de la siguiente manera:

$$\Delta A = (A_{510\text{nm}} - A_{700\text{nm}})_{\text{pH}=1} - (A_{510\text{nm}} - A_{700\text{nm}})_{\text{pH}=4.5}$$

La concentración de antocianinas totales se obtuvo con la siguiente ecuación:

$$\text{AT (mg/L)} = \Delta A(\text{PM})(\text{FD})(1000) / \epsilon (1)$$

Donde:

AT: Antocianinas totales

ΔA : Cambio de absorbancia

PM: Peso molecular de la cianidina (449.2 g mol^{-1})

FD: Factor de dilución

ϵ : Coeficiente de extinción molar para cianidina-3-glucosido (26900 $\text{g mol}^{-1} \text{cm}^{-1}$)

1: La longitud de la trayectoria de la celda (1 cm)

5.5.4 Análisis de compuestos fenólicos totales

El contenido de fenoles totales se determinó mediante el método espectrofotométrico descrito por (Huang et al., 2012). A 240 μL del extracto metanólico (sección 5.3.1) se adicionaron 600 μL de agua destilada y 120 μL de reactivo Folin-Ciocalteu 2 N; se dejó reposar durante 5 a 8 min. Posteriormente, se añadieron 1200 μL de una solución de Na_2CO_3 al 7 % (p/v) y 840 μL de agua destilada. La mezcla de reacción se incubó durante 1 h a temperatura ambiente y se leyó la absorbancia a 750 nm en un espectrofotómetro Perkin Elmer. Los resultados se cuantificaron mediante de una curva estándar de ácido gálico (0.02 – 0.165 mg/mL) y se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico por gramo de peso fresco (mg EAG/g PF). La curva se observa en el apéndice B1.2.

5.6 Análisis estadístico

El diseño experimental se llevó a cabo mediante un diseño multifactorial completo al azar. Se realizó un análisis de varianza y una comparación de medios utilizando el método de Tukey para evaluar los efectos del tratamiento en las variedades y analizar cambios en las variables de respuesta antes y después de la reversión de color. El nivel de significancia se desarrolló en $p < 0.05$. Los resultados experimentales se expresaron como valores medios \pm error estándar. Todos los análisis estadísticos se realizaron con la ayuda del paquete estadístico JMP (versión 6.0.0)

5.6.1 Correlación de Pearson

Se realizó una base en el coeficiente de correlación simple de Pearson por variedad independiente antes y después del daño por compresión. Se observaron y clasificaron las correlaciones de las variables de respuesta correspondiente a la composición física, fisicoquímica y química con relación a valores de a^* . Todas las correlaciones fueron obtenidas con ayuda del software estadístico Minitab.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 El estado de madurez en la cosecha y la reversión de color

La reversión de color es un defecto que evidentemente afecta la calidad visual y aceptación de los frutos de zarzamora; en este apartado se seleccionó de todo el conjunto de variables analizadas, el valor de color a^* pues éste estima de manera objetiva el color rojo desarrollado durante la reversión de color.

La zarzamora al ser fruto no climatérico se debe cosechar en su madurez de consumo o plena madurez, cuando cuenta con un color purpura oscuro/negro brillante (NB) y una firmeza óptima.

La industria dedicada a la producción y comercialización de zarzamora ha desarrollado y continúa desarrollando diferentes variedades de este fruto. La mayoría de las variedades presentan ciertas características comunes, que determinan su calidad. Entre estas características está el tamaño, ausencia de pudriciones y defectos, forma uniforme. En este contexto, el color negro brillante, es una característica de calidad que se registra en los mercados de destino y dentro de ella, la regresión de color (RDR) es un factor de rechazo en los embarques de la fruta.

Aunque es posible que en el desarrollo de este desorden también estén involucrados factores como las condiciones de producción, el estado de madurez en la cosecha, el clima de la región de producción y el tipo de suelo donde se desarrolla el cultivo (Mikulic-Petkovsek et al., 2021a); es importante que quienes se dedican a su producción, dispongan de información que les permita optimizar el manejo y conservación del fruto de distintas variedades y su estado de madurez de cosecha así como de sus respuestas hacia los factores que inducen la reversión de color.

A este respecto, la medición objetiva del color de los frutos de diferentes variedades y madurez de cosecha bajo un factor inductor de la RDR podría dar indicaciones de susceptibilidad o resistencia y con ello elaborar estrategias para el manejo de cada una de ellas.

Para evaluar la susceptibilidad o resistencia a la RDR, se cosecharon frutos de cuatro variedades de zarzamora; TUP-747, AK2A-980, AM-530 y URA-425 en dos estados de madurez; Rojo-Negro (RN) y Negro-Brillante (NB), se dividieron en dos lotes, control y tratadas bajo un daño mecánico por compresión manual (similar al proceso de corte y manejo del fruto). Después de 30 min, se registró la calidad visual de los frutos, el color objetivo y su firmeza.

De manera interesante, la calidad visual de los frutos control y sometidos al daño mecánico mostró una respuesta diferenciada al RDR entre variedades y el estado de madurez a la cosecha (Figura 12).

De forma general, fue posible observar que en las cuatro variedades el cosecharlas en RN (antes de que alcance el color negro completo) indujo una mayor RDR y que su cosecha en NB reduce la incidencia visual del RDR. De manera particular, las variedades AK2A-980 y TUP-747 cosechadas en RN experimentaron una reversión de color más pronunciada. Por otro lado, el cosechar los frutos en NB redujo apreciablemente la incidencia de RDR, aunque hubo diferencias entre variedades. Por ejemplo, la variedad URA-425 en el estado de cosecha NB pareció tener menor resistencia al RDL y mayor resistencia en la etapa RN.

La variedad TUP-747 mostró un cambio de color en ambos estados de cosecha; por su parte, la variedad AM-530 en ambos estados de madurez a la cosecha mostró efectos menores del tratamiento de compresión y por ello un impacto bajo en el cambio de color de sus frutos (20 % aprox de sus frutos).



Figura 12. Aspecto visual del desarrollo de RDR inducido por compresión (RVC) en frutos de zarzamora de cuatro variedades y dos estados de madurez a la cosecha. RN (Rojo-Negro), NB (Negro-Brillante), RN-RVC frutos Rojo-Negro con compresión y NB-RVC frutos Negro-Brillante con compresión.

6.2 Los parámetros objetivos del color y firmeza en la predicción de la reversión de color.

6.2.1 Cambios en el valor de a^*

El análisis de varianza general de los valores de color a^* (verde-rojo) antes y después del daño mecánico de las cuatro variedades en sus dos estados de madurez a la cosecha solo mostró los valores más altos y significativamente

diferentes en la variedad AK2A- 980 (8.4) en su madurez RN y sometida a compresión; mientras la variedad AM 530 en su estado NB sin compresión, mostró los valores más bajos (-1.8). No obstante, este análisis no permitió establecer diferencias claras entre los tratamientos analizados. Estos resultados muestran que hay una amplia variedad en los registros de esta variable que no permite hacer un análisis específico de los efectos de los factores.

Por ello se decidió realizar el análisis por variedad lo que permitió identificar, claramente, que la compresión manual generó RDR en todas las variedades o frutos más rojos respecto de los no comprimidos (Figura 13).

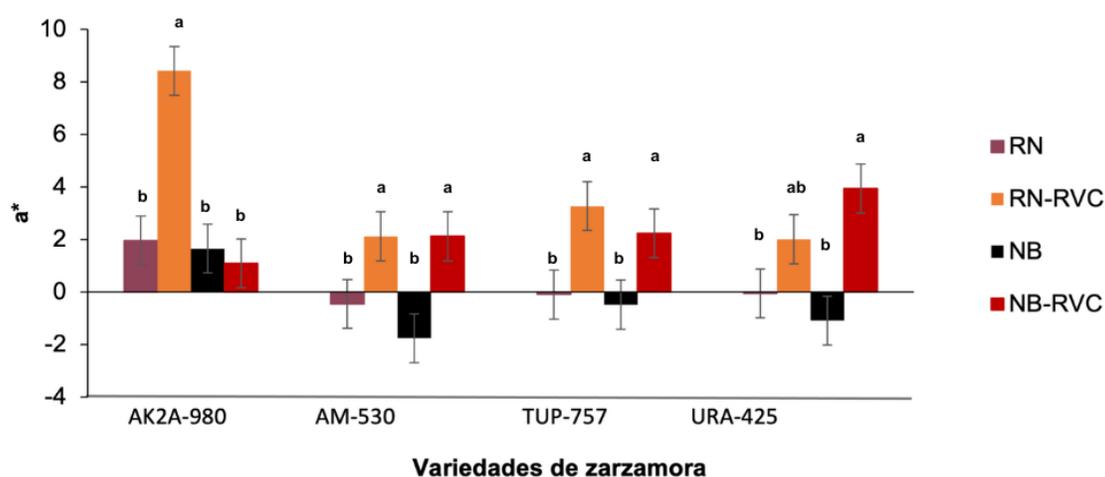


Figura 13. Efecto de la compresión manual (RVC) en el valor de a^* en cuatro variedades de zarzamora en dos estados de madurez a la cosecha (RN y NB). Cada barra representa la media \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre variedades. RN; Rojo-negro, NB; Negro-Brillante

Esta misma figura señala que la variedad AK2A-980 es más susceptible al RDR cuando se cosecha en estado RN y que la variedad URA-425 también es más susceptible cuando se cosecha en estado NB; mientras que las variedades AM-530 y TUP-757 muestran susceptibilidades iguales en ambos estados de madurez a la cosecha. Este mismo comportamiento fue observado por Flores-Sosa et al., (2021) en tres variedades de zarzamora sometidas a inducción de RDR a través de la

vibración a 12.5 Hz por 3 min señalando que la variedad Tupi era la más susceptible a este desorden. Este trabajo muestra que la variedad AK2A-980 es más susceptible que TUP-757. Estos datos coinciden con lo reportado por (Flores-Sosa et al., 2022) quienes evaluaron los cambios del valor a^* en frutos de tres variedades de zarzamora (Tupi, AK2A y AM151) observando que los valores de a^* se incrementaron por efecto del daño mecánico (vibración a 10 Hz, 0.5g durante 5 minutos) especialmente en la variedad Tupi que incremento sus valores de forma similar a lo observado en la variedad AK2A-980.

Por lo que estos datos confirman que hay un elemento varietal que influye en el desarrollo de este fenómeno y por tanto es lógico considerar que el valor de predicción de estos parámetros de color está limitado por la variabilidad genética de los frutos.

De acuerdo con los resultados previos de la Figura 12 y de los valores de color proporcionados en la Figura 13, se puede realizar una clasificación de la susceptibilidad al RDR en las cuatro variedades según sus estados de madurez en la cosecha (Tabla 5).

La variedad URA-425 mostró resistencia a la RVC en la etapa RN, pero mostró mayor susceptible a la RVC en la etapa NB. La variedad AK2A-908 mostró mayor resistencia a la RVC en NB y una alta susceptibilidad en RN. Las variedades AM-530 y TUP-747 presentaron comportamiento similar en ambos estados de madurez, por lo que son moderadamente resistente a la RVR.

Tabla 5. Clasificación de la susceptibilidad al desarrollo RDR en cuatro variedades de zarzamora cosechadas en dos estados de madurez a la cosecha (RN y NB)

Susceptibilidad a la RVC	RN	NB
Resistente	URA-425	AK2A-980
Moderadamente	AM-530	AM-530
Moderadamente	TUP-757	TUP-757
Susceptible	AK2A-980	URA-425

RN; Rojo-Negro , NB; Negro Brillante

6.2.2 Uso del valor de L* como predictor de regresión de color

El valor L*, indica que tan brillante o luminosa es una muestra. Dado que el tratamiento de compresión indujo cambios en el valor de a* es posible que la luminosidad de los frutos también se vea afectado por dicho tratamiento y por ello también pudiera tener un valor como elemento de predicción.

El análisis de varianza general de los datos de este valor indicó que la variedad URA-425 en sus dos estados de madurez de cosecha (RN y NB) sin tratamiento de compresión, mostraron los valores más altos de luminosidad (34.3 y 34.0) mientras que la variedad AM-530 en sus estados de cosecha (NB y RN) sometida al proceso de compresión mostraron los valores más bajos (10.3).

No obstante, los demás tratamientos no pudieron ser diferenciados estadísticamente entre ellos. Estos datos, indican que este valor no puede ser utilizado en la evaluación general de la reversión de color pero es posible que tenga utilidad a nivel de variedades. El análisis estadístico por variedad del efecto del estado de madurez en la cosecha y del tratamiento de compresión indicó que en las

variedades AM-530, TUP-757 y URA-425, la compresión inductora de RDL generó frutos con valores de L* notablemente bajos (Figura 14) en ambos estados de madurez de cosecha (entre 10-15) mientras que los frutos no dañados con este desorden mostraron valores estadísticamente más altos (entre 30-35). Estos datos indican que este parámetro podría ser utilizado como un indicador de la RDL.

