

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE ALIMENTOS



Predicción de problemas de calidad en mora (*Rubus
ulmifolius*) por medio de la interrelación de factores
clave que afectan sus características de calidad y
vida útil

Trabajo de graduación presentado por Marcela Quán Bosque
para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería en
Ciencias de Alimentos

Guatemala,
2020

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE ALIMENTOS

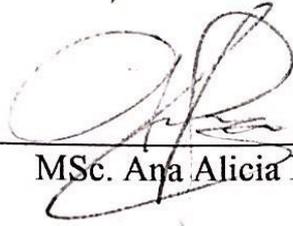


Predicción de problemas de calidad en mora (*Rubus
ulmifolius*) por medio de la interrelación de factores
clave que afectan sus características de calidad y
vida útil

Trabajo de graduación presentado por Marcela Quán Bosque
para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería en
Ciencias de Alimentos

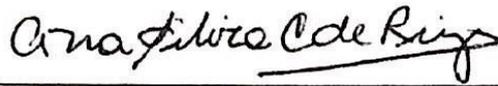
Guatemala,
2020

Vo.Bo.

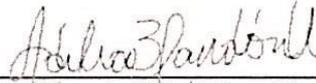


MSc. Ana Alicia Paz

Tribunal examinador:



MSc. Ana Silvia Colmenares



MSc. Adilia Blandón



MSc. Ana Alicia Paz

Fecha de aprobación del examen de graduación:
Guatemala, 17 de febrero del 2021

CONTENIDO

LISTADO DE CUADROS	viii
LISTADO DE FIGURAS.....	x
RESUMEN	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES.....	3
A. MORA (<i>Rubus ulmifolius</i>)	3
B. ESTUDIOS POST COSECHA Y DE CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD	5
C. USO DE SENSORES Y OTRAS TECNOLOGÍAS EN EL MANEJO POSCOSECHA	7
III. JUSTIFICACIÓN	9
IV. OBJETIVOS	11
A. GENERAL	11
B. ESPECÍFICOS	11
V. MARCO TEÓRICO	12
A. GENERALIDADES.....	12
B. MANEJO POSCOSECHA.....	14
1. Cosecha e índice de madurez	14
2. Tratamientos poscosecha.....	16
C. PARÁMETROS Y ANÁLISIS DE CALIDAD.....	17
D. ANÁLISIS PREDICTIVO.....	19
E. MÉTODO MATEMÁTICO DE ANÁLISIS DE DATOS PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGOS Y PÉRDIDAS DE CARACTERÍSTICAS SENSORIALES	20
1. Diseño de experimentos: diseño experimental factorial completo.	20
2. Diseño experimental de tres factores	21
F. ANÁLISIS DE VIDA ÚTIL	22
VI. METODOLOGÍA Y DISEÑO DEL EXPERIMENTO	24
A. MUESTREO.....	24
B. DISEÑO EXPERIMENTAL FACTORIAL COMPLETO	26
C. CONDICIONES DEL DISEÑO	26
1. Temperatura	27
2. Humedad relativa	27
3. Daño mecánico.....	27
D. MÉTODOS DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS.....	27
E. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	30
F. ANÁLISIS DE VIDA ÚTIL	31
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	33

VIII.	CONCLUSIONES	49
IX.	RECOMENDACIONES	50
X.	BIBLIOGRAFÍA.....	51
XI.	ANEXOS.....	55
A.	Resultados de ANOVAS de la relación de los diferentes factores analizados con los parámetros de calidad.....	55
B.	Verificación de la concentración de la solución de hidróxido de sodio para la determinación de acidez titulable en moras.....	57
C.	Datos obtenidos de los parámetros fisicoquímicos de la mora en el tiempo bajo diferentes condiciones	57
D.	Formulario utilizado para la determinación de vida útil de las moras por medio de la aceptación o rechazo al momento de compra.....	71
E.	Datos de aceptación/Rechazo del análisis visual de moras	74
F.	Resultados del análisis de censura en datos obtenidos del análisis de vida útil sensorial	77
G.	Códigos para el programa R studio utilizados en los análisis de datos.....	80

LISTADO DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Grado de madurez de la mora y su equivalencia en color (parámetro visual)	15
2. ANOVA: modelo factorial con tres factores (sin replicación)	21
3. Factores del diseño experimental factorial completo con los diferentes niveles evaluados	26
4. Cuadro con las combinaciones de los factores y sus diferentes niveles	26
5. Cartilla de defectos en mora	28
6. Modelos predictivos obtenidos para los diferentes parámetros de calidad	42
7. Imágenes usadas en el formulario del análisis de vida útil	44
8. Tiempo de vida estimado por medio del análisis de Weibull para moras almacenadas 4°C	47
9. Tiempo de vida estimado por medio del análisis de Weibull para moras almacenadas 25°C	48
10. Verificación de la concentración de la solución de hidróxido de sodio para la titulación	58
11. Resultados de pH, acidez y textura de las moras a lo largo de los días de almacenamiento.	58
12. Resultados de pérdida de peso, reversión, brix y decaimiento de las moras a lo largo de los días de almacenamiento.	64
13. Respuestas obtenidas de la encuesta realizada a los 60 consumidores, relacionadas con las imágenes de moras almacenadas a 4°C	75
14. Respuestas obtenidas de la encuesta realizada a los 60 consumidores, relacionadas con las imágenes de moras almacenadas a 25°C	76
15. Resultados de censura de los consumidores que fueron parte del estudio de vida útil y evaluaron	78

las imágenes de moras con diferentes días de almacenamiento a 4° C

16. Resultados de censura de los consumidores que fueron parte del estudio de vida útil y evaluaron las imágenes de moras con diferentes días de almacenamiento a 4° C 79

LISTADO DE FIGURAS

Figura	Página
1. Mapa de ubicación de los departamentos con producción de bayas	3
2. Principales clientes para la exportación de mora según AGEXPORT	4
3. Morfología de las moras	12
4. Mora (especie <i>Rubus</i>)	12
5. Morfología de las drupas de una mora	13
6. Planta de moras con fruto en diferentes fases de madurez	14
7. Espacio de color CIELAB	19
8. Mapa de ubicación de San José Poaquil en el departamento de Chimaltenango, Guatemala	24
9. Ejemplo de caja de cartón completa con 12 clamshells	25
10. Ejemplo de dos clamshells de mora obtenidas el día de la recolección	25
11. Vibrador hecho para poner simular el daño mecánico en las moras.	27
12. Tabla internacional de compensación de temperatura. 1974. NGO COGUANOR 34 003	29
13. Efecto de la temperatura en los parámetros fisicoquímicos. Temperatura codificada (nivel bajo - 1 y nivel alto 1) en el eje “x” y parámetros en el eje “y” en el siguiente orden: A) acidez (% ácido málico), B) pH, C) sólidos solubles (°Brix), D) textura (mm de penetración).	34
14. Efecto de la temperatura en los parámetros fisicoquímicos. Temperatura codificada (nivel bajo - 1 y nivel alto 1) en el eje “x” y parámetros en el eje “y” en el siguiente orden: A) reversión por caja (moras con reversión/moras por caja), B) pérdida de peso (% de pérdida) y C) Decaimiento	36
15. Cajas almacenadas a temperatura ambiente en el día	

5 de almacenamiento, con presencia de moho y goteo.	37
16. Efecto de la humedad relativa en los parámetros fisicoquímicos. Humedad relativa codificada (nivel bajo -1 y nivel alto 1) en el eje “x” y parámetros en el eje “y” en el siguiente orden: A) acidez (% ácido málico), B) pH, C) sólidos solubles (°Brix), D) textura (mm de penetración).	38
17. Efecto de la humedad relativa en los parámetros fisicoquímicos. Humedad relativa codificada (nivel bajo -1 y nivel alto 1) en el eje “x” y parámetros en el eje “y” en el siguiente orden: A) reversión por caja (moras con reversión/moras por caja), B) pérdida de peso (% de pérdida) y C) decaimiento	39
18. Moras almacenadas por 14 días en temperatura de refrigeración con humedad del 60%.	39
19. Efecto del daño mecánico en los parámetros fisicoquímicos. Daño mecánico codificado (nivel bajo -1 y nivel alto 1) en el eje “x” y parámetros en el eje “y” en el siguiente orden: A) acidez (% ácido málico), B) pH, C) sólidos solubles (°Brix), D) textura (mm de penetración).	40
20. Efecto del daño mecánico en los parámetros fisicoquímicos. Daño mecánico codificado (nivel bajo -1 y nivel alto 1) en el eje “x” y parámetros en el eje “y” en el siguiente orden: A) reversión por caja, B) pérdida de peso y C) decaimiento	41
21. ANOVA de relación de factores con acidez titulable de las moras	55
22. ANOVA de relación de factores con pH de las moras	55
23. ANOVA de relación de factores con sólidos solubles (°Brix) de las moras	55
24. ANOVA de relación de factores con el porcentaje de reversión de las cajas de mora	56
25. ANOVA de relación de factores con la pérdida de peso de las cajas de mora	56
26. ANOVA de relación de factores con el decaimiento de las moras	56
27. ANOVA de relación de factores con el cambio de textura de las moras	56

28. Formulario en Google Forms enviado a los consumidores	71
29. Código en R studio para la determinación de variables significativas por medio de análisis de variable (ANOVA) y creación de modelos predictivos	80
30. Código en R studio para estimar la vida útil por medio de análisis de Weibull.	83

RESUMEN

La mora (*Rubus ulmifolius*) es una fruta de la familia *Rosaceae*, que se caracteriza por ser altamente perecedera. Es un producto muy sensible y con una corta vida de anaquel debido a su estructura frágil, rápido metabolismo y su alta incidencia de enfermedades. Con el objetivo de determinar el efecto de la combinación de factores externos en la vida útil de las moras, se creó un modelo experimental factorial de tres factores: temperatura, humedad relativa y daño mecánico, con dos niveles para cada factor. Con este modelo, se hicieron 8 corridas experimentales que combinaban los diferentes niveles de cada factor para determinar su efecto en la vida útil de la mora. Por medio de análisis de varianza se logró determinar que no todos los factores y sus combinaciones eran significativos y en base a ellos crear modelos predictivos de cada una de las características de calidad estudiadas: pH, acidez, grados brix (sólidos solubles), textura, reversión del color, pérdida de peso y decaimiento. Para la mayoría de los parámetros de calidad, la temperatura fue el factor con mayor significancia, seguido de la humedad relativa, la cual tuvo un mayor impacto en la pérdida de peso y, por último, el daño mecánico.

Se realizó, además, un análisis de vida útil sensorial por medio de encuestas virtuales para determinar hasta qué punto en el almacenamiento se tiene un 50% de probabilidad de rechazo de las cajas de mora. Con el apoyo del programa estadístico R studio, se corrió un código específico para realizar el análisis de Weibull y se determinó que, a temperatura ambiente, la mora tiene un tiempo de vida útil de dos días y en refrigeración, esta puede llegar hasta once días. El conocer estos datos y ampliar la investigación sobre el tema es una gran oportunidad para países como Guatemala por su alto potencial de cosecha y exportación de mora hacia Estados Unidos y países europeos. Se recomienda continuar con la investigación de modelos predictivos no solo en mora, sino en diferentes frutas y vegetales para poder ir poco a poco contribuyendo con la reducción de pérdidas postcosecha.

I. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la norma ISO 9000, la calidad es el grado en el que un conjunto de características inherentes a un objeto (producto, servicio, proceso, persona, organización, sistema o recurso) cumplen con los requisitos del cliente y requisitos legales. Los requisitos varían entre cada eslabón de la cadena de suministro, pero el objetivo principal se mantiene, lograr que el cliente final obtenga un producto con la mejor calidad posible. En el caso del manejo de frutas, el cumplir al cien por ciento con este objetivo representa un reto muy grande para las empresas debido a que se está trabajando con productos perecederos cuyo metabolismo puede verse afectado por varios factores externos e internos.

El objetivo principal del proyecto era establecer un sistema predictivo de las características de calidad y vida útil de la mora (*Rubus ulmifolius*) por medio de la interrelación de los factores de temperatura, humedad relativa y daño mecánico y su efecto en las características de calidad, para su aplicación en el manejo post cosecha. Además, se deseaba determinar la vida útil de la mora (*Rubus ulmifolius*) por medio de un análisis sensorial de vida útil, utilizando el método de análisis de Weibull.