No obstante, la variedad AK2A – 980 mostró intervalos de valores más estrechos que limitan el uso de este parámetro como indicador del daño. Los valores en frutos no comprimidos variaron entre 17.8 y 21.4 y los sometidos a compresión manual mostraron valores de 14-20 dificultando su uso como indicador en esta variedad. Flores-Sosa et al., (2021), trabajando con zarzamora de la variedad APF-122 compararon los cambios de color de frutos vibrados (10 Hz por 5 min) respecto de frutos no vibrados midiendo los valores de hue y C*; observando que los frutos dañados mostraban altos valores de C* y bajos valores de hue.

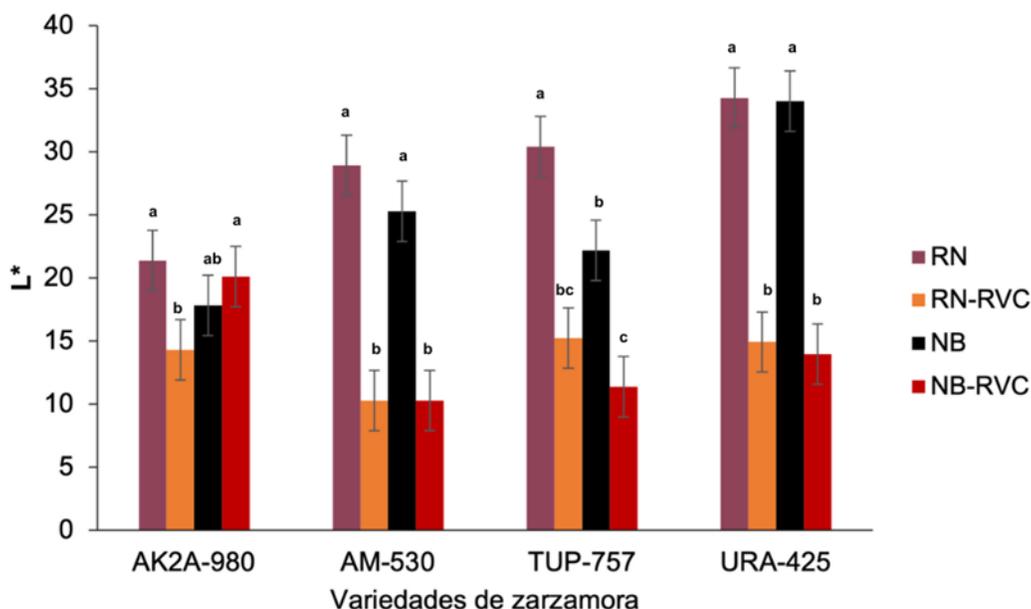


Figura 14. Efecto de la compresión manual (RVC) en el valor de L* en cuatro variedades de zarzamora en dos estados de madurez a la cosecha (RN y NB). Las barras señaladas como RN-RVC y NB-RVC son frutos RN o NB sometidos a compresión. Cada barra representa la media \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre variedades. RN; Rojo-negro, NB; Negro-Brillante

En este trabajo, al utilizar los valores de a^* y L^* como indicadores de RDR, parecen conformar un soporte estadísticamente más sólido para su posible uso como indicadores del daño. No obstante, habrá que considerar la variabilidad genética de los materiales.

Sin embargo los valores obtenidos de color a^* y L^* tienen gran utilidad para identificar el desarrollo de la reversión de color. No obstante, para ser utilizados como variables predictivas, sería necesario investigar cómo cambian estas variables en el tiempo.

6.2.3 Efecto de la firmeza en los frutos en la reversión de color

La firmeza se considera un indicador crucial de la vida útil de la zarzamora y desempeña un papel fundamental en la gestión de la cosecha y en la etapa poscosecha (Perkins-Veazie, Armstrong, et al., 2000). El 51% de los frutos frescos pueden presentar pérdida de firmeza durante la poscosecha (Aliasgarian et al., 2015).

Respecto de la susceptibilidad al RDR, es lógico asumir que si el fruto tiene mayor resistencia mecánica, probablemente posea también resistencia a este desorden como lo señalaron Edley et al (2019) y Salgado & Clark, (2016). Dado que este proyecto analiza diferentes variedades y dos estados de madurez a la cosecha, es importante identificar que tan diferente es la firmeza en las distintas variedades y estados de madurez y si eso explica la tolerancia o susceptibilidad al RDR.

En el estado RN, las variedades AK24-980, AM-530 y URA-425 mostraron los valores de firmeza más altos y la variedad TUP-757 mostro los valores más bajos. En el estado NB, la variedad AK2A-980 fue la más firme y las variedades TUP-757 y URA-425 las menos firmes.

De acuerdo con los resultados mostrados en la calidad visual y los parámetros de color a^* y L^* ; la alta firmeza inicial mostrada por la variedad AK2A-980 (Tabla 6) en sus dos estados de madurez, no explica su alta susceptibilidad a la RDR. La variedad URA-425 en NR mostró firmeza menor y fue susceptible a la RDR de igual forma ocurre con la variedad AM530 y en la variedad TUP-757 mostro valores bajos y con susceptibilidad al RDR. Estos datos sugieren que el factor firmeza no es un buen predictor de la RDR y que probablemente el fenómeno no esta tan asociado a la resistencia estructural del fruto, que es lo que se midió en esta prueba. Estos resultados se sustentan con los trabajos desarrollados por Chzk et al., (2023) en los que investigaron a través de estudios genómicos la asociación del RDR con los genes asociados a la firmeza de los frutos indicando una débil correlación de la firmeza con el RDR en 300 genotipos de zarzamora.

Tabla 6. Comparación de medias de la firmeza de frutos de diferentes variedades de zarzamora, cosechados en dos estados de madurez a la cosecha,

Variedad	Firmeza gf	
	RN	NB
AK2A-980	245.5a	245.5a
AM-530	239.1a	172.1b
TUP-757	163.0bc	167.2bc
URA-425	225.3a	144.1c

Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$)

Es importante notar que la firmeza de la fruta sometida al daño por compresión disminuye drásticamente (Figura 16), Esto quedaría explicado por el mismo proceso de compresión de los frutos en las variedades que mostraron firmezas altas en la cosecha. No obstante, en la variedad TUP-757 inicia con valores bajos de firmeza y después de ser inducida por la misma compresión no cambia drásticamente su condición de firmeza y aun así presentó RDR.

Estos datos, señalan que el proceso de RDR no está ligado directamente a su resistencia mecánica del fruto y si probablemente a otros fenómenos que desestabilicen las estructuras donde se almacenan las antocianinas como lo señaló Flores Sosa (2023).

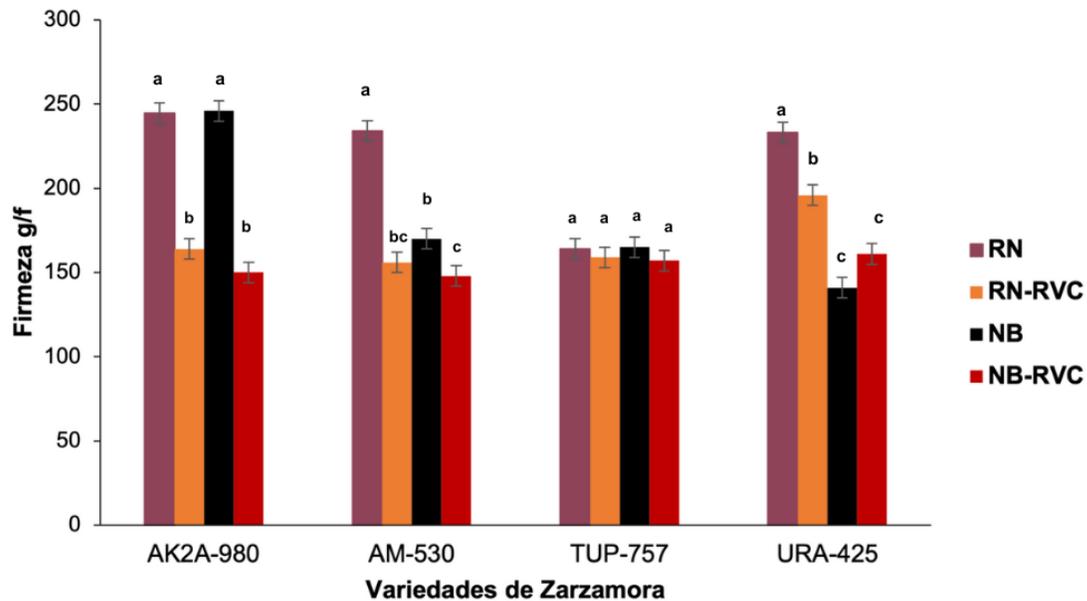


Figura 15. Cambios de la firmeza de frutos de diferentes variedades de zarzamora cosechados en distintos estados de madurez a la cosecha (RN y NB). Las barras señaladas como RN-RVC y NB-RVC son frutos RN o NB sometidos a compresión. Cada barra representa la media \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre variedades. RN; Rojo-negro, NB; Negro-Brillante

En la Tabla 7, se detallan las correlaciones de Pearson entre los valores de a^* y la firmeza. Se identificaron correlaciones negativas en tres variedades: AK2A-980, AM-530, TUP-757, con coeficiente de $r = -0.764$, -0.746 y -0.817 respectivamente..

Tabla 7. Correlación de Pearson de la firmeza del fruto con el valor de color de a* en cuatro variedades de zarzamora (RN y NB) sometidas a daño mecánico por compresión (RVC).

Variedad	RN	RN-RVC	NB	NB-RVC
AK2A-980	-0.764	-0.519	-0.332	-0.708
AM-530	-0.746	0.31	0.391	-0.418
TUP-757	-0.817	-0.282	0.222	0.348
URA-425	0.342	-0.779	-0.377	0.393

RN; Rojo-Negro , **RN-RVC;** Rojo-negro con reversión de color, **NB;** Negro-Brillante, **NB-RVC;** Negro-Brillante con reversión de color.

6.3 Los parámetros fisicoquímicos (%AT, SST y pH) en la reversión de color

Dentro de los parámetros de calidad, los más esenciales para la toma de decisión de la cosecha de la zarzamora son parámetros como el % AT, %SST y el pH. De acuerdo con la norma NMX-FF-129-SCFI-2016, frutos de zarzamora con un contenido de %SST menor 7.5 y un contenido mayor 0.5 % de acidez titulable podría tener un rechazo en los mercados de destino a nivel de consumidor dada la característica no climatérica de estos frutos.

Se desconoce el impacto real de estos factores en el desarrollo de la RDR, aunque se sabe que las antocianinas cambian de color a pH ácido y por ello se piensa que este factor podría tener un efecto en el desarrollo de este desorden.

Por información de productores y comercializadores de zarzamora, así como los estudios llevados a cabo en el laboratorio de Fisiología y Bioquímica Poscosecha de Frutas y Hortalizas, se intuye que variedades que presentan menor acidez y mayores contenidos de azúcares son menos susceptibles a presentar RDR. Asimismo, investigaciones como (Edgley et al., 2020b Flore.Sosa et al., 2022 y 2023), han indicado que el pH es un factor importante para la respuesta a la reversión de color.

Durante la experimentación se evaluaron los parámetros fisicoquímicos (%AT, pH y %SST) antes de la inducción de la reversión de color en los dos estados de madurez e inferir si estos valores se correlacionan con la susceptibilidad a la reversión de color.

El perfil de composición fisicoquímica de los frutos al momento de su cosecha se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Comparación de medias de la composición físico química de diferentes variedades de zarzamora cosechadas en rojo brillante (RN) y negro brillante (NB)

Variedad	% Acidez		% SST		pH	
	RN	NB	RN	NB	RN	NB
AK2A-980	0.40b	0.39b	12.3bc	14.0ab	2.8bc	2.8bc
AM-530	0.48a	0.44a	9.7de	10.2de	2.8bc	2.7c
TUP-757	0.36b	0.29c	15.39s	13.3b	3.0b	3.2a
URA-425	0.41b	0.39b	8.7e	11.4cd	2.7c	2.8bc

Las variedades más susceptibles al RDR, AK2A-980 y TUP-757, en su estado RN mostraron alta acidez y alto contenido de SST, lo cual no corresponde con lo señalado por Edgley et al., (2019) mientras que las variedades AM-530 y URA-425 también mostraron altos valores de acidez, pero bajos contenidos de SST que tampoco explican claramente su susceptibilidad/tolerancia al RDR. De acuerdo con estos resultados parece que estos factores no son buenos predictores del RDR.