Para cumplir con los objetivos, se creó un modelo experimental de tres factores con el cual se quería determinar el efecto que tenían la temperatura, la humedad relativa y el daño mecánico en la pérdida de peso, la textura, la reversión del color, el pH, acidez titulable y en los sólidos solubles de las moras, los cuales son considerados parámetros de calidad importantes. Se consideraron dos niveles para cada factor, un nivel alto y un nivel bajo, codificados como 1 y -1, respectivamente. Se ingresaron los datos al programa de R studio para realizar gráficos de caja y bigotes, para visualizar mejor el comportamiento de los datos ante los diferentes factores análisis de varianzas, para determinar los factores significativos y modelos lineales simples en los que se determinó también que combinaciones de factores eran significativas en los cambios de las características de calidad.

Se determinó que no todos los factores y sus interacciones fueron significativos en el deterioro de las moras durante su vida útil. El factor con el mayor impacto en el cambio de todos los parámetros fisicoquímicos de las moras fue la temperatura, seguido de la humedad relativa del ambiente de almacenamiento, la cual tuvo un efecto fuerte principalmente en la pérdida de peso de las moras. Por último, el factor con menor impacto en el cambio de las características fisicoquímicas de las moras fue el daño mecánico. Se considera que este factor depende mucho del equipo en el que se realice el daño y principalmente de las intensidades de daño causado. Por ello, se recomienda hacer más pruebas con diferentes tiempos y mayores intensidades de vibración para poder simular otras condiciones de transporte y determinar hasta qué intensidad el daño causado comienza a ser significativo.

Al analizar los modelos lineales simples creados, se determinó que únicamente el modelo relacionado a la pérdida de peso tuvo un valor de R cuadrado superior a 0.9, por lo que es un modelo capaz de predecir de forma confiable el comportamiento del peso a través del tiempo, explicando un porcentaje alto de la variabilidad de los datos. Los demás modelos obtuvieron R cuadrados menores a 0.4 por lo que se determinó que no existe una correlación directa de todos los parámetros estudiados para estimar vida útil.

Por medio de un análisis sensorial de vida útil, se determinó la vida útil de las moras en diferentes temperaturas de almacenamiento, tomando en cuenta que este era el parámetro con mayor significancia en el deterioro de la fruta. Con la aplicación de análisis de Weibull, se determinó que la vida útil de las moras almacenadas a temperatura ambiente, de aproximadamente 25°C, fue de menos de tres días, ya que después de dos días, se tiene la probabilidad que más del 50% de los consumidores rechace la muestra. A diferencia de este, las moras almacenadas en temperatura de refrigeración tuvieron un tiempo de vida útil de once días, después de esto, existe la probabilidad de que más del 50% de los consumidores rechacen la fruta, por lo que la pérdida sería más grande. Al comparar estos resultados con los análisis previos, se determinó que a pesar de que la refrigeración aumenta la reversión del color de las moras y la pérdida de peso, alarga la vida útil de la fruta fresca dándole mejores oportunidades de venta.

Además, se determinó que, a pesar de que en este estudio el único factor que salió significativo para la mayoría de los parámetros de calidad fue la temperatura, el control de los factores externos como la humedad relativa y el cuidado ante daños fuertes es una práctica importante para la comercialización de moras de buena calidad y para la extensión de la vida útil de las mismas. Los parámetros más afectados fueron la pérdida de peso, la reversión del color y el decaimiento. Los tres son características cuyo defecto aumenta con el paso de los días, pero puede reducirse con la mejora de prácticas en campo como el preenfriamiento, el corte y cosecha en horarios con temperaturas frescas y con el control y cuidado de la cadena fría durante todo el transporte y almacenamiento de la fruta fresca.

II. ANTECEDENTES

A. MORA (*Rubus ulmifolius*)

La mora o zarzamora (*Rubus ulmifolius*) es una fruta perteneciente a la familia *Rosaceae*, al género *Rubus spp*; es una fruta perecedera debido a su alto contenido de agua, su estructura frágil, rápido metabolismo y su alta incidencia de enfermedades (Moreno y Oyola, 2016). Antes era considerada una fruta únicamente silvestre, sin embargo, ha experimentado una alta expansión debido a factores como la mejora de sus cultivos, lo que ha permitido su estabilidad de suministro durante casi todo el año (Clark y Finn, 2014). En Guatemala, la cosecha de mora se ha expandido durante los últimos años debido a las condiciones climáticas y de suelo. Principalmente, en los departamentos de Chimaltenango, Sacatepéquez, Santa Rosa y Alta Verapaz, los suelos son adecuados para el cultivo de plantas perennes como lo son las fresas, frambuesas y moras (AGEXPORT, 2020). La mora es un producto que crece en condiciones frescas y húmedas, en temperaturas entre 16 y 25 grados Celsius, sin embargo, es bastante resistente al calor y la sequía (Mitcham, Crisosto y Kader, 1998).



Figura 1. Mapa de ubicación de los departamentos con producción de bayas.

Dependiendo de los cuidados específicos que se les den a las plantas, estas pueden tener períodos de producción amplios. No existen datos concretos sobre la capacidad de producción del país, pero en un estudio realizado por Escobar, 2013, se determinó que los rendimientos de cosecha varían entre 4,100 y 10,300 kg/ha aproximadamente y dependen de la variedad con la que se trabaje y la temporada de cosecha. Tomando en cuenta que el estudio se realizó únicamente en una de las regiones, se puede determinar que la producción tiene alto potencial. El rendimiento se ve afectado por el rechazo de la fruta en campo por problemas de color, puntos blancos o presencia de mohos, fruta pinchada o con algún otro defecto grave visible al momento de la recolección. Sin embargo, podrían verse beneficiados con la mejora de las prácticas agrícolas.

La mora (*Rubus ulmifolius*), a pesar de no ser la fruta con mayores niveles de exportación en el mundo, es una fruta con alta rentabilidad y mucha oportunidad. Esto

se debe principalmente a su alta demanda en Estados Unidos y Europa donde se cuenta con un mercado en crecimiento por el alto interés actual de consumir alimentos frescos con propiedades nutraceuticas, como elevados niveles de antioxidantes y otros beneficios para la salud. (Pérez-Pérez, Fabela-Gallegos, Vázquez-Barrios, Rivera-Pastrana, Palma-Tirado, Mercado-Silva y Escalona, 2018) A nivel mundial, la producción de frutas frescas ha ido aumentando año con año debido a factores como el ingreso, el envejecimiento de la población y a que, cada vez más, se promueven las ventajas nutricionales de consumir este tipo de alimentos, en especial de las bayas, las cuales proveen de un alto contenido de antioxidantes, fibra, vitamina C y flavonoides. Un análisis realizado en fruta fresca en el período entre 2005 y 2009 determinó que el aumento del mercado en términos monetarios se vio liderado por dátiles, piñas y aguacates con 53.8%, seguido por el grupo de bayas y kiwis con 52.9% (Retamales, 2011). Y en Estados Unidos y algunos países de Europa, la producción y el mercado de mora ha ido en expansión, volviendo este producto la cuarta baya más importante en el mercado de alimentos frescos (Clark y Finn, 2011). Principalmente en los meses de noviembre y mayo, cuando la cosecha en Estados Unidos y Europa es baja, los precios y oportunidades de venta mejoran para los países latinoamericanos y africanos.

Según estadísticas realizadas por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés), Guatemala es el segundo exportador de fruta fresca, proveyendo un 23.09% del volumen total. Se determinó que, en el año 2019, Estados Unidos tuvo una importación de 154,590 millones de libras de moras frescas y 20,227 millones de moras congeladas. Por otro lado, de acuerdo con estadísticas realizadas por el Comité de Berries de la Asociación de Exportadores de Guatemala (AGEXPORT), durante el año 2017, se tuvo una exportación de berries de 1.3 millones de kilos, en donde la mora fue la baya más comercializada. Un alto porcentaje de la fruta cosechada está destinada a la exportación a mercados europeos o norteamericanos, siendo el principal cliente comercial Estados Unidos, quien cubre un 75% de la exportación.



Figura 2. Principales clientes para exportación de mora según AGEXPORT.

Los defectos potenciales más comunes en las moras son la pérdida de peso, la reversión del color y goteo. La pérdida de peso ocurre principalmente debido a la tasa de respiración de la mora, pero puede reducirse con el almacenamiento en frío y determinando la mejor hora de la cosecha. La reversión del color es un defecto común de post cosecha en el cual las moras pasan de un color negro a rojo brillante o corinto. Es generalmente observada luego de un cambio repentino de temperatura y se cree que se debe a la ruptura de la estructura interna de las células y a un cambio de pH interno

que provoca la degradación de las antocianinas internas. El goteo en las moras afecta la calidad visual del producto y aumenta con las temperaturas altas y largos tiempos de almacenamiento (Lawrence y Melgar, 2018). Por este motivo, los estudios realizados sobre este producto principalmente buscan encontrar las mejores condiciones de cosecha, almacenamiento y transporte para poder mantener la calidad por más tiempo con el objetivo de traer mejores beneficios económicos.

En general, las frutas y hortalizas son los productos menos resistentes, por lo que deben cuidarse durante la cosecha, la manipulación, el transporte y el almacenamiento para evitar que se deterioren rápidamente. De acuerdo con la FAO, en países en desarrollo en donde se tiene una gran deficiencia de infraestructura en buen estado, las pérdidas de productos frescos se encuentran entre el 25-50% de la producción durante el manejo postcosecha. Esto representa un daño económico considerable tanto para los comerciantes como para los productores. Específicamente, en mora, se estima que se puede tener hasta un 40% de pérdidas por mal manejo durante la cadena de suministros (Armour, Worthington y Clark, 2019) y más del 50% del lote, generalmente no cuenta con las características óptimas para resistir un viaje largo como lo es la exportación, por lo que se queda en mercados locales con menores márgenes (Do Nascimento Nunes, et al, 2014).

A pesar de haber logrado reducciones en las pérdidas poscosecha de granos básicos, carnes y lácteos a lo largo de los años, las pérdidas de frutas y hortalizas siguen siendo muy altas, principalmente en países en desarrollo. De acuerdo con la ONU, cada año se desperdician hasta 1,300 millones de toneladas de alimentos, los cuales representan no solo pérdidas económicas sino altos niveles de contaminación. Es allí, donde adquiere importancia el Objetivo 12 del milenio: producción y consumo responsable. De acuerdo con lo propuesto por la ONU, existe una urgencia en la reducción del desperdicio de alimentos a nivel minorista y consumidores para poder crear cadenas de producción y suministro eficientes, con el objetivo de mejorar la economía y la utilización de los recursos.

B. ESTUDIOS POST COSECHA Y DE CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD

La calidad de las frutas pequeñas como lo son las moras está directamente relacionada con la producción de metabolitos primarios y secundarios que se producen, el tipo como en su concentración. Estos compuestos, generados por procesos de anabolismo y catabolismo, se mantienen en la fruta desde la cosecha hasta llegar al consumidor y son los que determinan las características de calidad (apariencia, textura y sabor) que conducen a la compra del producto (Lee, 2017). Se han realizado varias investigaciones de los diferentes tipos de moras del género *Rubus* sobre el efecto que tiene el tiempo y las condiciones de almacenamiento en el deterioro del producto y en los cambios físicos, químicos y bioquímicos del fruto. Dentro de los estudios, los análisis más comunes que se realizan están relacionados con el cambio de color, de composición y de textura.

Perkins-Veazie, Collinsy Clark (1998), estudiaron la vida útil y la calidad de moras en condiciones de almacenamiento en tiendas, utilizando frutos negros firmes y libres de defectos, recogidos antes de las diez de la mañana en “clamshells” de polietileno con papel absorbente en la parte de abajo. Se almacenaron las cajas de moras por 21 días a temperatura de 2°C y por 14 días a 5°C, tomando muestras cada siete días. Con esto, se determinó que la pérdida de peso era mayor en las muestras almacenadas a 5°C comparado con las almacenadas a 2°C. Asimismo, en ambas muestras, se tuvo un porcentaje entre 0.1 y 0.5% adicional de pérdida luego de dejarlas 2 días a 20°C después del almacenamiento en frío. En términos de decaimiento, se comprobó que sí afecta la temperatura de almacenamiento, ya que las almacenadas a 5°C mostraron un grado mayor, sin embargo, el tipo del cultivo es el principal factor en este aspecto. También se determinó que el goteo en las moras aumenta cuando se pierde la cadena de frío en el almacenamiento de las frutas, es decir, al momento en que estas son expuestas a un calentamiento luego del almacenamiento a temperaturas bajas constantes.

Para los cambios en la composición de las moras se determinó que la acidez titulable, en términos de ácido cítrico, disminuyó en ambas muestras, pero, la tasa de disminución fue mayor para las muestras almacenadas a 5°C y aumentó significativamente al exponer las moras a una temperatura de 20°C, debido al aumento de la respiración a tal temperatura. De la misma forma, se observó un cambio en el pH, de aproximadamente 0.6, para todas las muestras durante el tiempo de almacenamiento. A pesar de tener un aumento en la razón sólidos solubles/acidez titulable, este se debió al cambio de acidez y no de sólidos ya que, no se observó ningún cambio significativo en el contenido de sólidos solubles de las muestras almacenadas a 2°C y 5°C. En términos del color, se evaluó el contenido de antocianinas y se determinó que se tuvo un aumento, principalmente, en las condiciones de almacenamiento de 5°C, lo cual pudo haber sido por la disminución de ácidos orgánicos (Perkins-Veazie, *et. al.* 1998).

Tosun, *et al.* (2008) evaluaron varios parámetros de nueve genotipos de mora salvaje cultivada en Turquía, tomando muestras en tres etapas de madurez diferente. Se encontró que, en general, en términos del color, el valor L (luminosidad) de Hunter disminuyó conforme el fruto maduraba, es decir, conforme el color se tornaba más oscuro. De la misma forma, conforme el fruto maduraba, los índices a y b, (rojos/verdes y amarillo/azul), disminuyeron con el desarrollo del color violeta. También, se determinó un cambio significativo en la concentración de sólidos solubles, así como un aumento del contenido de azúcares. En términos de acidez titulable y pH, se determinó que, durante el desarrollo, la acidez titulable aumentó, sin embargo, fue menor en los frutos con mayor grado de madurez. La acidez fue inversamente proporcional al pH, es decir, en los frutos maduros la baja acidez correspondía a un pH alto, lo cual generalmente ocurre por la reducción de ácidos orgánicos durante el proceso de maduración por su conversión a azúcares.

En otro estudio, en el que se evaluó el efecto de la temperatura de almacenamiento en las moras (cultivar Brazos), se determinó que sí hubo un efecto significativo en el color. Las frutas almacenadas a 2°C, mostraron un menor desarrollo de color, seguidas por las almacenadas a 5°C. A diferencia de estas, las frutas almacenadas a 10°C y 15°C, mostraron valores Hunter de L, a y b más bajos, es decir, con menor luminosidad y coloración, lo que indica que estas alcanzaron un mayor grado de madurez y su color cambió de rojo a negro (Palharini, *et.al.*, 2015).

Vergara, Vargas y Acuña (2016) evaluaron moras (*Rubus glaucus*) con tres estados diferentes de madurez y encontraron que la maduración de la fruta resulta en una reducción de consistencia y firmeza debido a la degradación de compuestos como la pectina, almidón y celulosa y otros procesos de degradación. De la misma forma, coincidieron con los demás autores en que la acidez titulable disminuyó conforme aumentaba la madurez de las frutas. Con relación al color, determinaron que, en el nivel de mayor madurez, los valores de color Hunter L, a y b eran mucho menor que en los niveles de menor madurez, indicando que, con la maduración, la fruta se vuelve cada vez más oscura y se tiene un aumento los valores de colores azules y una disminución de los colores rojos, cambio ocasionado por la aparición de pigmentos como las antocianinas.

En general, durante el proceso de maduración de las moras, los parámetros de color (Hunter L y b) disminuyen, mientras que el contenido de sólidos solubles y azúcar aumenta. El contenido de acidez aumenta en las etapas de mora verde y roja, pero disminuye de las etapas de rojo a maduro, de forma inversa al pH (Tosun, *et.al.*, 2008). Se determinó que, para las moras Navaho (fruta dulce y firme), tres semanas de almacenamiento a 2°C fueron equivalentes a dos semanas a 5°C (Clark, 1998).

Lee (2017), publicó una recopilación de datos de calidad de la mora y concluyó que, en general el contenido de sólidos solubles debe encontrarse entre 6.9 y 16.8, la acidez titulable entre 0.08-2,7g/100g, el pH entre 2.6 y 3.9 y el contenido de antocianinas entre 28g- 366g/100g. Los azúcares reportados en las moras incluyen fructosa, glucosa, sacarosa y ocasionalmente, niveles bajos de sorbitol, el cual se encuentra cuando el fruto no está maduro. La acidez del fruto se debe a los ácidos orgánicos no volátiles, dentro de los que se incluyen ácido ascórbico, ácido cítrico, ácido isocítrico e lactoisocítrico, ácido málico, ácido fumárico y ácido succínico.

C. USO DE SENSORES Y OTRAS TECNOLOGÍAS EN EL MANEJO POSCOSECHA.

Se determina que un proceso agroindustrial es eficiente cuando el producto resultante logra satisfacer en su totalidad las necesidades del cliente y para lograr esto, es necesario optimizar los procesos de obtención de los productos desde su siembra hasta que llega al cliente. Se considera que los daños de los productos hortofrutícolas pueden ocurrir en tres etapas diferentes, en precosecha, cosecha o en poscosecha. Por este motivo, han surgido tecnologías que permiten recorrer las trayectorias de las frutas y registrar los daños a lo largo de las mismas (Fiestas Sorogastúa y Prado Gardini, 2018).

Una propuesta para la detección y cuantificación de golpes mecánicos es el uso de “frutas electrónicas”, también llamadas “pseudofrutos” o sensores esféricos, los cuales emulan el comportamiento de una fruta en la línea del proceso industrial, y que van registrando los golpes tanto en magnitud como en localización sobre su superficie. Esta información puede luego ser analizada para determinar los puntos en el proceso en donde se obtuvieron los daños para ir modificando y minimizando los daños (Fiestas Sorogastúa y Prado Gardini, 2018).

Para determinar los daños que generan los impactos en la calidad externa e interna de los frutos y evaluar el efecto de los tipos de impacto y la refrigeración sobre la calidad, se han creado diferentes frutas electrónicas. Herrera-González y Salazar-García (2017), realizaron un sensor en forma de aguacate, el cual registraba y transfería los datos de forma inalámbrica a un dispositivo móvil. El sensor contabilizaba el número de impactos y medía su magnitud con un acelerómetro triaxial, transmitiendo las mediciones por radiofrecuencia en tiempo real. Arazuri, *et.al* (2010), usaron sensores de dispositivos registradores de impacto, IRD, por sus siglas en inglés, para el análisis de la cadena de suministro de tomates, con el objetivo de encontrar los puntos críticos y lograron reducir el daño de los tomates de 20-29% a 10%.

En la misma búsqueda de reducción de daños como resultados de los impactos generados durante la cosecha, el empaque el transporte y, en general, el manejo de la fruta, se creó un sistema de medición en tiempo real basado en una esfera instrumentada inalámbrica para el análisis de impacto en la línea de producción de naranjas (Roa, *et. al.*, 2013). De igual forma, se realizó el BIRD, “Berry impact recording device”, que pretendía simular una fruta mucho más pequeña de las que se habían realizado con anterioridad, el arándano azul. El tamaño del sensor le permite ir dentro de una cadena típica de proceso y evaluar en tiempo real los impactos. Concluyeron que con los sensores como el BIRD y los métodos de interpretación pueden permitir la evaluación de diferentes materiales y diseños de equipo para reducir los daños por impacto en los arándanos (Yu, *et al*, 2014).

Al igual que con los sensores mencionados, el modelo matemático que se pretende realizar en este trabajo puede ser utilizado para la creación de sistemas de sensores como los de las frutas electrónicas. Con el análisis e interrelación de los parámetros clave que afectan la calidad, se puede crear un sistema que al recibir información sobre las condiciones e impactos pueda predecir el comportamiento de la fruta y notificar en tiempo real, lo que permitirá hacer cambios en los procesos y cadenas de suministro. Esta sería una forma de aplicación del modelo utilizando tecnologías emergentes como lo son los sensores para mejorar las cadenas de suministro y reducir los desperdicios.

III. JUSTIFICACIÓN

La calidad es una combinación de atributos que hacen que un producto sea deseable al consumidor y que cumpla con los requisitos. Para las frutas, la apariencia externa es un factor determinante para la selección y si no son tratados adecuadamente durante la cadena de suministro, un porcentaje considerable puede llegar al cliente o al área de control de calidad de las empresas con una apariencia que no cumple con los estándares de calidad mínimos del mercado. Esto se traduce en pérdidas económicas para las empresas y para la industria de la fruta en general (Fiestas Sorogastúa y Prado Gardini, 2018). Se estima que se pueden tener un 40% de pérdidas causado por un manejo inadecuado y podría llegar hasta un 50% dependiendo de la variedad de la fruta y el proceso específico.

Las bayas, representan uno de los frutos más sensibles que existen y su calidad se ve afectada por factores tanto internos como externos. Los factores internos, como los procesos naturales de respiración y maduración no pueden detenerse; sin embargo, con un control de los factores externos como las temperaturas, humedades y condiciones de transporte y almacenamiento, pueden retrasarse. En moras, defectos como la pérdida de agua o alto contenido de células rojas en la superficie de las moras, disminuyen su comerciabilidad y reducen su precio en el mercado (Lawrence & Melgar, 2018). Es importante encontrar las mejores prácticas para el manejo del producto tanto en la cosecha como en prácticas post cosecha, de forma que este mantenga la calidad durante toda la cadena de suministros para cumplir con los requisitos de comercialización. De esta manera, se puede comenzar a reducir el porcentaje de pérdidas y entregar al consumidor final productos con las mejores características posibles de sabor, apariencia y textura, no solo en el mercado local sino en mercados internacionales.

La demanda de bayas de Estados Unidos y Europa en las temporadas entre noviembre y enero y entre marzo y mayo brindan a países latinoamericanos y africanos grandes oportunidades para exportación a precios altos de compra. Sin embargo, el poder proveer la mejor calidad y cantidad posible durante esos meses también representa un gran reto. Como ya se mencionó, la mora es una de las frutas más sensibles que existe, debido a su alto contenido de agua y la fragilidad de su estructura. Por esto, las condiciones de transporte y almacenamiento son cruciales para determinar la vida útil. Es importante considerar el estudio de puntos relevantes para el control del manejo post cosecha de la mora y el análisis y creación de modelos que permitan, según la medición de factores críticos, predecir los daños y probabilidad de rechazo del producto, con la finalidad de determinar los mejores controles y establecer si el producto es apto para exportación o es preferible venderlo localmente.

Además, siendo Guatemala un país en vías de desarrollo con clima y suelos con altos potenciales de producción y exportación en el tema de frutas frescas, investigaciones de

este tipo contribuyen a la base de datos para la mejora de procesos agrícolas e industriales. A pesar de haber variedad de estudios a nivel mundial, Guatemala cuenta con poca investigación científica en el tema por lo que la búsqueda de soluciones y puntos de mejora puede traer beneficios económicos tanto para pequeños productores como exportadores de frutas y vegetales frescos.

Principalmente, considerando la falta de infraestructura en buen estado que evite el golpe excesivo y de tecnología necesaria para conservar y transportar los productos agrícolas bajo condiciones controladas, la información y el desarrollo de soluciones puede ser útil para potenciar el negocio de las moras, ya sea frescas o procesadas. Específicamente, dando herramientas sencillas para hacer cambios gradualmente. Esto, además, es una forma de contribuir al cumplimiento del objetivo del milenio número 12, el cual se basa en la mejora de los procesos agrícolas e industriales para llegar a tener sistemas de producción y consumo eficientes y responsables. El poder tener sistemas predictivos que permitan estimar la vida útil y el cambio en las características de calidad de los productos para determinar el recorrido y punto de venta más apropiado es una herramienta útil para la reducción de desperdicios y hace de la cadena de suministro más eficiente.

Dentro de los esfuerzos que se han realizado para el control de la calidad dentro de la cadena de suministro de frutas y vegetales, se encuentra la aplicación de sensores y tecnologías que permiten tener datos en tiempo real de las condiciones durante el transporte y almacenamiento de los productos. El análisis de los datos permite determinar las zonas en la línea del proceso en donde ocurren los impactos más severos para poder modificar las condiciones y minimizar el daño en los frutos. El modelo matemático propuesto en este trabajo puede ser empleado en sistemas y tecnologías predictivas como lo son los sensores tipo fruta electrónica. Estas son tecnologías nuevas que están siendo de gran ayuda para la reducción de golpes y desperdicios a lo largo de la cadena de suministro. El poder generar mediciones de las condiciones de transporte y almacenamiento en puntos estratégicos de la cadena de suministro permiten tener datos de entrada para los modelos predictivos. Los resultados obtenidos permiten mejorar la toma de decisiones sobre los tratamientos que pueden darse a los productos o los destinos a los cuales pueden dirigirse con el objetivo final de evitar el rechazo por parte de los clientes finales.