6.3.1 El contenido de acidez titulable (%AT) y su relación con la susceptibilidad a la reversión de color

De manera particular se describen el comportamiento de la acidez titulable antes y después de la aplicación del tratamiento inductor de RDR (Figura 16).

Se aprecia que las dos variedades más susceptibles al RDR, AK2A-980 y TUP-757, tuvieron valores de acidez diferentes; la primera mostró valores de acidez más altos respecto de TUP-757. Este resultado inhabilita la posibilidad de tomar este factor como indicador de la reversión de color. Por otro lado, las variedades AM-530 y URA-425 mostraron valores altos de acidez y sus susceptibilidades a la reversión de color fueron menores que AK2A-980 o TUP-757.

Aunque no determinante para la predicción de la RDR, es interesante notar, que la acidez se incrementó después del tratamiento de inducción de la RDR. Esto parece sugerir que el daño mecánico parece inducir un cambio metabólico importante al interior de los frutos. Es posible que se incrementen sensiblemente los ciclos respiratorios del fruto que provoquen una acumulación de ácidos orgánicos y probablemente una disminución de los azúcares debido a su canalización como sustratos de esos ciclos. No obstante, la variedad AM-530 en su estado de cosecha NB tuvo un comportamiento distinto, el contenido de acidez disminuyó

La Tabla 9 muestra la correlación de Pearson del %AT con respecto al valor de a^* (indicador de reversión de color) para cada variedad, estados de maduración en la cosecha y con el tratamiento inductor de la reversión de color. En el estado de madurez RN, los coeficientes de correlación fueron bajos indicando una baja correlación de estos dos factores. Para el estado NB, la variedad AK2A-980 muestra una correlación negativa, esto indica una alta acidez con valores de a^* menores; mientras que las demás variedades no mostraron correlaciones significativas. La aplicación del inductor de la RDR incremento la significancia de los coeficientes de correlación; no obstante, sus valores fueron positivos como negativos. Estos datos confirman que la acidez por si sola no es un buen predictor de la reversión de color.

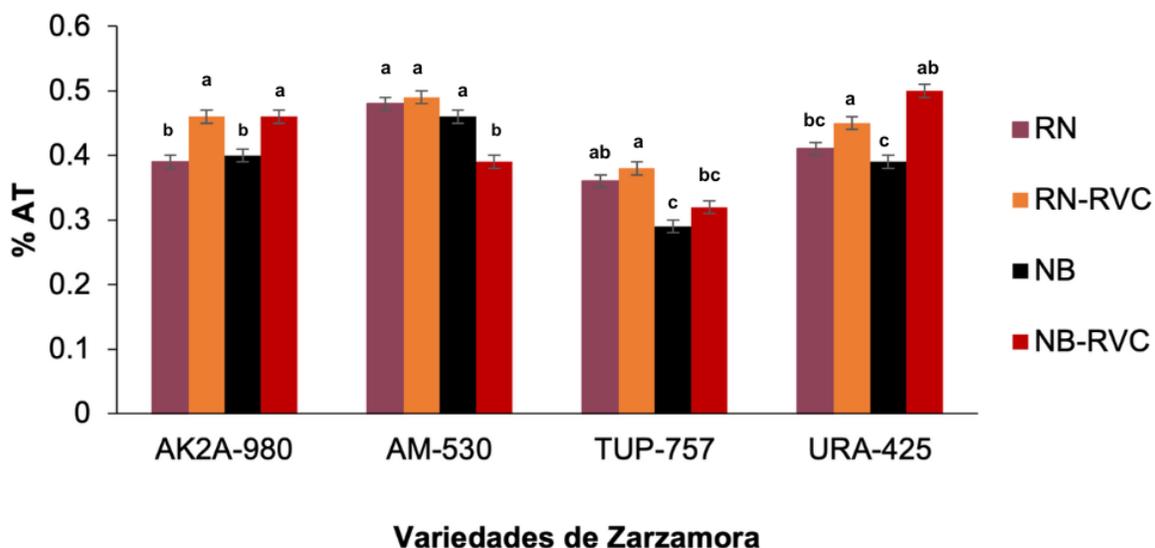


Figura 16. Cambios en la acidez titulable en cuatro variedades de zarzamora cosechadas en dos estados de madurez a la cosecha (RN y NB) y después de la aplicación del tratamiento de compresión inductor de RDR (RVC). Los resultados representan la media \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$) por variedad independiente.

Tabla 9. Coeficientes de correlación de Pearson de la acidez titulable (%AT) con los cambios en el valor de a^* en cuatro variedades de zarzamora en dos estados de madurez (RN y NB) antes y después de ser sometidos al daño mecánico de compresión (RVC).

Varietades de zarzamora	RN	RN-RVC	NB	NB-RVC
AK2A-980	-0.629	0.703	-0.723	0.953
AM-530	0.254	-0.18	-0.546	0.952
TUP-757	-0.446	-0.799	0.065	0.059
URA-530	-0.28	-0.765	-0.28	0.912

RN; Rojo- Negro, **RN-RVC** ; Rojo – Negro con reversión de color , **NB**; Negro brillante y **NB-RVC**; Negro- Brillante con reversión de color.

6.3.2 El pH del tejido y su relación con la susceptibilidad a la reversión de color

Los perfiles de los valores de pH registrados en las diferentes variedades de zarzamora en sus dos estados de madurez a la cosecha y bajo el tratamiento inductor de la reversión de color (Figura 17), se observa el efecto del daño mecánico en el valor de pH en cuatro variedades en muestra comportamientos contrastantes. Las dos variedades más susceptibles a la reversión de color (AKA2A-980 y TUP-757) mostraron perfiles diferentes; la variedad AK2A-980 muestra pHs más bajos que la variedad TUP-757. Por su parte, la variedad URA-425 mostró valores más bajos que AK2A-980 con una reversión menor y AM-530 mostro valores similares a AK2A-980 y también con una reversión menor.

Los datos anteriores, claramente demuestran que el valor de pH, tampoco es un indicador confiable de la reversión de color en los frutos de zarzamora.

De manera interesante, la variedad TUP-757 tuvo valores de pH mayores antes de aplicar el tratamiento de inducción y disminuyeron después de aplicado el tratamiento. Este comportamiento también lo mostró la variedad AM-530 en el estado RN pero lo contrario lo mostró en el estado de madurez NB. Por otro lado, la variedad URA-425 no mostró cambios en el estado RN pero si disminuyó su valor en NB. Como se comentó en la sección de acidez titulable, estos comportamientos señalan posibles cambios metabólicos inducidos por el daño mecánico que provocan cambios en el contenido de ácidos orgánicos.

La significancia de estos cambios en el desarrollo de la reversión de color no fue estadísticamente importante en todas las variedades y solo mostro coeficientes de correlación significativos en algunas variedades cuando se aplicó la compresión manual inductora de reversión de color. Este análisis de correlación confirma el escaso valor de esta variable como indicadora de la reversión de color

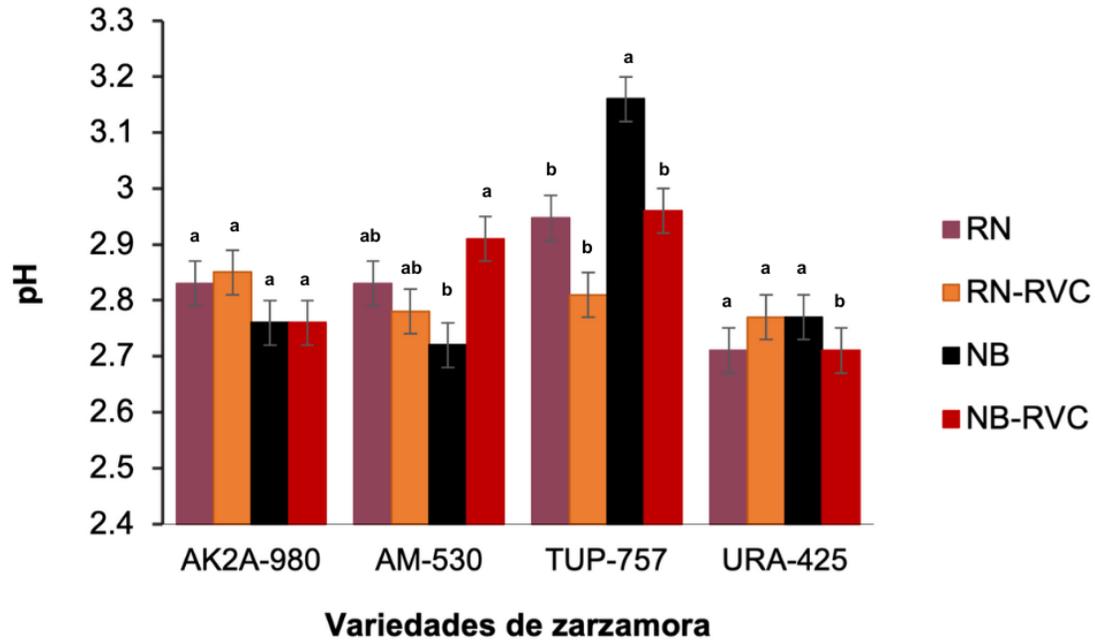


Figura 17. Cambios en el pH del tejido de frutos de cuatro variedades de zarzamora en dos estados de madurez (RN y NB) y después del tratamiento de compresión manual (RVC) para inducir RDR. Todos los resultados representan la media \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$) por variedad independiente

Tabla 10. Coeficientes de correlación de Pearson del valor de pH del tejido con el valor de a^* (indicador de reversión de color) en cuatro variedades de zarzamora en dos estados de madurez a la cosecha (RN y NB) y después del tratamiento inductor de reversión de color

Variación	RN	RN-RVC	NB	NB-RVC
AK2A-980	0.723	-0.912	0.797	-0.401
AM-530	0.231	0.41	-0.137	-0.059
TUP-757	0.291	0.424	0.363	0.383
URA-425	-0.572	-0.845	-0.476	0.871

RN; Rojo- Negro, **RN-RVC** ; Rojo – Negro con reversión de color , **NB**; Negro brillante y **NB-RVC**; Negro- Brillante con reversión de color.

6.3.3 El contenido de sólidos solubles (%SST) y su relación con la susceptibilidad a la reversión de color

Como se mencionó en la relación general de estos factores (sección 6.3), el contenido de los sólidos solubles fue diferente entre las variedades. Las variedades AK2A-980 y TUP-757, las más susceptibles a la reversión de color mostraron comportamientos muy parecidos en su contenido de sólidos solubles (Figura 18). No obstante, la variedad URA-425 mostró un perfil similar a AK2A-980 pero su tendencia a la reversión de color fue menor y la variedad AM-530 mostro los valores menores y también su susceptibilidad a la reversión de color fue similar a la mostrada por URA-425.

Los datos anteriores permiten señalar que el contenido de sólidos solubles no es un indicador confiable del proceso de reversión de color. Esta aseveración queda confirmada en el análisis de correlación de Pearson (Tabla 11) en la que se observan coeficientes de correlación bajos con el valor de color a*

De manera interesante, se observó que, en las variedades susceptibles a la reversión de color, (AK2A-980 y TUP-757), mostraron valores mas altos de sólidos solubles totales antes de aplicar la compresión manual inductora de la reversión de color y que estos se redujeron significativamente (al menos en la variedad TUP-757) después de este tratamiento. Esto parece también indicar un cambio metabólico en la fisiología del fruto. Se ha señalado que el daño mecánico induce un incremento en las tasas de respiración Al-Dairi et al., (2022) que demanda un mayor consumo de azúcares y por tanto una disminución en el contenido de sólidos solubles totales.

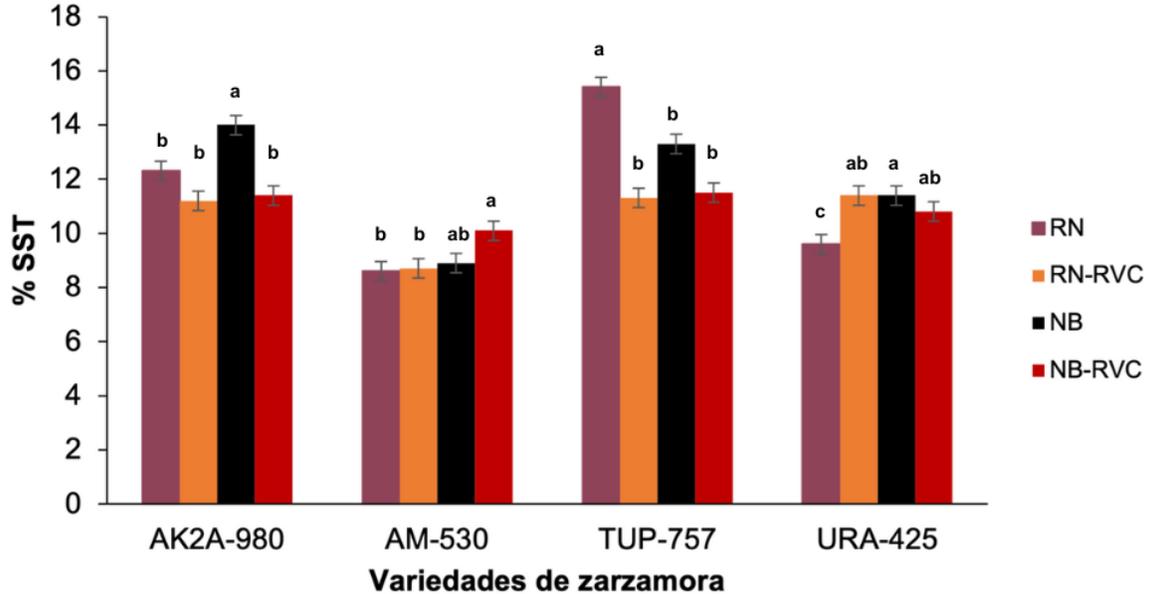


Figura 18. Cambios en el contenido de sólidos solubles totales (%SST) de cuatro variedades de zarzamora en dos estados de madurez (RN y NB) y después del tratamiento de compresión manual (RVC) para inducir RDR. Todos los resultados representan la media \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativa ($p < 0.05$) por variedad independiente.

Tabla 11. Cambios en el contenido de sólidos solubles totales (%SST) de cuatro variedades de zarzamora en dos estados de madurez (RN y NB) y después del tratamiento de compresión manual (RVC) para inducir RDR. Todos los resultados representan la media \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativa ($p < 0.05$) por variedad independiente.

Variación	RN	RN-RVC	NB	NB-RVC
AK2A-980	0.552	-0.02	-0.615	-0.348
AM-530	0.533	-0.146	0.608	-0.566
TUP-757	-0.556	0.598	0.288	0.837
URA-425	0.033	0.365	0.033	0.365

RN; Rojo- Negro, **RN-RVC** ; Rojo – Negro con reversión de color , **NB;** Negro brillante y **NB-RVC;** Negro- Brillante con reversión de color.

6.4 Efecto de los contenidos de los parámetros químicos en la reversión de color

Los azúcares ejercen influencia en el sabor de zarzamora, un alto contenido representa mayor aceptabilidad para el consumidor. Aunque, se han publicado que el contenido de azúcares en la zarzamora varía según la variedad, la temporada y el estado de madurez (Mikulic-Petkovsek et al., 2012, 2021b); no se ha identificado si alguno de estos componentes podría ser un indicador de la susceptibilidad de la reversión de color.

6.4.1 El contenido de azúcares reductores y su relación con la susceptibilidad a la reversión de color

Los resultados del contenido de azúcares reductores en los dos estados de madurez a la cosecha señalaron diferencias significativas entre las variedades y entre los estados de madurez a la cosecha (Tabla 12). De forma general y de manera lógica el contenido de azúcares aumento con el paso de la madurez RN a la NB en las variedades AK2A-980, TUP-757 y URA-425 como lo describieron Perkins Veazie et al., (2000b) en la variedad 'Navaho. No obstante, de manera no explicable, la variedad AM-530 disminuyó su contenido de azúcares.

Tabla 12. Comparación de medias del contenido de azúcares reductores en frutos de cuatro variedades de zarzamora, cosechadas en dos estados de madurez a la cosecha (RN y NB)

Variedad	AZR (mg glucosa/ g mf)	
	RN	NB
AK2A-980	70.2ab	78.2ab
AM-530	53.6d	39.4e
TUP-757	73.6 b	83.6a
URA-425	62.2c	71.3b

Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$)

La variedad AM-530 manifestó el menor contenido de azúcares reductores en sus dos estados de madurez y tuvo un comportamiento al desarrollo del RDR parecido al mostrado por URA-425. Por otro lado, las variedades AK2A-980 y TUP-757 mostraron contenidos similares en su estado RN y se diferenciaron en el estado NB como se ha indicado anteriormente.; no obstante, mostraron aspectos parecidos en el desarrollo de RDR.

La aplicación del daño inductor de RDR también mostró efectos interesantes de resaltar (Figura 20). En el estado de madurez NB, todas las variedades mostraron una disminución en su contenido de azúcares reductores y en el estado RN este comportamiento también lo mostraron las variedades AK2A-980 y TUP-757 pero en la variedad AM-530 no cambio y en la URA-425 se incrementó.

La disminución del contenido de azúcares por efecto del daño inductor podría ser explicado en base a la respuesta de un incremento en la tasa respiratoria que debieron haber tenido los frutos por efecto del daño mecánico infringido. El incremento en la respiración provocó mayor consumo de azúcares de los frutos (Kader 2000). Es importante recordar que la zarzamora, al ser un fruto no climatérico, no acumula almidón en sus tejidos y por ello no cuenta con reservas que pudieran suministrar sustratos a la respiración.

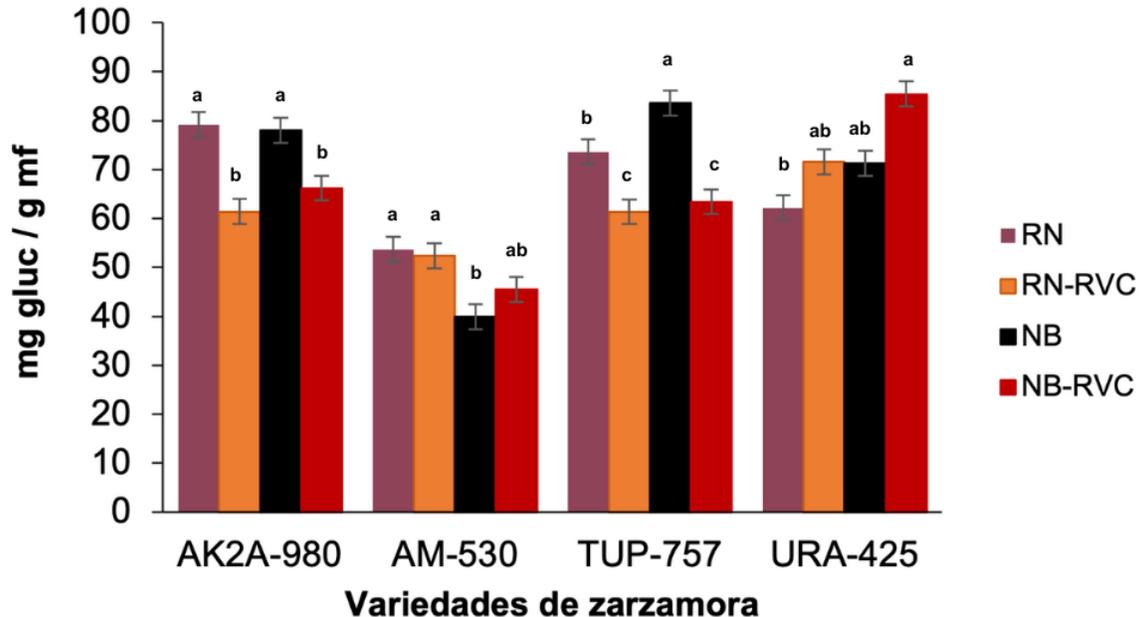


Figura 19. Cambios en el contenido de azúcares reductores de cuatro variedades de zaramora en dos estados de madurez (RN y NB) y después del tratamiento de compresión manual (RVC) para inducir RDR. Todos los resultados representan la media \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$) por variedad independiente.

En apoyo a lo observado con estos resultados, el análisis de correlación de Pearson del contenido de azúcares reductores con el valor de color a^* , indicativo de RDR, no señaló correlaciones destacables por efecto del estado de madurez en la cosecha (Tabla 13). Así mismo, tampoco se detectaron estos efectos en el estado RN sometidos al tratamiento inductivo de RDR. No obstante, en el estado NB se observaron efectos significativos en las variedades AK2A-980, AM-530 y URA-425 pero no hubo efecto significativo en TUP-757.

Aunque las moléculas de glucosa, son parte de la estructura de los pigmentos que generan el cambio de color, los datos de los contenidos de azúcares reductores no parecen indicar que puedan ser utilizados como indicadores de la reversión de color.

Tabla 13. Coeficientes de correlación de Pearson del contenido de azúcares reductores con el valor de a* (indicador de reversión de color) en cuatro variedades de zarzamora en dos estados de madurez a la cosecha (RN y NB) y después del tratamiento inductor de reversión de color (RVC)

Variedad	RN	RN-RVC	NB	NB-RVC
AK2A-980	0.587	0.799	0.417	-0.824
AM-530	0.188	-0.445	-0.02	-0.767
TUP-757	-0.752	-0.8	0.329	0.223
URA-425	-0.23	-0.481	0.751	0.786

RN; Rojo- Negro, RN-RVC ; Rojo – Negro con reversión de color , NB; Negro brillante y NB-RVC; Negro- Brillante con reversión de color.

6.4.2 El contenido de antocianinas totales y su relación con la susceptibilidad a la reversión de color

La zarzamora destaca por su elevado contenido de polifenoles, flavonoides y antocianinas. La concentración varía según el genotipo y factores ambientales. Este alto contenido incrementa la actividad antioxidante y lo hace atractivo para su consumo (Wu et al., 2021).

El análisis del contenido de antocianinas en las cuatro variedades y los dos estados de madurez a la cosecha mostró diferencias importantes. En todas las variedades, el contenido de antocianinas fue mayor en el estado NB respecto del observado en el estado RN (Tabla 14). De manera interesante, no se observaron diferencias significativas entre las variedades en el estado RN, pero esta condición cambió en el estado NB, donde hubo un contenido diferente en las distintas variedades estudiadas.

La variedad TUP-757 mostró los mayores valores y las variedades URA-425 y AK2A-980 mostraron los menores contenidos. Estos datos sugieren que las diferentes variedades tienen diferentes capacidades de acumulación de estos pigmentos durante la maduración.

Tabla 14. Comparación de medias del contenido de antocianinas totales de frutos de cuatro variedades de zarzamora, cosechados en dos estados de madurez a la cosecha (RN y NB).

Variedad	Antocianinas totales (mg C-3-G/ 100 g mf)	
	RN	NB
AK2A-980	71.6e	91.8c
AM-530	73.0e	116.7b
TUP-757	67.6e	141.6a
URA-425	78.7de	87.8cd

Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$)

Dentro de los objetivos de este trabajo, era importante tener una idea de si los contenidos de este pigmento podrían indicar susceptibilidad a la reversión de color. Es importante resaltar que las variedades AK2A-980 y TUP-757 contrastantes en su contenido de antocianinas, mostraron alta susceptibilidad al RDR. Estos datos sugieren que no es el contenido de antocianinas el factor determinante de la reversión de color pues estas variedades, con contenidos tan diferentes de antocianinas, mostraron una alta reversión de color. Esta argumentación, también es válida para las variedades AM-530 y URA-425 que también tuvieron contenidos contrastantes en sus contenidos de antocianinas (Tabla 14), y su comportamiento a la RDR fue parecido.

Los datos anteriores indican que el contenido de antocianinas en el momento de la cosecha no tiene un efecto claro en la susceptibilidad a la reversión de color.

El efecto del daño mecánico inductor de RDR sobre el contenido de antocianinas tuvo efectos significativos interesantes de destacar (Figura 20). Todas las variedades cosechadas en estado NB, disminuyeron su contenido de antocianinas después de haber sido sometidas a la compresión de inducción del RDR. En el estado de cosecha RN, este mismo comportamiento se observó en las variedades

AK2A-980 y URA-425 pero en la variedad TUP-757 se incrementó y en la AM-530 no cambio significativamente.