IV. OBJETIVOS

A. GENERAL:

- Establecer un sistema predictivo de las características de calidad y vida útil de la mora (*Rubus ulmifolius*) por medio de la interrelación de los factores de temperatura, humedad relativa y daño mecánico y su efecto las características de calidad, para su aplicación en el manejo poscosecha.

B. ESPECÍFICOS:

- Determinar si existe una interrelación significativa entre los factores de temperatura, humedad relativa y daño mecánico con los cambios que generan en las características de calidad de la mora *Rubus ulmifolius*.
- Desarrollar modelos predictivos basados en los factores significativos encontrados y su impacto en la calidad y vida útil de la mora *Rubus ulmifolius*.
- Determinar la vida útil de la mora *Rubus ulmifolius* por medio de un análisis sensorial de vida útil, utilizando el método de Weibull.

V. MARCO TEÓRICO

A. GENERALIDADES

Las moras, también conocidas como zarzamoras, pertenecen a la familia *Rosaceae*, al género *Rubus spp.* Son frutos compuestos por la unión de drupas pequeñas, en donde se tiene una semilla rodeada de un mesocarpio carnososo seguido de un exocarpio o piel exterior. Al estar madura la fruta, todas las drupas permanecen unidas al receptáculo y esta se desprende del tallo como una sola unidad lista para el consumo (Hall y Funt, 2017).

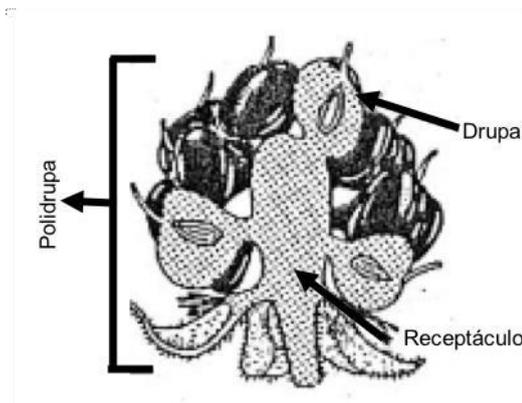


Figura 3. Morfología de las moras



Figura 4. Mora (especie *Rubus*)
(Alija, 2015)

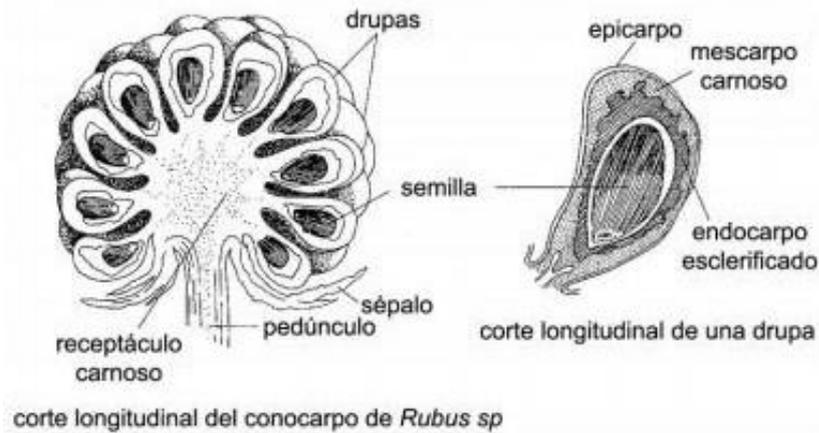


Figura 5. Morfología de las drupas de una mora

Las plantas de zarzamoras crecen en zonas templadas y de muchas formas diferentes, con un tiempo de vida aproximado entre 15 y 50 años, dependiendo de la región en donde se encuentren. Pueden crecer como plantas rastreras, verticales o un intermedio entre ellas, lo cual es lo más común. De hecho, existen tres clasificaciones para esta característica, dependiendo de la estructura de sus tallos: erguida, semi-erguida y rastrera, las cuales maduran en diferentes momentos de la temporada y requieren de diferentes tipos de poda. Los cultivos de rastreras y semi-erguidas son por lo general bienales y dan fruto solamente en el segundo año; las erguidas, sin embargo, pueden ser tanto bienales como anuales para dar fruto. En general, son plantas con un sistema de raíces y coronas perennes y tallos bienales, es decir, que comienza a florecer y dar fruto hasta el segundo año de su cultivo. Comúnmente, cuentan con espinas tanto en el tallo como en los pecíolos, sin embargo, la densidad de las espinas varía entre los cultivos, encontrándose también cultivos sin espinas (Zhao, 2007).

El crecimiento de la mora se muestra en tres fases, una de crecimiento acelerado, en la cual aumenta el contenido de clorofila, un pigmento verde; una de crecimiento lento, en donde el contenido de clorofila comienza a disminuir, se tiene una disminución de pH por la síntesis de ácidos orgánicos como el ácido málico, ácido principal en este tipo de frutas, y se da el crecimiento máximo de las semillas internas. Por último, se tiene otra etapa de crecimiento lento, en donde ocurre un cambio de color rojo a morado debido a la síntesis de antocianinas y un se tiene un rápido aumento de los azúcares presentes (Castro y Cerdas, 2005).



Figura 6. Planta de mora con fruto en diferentes fases de madurez.

B. MANEJO POSCOSECHA

La mora es una de las frutas más perecederas debido a la fragilidad de su cáscara y exterior, a sus altas tasas de respiración y transpiración y a su alto contenido de agua. Por esto, se pueden provocar cambios en sus características fisicoquímicas y sensoriales rápidamente, incluyendo su decaimiento, durante el período de almacenamiento. Para minimizar el deterioro del fruto y mantener la calidad durante el manejo post cosecha, es importante tener diferentes factores controlados, siendo el manejo de temperaturas el más importante. Este consiste en un rápido enfriamiento después de la cosecha para la eliminación del calor de campo y un mantenimiento de temperaturas bajas durante todo el proceso (Segatini, *et.al.*, 2017).

1. Cosecha e índice de madurez

Uno de los aspectos más importantes para conservar la calidad de las moras es el horario de la cosecha. Idealmente, estas deben de ser cosechadas en las primeras horas del día, ya que cosechar en horas calurosas provoca una mayor pérdida de agua del fruto y como consecuencia, una disminución de peso, además de perder frescura y cambiar su color de forma negativa, tornándose rojiza. También es importante esperar a que el rocío haya secado debido a que la humedad en la superficie del producto favorece al deterioro y la fermentación (Castro y Cerdas, 2005).

Para determinar si el fruto está listo para ser cosechado es importante verificar algunos aspectos de la planta. Primero, es necesario asegurarse que el pedúnculo de la fruta se desprenda con facilidad y no quede adherido al fruto, de lo contrario, es una indicación que el fruto aún está verde. Luego, el cosechador debe de asegurarse que el fruto esté firme, con un color entre morado y negro o entre morado y rojizo, lo cual

indica que estas se encuentran en un grado de madurez 3 o 4. En el Cuadro 1 se presenta la equivalencia del color con los grados de madurez, siendo el grado 3 el más recomendado (Castro y Cerdas, 2005), sin embargo, la clasificación y los grados de madurez varían entre variedades de mora. Horvitz, 2017, afirma que el color de la fruta al momento de recolección es un parámetro importante porque es lo que el cliente usará para juzgar la calidad del producto. Además, es importante verificar que el fruto no deje manchas en las manos, lo cual sería un indicio de daño en la superficie. Por último, un parámetro que posiblemente no sea verificable todo el tiempo por la disponibilidad del equipo, pero que indica también el grado de madurez es la medición de sólidos solubles (grados brix), el cual debe de ser como mínimo de 8% (Castro y Cerdas, 2005).

Cuadro 1. Grado de madurez de la mora y su equivalencia en color (parámetro visual)

Grado	Equivalencia
1	Rojas
2	Más rojas que moradas
3	Más moradas que rojas
4	Moradas (negras)

Dentro de las recomendaciones dadas para la recolección se encuentran cosechar el fruto con un grado de madurez uniforme y con delicadeza, para no dañar la estructura; colocar el fruto inmediatamente en los empaques en los que se comercializará, para minimizar la manipulación; no cosechar el fruto húmedo si no se cuenta con un sistema posterior de secado y mover el producto rápidamente a un ambiente fresco y con sombra, para evitar cambios de color y pérdida de peso por la exposición al sol (Castro y Cerdas, 2005). Las pérdidas de peso traen otras consecuencias en la calidad, que pueden disminuir la comerciabilidad de las moras, tales como pérdida de brillo, marchitamiento rápido, y degradación de antocianinas, lo que provoca cambios en el color (Horvitz, 2017).

Es importante resaltar el hecho de que la mora es un fruto no climatérico, por lo que debe de cosecharse en su grado de madurez óptimo, ya que no seguirá madurando después de esto y los cuidados posteriores deben enfocarse en evitar que se acelere el deterioro. Si se cosecha fruta inmadura, posiblemente se puedan tener mayores períodos de almacenamiento, pero el fruto nunca desarrollará las características organolépticas apropiadas. Es decir, el cambio en el contenido de ácidos y azúcares no será el suficiente para hacerlas agradables al consumo. Por el contrario, si se cosecha fruta sobremadura, su tiempo de vida disminuirá y la susceptibilidad al deterioro será mayor (Horvitz, 2017).

Durante la recolección, se debe tomar en cuenta que el uso de recipientes muy hondos puede provocar magullamiento en la fruta por el peso que se coloca encima. Por esto, es recomendable utilizar recipientes de pocos centímetros de altura para no tener una estiba mayor a dos moras, o empacar directamente en las cajas comerciales (Reina, *et.al.*, 1998; Castro y Cerdas, 2005).

2. Tratamientos poscosecha

Para los procesos siguientes a la cosecha es indispensable el cuidado del producto ya que, durante esta etapa se pueden producir daños importantes como la reducción de la firmeza, daños mecánicos, pudriciones y fermentaciones si no se da la manipulación correcta.

Es recomendable evitar la manipulación excesiva de la fruta, por lo que se recomienda empacarla al pie de la planta si es posible, en el contenedor en el que se comercializará, procurando mantener en el mismo empaque fruta con el mismo grado de madurez. Por lo general, para el empaque de moras se utiliza un recipiente plástico que puede contener aproximadamente 250g. Es recomendable el uso de contenedores anchos y poco profundos, en donde no se pueden colocar más de tres capas de fruta para evitar el magullamiento de las frutas en el interior (Horvitz, 2017).

Las cajas plásticas tienen la ventaja de ser sólidas y resistentes, lo cual da a la fruta una barrera ante el daño mecánico; su costo es bajo, por lo que son accesibles para la mayoría de los productores pequeños; no se manchan con los pigmentos de las moras y son transparentes, lo que permite al consumidor hacer una inspección antes de realizar su compra. Es importante que estas cajas tengan una tapadera y cuenten con espacios a los costados para permitir ventilación y evitar daño mecánico y pérdida de humedad (Horvitz, 2017).

El manejo de las temperaturas es un aspecto vital para la conservación de la calidad del producto y para el aumento de su vida útil. Es recomendable, como se mencionó antes, el almacenamiento de los frutos en un lugar fresco y con buena aireación para evitar que el sol y el calor afecten su calidad. Además, idealmente, la mora debe pre enfriarse después de la cosecha, preferiblemente dentro de las siguientes dos horas, a la temperatura de almacenamiento, la cual debe estar entre 0°C y 1°C (Castro y Cerdas, 2005; Horvitz, 2017). Aunque, según Segatini, *et.al.*, 2017, para el almacenamiento de moras, el uso de temperaturas entre 0°C y 5°C, también son aceptables. Estos son parámetros que, si se cumplen correctamente, ayudarán, no solo a conservar la calidad, sino a reducir el riesgo de contaminación por crecimiento de mohos. Lawrence y Melgar (2018), determinaron que uno de los motivos principales por los que ocurre la reversión del color en las moras, consecuencia indeseada en el producto final, es el retraso en el enfriamiento del fruto después de la cosecha. Sin embargo, se debe resaltar que no se recomienda la congelación, ya que, el proceso de descongelamiento afecta de forma significativa la calidad de la mora.

Horvitz (2017), también recomienda, el mantenimiento de una humedad relativa entre 85-95% en los cuartos de almacenamiento, pero manteniendo la humedad libre en el interior de las moras al mínimo para evitar la pudrición. De la misma forma, el centro de investigación de poscosecha de la Universidad de California, recomienda un porcentaje de humedad relativa entre el 90-95% para este tipo de productos. En general, debido a que las bayas no son frutas sensibles al daño por frío, es común extender su vida útil por medio de condiciones de refrigeración y altas humedades relativas en el ambiente (Mitcham, Crisosto y Kader, 1998).

Tanto para el transporte como para el almacenamiento, es necesario el control de los ambientes para mantener el producto en las mejores condiciones posibles. Por ello, es

recomendado mantener, además de temperaturas de refrigeración por debajo de 5°C, atmósferas modificadas con 5-10% de O₂ con 15-20% de CO₂, según lo establecido por el centro poscosecha de la Universidad de California. Estas condiciones permitirán una reducción del crecimiento de microorganismos deteriorativos como lo es la *Botrytis cinerea* (moho gris) y una disminución en la tasa de respiración y ablandamiento, aumentando así la vida útil (Mitcham, Crisosto y Kader, 1998).

Como se mencionó anteriormente debido a que la presencia de CO₂ reduce la velocidad de respiración del fruto, se puede extender de forma prudencial la vida útil del producto utilizando este gas en caso de no contar con un sistema refrigerado para el transporte. Sin embargo, reducciones de oxígeno por debajo de estos niveles con presiones de 2kPa no son de beneficio y pueden provocar la fermentación de la fruta. Además, el mantener la fruta en atmósferas con altos contenidos de dióxido de carbono por más de cuatro días, o en niveles por encima de 30%, puede producir olores desagradables como resultado de la respiración anaeróbica de las moras y podría afectar el perfil de sabor (Castro y Cerdas, 2005; Horvitz, 2017).

El transporte de las moras debe de realizarse en camiones limpios y en buenas condiciones. Es importante que, durante esta etapa, como ya se mencionó, se mantenga la fruta fría e idealmente cubierta de forma que permita una correcta circulación de aire, durante la carga, descarga y almacenamiento. Para asegurar esa circulación, también es importante la forma de estibar; las cajas deben de apilarse en pallets y cargarse de tal manera que no toquen las paredes del camión. Generalmente, las carreteras o caminos por los que se tiene que pasar durante la recolección no se encuentran en condiciones óptimas, lo que produce en las moras golpes y daños mecánicos, los cuales también reducen su vida útil y afectan sus propiedades fisicoquímicas por la aceleración del metabolismo. Por ello, prácticas como la estabilización de las cargas en cada pallet usando filme estirable son recomendadas (Horvitz, 2017).

C. PARÁMETROS Y ANÁLISIS DE CALIDAD

Varios análisis fisicoquímicos y sensoriales pueden ser usados para establecer la calidad de las moras frescas al identificar atributos deseables para el consumidor y la calidad general del producto. Dentro de los atributos más importantes para las moras se encuentran el dulzor, la acidez, el amargor, el color, la firmeza y la simetría del fruto, siendo la firmeza un parámetro que se busca mejorar debido al potencial que este otorga para su almacenamiento y exportación (Segatini, *et.al.*, 2017).

El sabor se determina por la relación de ácidos y azúcares o sólidos solubles en el fruto. Existen varios métodos para la determinación de estos parámetros. La escala Brix es una medida con la que se puede aproximar el contenido de azúcares en los productos por medio de la medición de sólidos solubles totales y por lo general, es una medida usada en campo para la determinación de la maduración de los frutos y su momento óptimo de recolección. Esta medición se realiza por medio de un refractómetro, el cual utiliza el fenómeno físico de refracción para hacer la determinación. El fenómeno consiste en el cambio de dirección que sufre un rayo de luz que pasa de forma oblicua de un medio a otro con distinto índice de propagación y se basa en la medida del ángulo crítico que produce el fenómeno de reflexión total. La magnitud de esa desviación

depende de la interacción del rayo y las densidades de ambos medios; cuanto mayor sea el ángulo y la diferencia de densidades, mayor será la refracción. Dentro de los sólidos solubles, los más abundantes incluyen azúcares y ácidos orgánicos, por lo que es importante realizar una corrección del dato para obtener un valor más real de sólidos solubles (Cajamar, 2014).

La acidez, a su vez, puede calcularse de dos formas, como acidez activa o pH o como acidez titulable. El pH es una medida potenciométrica con la que se puede cuantificar la concentración de H_3O^+ existente en el zumo de fruta, ya que estos cationes son derivados del contenido de ácidos. Una forma más exacta de calcular el contenido de ácidos dentro de un producto es utilizando la acidez titulable. Con este método, se puede determinar la concentración total de ácidos mediante el uso de volumetría ácido-base, usando como base, generalmente, NaOH 0.1N y fenolftaleína como indicador. El punto de equivalencia de la valoración es definido teóricamente como el punto en el cual la cantidad de base agregada es estequiométricamente equivalente al ácido en la muestra. En este punto también se produce un cambio brusco de pH, por lo que, si no se cuenta con un indicador químico, se puede utilizar este como un indicador válido (Cajamar, 2014).

El color de los frutos es un factor crítico debido a que es lo primero que se observa en la apariencia del producto y es indicativo del grado de madurez de este. El color negro característico de las moras se deriva de una concentración de diversos tipos de antocianinas, cuya concentración aumenta conforme madura el fruto. Debido a que el color de las antocianinas es dependiente del pH, un pequeño cambio de pH en la mora permite que el color pase de rojo a morado oscuro y luego a negro. El color oscuro de una mora es indicador de su madurez, sin embargo, procesos posteriores a la cosecha pueden provocar cambios en su apariencia como lo es la reversión a colores más claros rojos, amarillos o azules por cambios en el pH y degradación de compuestos como ácido ascórbico y antocianinas (Lee, 2017). Este parámetro puede ser medido de forma subjetiva, por la vista, con la determinación de tono e intensidades o puede ser medido objetivamente con equipo de electrónico sensible a la reflexión de luz como lo son los refractómetros o colorímetros (Reina, *et.al.*, 1998)

Dentro de los métodos más usados para la medición del color se encuentran las escalas CIE L^*a^*b y Hunter L, a, b. Ambos métodos se basan en la Teoría de los Colores Opuestos, es decir, la teoría que los receptores del ojo humano perciben el color en forma de pares opuestos, (Claro - oscuro, Rojo – Verde, Amarillo – Azul). Por ello, el valor L (luminosidad) de la escala representa el nivel de luz u oscuridad, el valor a, el nivel de rojo o verde y el valor b, el nivel de amarillo o azul de la muestra. Los tres valores juntos se utilizan para describir el color del objeto. Aunque ambos métodos proveen valores igual de representativos y se basan en la representación tridimensional de un espacio de color, se calculan de forma diferente. Los valores Hunter L, a, b se calculan por medio de las raíces cuadradas de CIE XYZ, mientras que los valores CIELAB, mediante las raíces cúbicas de XYZ (Hunterlab, 2019). En la actualidad, la escala más utilizada es la escala CIE L^*a^*b . En esta escala, el espacio de color está organizado en forma de un cubo, en donde el eje L^* va de arriba hacia abajo, siendo 100 el máximo de luminosidad y 0 el mínimo, que representa oscuridad o color negro. Los ejes a^* y b^* no tienen límites numéricos, pero los valores positivos de a^* representan color rojo y los de b^* color amarillo y los valores negativos representan color verde y azul respectivamente (Hunterlab, 2016).

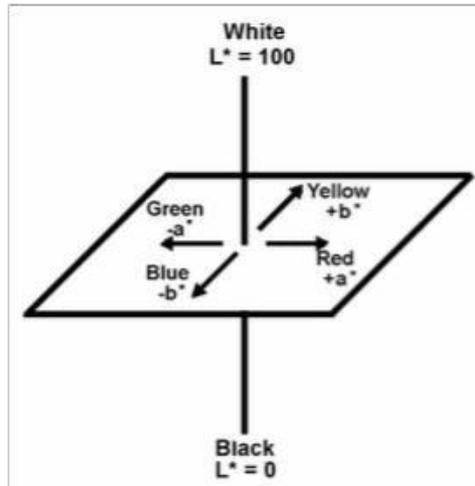


Figura 7. Espacio de color CIELAB (Hunterlab, 2016)

Por último, la textura o firmeza del fruto es una medida importante de calidad e indicador de madurez y sus cambios están relacionados con la degradación de la pared celular. Generalmente, esta se mide utilizando el principio de resistencia de los tejidos de las frutas a una presión mecánica realizada por un equipo estandarizado (Reina, *et.al.*, 1998). El texturómetro es, actualmente, el equipo más usado para la determinación de parámetros de textura, ya que con el mismo aparato pueden hacerse varias pruebas utilizando simulaciones de las actividades (Torres, Gonzáles y Acevedo, 2014).

D. ANÁLISIS PREDICTIVO

El análisis predictivo es un área del manejo de datos que consiste en la extracción de información existente en los datos y su utilización para la predicción de tendencias o patrones de comportamiento, y es aplicable a cualquier evento desconocido, pasado, presente o futuro. Este análisis se fundamenta en la identificación de relaciones entre variables encontradas en eventos pasados para predecir posibles resultados en situaciones futuras. Es importante notar que la precisión de los resultados dependerá del análisis inicial de los datos y de las suposiciones realizadas. Utilizando una considerable cantidad de datos actuales y pasados, se pueden establecer patrones de comportamiento e inducir conocimiento a sistemas computarizados, ya que, los ordenadores son capaces de “aprender” de forma autónoma y desarrollar nuevos conocimientos y capacidades (Espino Timón, 2017).

Los datos son la fuente de la que se obtienen las variables y las relaciones entre ellas, por lo que son un elemento vital para el análisis predictivo. En la actualidad, con las tecnologías de la información, es posible generar una inmensa cantidad de datos de forma rápida. El concepto de Big Data es un concepto que engloba el almacenamiento de grandes cantidades de datos y las técnicas que se usan para encontrar patrones en los mismos y colaborar con la toma de decisiones (Espino Timón, 2017).

Como se mencionó anteriormente, el aprendizaje computacional es también una parte importante para el análisis predictivo de datos. Este, proporciona técnicas de

análisis mediante las cuales se pueden describir las relaciones entre variables que en un principio parecen insignificantes. Un factor importante para poder establecer correlaciones entre las variables es el uso de suposiciones adecuadas, ya que las correlaciones pueden dar información valiosa si se interpretan de la manera adecuada (Espino Timón, 2017).

E. MÉTODO MATEMÁTICO DE ANÁLISIS DE DATOS PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGOS Y PÉRDIDAS DE CARACTERÍSTICAS SENSORIALES.

1. Diseño de experimentos: diseño experimental factorial completo.

El diseño de experimentos es un método utilizado para la planificación y análisis de experimentos con el objetivo que estos se lleven a cabo de forma eficiente. Si se diseñan correctamente, los experimentos permiten tener un análisis estadístico e interpretación de resultados simple. En un experimento, el experimentador escoge ciertos factores para su estudio y los altera deliberadamente de forma controlada para observar el efecto en una variable respuesta. Se considerarán factores a todas las cosas que cambian y niveles serán las condiciones en las cuales se cambian los factores, las características de salida se denominan respuestas o variables respuesta y el cambio en la respuesta resultante de un cambio de nivel en un factor se denomina efecto (Napolitano, 2010).

Los experimentos factoriales proveen de una metodología apropiada para el estudio de las interrelaciones entre factores múltiples de interés. Son experimentos mucho más efectivos que los experimentos que analizan un factor a la vez y están ajustados para determinar qué factor se comporta de forma diferente a diferentes niveles de los factores, lo cual se refleja en las variables respuesta. Al estudiar dos o más factores simultáneamente, los experimentos factoriales tienen la ventaja de evaluar la contribución resultante de la acción conjunta de los factores de estudio. Un factor importante que considerar al momento de realizar este tipo de experimentos es la aleatorización de los datos, para evitar obtener errores sistemáticos en la experimentación que afecten los resultados (Napolitano, 2010; Gutiérrez, 2017).