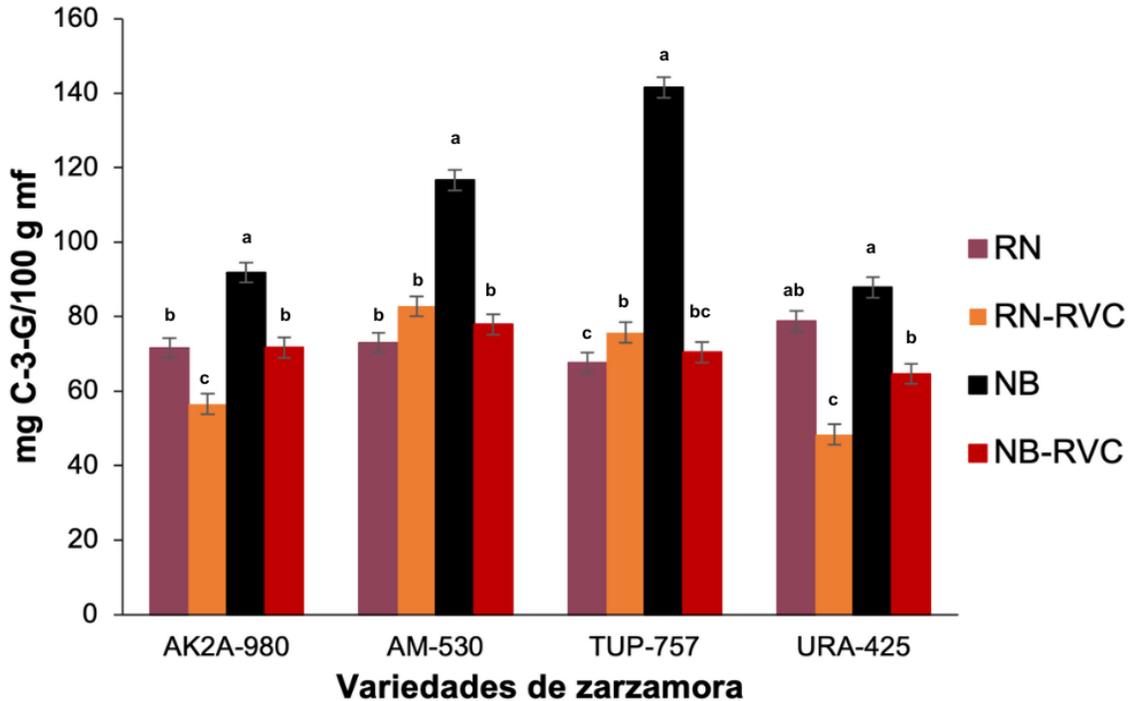


Figura 20. Cambios en el contenido de antocianinas (como cianidin-3-glucosido) de cuatro variedades de zarzamora en dos estados de madurez (RN y NB) y después del tratamiento de compresión manual (RVC) para inducir RDR. Todos los resultados representan la media \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativa ($p < 0.05$) por variedad independiente.

Los datos aquí registrados contrastan con lo observado por Flores-Sosa et., al 2021 y Flores Sosa, 2023, quienes informan que los contenidos de antocianinas no cambian durante las primeras 72 horas después de aplicar el tratamiento inductor de RDR (vibración a 10 Hz a 0.5g por 5 min min) y que después de 96 horas en almacenamiento a 1 °C se registró la disminución del contenido de antocianinas. Es posible que esta diferencia se deba a dos factores importantes: a) el método inductor de la reversión y b) al tiempo transcurrido para realizar el análisis.

El procedimiento de inducción de reversión de color utilizado en este trabajo fue el de la compresión manual de cada fruto en particular, en el cual cada fruta fue

tomada por el personal de control de calidad entre sus dedos índice, anular y pulgar para ejercer una ligera compresión del fruto que simulaba las operaciones de cosecha y manejo del fruto. La operación se repetía varias veces cambiando de posición la fruta de tal forma que todas las drupeolas de cada fruto fueran comprimidas. Una vez comprimidos los frutos, se registró su color, se congelaron en nitrógeno líquido, se trasladaron al laboratorio para su análisis de antocianinas. Finalmente, el análisis de antocianinas se realizó después de 24 h de aplicado el tratamiento de compresión. Bajo este procedimiento, es posible que el nivel de daño fue mayor y que el procedimiento de conservación de muestras bajo congelación halla inducido un cambio drástico en el contenido de antocianinas generando la diferencia de resultados obtenidos.

Es posible que si las extracciones de antocianinas se hubiesen realizado en campo, se hubiese tenido una información más certera de los efectos del tratamiento inductor de la RDR

El análisis de correlación de Pearson entre el contenido de antocianinas y el valor a^* de las muestras (Tabla 15), indicaron relaciones negativas en el estado RN para la variedad TUP-757 y en el estado NB de la variedad AK2A-980. La variedad URA-425 ($r=-0.893$) mostró una correlación significativa en los frutos RN tratados con la compresión. La variedad AM-530 no mostró correlación significativa.

Estos datos parecen confirmar que tampoco el contenido de antocianinas puede ser tomado como un indicador del RDR.

Bajo las condiciones de estudio seguidas en este trabajo, estos datos coinciden con lo reportado por Kim et al., (2019) que indicaron que el contenido de antocianinas puede reducirse debido al efecto de la reversión de color.

Tabla 15. Coeficientes de correlación de Pearson del contenido de antocianinas con el valor de a^* (indicador de reversión de color) en cuatro variedades de

zarzamora en dos estados de madurez a la cosecha (RN y NB) y después del tratamiento inductor de reversión de color (RVC)

Variedad	RN	RN-RVC	NB	NB-RVC
AK2A-980	0.483	-0.084	-0.824	-0.124
AM-530	0.314	0.344	-0.578	0.472
TUP-757	-0.707	-0.331	0.028	0.021
URA-425	0.232	-0.893	-0.431	-0.451

RN; Rojo- Negro, **RN-RVC** ; Rojo – Negro con reversión de color , **NB**; Negro brillante y **NB-RVC**; Negro- Brillante con reversión de color.

6.4.3 El contenido de fenoles totales y su relación con la susceptibilidad a la reversión de color

No se ha estudiado a profundidad el comportamiento de la composición de los compuestos fenolicos en frutos de zarzamora en respuesta a la RVC. Sin embargo se ha observado que el contenido de fenoles disminuye de un fruto maduro a un fruto completamente maduro (Schulz et al., 2019).

Los compuestos fenólicos se presentan en forma soluble (glucósidos conjugados y agliconas) e insolubles (unidos a componentes estructurales de la planta). La zarzamoras se conocen por su alto contenido de polifenoles, y flavonoides. Algunos fenoles se relacionan con los cambios de color por lo que se sugirió que pudieran alguna relación como predictores de la reversión de color (Cömert et al., 2019).

El contenido de fenoles totales mostro diferencias significativas entre variedades y estados de madurez de cosecha (Tabla 16). La variedad AK2A-980 en estado RN y la variedad URA-425 en estado NB, mostraron los valores más altos y las variedades AM-530 en su estado RN y TUP-757 en su estado NB mostraron los valores más bajos. También estos datos muestran que las variedades AK2A-980 y TUP-757 disminuyen sus contenidos con la maduración; AM-530 los mantuvo y URA-425 los elevó.

Tabla 16. Comparación de medias del contenido de fenoles totales en cuatro variedades de zarzamora en dos estados de madurez a la cosecha (RN y NB)

Variedad	Fenoles totales (mg EAG/ 100g mf)	
	RN	NB
AK2A-980	590.4a	446.3cd
AM-530	335.7ef	385.9de
TUP-757	371.6def	295.7f
URA-425	496.8bc	538.1ab

Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$)

Estos datos muestran la variabilidad de contenidos de estos compuestos en las diferentes variedades, estados de madurez y estado fisiológico de los frutos lo cual sugiere dificultades para utilizar este parámetro como un factor de predicción.

A efecto de establecer si este factor tenía una correlación con el desarrollo de la reversión de color, se realizó el análisis de correlación de Pearson con los valores de a^* (Tabla 17). Después de ver los resultados de contenido de fenoles y sus diferentes variaciones, era lógico esperar que estos coeficientes no mostraran valores altos. Confirmando que este factor no tiene posibilidad de ser utilizado como indicador de RDR.

Tabla 17. Coeficientes de correlación de Pearson del contenido de fenoles totales con el valor de a^* (indicador de reversión de color) en cuatro variedades de zarzamora en dos estados de madurez a la cosecha (RN y NB) y después del tratamiento inductor de reversión de color (RVC).

Variedad	RN	RN-RVC	NB	NB-RVC
AK2A-980	-0.256	0.326	0.37	-0.006
AM-530	-0.32	-0.61	-0.3	0.595
TUP-757	0.31	0.162	-0.795	0.727
URA-425	0.466	-0.002	0.215	0.877

RN; Rojo- Negro, **RN-RVC** ; Rojo – Negro con reversión de color , **NB**; Negro brillante y **NB-RVC**; Negro- Brillante con reversión de color.

La comparación grafica de los contenidos de fenoles en las cuatro variedades estudiadas, en sus dos estados de madurez a la cosecha y bajo el tratamiento inductor de RDR (Figura 21), amplía la impresión de no poder utilizar esta variable como predictor del fenómeno de reversión de color.

Las variedades más susceptibles a la reversión de color, AK2A-980 y TUP-7578, muestran contenidos de fenoles muy diferentes. AK2A-980 muestra los valores más altos y TUP-757 los valores más bajo. Estos datos no explican la susceptibilidad a la reversión de color que tienen ambas variedades. Por otro lado la variedad URA-425 con contenidos parecidos a la variedad AK2A-980 muestra una tendencia a la reversión de color menor al igual que la que presentó la variedad AM-530 con un contenido menor de fenoles.

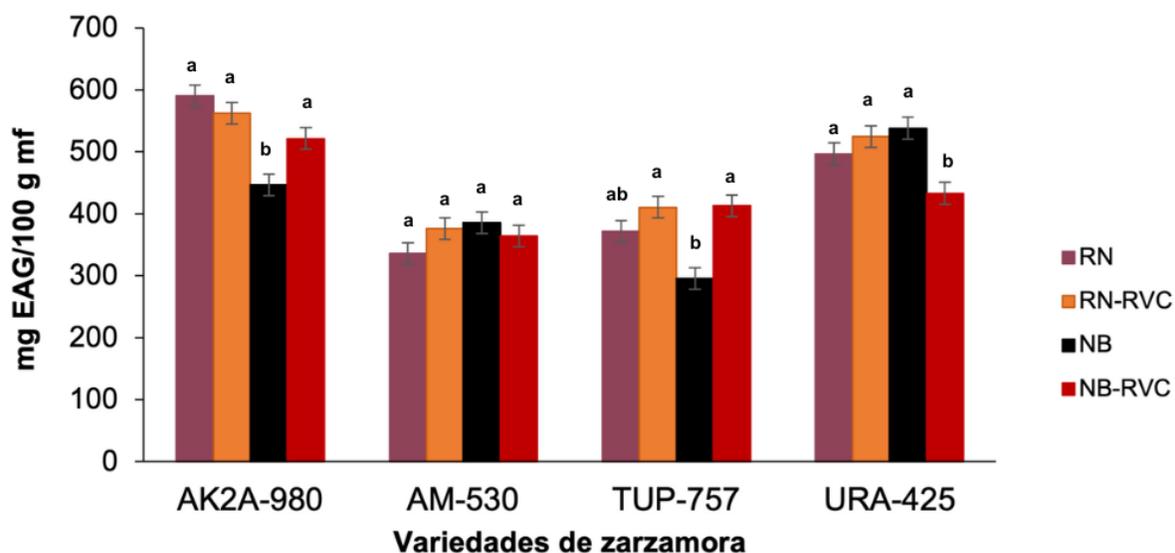


Figura 21. Cambios en el contenido de fenoles totales de cuatro variedades de zarzamora en dos estados de madurez (RN y NB) y después del tratamiento de compresión manual (RVC) para inducir RDR. Todos los resultados representan la media \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativa ($p < 0.05$) por variedad independiente.

Estos datos demuestran que en la reversión de color de estos frutos, no intervienen los procesos de oxidación de los fenoles en su conjunto y que por tanto solo se debe a los cambios que experimente las moléculas de antocianinas.

6.5 Consideraciones generales de la predicción de la reversión de color mediante factores físicos, fisicoquímicos y químicos.

El objetivo general del presente proyecto era identificar uno a varios posibles indicadores que permitieran indicar la posibilidad de la reversión de color antes de que ocurra el fenómeno. Ninguno de los factores analizados cumple con los requerimientos de un buen predictor de ese desorden. No obstante, hay aspectos importantes a destacar:

El aspecto más importante que esta investigación señala es que la práctica de cosechar frutos de zarzamora en estado de rojo negro o envinado (RN) no evita el desarrollo de la reversión de color, por el contrario, la induce y por ello sería

recomendable que las empresas dedicadas a la producción de este fruto cosecharan en madurez NB.

La posibilidad de utilizar los valores de a^* y L^* como predictores de reversión de color es difícil de alcanzar aun si se estructurara un estudio para encontrar una relación de cambio de estos valores con el tiempo. Esto es debido a que es posible que estos datos sean difíciles de encontrar dado el mecanismo de desarrollo de la RDR que estableció Flores-Sosa (2023) en el cual indico que la reversión de color se debe al cambio de la estructura molecular de las antocianinas provocada por el cambio de pH (casi neutro dentro de los antociano plastos) al pH ácido de las vacuolas que induce la formación de una estructura quinoidea de la molécula.

La consideración hecha por productores de que la acidez de los frutos o el contenido de sólidos solubles o azúcares podrían ser utilizados como indicadores de la reversión de color tampoco se sustenta, pues estos contenidos varían dentro del conjunto de variedades que no tienen una aplicación general como lo confirma el análisis de correlación de Pearson (Tabla 18) y solo podría tener aplicaciones restringidas por variedad.