Los experimentos factoriales completos son experimentos bien ajustados para determinar cómo difieren los efectos sobre las variables respuesta ante un cambio de nivel de un factor. En estos experimentos, se hacen ensayos de todas las posibles combinaciones de tratamientos que se generan con los distintos niveles de los factores escogidos. Una de las limitantes para el uso del experimento es que el tamaño del experimento está en función de los factores estudiados, por lo que las reglas gruesas determinan que puede ser utilizado únicamente si los factores o parámetros de procesos son menores o iguales a 4, para no tener experimentos muy grandes. Para describir el número total de experimentos que se deben realizar se utiliza k factores con X niveles, por lo que los experimentos serán: X^k (Napolitano, 2010). Para este trabajo, se utilizarán tres factores en tres niveles diferentes, por lo que se tendrán 27 combinaciones de tratamiento.

2. Diseño experimental de tres factores

Cuando se quiere determinar la influencia de tres factores (A, B y C) con un número de niveles de prueba para cada factor a , b y c , respectivamente, sobre una o más variables respuesta, es posible construir un arreglo factorial $a \times b \times c$, con $a \times b \times c$ puntos experimentales.

El comportamiento de la variable respuesta Y, puede describirse mediante un modelo de efectos dado por

$$\text{Ec. 1 } Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

$$i = 1, 2, \dots, a; j = 1, 2, \dots, b; k = 1, 2, \dots, c; l = 1, 2, \dots, n$$

En donde μ es la media general, α_i , β_j y γ_k son los efectos de los niveles i , j y k en los factores A, B y C respectivamente. $(\alpha\beta)_{ij}$, $(\alpha\gamma)_{ik}$ y $(\beta\gamma)_{jk}$ representan los efectos de interacción dobles (entre dos factores) en los niveles ij , ik y jk , respectivamente, y $(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ es el efecto de la interacción triple en el punto ijk . Por último, ε_{ijkl} representa el error aleatorio de la combinación $ijkl$, en donde l es el número de réplicas del experimento.

En general, se tendrán siete efectos de interés con los que se pueden plantear siete hipótesis nulas (H_0 : Efecto A=0: Efecto B=0, ..., Efecto ABC=0) con sus correspondientes hipótesis alternativas. Para probar las hipótesis y la significancia de los efectos, se utiliza un análisis de varianza (ANOVA). Con este análisis, al efecto cuyo valor- p sea menor al valor alfa especificado (generalmente $p < 0.5$), se le considerará estadísticamente significativo o activo.

Con el valor F_0 de la tabla de un ANOVA completo, se puede determinar cuál de los efectos significativos es el más importante. Además, es importante evaluar, mediante un análisis de residuos, la calidad del modelo de efectos. Siempre que sea posible, se debe comprobar el cumplimiento de los supuestos de normalidad, varianza constante, interdependencia y la ausencia de observaciones atípicas. El siguiente cuadro muestra la forma en la que se presentan los resultados ANOVAS de los modelos factoriales de tres factores sin replicaciones.

Cuadro 2. ANOVA: modelo factorial con tres factores (sin replicación)

F. V.	S. C.	G. L.	C. M.	F_{exp}
Factor A	SCA	$a - 1$	CMA	CMA/CMR
Factor B	SCB	$b - 1$	CMB	CMB/CMR
Factor C	SCC	$c - 1$	CMC	CMC/CMR
$A \times B$	SC(AB)	$(a - 1)(b - 1)$	CM(AB)	CM(AB)/CMR
$A \times C$	SC(AC)	$(a - 1)(c - 1)$	CM(AC)	CM(AC)/CMR
$B \times C$	SC(BC)	$(b - 1)(c - 1)$	CM(BC)	CM(BC)/CMR
$A \times B \times C$	SC(ABC)	$(a - 1)(b - 1)(c - 1)$	CMR	CM(ABC)/CMR
TOTAL	SCT	$abc - 1$	CMT	

En este caso, las primeras tres filas, donde se tienen los factores A, B y C, corresponden a la temperatura, humedad relativa y daño mecánico y las siguientes cuatro filas corresponden a las combinaciones posibles de estos tres factores.

F. ANÁLISIS DE VIDA ÚTIL

Los conceptos del análisis de supervivencia pueden usarse para estudios sensoriales de vida útil. La función de supervivencia se define como la probabilidad de que los consumidores acepten un producto más allá de cierto tiempo de almacenamiento (Hough, Langohr, Gomez y Curia, 2003).

El análisis de supervivencia es una colección de procedimientos estadísticos para el análisis de datos para el cual el cambio de la variable de interés determina el tiempo final. Los datos de tiempo hasta el evento se presentan de formas diferentes, lo cual da problemas al momento de analizar los datos. Por esto, generalmente se realiza un procedimiento conocido como censurar; existen tres categorías básicas con las cuales se pueden censurar los datos: a la derecha, a la izquierda o por intervalo (Hough, 2010).

Durante el análisis, los sujetos o consumidores se controlan hasta que ocurre el evento de interés. Si durante el tiempo de evaluación, para estos sujetos no ocurre el evento de interés, lo cual en el estudio de alimentos sería rechazar el alimento o salirse del estudio, se considera que los datos tienen censura de derecha. Si, al contrario, el evento ocurre para el sujeto al inicio del estudio, es decir, el sujeto rechaza una muestra fresca, los datos tienen censura de izquierda. Si no tienen ningún comportamiento como los anteriores, los datos pueden tener censura de intervalo. En este, el evento de interés ocurre en un intervalo de tiempo, es decir, entre el día uno de análisis y el final de la vida útil. De hecho, los dos tipos de datos anteriores podrían considerarse como datos censurados por intervalo. Los que tienen censura de derecha tendrían un intervalo entre el último día que aceptaron la muestra y el infinito y los de censura de izquierda entre el tiempo cero y el primer día de almacenamiento (Hough, 2010).

Para los análisis sensoriales de vida útil, la función de supervivencia, también conocida como función de aceptación, es la probabilidad de un consumidor a aceptar la muestra almacenada más del tiempo t : $S(t) = \text{Prob}(T > t)$ y está definida por $t \geq 0$. Las propiedades principales de una curva de aceptación son las siguientes:

- $S(0) = 1$, el consumidor acepta el producto fresco
- $S(\infty) = 0$, el consumidor rechaza el producto almacenado por períodos de tiempo prolongados.
- $S(t)$ es una función decreciente
- Si T es continuo, $S(t)$ es continua y estrictamente decreciente.

De la misma forma, se tiene una función de rechazo, la cual representa la probabilidad de un consumidor a rechazar el producto almacenado en un tiempo menor a t : $F(t) = \text{Prob}(T \leq t)$ y está definida para $t \geq 0$. Las propiedades básicas de la curva de rechazo son las siguientes:

- $F(0) = 0$, el consumidor acepta el producto fresco
- $F(\infty) = 1$, el consumidor rechaza el producto almacenado por períodos de tiempo prolongados.
- $F(t)$ es una función creciente
- Si T es continuo, $F(t)$ es continua y estrictamente creciente.
- $F(t) = 1 - S(t)$

Una forma fácil de estimar la función de rechazo es calculando de forma experimental el porcentaje de rechazo en cada uno de los tiempos de almacenamiento.

Sin embargo, con esto se obtendría un valor aproximado sin intervalos de confianza. Por esto, generalmente se utiliza la función de verosimilitud, la cual describe la probabilidad conjunta de obtener los datos realmente observados sobre los sujetos de estudio en función de los parámetros desconocidos del modelo considerado (Hough, 2010).

Una vez que se ha formado la función de verosimilitud para un modelo específico, pueden estimarse los parámetros desconocidos (μ y σ) que maximicen la función para los datos experimentales. En este caso, se aplica la función de Weibull. La metodología del análisis de Weibull es usada para análisis de vida útil y es un método eficaz para la determinación de las características de confiabilidad y las tendencias de una población usando un tamaño de muestra relativamente pequeño de datos y ayuda a determinar la vida útil promedio de un producto. Por medio de un análisis de Weibull, se pueden obtener datos del tiempo de rechazo, contabilizar los datos censurados y ajustarlos (Quality-One International, 2020).

VI. METODOLOGÍA Y DISEÑO DEL EXPERIMENTO

A. MUESTREO

Para las pruebas se utilizaron moras *Rubus ulmifolius*, obtenidas de una finca ubicada en San José Poaquil, municipio del departamento de Chimaltenango. La finca está ubicada aproximadamente a 1,983 metros sobre el nivel del mar y la región tiene una temperatura promedio de 24°C, con precipitación anual promedio de 1,398 mm.



Figura 8. Mapa de ubicación de San José Poaquil en el departamento de Chimaltenango, Guatemala.

Las muestras se obtuvieron directamente de la finca y se esperó a que estas fueran empacadas en “clamshells”¹ para simular el inicio de la cadena de suministro. Se recogieron las muestras el día de recolección a mediodía, para poder recogerlas empacadas. Las muestras se recogieron y se empacaron en hieleras frías para poder eliminar un poco el calor de campo y mantenerlas en las mejores condiciones posibles.

¹ Se le conoce como clamshells a las cajas plásticas en las que se empaca la mora. Se utiliza este empaque desde el inicio de la cadena de suministro, ya que ayuda con la conservación de las moras por ser una protección física ante golpes. Además, por lo general contienen un papel absorbente en la parte inferior para absorber agua en exceso.

Se transportaron en cajas de cartón con 12 clamshells cada una, como se muestra en la imagen.



Figura 9. Ejemplo de la caja de cartón completa con 12 clamshells.

Se recogieron 30 clamshells de moras por corrida experimental a 4°C y 15 por corrida experimental a 25°C, lo que hace un total de 176 cajas de moras totales para el experimento. Se trató de que las condiciones de las muestras fueran las siguientes: todas las moras debían estar en el mismo grado de madurez, estar enteras y sanas, libres de humedad excesiva, con coloración homogénea acorde al grado de madurez, el cual será preferiblemente grado 4, o color morado oscuro. Sin embargo, no se tuvo mucho control en la recolección por problemas de accesibilidad y se obtuvo moras en grados de madurez entre 3 y 4 (de acuerdo con los datos del Cuadro 1) y con algunos defectos.



Figura 10. Ejemplo de dos clamshells de moras obtenidas el día de la recolección.

B. DISEÑO EXPERIMENTAL FACTORIAL COMPLETO

Para el análisis de los factores que afectan a las moras, se utilizó un diseño experimental factorial completo, en el cual se midió el efecto de 3 factores: temperatura, humedad relativa y daño mecánico a dos niveles diferentes cada uno, como se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 3. Factores del diseño experimental factorial completo con los diferentes niveles evaluados.

Nivel	Factor		
	Temperatura (°C)	Humedad Relativa	Daño mecánico (tiempo en minutos a 225V)
1	2	60%	10
2	25	95%	20

Se realizaron las diferentes combinaciones posibles de los tres factores con los dos niveles y se obtuvieron 8 combinaciones posibles como se muestra en el Cuadro 4. En donde α representa la temperatura, β representa la humedad relativa y γ el daño mecánico.

Cuadro 4. Combinaciones de los factores y sus diferentes niveles.

	β_1		β_2	
	γ_1	γ_2	γ_1	γ_2
α_1	y1 11	y1 21	y1 12	y12 2
α_2	y2 11	y2 21	Y 212	y22 2

Se realizaron todas las corridas en un mismo período de tiempo para poder trabajar con un solo lote de cosecha y evitar agregar más variables al experimento. Se analizaron 2 cajas por cada corrida, a las cuales se les realizaron los diferentes análisis, para tener dos referencias por día de cada corrida.

C. CONDICIONES DEL DISEÑO

Las moras fueron transportadas directamente de la planta hacia el laboratorio para someterlas a las condiciones necesarias para la corrida. Se almacenaron en refrigeradores tipo frigobar y se analizaron diariamente, tomando dos cajas de moras por día, de las cuales se realizaron las lecturas de los parámetros respuesta hasta que las moras perdieran sus características de calidad, se estimó un máximo de vida útil de aproximadamente en 15 días para las moras almacenadas en condiciones de refrigeración y 7 días para las moras almacenadas a temperatura ambiente.

1. Temperatura

Las cajas de moras fueron almacenadas en refrigeradores y en cajas, evitando sobrepasar la estiba máxima, a dos diferentes temperaturas: 4°C y 24°C, que simularon las condiciones óptimas de almacenamiento y condiciones en campo, respectivamente. Las condiciones se fueron controlando diariamente con data loggers para poder mantenerlas lo más estables posible.