Tabla 18. Coeficientes de correlación de Pearson de las variables de respuesta fisicoquímicas (%AT, pH y %SST) con el valor de a^* indicador de reversión de color

Variedades	RN			RN-RVC		
	%AT	pH	%SST	%AT	pH	%SST
AK2A-980	-0.629	0.723	0.552	0.703	-0.912	-0.02
AM-530	0.254	0.231	0.533	-0.18	0.41	-0.146
TUP-757	-0.446	0.291	-0.556	-0.799	0.424	0.598
URA-530	-0.28	-0.572	0.033	-0.765	-0.845	0.365

Variedades	NB			NB-RVC		
	%AT	pH	%SST	%AT	pH	%SST
AK2A-980	-0.723	0.797	-0.615	0.953	-0.401	-0.348
AM-530	-0.546	-0.137	0.608	0.952	-0.059	-0.566
TUP-757	0.065	0.363	0.288	0.059	0.383	0.837
URA-530	-0.28	-0.572	0.033	-0.765	-0.845	0.365

De igual forma los contenidos de azúcares reductores, el contenido de antocianinas y de fenoles totales tampoco respondieron a las exigencias de un buen indicador de la reversión de color.

No obstante, si proporcionaron evidencias que sugieren que la reversión de color, generada por el efecto mecánico de la compresión induce cambios fisiológicos en los frutos propiciados por cambios en el metabolismo del fruto. De manera particular, es muy probable que el metabolismo respiratorio se incremente y esto propicie al consumo de carbohidratos que lleva a una reducción de los mismos.

Aunque los objetivos de este trabajo parecieron ser simples desde el punto de vista de investigación básica, los resultados aquí descritos responden a las necesidades que tiene el sector para contar con información que contribuya a mejorar el manejo de este fruto.

7. CONCLUSIONES

Las cuatro variedades cosechadas en rojo brillante (RN), indujo un mayor desarrollo de RDR y su cosecha en NB reduce la incidencia visual del RDR provocada por la compresión manual de los frutos.

No obstante, la variedad AK2A-980 y TUP-747 fueron más susceptibles a este desorden en ambos estados de cosecha.

Los valores de color a^* y L^* permiten cuantificar objetivamente el efecto del estado de madurez a la cosecha y el daño mecánico en el desarrollo de la reversión de color. No obstante, no es posible señalar rangos específicos de valores porque estos cambian con la variedad, limitando su capacidad predictiva para todas las variedades.

La firmeza de los frutos al momento de la cosecha, no se relacionó de forma general con la reversión de color. Por tanto, este factor no puede ser utilizado de forma general para predecir si un fruto sufrirá RDR.

Los contenidos de fenoles totales y antocianinas tampoco respondieron a la exigencia de un predictor general.

8. FUENTES BIBLIOGRAFICAS

- Al-Dairi, M., Pathare, P. B., Al-Yahyai, R., & Opara, U. L. (2022). Mechanical damage of fresh produce in postharvest transportation: Current status and future prospects. *Trends in Food Science & Technology*, 124, 195-207. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.04.018>
- Aliasgarian, S., Ghassemzadeh, H. R., Moghaddam, M., & Ghaffari, H. (2015). Mechanical Damage Of Strawberry During Harvest And Postharvest Operations. *Acta Technologica Agriculturae*, 18(1), 1-5. <https://doi.org/10.1515/ata-2015-0001>
- Armour, M. E., Worthington, M., Clark, J. R., Threlfall, R. T., & Howard, L. (2021). Effect of Harvest Time and Fruit Firmness on Red Drupelet Reversion in Blackberry. *HortScience*, 56(8), 889-896. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI15853-21>
- Brito Grandes, B., Montalvo Vargas, D. A., Freire Salazar, V. H., Vásquez C., W., Viteri D., P., Martínez, A., & Jácome, R. (2016). *Calidad en la cosecha, poscosecha y comercialización*. Quito, EC: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Programa Nacional de Fruticultura, 2016. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/4070>
- Brummell, D. A., & Harpster, M. H. (2001). Cell wall metabolism in fruit softening and quality and its manipulation in transgenic plants. *Plant Molecular Biology*, 47(1), 311-339. <https://doi.org/10.1023/A:1010656104304>
- Clark, J. R., & Finn, C. E. (2014). Blackberry cultivation in the world. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36(1), 46-57. <https://doi.org/10.1590/0100-2945-445/13>
- Cömert, E. D., Mogol, B. A., & Gökmen, V. (2019). Relationship between color and antioxidant capacity of fruits and vegetables. *Current Research in Food Science*, 2, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2019.11.001>
- Di Vittori, L., Mazzoni, L., Battino, M., & Mezzetti, B. (2018). Pre-harvest factors influencing the quality of berries. *Scientia Horticulturae*, 233, 310-322. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.01.058>

- Dunteman, A., Threlfall, R., Clark, J., & Worthington, M. (2018). Evaluating Consumer Sensory and Composition Attributes of Arkansas-Grown Fresh-Market Blackberries. *Discovery, The Student Journal of Dale Bumpers College of Agricultural, Food and Life Sciences*, 19(1), 16-23.
- Edgley, M., Close, D. C., & Measham, P. F. (2020). Red drupelet reversion in blackberries: A complex of genetic and environmental factors. *Scientia Horticulturae*, 272, 109555. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109555>
- Edgley, M., Close, D. C., Measham, P. F., & Nichols, D. S. (2019). Physiochemistry of blackberries (*Rubus* L. subgenus *Rubus* Watson) affected by red drupelet reversion. *Postharvest Biology and Technology*, 153, 183-190. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.04.012>
- Espinoza Morales, J. L. (2010). *Efecto de la radiación transmitida y el color de la malla sombra sobre el crecimiento y rendimiento de plantas en la horticultura*. 47, 4. <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/471/1/Jose%20Luis%20Espinoza%20Morales.pdf>
- Famiani, F., & Walker, R. P. (2009). Changes in Abundance of Enzymes Involved in Organic Acid, Amino Acid and Sugar Metabolism, and Photosynthesis during the Ripening of Blackberry Fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 134(2), 167-175. <https://doi.org/10.21273/JASHS.134.2.167>
- Fan-Chiang, H.-J., & Wrolstad, R. E. (2010). Sugar and Nonvolatile Acid Composition of Blackberries. *Journal of AOAC INTERNATIONAL*, 93(3), 956-965. <https://doi.org/10.1093/jaoac/93.3.956>
- FAOSTAT. (s. f.). *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Recuperado 1 de mayo de 2022, de <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/>
- Flores-Sosa, A. R., Fabela-Gallegos, M. J., Cruz-Acevedo, M. E., Rivera-Pastrana, D. M., Nava, G. M., & Mercado-Silva, E. M. (2022). A Portable Vibration System to Induce and Evaluate Susceptibility to Red Drupelet Reversion in Blackberry Cultivars. *Horticulturae*, 8(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8070631>

- Flores-Sosa, A. R., Soto-Magaña, D., Gonzalez-de la Vara, L. E., Sanchez-Segura, L., Bah, M., Rivera-Pastrana, D. M., Nava, G. M., & Mercado-Silva, E. M. (2021). Red drupelet reversion in blackberries caused by mechanical damage is not linked to a reduction in anthocyanin content. *Postharvest Biology and Technology*, *180*, 111618. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111618>
- Fu, Y., Zhou, X., Chen, S., Sun, Y., Shen, Y., & Ye, X. (2015). Chemical composition and antioxidant activity of Chinese wild raspberry (*Rubus hirsutus* Thunb.). *LWT - Food Science and Technology*, *60*(2, Part 2), 1262-1268. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.09.002>
- Garcia Mendoza, S. G. (2017). *Item 1025/325 | Repositorio CIQA*. Efecto de las mallas sombra de diferentes colores y una cubierta plástica sobre el rendimiento y calidad del cultivo de tomates. <http://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1025/325>
- Giusti, M. M., & Wrolstad, R. E. (2001). Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, *00*(1). <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0102s00>
- Hall, H. K., & Funt, R. C. (2017). *Blackberries and their Hybrids. Crop Production Science in Horticulture*. CABI.
- Horvitz, S., Chanaguano, D., & Arozarena, I. (2017). Andean blackberries (*Rubus glaucus* Benth) quality as affected by harvest maturity and storage conditions. *Scientia Horticulturae*, *226*, 293-301. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.09.002>
- Huang, W., Zhang, H., Liu, W., & Li, C. (2012). Survey of antioxidant capacity and phenolic composition of blueberry, blackberry, and strawberry in Nanjing. *Journal of Zhejiang University. Science. B*, *13*(2), 94-102. <https://doi.org/10.1631/jzus.B1100137>
- Huang, X., Wu, Y., Zhang, S., Yang, H., Wu, W., Lyu, L., & Li, W. (2023). Variation in antioxidant enzyme activity and key gene expression during fruit development of blackberry and blackberry–raspberry hybrids. *Food Bioscience*, *54*, 102892. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102892>

- Hussein, Z., Fawole, O. A., & Opara, U. L. (2020). Harvest and Postharvest Factors Affecting Bruise Damage of Fresh Fruits. *Horticultural Plant Journal*, 6(1), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2019.07.006>
- Huynh, N. K., Wilson, M. D., Eyles, A., & Stanley, R. A. (2019). Recent advances in postharvest technologies to extend the shelf life of blueberries (*Vaccinium* sp.), raspberries (*Rubus idaeus* L.) and blackberries (*Rubus* sp.). *Journal of Berry Research*, 9(4), 687-707. <https://doi.org/10.3233/JBR-190421>
- Junqueira-Gonçalves, M. P., Alarcón, E., & Niranjana, K. (2016). The efficacy of potassium sorbate-coated packaging to control postharvest gray mold in raspberries, blackberries and blueberries. *Postharvest Biology and Technology*, 111, 205-208. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.09.014>
- Kaume, L., Howard, L. R., & Devareddy, L. (2012). The Blackberry Fruit: A Review on Its Composition and Chemistry, Metabolism and Bioavailability, and Health Benefits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(23), 5716-5727. <https://doi.org/10.1021/jf203318p>
- Kaur, S., Sharma, N., Kapoor, P., Chunduri, V., Pandey, A. K., & Garg, M. (2021). Spotlight on the overlapping routes and partners for anthocyanin transport in plants. *Physiologia Plantarum*, 171(4), 868-881. <https://doi.org/10.1111/ppl.13378>
- Khoo, H. E., Azlan, A., Tang, S. T., & Lim, S. M. (2017). Anthocyanidins and anthocyanins: Colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. *Food & Nutrition Research*, 61(1), 1361779. <https://doi.org/10.1080/16546628.2017.1361779>
- Kim, M. J., Lee, M. Y., Shon, J. C., Kwon, Y. S., Liu, K.-H., Lee, C. H., & Ku, K.-M. (2019). Untargeted and targeted metabolomics analyses of blackberries – Understanding postharvest red drupelet disorder. *Food Chemistry*, 300, 125169. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125169>
- Kovinich, N., Kayanja, G., Chanoca, A., Riedl, K., Otegui, M. S., & Grotewold, E. (2014). Not all anthocyanins are born equal: Distinct patterns induced by stress in *Arabidopsis*. *Planta*, 240(5), 931-940. <https://doi.org/10.1007/s00425-014-2079-1>

- Labanca, R. A., Barbosa de Oliveira, G., & Alminger, M. (2017). Berries: Cultivation and environmental factors effects on the phenolic compounds content. *African Journal of Agricultural Research*, 12(19), 1602-1606. <https://doi.org/10.5897/AJAR2017.12141>
- Lawrence Pratt, & Ortega, J. M. (2022). *Agricultura protegida en México: Elaboración de la metodología para el primer bono verde agrícola certificado | Publications*. Elaboración de la metodología para el primer bono verde agrícola certificado. https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Agricultura_prot egida_en_M%C3%A9xico_Elaboraci%C3%B3n_de_la_metodolog%C3%AD a_para_el_primer_bono_verde_agr%C3%ADcola_certificado_es.pdf
- Liao, X., Greenspan, P., Srivastava, A., & Pegg, R. B. (2020). Characterizing the phenolic constituents of U.S. Southeastern blackberry cultivars. *Journal of Berry Research*, 10(2), 311-327. <https://doi.org/10.3233/JBR-190475>
- Liu, C., Zheng, H., Sheng, K., Liu, W., & Zheng, L. (2018). Effects of melatonin treatment on the postharvest quality of strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 139, 47-55. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.01.016>
- Mattioli, R., Francioso, A., Mosca, L., & Silva, P. (2020). Anthocyanins: A Comprehensive Review of Their Chemical Properties and Health Effects on Cardiovascular and Neurodegenerative Diseases. *Molecules*, 25(17), 3809. <https://doi.org/10.3390/molecules25173809>
- McGuire, R. G. (1992). Reporting of Objective Color Measurements. *HortScience*, 27(12), 1254-1255. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.27.12.1254>
- Mikulic-Petkovsek, M., Schmitzer, V., Slatnar, A., Stampar, F., & Veberic, R. (2012). Composition of Sugars, Organic Acids, and Total Phenolics in 25 Wild or Cultivated Berry Species. *Journal of Food Science*, 77(10), C1064-C1070. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02896.x>
- Mikulic-Petkovsek, M., Veberic, R., Hudina, M., Zorenc, Z., Koron, D., & Senica, M. (2021a). Fruit Quality Characteristics and Biochemical Composition of Fully

- Ripe Blackberries Harvested at Different Times. *Foods*, 10(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/foods10071581>
- Mikulic-Petkovsek, M., Veberic, R., Hudina, M., Zorenc, Z., Koron, D., & Senica, M. (2021b). Fruit Quality Characteristics and Biochemical Composition of Fully Ripe Blackberries Harvested at Different Times. *Foods*, 10(7), 1581. <https://doi.org/10.3390/foods10071581>
- Miller, G. L. (2002, mayo 1). *Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar* (world) [Research-article]. ACS Publications; American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/ac60147a030>
- Montelongo Chávez, E. (2014). *Plan de negocios de un modelo de macro tunel para la producción de zarzamora en la empresa agrícola Alvarez SPR de RL en el municipio de Los Reyes Michoacán*. http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/6023
- Oancea, S. (2021). A Review of the Current Knowledge of Thermal Stability of Anthocyanins and Approaches to Their Stabilization to Heat. *Antioxidants*, 10(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/antiox10091337>
- Pérez Pérez, G. A., Fabela Gallegos, M. J., Vázquez Barrios, M. E., Rivera Pastrana, D. M., Palma Tirado, L., Mercado Silva, E., & Escalona Contreras, V. (2018). Effect of the transport vibration on the generation of the color reversion in blackberry fruit. *Acta Horticulturae*. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1194.187>
- Perkins-Veazie, P., Armstrong, P., & Clark, J. R. (2000). Measuring Blackberry Firmness Rapidly: A Comparison of Subjective Ratings and Instrumented Compression Measurements. *HortScience*, 35(4), 568A - 568. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.35.4.568A>
- Perkins-Veazie, P., Clark, J. R., Huber, D. J., & Baldwin, E. A. (2000). Ripening Physiology in 'Navaho' Thornless Blackberries: Color, Respiration, Ethylene Production, Softening, and Compositional Changes. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 125(3), 357-363. <https://doi.org/10.21273/JASHS.125.3.357>

- Publication: USDA ARS.* (s. f.). Recuperado 7 de mayo de 2022, de <https://www.ars.usda.gov/research/publications/publication/?seqNo115=62336>
- Riaz, M., Zia-Ul-Haq, M., & Saad, B. (2016). Biosynthesis and Stability of Anthocyanins. En M. Zia Ul Haq, M. Riaz, & B. Saad, *Anthocyanins and Human Health: Biomolecular and therapeutic aspects* (pp. 71-86). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-26456-1_6
- Rigolon, T. C. B., Barros, F. A. R. de, Vieira, É. N. R., & Stringheta, P. C. (2020). Prediction of total phenolics, anthocyanins and antioxidant capacity of blackberry (*Rubus* sp.), blueberry (*Vaccinium* sp.) and jaboticaba (*Plinia cauliflora* (Mart.) Kausel) skin using colorimetric parameters. *Food Science and Technology*, 40, 620-625. <https://doi.org/10.1590/fst.34219>
- Romero, J., Albertos, I., Díez-Méndez, A., & Poveda, J. (2022). Control of postharvest diseases in berries through edible coatings and bacterial probiotics. *Scientia Horticulturae*, 304, 111326. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111326>
- Salgado, A. A., & Clark, J. R. (2016). "Crispy" Blackberry Genotypes: A Breeding Innovation of the University of Arkansas Blackberry Breeding Program. *HortScience*, 51(5), 468-471. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.51.5.468>
- Santos, B. M., Obregón-Olivas, H. A., & Salamé-Donoso, T. P. (2010). *Producción de Hortalizas en Ambientes Protegidos: Estructuras para la Agricultura Protegida*. 7.
- Schulz, M., Borges, G. da S. C., Gonzaga, L. V., Seraglio, S. K. T., Olivo, I. S., Azevedo, M. S., Nehring, P., de Gois, J. S., de Almeida, T. S., Vitali, L., Spudeit, D. A., Micke, G. A., Borges, D. L. G., & Fett, R. (2015). Chemical composition, bioactive compounds and antioxidant capacity of juçara fruit (*Euterpe edulis* Martius) during ripening. *Food Research International*, 77, 125-131. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.08.006>
- Schulz, M., Seraglio, S. K. T., Della Betta, F., Nehring, P., Valese, A. C., Daguer, H., Gonzaga, L. V., Costa, A. C. O., & Fett, R. (2019). Blackberry (*Rubus ulmifolius* Schott): Chemical composition, phenolic compounds and

- antioxidant capacity in two edible stages. *Food Research International*, 122, 627-634. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.01.034>
- Seraglio, S. K. T., Schulz, M., Nehring, P., Della Betta, F., Valese, A. C., Daguer, H., Gonzaga, L. V., Fett, R., & Costa, A. C. O. (2018). Nutritional and bioactive potential of Myrtaceae fruits during ripening. *Food Chemistry*, 239, 649-656. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.06.118>
- SIAP. (2022). *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera | Gobierno | gob.mx*. <https://www.gob.mx/siap>
- Thompson, J. (2011). *Tecnología postcosecha de cultivos hortofrutícolas* (Vol. 7). UCANR Publications.
- Tosun, I., Ustun, N. S., & Tekguler, B. (2008). Physical and chemical changes during ripening of blackberry fruits. *Scientia Agricola*, 65(1), 87-90. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162008000100012>
- USDA. (2014). *Classification for kingdom plantae down to species Rubus ursinus Cham. & Schlttdl.* <https://plants.usda.gov/home/classification/91633>
- Vásquez, W., Pupiales, P., Viteri, P., Sotomayor, A., Feican, C., Campaña, D., & Viera, W. (2019). Chemical scarification and use of gibberellic acid for seed germination of blackberry cultivars (*Rubus glaucus* Benth). *Interciencia*, 44(3), 161-166.
- Veberic, R., Stampar, F., Schmitzer, V., Cunja, V., Zupan, A., Koron, D., & Mikulic-Petkovsek, M. (2014). Changes in the Contents of Anthocyanins and Other Compounds in Blackberry Fruits Due to Freezing and Long-Term Frozen Storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(29), 6926-6935. <https://doi.org/10.1021/jf405143w>
- Whitepaper-blackberry.pdf*. (s. f.). Recuperado 22 de noviembre de 2023, de <https://unindexed-files.s3.us-west-2.amazonaws.com/whitepaper-blackberry.pdf>
- Xia, D., Zhou, H., Wang, Y., Li, P., Fu, P., Wu, B., & He, Y. (2021). How rice organs are colored: The genetic basis of anthocyanin biosynthesis in rice. *The Crop Journal*, 9(3), 598-608. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2021.03.013>

- Zhang, C., Xiong, Z., Yang, H., & Wu, W. (2019). Changes in pericarp morphology, physiology and cell wall composition account for flesh firmness during the ripening of blackberry (*Rubus* spp.) fruit. *Scientia Horticulturae*, 250, 59-68. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.02.015>
- Zia-UI-Haq, M., Riaz, M., De Feo, V., Jaafar, H. Z. E., & Moga, M. (2014). *Rubus Fruticosus* L.: Constituents, Biological Activities and Health Related Uses. *Molecules*, 19(8), 10998-11029. <https://doi.org/10.3390/molecules190810998>
- Zuloeta Sánchez, M. (2017). Efecto de la temperatura en la calidad fisicoquímica de los frutos de zarzamora (*Rubus robustus* C. Presl). *Universidad Nacional de Cajamarca*. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1691>

APENDICE

APENDICE A. Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables de respuesta en diferentes variedades de zarzamora

TUP-757-RN											
	F	L*	a*	b*	C	h*	AT	pH	SST	AZR	ANT
L*	-0.291										
a*	-0.817	0.053									
b*	-0.533	0.923	0.405								
C	-0.33	-0.163	0.136	-0.03							
h*	0.452	-0.78	-0.353	-0.906	-0.242						
AT	0.531	-0.821	-0.446	-0.921	-0.17	0.827					
pH	-0.369	0.893	0.291	0.962	0.074	-0.951	-0.924				
SST	0.268	-0.195	-0.556	-0.343	0.132	0.126	0.578	-0.324			
AZR	0.52	0.491	-0.752	0.23	0.044	-0.349	-0.154	0.386	0.422		
ANT	0.344	-0.083	-0.707	-0.315	0.082	0.161	0.524	-0.296	0.966	0.553	
FNT	0.147	0.006	0.31	0.168	-0.522	-0.228	0.014	0.194	-0.137	-0.15	-0.292

TUP-757-RN-RVC											
	Firmeza	L*	a*	b*	C	h*	AT	pH	SST	AZR	ANT
L*	-0.206										
a*	-0.282	-0.446									
b*	-0.331	0.586	0.447								
C	-0.272	-0.513	0.994	0.368							
h*	0.402	-0.432	-0.496	-0.9	-0.44						
AT	0.252	0.786	-0.799	0.105	-0.856	0.094					
pH	0.439	-0.744	0.424	-0.362	0.488	0.399	-0.625				
SST	0.38	-0.359	0.598	0.211	0.626	-0.196	-0.528	0.786			
AZR	0.444	0.652	-0.8	-0.017	-0.811	0.057	0.801	-0.363	-0.168		
ANT	0.202	-0.455	-0.331	-0.696	-0.284	0.376	-0.097	-0.086	-0.388	0.042	
FNT	-0.095	0.017	0.162	0.263	0.124	-0.537	-0.03	-0.508	-0.271	-0.074	0.497

TUP-757-NB											
	Firmeza	L*	a*	b*	C	h*	AT	pH	SST	AZR	ANT
L*	-0.153										
a*	0.222	-0.972									
b*	-0.193	-0.761	0.787								
C	-0.108	0.7	-0.804	-0.87							
h*	0.328	0.242	-0.127	-0.569	0.284						
AT	0.098	0.1	0.065	0.384	-0.629	-0.211					
pH	0.128	-0.48	0.363	-0.13	0.24	0.317	-0.877				
SST	-0.06	-0.429	0.288	-0.141	0.244	0.239	-0.851	0.952			
AZR	0.71	-0.172	0.329	0.301	-0.588	-0.014	0.726	-0.476	-0.63		
ANT	-0.2	-0.027	0.028	-0.141	-0.117	0.276	0.033	0.129	0.374	-0.288	
FNT	0.31	0.822	-0.795	-0.922	0.666	0.492	-0.013	-0.193	-0.163	-0.001	0.193

TUP-757-NB-RVC											
	Firmeza	L*	a*	b*	C	h*	AT	pH	SST	AZR	ANT
L*	0.45										
a*	0.348	-0.585									
b*	-0.641	-0.827	0.473								
C	-0.969	-0.286	-0.417	0.6							
h*	0.244	0.631	-0.608	-0.809	-0.27						
AT	-0.268	-0.527	0.059	0.112	0.036	0.319					
pH	0.106	-0.016	0.383	0.384	0.056	-0.687	-0.782				
SST	0.251	-0.74	0.837	0.353	-0.432	-0.379	0.498	-0.047			
AZR	-0.356	-0.225	0.223	0.463	0.35	-0.095	0.208	-0.086	-0.013		
ANT	-0.34	-0.573	0.021	0.166	0.12	0.106	0.871	-0.784	0.468	0.111	
FNT	-0.286	-0.887	0.727	0.792	0.148	-0.523	0.485	0.13	0.741	0.451	0.334

AK2A-980-RN											
	Firmeza	L*	a*	b*	C	h*	AT	pH	SST	AZR	ANT
L*	0.146										
a*	-0.764	0.007									
b*	-0.502	-0.345	0.685								
C	-0.718	0.034	0.996	0.69							
h*	0.521	0.312	-0.69	-0.959	-0.677						
AT	0.447	0.093	-0.629	-0.956	-0.641	0.919					
pH	-0.585	-0.453	0.723	0.929	0.701	-0.976	-0.83				
SST	-0.385	0.034	0.552	0.832	0.59	-0.69	-0.907	0.582			
AZR	-0.54	-0.265	0.587	0.75	0.542	-0.903	-0.712	0.904	0.365		
ANT	-0.267	-0.433	0.483	0.849	0.466	-0.935	-0.776	0.927	0.467	0.901	
FNT	0.284	0.495	-0.256	-0.044	-0.191	0.239	-0.16	-0.403	0.496	-0.511	-0.397