2. Humedad relativa

Las cajas de moras se almacenaron a humedades relativas de: 60%, 95%. El nivel alto de 95%, simula las condiciones ideales de almacenamiento de la mora según varios estudios y el nivel bajo de 60%, las condiciones en las que manejan la mora en algunas cadenas de suministro en Guatemala. Las condiciones se lograron utilizando humidificadores o deshumidificadores.

3. Daño mecánico.

Las pruebas se realizaron sometiendo las moras a diferentes grados de vibración. Se utilizó un vibrador, sobre el cual se colocó una tabla con las cajas de moras. Se colocaron las cajas de 15 en 15 para ir aplicando los tratamientos de la forma más homogénea posible. Los dos tratamientos fueron aplicados con un voltaje de 225V por 10 minutos y por 20 minutos, en el vibrador que se muestra en la Figura 9. El voltaje aplicado era el máximo nivel que tenía el vibrador utilizado.



Figura 11. Vibrador hecho para simular el daño mecánico en las moras.

D.MÉTODOS DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS

Los parámetros fisicoquímicos fueron determinados en los laboratorios de la Universidad del Valle de Guatemala e incluyeron: diferencia de peso, pH, sólidos solubles (grados Brix), acidez titulable, textura y color.

- **DIFERENCIA DE PESO.** Se determinó el peso inicial de las cajas y se realizaron las medidas cada día de las cajas de prueba. Se determinó el porcentaje de pérdida de peso de las moras con los diferentes tratamientos. Para esto, se utilizó una balanza KERN Pes con capacidad de 4,200g \pm 0.01g.

- **TEXTURA.** Se midió la textura utilizando un Penetrómetro Universal modelo TS-73510 AN-2 marca Precision Scientific Petroleum Instruments. Se midió la distancia de penetración en milímetros, utilizando el accesorio de cono, dando como resultado un peso total de prueba de 197.5gramos. Se dejó caer el peso sobre la mora por 3 segundos y se midió la distancia de penetración.

- **PORCENTAJE DE REVERSIÓN DE MORAS:** Se evaluó la cantidad de moras revertidas por caja. Se hizo un conteo de moras por caja y se inspeccionaron todas. Si la mora tenía tres o más drupas de color rojo, se contó como revertida. Con la cantidad de moras en la caja y la cantidad de moras con reversión, se hizo el cálculo del porcentaje de reversión por caja.

- **PORCENTAJE DE DEFECTOS:** Se evaluó el porcentaje de defectos por caja antes de hacer los análisis destructivos, para poder analizar también el aumento de los defectos en el tiempo. Se analizó la presencia de moho, decaimiento y reversión. Se contó la cantidad de moras por caja y la cantidad de moras con cada defecto y se calculó un porcentaje de defectos por caja. Los defectos que se analizaron son aquellos que más influyen en la decisión de compra.

Cuadro 5. Cartilla de defectos en mora

Defecto	Descripción del defecto	Imagen
Presencia de moho	Se consideró una mora con moho, aquella que tenía en su superficie aparición de moho gris, ya sea en alguna de las drupas o en el área del pedúnculo.	
Decaimiento	Se consideró una mora con decaimiento si tenía presencia de moho y a su vez una apariencia desagradable y su textura muy suave.	
Reversión	Se consideró como revertida, una mora con más de 3 drupas rojas, como las que se muestran en la imagen.	

- **PREPARACIÓN DE MUESTRA PARA PH, SÓLIDOS SOLUBLES Y ACIDEZ TITULABLE.** Se colocaron todas las moras de la caja de análisis en un mortero y se trituraron para extraer la pulpa. Se filtró la pulpa para eliminar las semillas y cáscara y se tomaron las muestras de la pulpa obtenida para realizar las medidas de cada uno de los análisis, en triplicado.

- **pH.** Se midió el pH del jugo de moras utilizando un potenciómetro Hanna con precisión de 0.01, previamente calibrado, con soluciones buffer de pH 7 y pH 4.

- **SÓLIDOS SOLUBLES.** Se determinó la cantidad de sólidos solubles como grados Brix, utilizando un refractómetro digital Hanna HI 9680, con un rango de 0-85% y una precisión de 0.1°Brix. Se midió la temperatura de las muestras y se usará la siguiente tabla para hacer la compensación de temperaturas.

Figura 12. Tabla internacional de compensación de temperatura. 1974.
NGO COGUANOR 34 003

Sólidos solubles en porcentaje	0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70
Temperatura °C											
Sustraer del porcentaje de sólidos solubles											
10	0.50	0.54	0.58	0.61	0.64	0.66	0.68	0.72	0.74	0.76	0.79
11	.46	.49	.53	.55	.58	.60	.62	.65	.67	.69	.71
12	.42	.45	.48	.50	.52	.54	.56	.58	.60	.61	.63
13	.37	.40	.42	.44	.46	.48	.49	.51	.53	.54	.55
14	.33	.35	.37	.39	.40	.41	.42	.44	.45	.46	.48
15	.27	.29	.31	.33	.34	.34	.35	.37	.38	.39	.40
16	.22	.24	.25	.26	.27	.28	.28	.30	.30	.31	.32
17	.17	.18	.19	.20	.21	.21	.21	.22	.23	.23	.24
18	.12	.13	.13	.14	.14	.14	.14	.15	.15	.16	.16
19	.06	.06	.06	.07	.07	.07	.07	.08	.08	.08	.08
Agregar al porcentaje de sólidos solubles											
21	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
22	.13	.13	.14	.14	.15	.15	.15	.15	.16	.16	.16
23	.19	.20	.21	.22	.22	.23	.23	.23	.24	.24	.24
24	.26	.27	.28	.29	.30	.30	.31	.31	.31	.32	.32
25	.33	.35	.36	.37	.38	.38	.39	.40	.40	.40	.40
26	.40	.42	.43	.44	.45	.46	.47	.48	.48	.48	.48
27	.48	.50	.52	.53	.54	.55	.55	.56	.56	.56	.56
28	.56	.57	.60	.61	.62	.63	.63	.64	.64	.64	.64
29	.64	.66	.68	.69	.71	.72	.72	.73	.73	.73	.73
30	.72	.74	.77	.78	.79	.80	.80	.81	.81	.81	.81

- **ACIDEZ TITULABLE.** Se hizo una medición de acidez por medio de una titulación potenciométrica con hidróxido de sodio de 5 gramos de jugo de moras y tres gotas de fenolftaleína hasta alcanzar un pH de 8.2. Se expresaron los porcentajes de acidez titulable como porcentaje de ácido málico, por ser el

ácido predominante en la fruta. El cálculo utilizado para la determinación de acidez fue:

$$\circ \text{ (Ec.2) Acidez (\%)} = (V \cdot N \cdot C) \cdot 100/P$$

En donde:

V= Volumen de NaOH usado

N= Normalidad del NaOH

C= peso equivalente expresado en gramos de ácido predominante en el fruto (en el caso de la mora es ácido málico, 0.067g/meq)

P = peso exacto en gramos de la muestra usada

Se verificó la normalidad de la solución de hidróxido de sodio usando un patrón de ftalato ácido de potasio. Se secó la sal por 3 horas a 110°C. Se pesó 0.0025mol de sal y se disolvió en 50ml de agua destilada. Se tituló con indicador de fenolftaleína hasta el color rosado pálido. Se determinó que la concentración del hidróxido de sodio utilizado fue de 0.73N.

E. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Las variables respuesta obtenidas del diseño experimental fueron recopiladas en el programa Excel, como se muestra en el Anexo C. Se obtuvieron datos de cada una de las siguientes características de calidad: pH, acidez titulable, grados brix, textura, reversión del color, pérdida de peso y decaimiento.

Estos datos se ingresaron al programa R studio y se hicieron gráficos de caja y bigotes de cada uno de los factores contra cada una de las características de calidad para ver el comportamiento de los datos. Además, se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) para cada una de las características de calidad para determinar los factores significativos, por medio del análisis del valor p. Los factores con valor p menor a 0.05 se consideraron como significativos. Los códigos con los que se realizaron los análisis se pueden encontrar en la sección de Anexos, Figura 29.

Más adelante, se realizaron ecuaciones predictivas para cada una de las características de calidad usando un modelo de regresión lineal simple. Es importante tomar en cuenta que los niveles de cada factor se ingresaron como valores codificados, en donde -1 representaba el valor bajo y 1 el valor alto, por lo que debe siempre usarse valores con el mismo sistema de codificación para el correcto funcionamiento de los modelos.

Los modelos se realizaron con base a la Ecuación 1.

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$
$$i = 1,2, \dots a; j = 1,2, \dots b; k = 1,2, \dots c; l = 1,2, \dots n$$

En donde μ es la media general, α_i , β_j y γ_k son los efectos de los niveles i, j y k en los factores A, B y C respectivamente. $(\alpha\beta)_{ij}$, $(\alpha\gamma)_{ik}$ y $(\beta\gamma)_{jk}$ representan los efectos de interacción dobles (entre dos factores) en los niveles ij, ik y jk, respectivamente, y $(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ es el efecto de la interacción triple en el punto ijk. Por último, ε_{ijkl} representa

el error aleatorio de la combinación ijkl, en donde l es el número de réplicas del experimento.

Además, se analizó el valor R cuadrado de cada uno de los modelos para determinar si los modelos podrían generar una predicción confiable apegada a la realidad, se buscan R cuadrados de arriba de 0.8- 0.9.

F. ANÁLISIS DE VIDA ÚTIL

Para el análisis sensorial de vida útil, se realizó una encuesta de forma virtual, utilizando la herramienta de Google Forms, en la cual se colocaron imágenes de moras con diferentes tiempos de almacenamiento (Anexo D.) y se preguntó a los consumidores si comprarían o no las moras de la imagen. Esto se realizó con el objetivo de determinar hasta qué punto una caja de moras era aceptable, visualmente, para su compra. Se tuvo que realizar la encuesta de forma virtual, ya que, debido a restricciones, no era posible realizar un panel sensorial presencial.

Se utilizaron imágenes de las moras almacenadas a temperatura ambiente y de las moras almacenadas a 4°C, para determinar el tiempo de vida, según los consumidores, de las moras en tales condiciones. A temperatura ambiente, se tomaron imágenes de los días 1, 3 y 5, de temperatura de refrigeración, se tomaron imágenes del día 1, 7, 12, 14 y 15. Con base en esto, se obtuvieron las respuestas de aceptación o rechazo en diferentes tiempos de almacenamiento (las respuestas se pueden encontrar en el Anexo E) y se analizaron los datos utilizando el método de Weibull, con el uso de R studio con el código de la Figura 30.

Antes de la determinación de la vida útil, se obtuvo la función de verosimilitud, para poder luego estimar la función de rechazo.

$$\text{Ec.2 Verosimilitud: } L = \prod_{i \in R} (1 - F(r_i)) \prod_{i \in L} (1 - F(l_i)) \prod_{i \in I} (F(r_i) - F(l_i))$$

En la cual, R representa el conjunto de datos censurados por la derecha, L el conjunto de datos censurados por la izquierda y I, el conjunto de datos censurados por intervalos. Esta ecuación muestra cómo cada tipo de censura contribuye de forma diferente con la función de verosimilitud.

En la distribución de Weibull, la función de rechazo sería la siguiente:

$$\text{Ec.3 } F(t) = F_{sev} \left(\frac{\ln \ln (t) - \mu}{\sigma} \right),$$

en donde $F_{sev}(\cdot)$ es la función de rechazo de la distribución de valores extremos expresada como:

$$\text{Ec.4 } F(w) = 1 - \exp(-\exp(\exp(w)))$$

Al sustituir la ecuación 4 en la ecuación 3, se obtiene la función de rechazo para la distribución de Weibull:

$$\text{Ec.5 } F(t) = 1 - \exp \left[-\exp \left(\frac{\ln \ln (t) - \mu}{\sigma} \right) \right]$$

En la que μ y σ son los parámetros del modelo, que pueden calcularse con paquetes estadísticos. Para estimar estos parámetros, se maximiza la función de verosimilitud sustituyendo $F(t)$ en la ecuación 3 por la expresión de la ecuación 5.

La maximización de la función de verosimilitud para los datos experimentales se realiza al resolver numéricamente el siguiente sistema de ecuaciones.

$$Ec. 6 \quad \frac{\partial \ln L(\mu, \sigma)}{\partial \mu} = 0$$

$$Ec. 7 \quad \frac{\partial \ln L(\mu, \sigma)}{\partial \sigma} = 0$$

Utilizando el paquete estadístico, se obtiene un cuadro con el valor estimado y los valores de los intervalos superior e inferior con 95% de confianza de cada uno de los parámetros, μ y σ .