AK2A-980-RN-RVC											
	Firmeza	L*	a*	b*	C	h*	AT	pH	SST	AZR	ANT
L*	0.309										
a*	-0.519	-0.91									
b*	-0.662	-0.828	0.953								
C	-0.568	-0.883	0.992	0.974							
h*	0.419	0.956	-0.915	-0.896	-0.927						
AT	-0.174	-0.664	0.703	0.696	0.653	-0.571					
pH	0.366	0.981	-0.912	-0.885	-0.903	0.977	-0.706				
SST	0.499	-0.035	-0.02	-0.03	-0.081	0.092	0.661	-0.079			
AZR	-0.421	-0.883	0.799	0.812	0.769	-0.823	0.822	-0.916	0.256		
ANT	0.516	-0.309	-0.084	-0.267	-0.152	-0.141	-0.094	-0.197	0.035	0.168	
FNT	-0.868	-0.216	0.326	0.46	0.404	-0.386	-0.232	-0.258	-0.813	0.192	-0.294

AK2A-980 -NB											
	Firmeza	L*	a*	b*	C	h*	AT	pH	SST	AZR	ANT
L*	0.52										
a*	-0.332	-0.828									
b*	-0.305	-0.821	0.994								
C	-0.325	-0.85	0.999	0.993							
h*	0.39	0.713	-0.929	-0.952	-0.919						
AT	0.443	0.475	-0.723	-0.724	-0.708	0.822					
pH	0.029	-0.483	0.797	0.847	0.788	-0.899	-0.687				
SST	0.479	0.519	-0.615	-0.576	-0.613	0.578	0.88	-0.362			
AZR	-0.509	-0.171	0.417	0.424	0.392	-0.621	-0.912	0.481	-0.753		
ANT	-0.584	-0.69	0.611	0.535	0.614	-0.367	-0.277	0.016	-0.49	0.056	
FNT	-0.319	0.057	0.37	0.344	0.33	-0.48	-0.77	0.366	-0.641	0.851	0.181

AK2A-980-NB-RVC											
	Firmeza	L*	a*	b*	C	h*	AT	pH	SST	AZR	ANT
L*	-0.55										
a*	-0.708	0.222									
b*	-0.766	0.165	0.963								
C	-0.375	-0.032	0.876	0.784							
h*	0.478	0.256	-0.733	-0.704	-0.83						
AT	-0.785	0.431	0.953	0.895	0.84	-0.701					
pH	0.711	-0.912	-0.401	-0.405	-0.178	0.003	-0.61				
SST	0.837	-0.712	-0.348	-0.44	-0.082	0.154	-0.539	0.893			
AZR	0.888	-0.419	-0.824	-0.815	-0.694	0.747	-0.926	0.653	0.725		
ANT	0.29	0.086	-0.124	-0.292	-0.202	0.35	-0.201	0.301	0.537	0.41	
FNT	0.295	-0.6	-0.006	0.076	-0.103	0.113	-0.305	0.668	0.611	0.469	0.35

AM-530-RN											
	Firmeza	L*	a*	b*	C	h*	AT	pH	SST	AZR	ANT
L*	-0.574										
a*	-0.746	0.489									
b*	-0.721	0.805	0.821								
C	0.758	-0.644	-0.727	-0.919							
h*	-0.841	0.433	0.977	0.764	-0.71						
AT	-0.547	0.297	0.252	0.237	-0.454	0.323					
pH	-0.14	0.578	0.231	0.654	-0.516	0.131	-0.412				
SST	-0.592	0.867	0.533	0.606	-0.43	0.509	0.491	0.126			
AZR	-0.529	-0.081	0.188	-0.15	0.048	0.355	0.623	-0.731	0.309		
ANT	-0.53	0.396	0.314	0.649	-0.862	0.327	0.378	0.527	0.053	-0.183	
FNT	0.745	0.027	-0.32	-0.102	0.3	-0.506	-0.625	0.443	-0.165	-0.87	-0.265

AM-530 -RN-RVC											
	Firmeza	L*	a*	b*	C	h*	AT	pH	SST	AZR	ANT
L*	0.171										
a*	0.31	-0.529									
b*	0.156	-0.665	0.862								
C	0.136	-0.163	0.563	0.094							
h*	-0.235	0.468	-0.648	-0.918	0.265						
AT	-0.418	0.094	-0.18	0.232	-0.758	-0.49					
pH	0.533	0.467	0.41	0.116	0.446	-0.06	-0.286				
SST	-0.466	-0.072	-0.146	-0.341	0.468	0.608	-0.472	0.072			
AZR	0.122	-0.132	-0.445	-0.063	-0.75	-0.168	0.222	-0.386	-0.14		
ANT	0.157	-0.346	0.344	0.109	0.506	0.055	-0.399	-0.256	-0.243	-0.51	
FNT	0.081	0.926	-0.61	-0.679	-0.296	0.436	0.237	0.176	-0.287	-0.135	-0.117

AM-530-NB											
	Firmeza	L*	a*	b*	C	h*	AT	pH	SST	AZR	ANT
L*	0.406										
a*	0.391	-0.339									
b*	0.399	-0.49	0.877								
C	-0.387	0.438	-0.978	-0.957							
h*	0.352	-0.02	0.873	0.537	-0.752						
AT	-0.254	0.661	-0.546	-0.804	0.684	-0.118					
pH	0.504	0.031	-0.137	0.248	-0.012	-0.441	-0.309				
SST	0.024	-0.624	0.608	0.849	-0.734	0.21	-0.65	0.358			
AZR	0.42	0.89	-0.02	-0.269	0.147	0.302	0.463	-0.27	-0.564		
ANT	0.019	0.564	-0.578	-0.434	0.543	-0.545	0.155	0.082	-0.464	0.527	
FNT	-0.191	-0.233	-0.3	-0.254	0.273	-0.336	-0.314	-0.244	-0.429	-0.094	0.4

AM-NB-530-RVC											
	Firmeza	L*	a*	b*	C	h*	AT	pH	SST	AZR	ANT
L*	0.12										
a*	-0.418	-0.529									
b*	-0.406	-0.665	0.862								
C	0.326	-0.806	0.145	0.46							
h*	-0.359	0.688	-0.159	-0.353	-0.728						
AT	-0.299	-0.38	0.952	0.713	0.033	0.029					
pH	-0.121	0.877	-0.059	-0.302	-0.886	0.716	0.083				
SST	0.511	0.006	-0.566	-0.119	0.543	-0.35	-0.648	-0.333			
AZR	0.659	0.188	-0.767	-0.781	0.144	0.043	-0.615	-0.225	0.375		
ANT	-0.448	-0.172	0.472	0.763	0.163	-0.131	0.283	0.061	0.202	-0.818	
FNT	0.168	-0.812	0.595	0.766	0.789	-0.832	0.444	-0.63	0.184	-0.36	0.426

URA-425-RN											
	Firmeza	L*	a*	b*	C	h*	AT	pH	SST	AZR	ANT
L*	0.678										
a*	0.342	0.367									
b*	0.482	0.315	0.966								
C	0.409	0.373	0.988	0.965							
h*	-0.509	-0.407	-0.972	-0.992	-0.967						
AT	0.251	0.312	-0.28	-0.227	-0.324	0.136					
pH	0.132	-0.161	-0.572	-0.511	-0.438	0.538	-0.141				
SST	0.216	0.048	0.033	0.102	0.046	-0.027	-0.59	0.064			
AZR	-0.25	0.117	-0.23	-0.33	-0.256	0.354	-0.492	0.033	0.719		
ANT	0.456	0.137	0.232	0.303	0.318	-0.339	0.355	0.301	-0.636	-0.872	
FNT	0.252	0.396	0.466	0.478	0.362	-0.546	0.616	-0.821	-0.338	-0.41	0.129

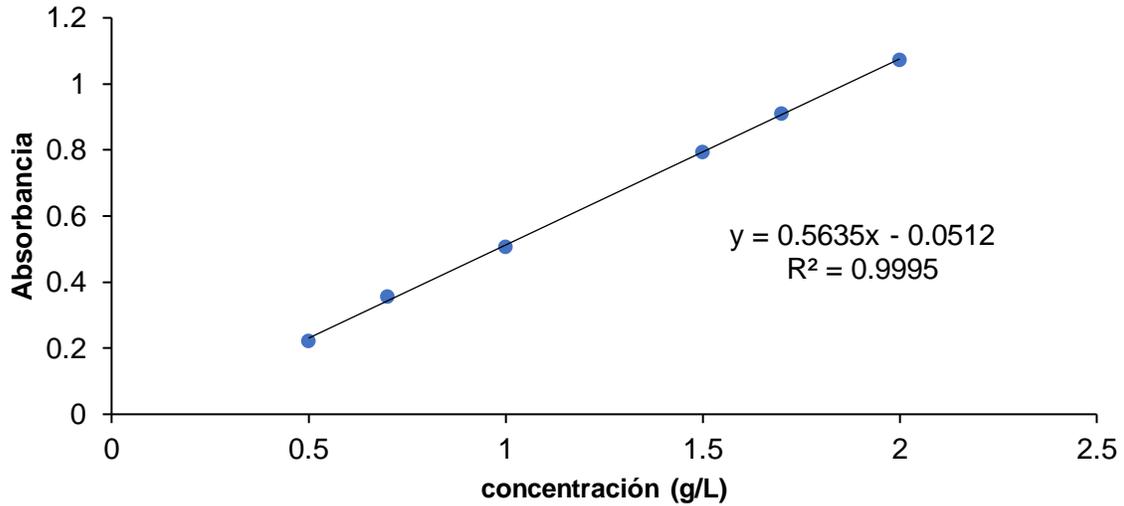
URA-425-RN-RVC											
	Firmeza	L*	a*	b*	C	h*	AT	pH	SST	AZR	ANT
L*	0.914										
a*	-0.779	-0.877									
b*	-0.856	-0.911	0.981								
C	-0.649	-0.856	0.959	0.916							
h*	0.955	0.977	-0.914	-0.948	-0.84						
AT	0.919	0.786	-0.765	-0.864	-0.6	0.859					
pH	0.852	0.971	-0.845	-0.894	-0.849	0.929	0.753				
SST	-0.596	-0.325	0.365	0.5	0.142	-0.44	-0.836	-0.314			
AZR	0.816	0.794	-0.481	-0.618	-0.439	0.736	0.751	0.826	-0.507		
ANT	0.858	0.78	-0.893	-0.923	-0.737	0.887	0.884	0.745	-0.624	0.505	
FNT	0.387	0.446	-0.002	-0.091	-0.079	0.302	0.205	0.423	0.003	0.724	-0.124

URA-425-NB											
	Firmeza	L*	a*	b*	C	h*	AT	pH	SST	AZR	ANT
L*	0.447										
a*	-0.377	0.01									
b*	-0.211	0.041	0.724								
C	0.343	-0.079	-0.956	-0.5							
h*	0.287	0.006	-0.809	-0.99	0.606						
AT	-0.233	0.214	-0.138	-0.282	0.059	0.264					
pH	-0.004	0.045	-0.476	0.137	0.642	-0.028	-0.324				
SST	-0.368	0.033	0.303	0.15	-0.336	-0.186	-0.583	0.272			
AZR	-0.398	-0.173	0.751	0.709	-0.647	-0.755	-0.654	0.077	0.734		
ANT	0.585	-0.363	-0.431	-0.426	0.382	0.446	-0.589	0.001	-0.056	-0.14	
FNT	0.283	-0.217	0.215	0.579	-0.007	-0.537	-0.086	-0.053	-0.612	0.039	0.108

URA-425-NB-RVC											
	Firmeza	L*	a*	b*	C	h*	AT	pH	SST	AZR	ANT
L*	-0.315										
a*	0.393	-0.9									
b*	0.62	-0.879	0.958								
C	0.39	-0.892	0.999	0.959							
h*	-0.716	0.711	-0.644	-0.802	-0.651						
AT	0.263	-0.813	0.912	0.833	0.906	-0.602					
pH	0.057	-0.736	0.871	0.774	0.888	-0.445	0.756				
SST	0.181	0.463	-0.062	-0.049	-0.044	0.309	-0.185	0.068			
AZR	0.062	-0.951	0.786	0.712	0.776	-0.589	0.791	0.666	-0.649		
ANT	-0.859	0.582	-0.451	-0.658	-0.441	0.872	-0.375	-0.082	0.342	-0.43	
FNT	0.073	-0.903	0.877	0.77	0.87	-0.568	0.941	0.776	-0.433	0.94	-0.329

APENDICE B. Curvas de Calibración.

B.1 Curva de calibración utilizada para la cuantificación de azúcares reductores



B.2 Curva de calibración utilizada para la cuantificación de ácido gálico