Luego de ingresar los códigos para resolver las ecuaciones, se deben ingresar en la ecuación de vida útil porcentajes de rechazo deseados para obtener finalmente, la vida útil estimada con los intervalos de confianza y errores estándar. En este caso, se busca la vida útil estimada con la cual se tendría un 50% de probabilidad de rechazo. Esto quiere decir que si una persona que observa una caja de moras con un tiempo de almacenamiento correspondiente al 50% de probabilidad de rechazo, existe un 50% de probabilidad que la rechace. Aunque parezca una probabilidad bastante alta, se debe tomar en cuenta que el producto analizado está al final de su vida útil. (Hough, 2010)

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El objetivo del proyecto era llegar a la creación de un modelo predictivo para poder tener una opción teórica para predecir las características fisicoquímicas de las moras al someterse a diferentes condiciones y establecer el tiempo de vida útil. Por medio de un análisis de varianza (ANOVA), se establecieron los factores significativos en el deterioro de las moras y con ellos, se realizaron modelos lineales simples para los diferentes parámetros fisicoquímicos. Además, se realizó un estudio sensorial de vida útil para determinar la aceptación de las moras almacenadas a diferentes temperaturas y con ello, estimar el tiempo de vida útil con el cual se tendría un 50% de probabilidad de rechazo del producto.

Para poder analizar el comportamiento de los parámetros de calidad ante los diferentes niveles de temperatura, humedad relativa y daño mecánico, se realizaron primero gráficos de caja y bigotes junto con los análisis de varianza.

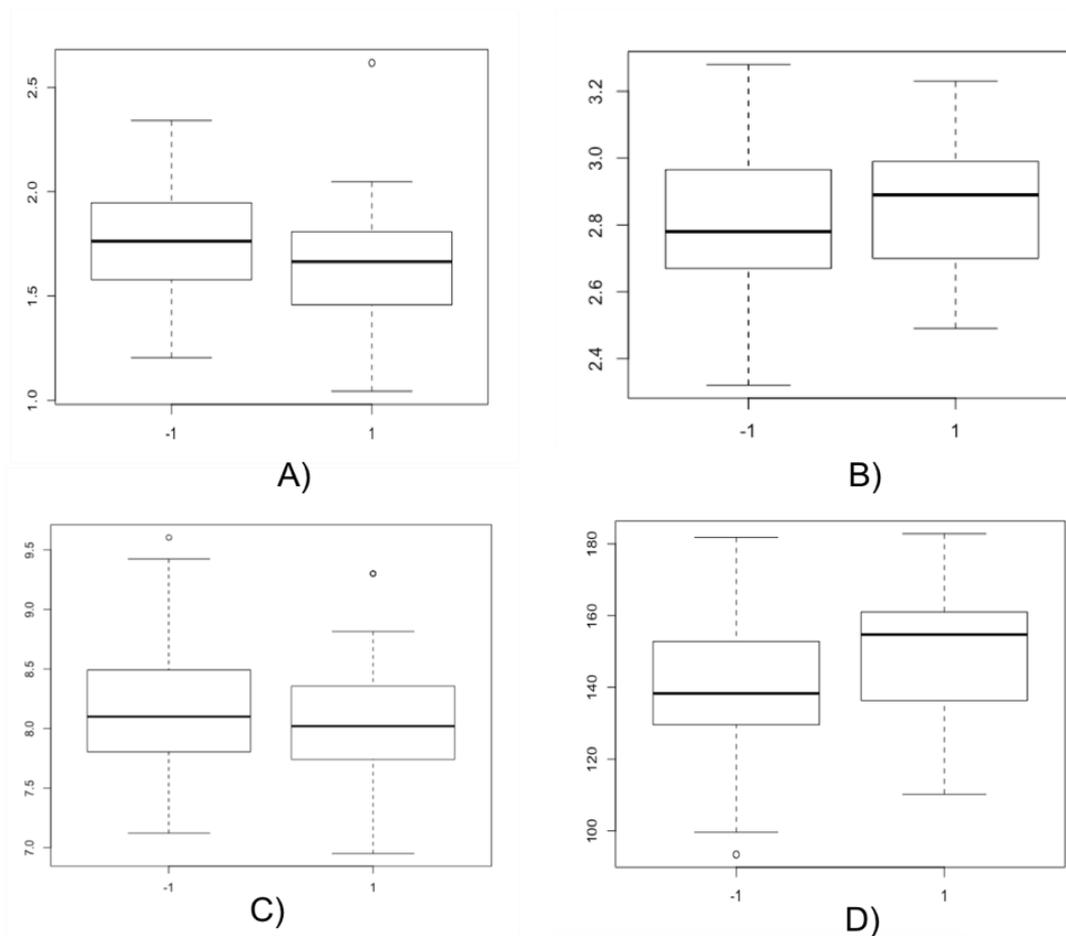


Figura 13. Efecto de la temperatura en los parámetros fisicoquímicos. Temperatura codificada (nivel bajo -1 y nivel alto 1) en el eje “x” y parámetros en el eje “y” en el siguiente orden: A) acidez (% ácido málico), B) pH, C) sólidos solubles (°Brix), D) textura (mm de penetración).

En la Figura 13, gráfico A, se puede observar que a menor temperatura (nivel bajo, -1) se tuvo un promedio de acidez mayor, lo cual puede deberse a que la refrigeración retarda la tasa respiratoria y los procesos enzimáticos que promueven la acumulación de sacarosa y glucosa con la maduración (Ayala, Valenzuela y Bohórquez, 2013). Esto se confirma con los valores de pH observados (gráfico B), a menor temperatura, el pH tiene valores menores lo que indica una menor acidez. Y al verificar los ANOVAS (Figuras 21 y 22, anexo A), se puede ver que la temperatura sí fue un factor significativo en el tema de acidez y pH.

Los sólidos solubles (gráfico C) no muestran un grado de variación significativo entre las temperaturas y en los gráficos se muestran pocos datos atípicos, por lo que se determinó que tampoco fue un parámetro que tuvo cambios significativos con el tiempo. Y al analizar el ANOVA en la Figura 23, se puede ver que la temperatura no tuvo impacto significativo en el cambio de sólidos solubles. Al visualizar los datos, se puede observar que los valores de grados Brix tuvieron un comportamiento variable durante toda la vida útil y se mantuvieron en un rango entre 7 y 9 grados Brix. Estos valores se encuentran dentro del parámetro aceptable para la comercialización de la mora, que por lo general se exige como mínimo un 8% (Castro y Cerdas, 2005)

En la Figura 14, se puede observar que el porcentaje promedio de reversión por caja (gráfico A), es mucho mayor en temperatura de refrigeración que en ambiente, confirmando lo mencionado por Edgley, Close y Meashan, 2020, quien indica que luego de 24 horas de almacenamiento en refrigeración, se puede comenzar a observar cambios en el color de las moras y conforme pasa el tiempo, el número de drupas revertidas va aumentando. Además, de acuerdo con un estudio realizado por Lawrence y Melgar, 2010, el factor que más influye en la reversión del color es la duración del almacenamiento refrigerado y los cambios bruscos de temperatura. Para este estudio, no se contaba un sistema de preenfriamiento para eliminar todo el calor de campo de las muestras, por lo que el efecto del cambio de temperatura al momento de colocar las muestras en refrigeración pudo haber influido también en la reversión del color.

Las moras almacenadas a temperatura ambiente mostraron porcentajes de reversión mucho menores. Al contrario, el color morado se fue intensificando con el tiempo. Por lo general, el color de mora deseado por un consumidor es morado-negro, similar al que tomaron las moras al conservarse en temperatura ambiente, sin embargo, después del cuarto día, estas mostraron un aumento significativo en la cantidad de moho en la superficie y deterioro completo de las cajas. Entonces, a pesar de tener ciertos defectos, como la reversión, que se amplifican con el paso de los días en almacenamiento refrigerado, se debe recalcar que la refrigeración aumentó la vida útil de las moras por diez días. Esto trae ventajas económicas al poder comercializar el producto en mercados internacionales.

El efecto de reversión del color es uno de los defectos más comunes encontrados en moras, pero puede reducirse al mejorar prácticas principalmente en campo. Desde controlar los horarios de riego hasta establecer horarios con temperaturas frescas para la cosecha y tener sistemas de preenfriamiento para evitar cambios bruscos de temperatura que dañen los productos son prácticas que se pueden ir implementado para la mejora de la calidad de la mora fresca.

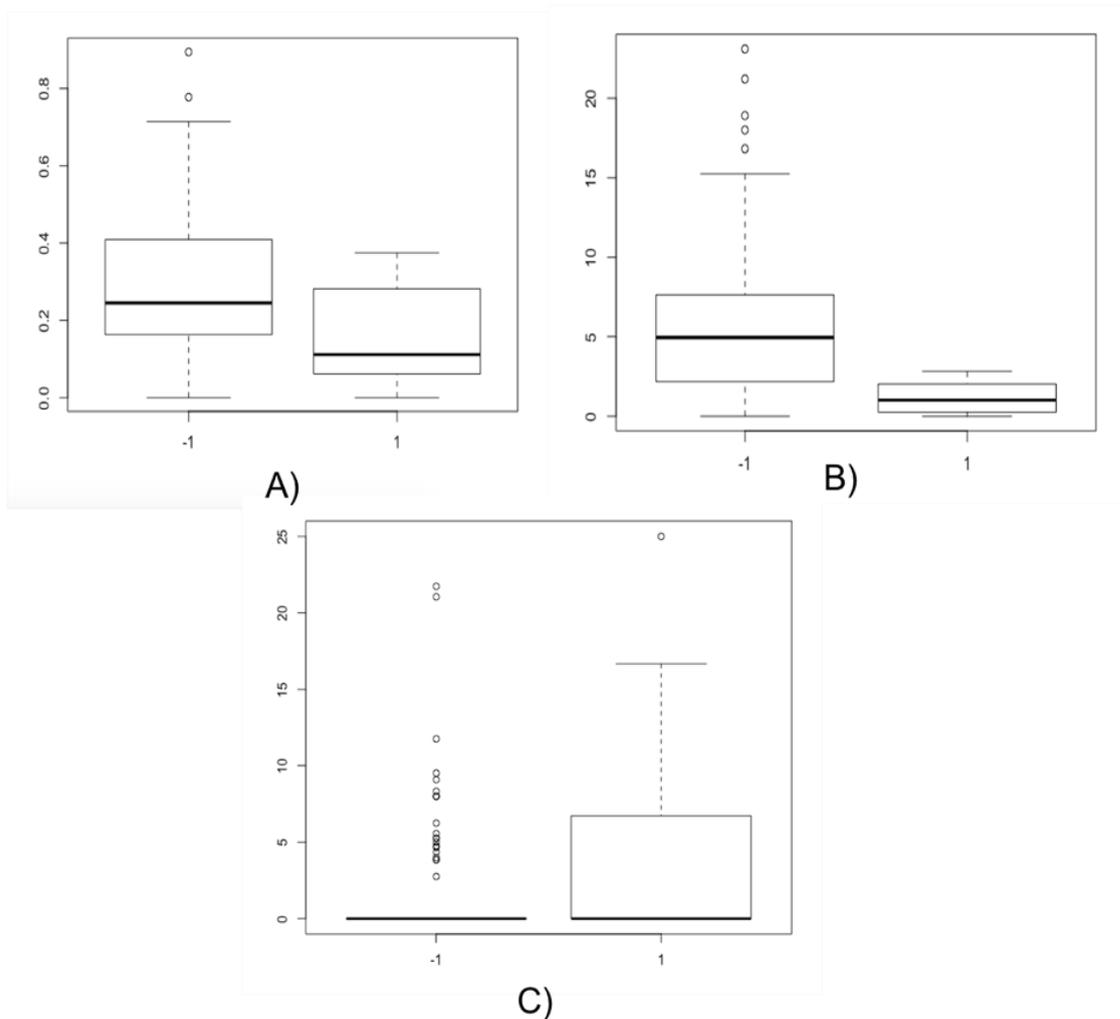


Figura 14. Efecto de la temperatura en los parámetros fisicoquímicos. Temperatura codificada (nivel bajo -1 y nivel alto 1) en el eje “x” y parámetros en el eje “y” en el siguiente orden: A) reversión por caja (moras con reversión/moras por caja), B) pérdida de peso (% de pérdida) y C) Decaimiento

En el gráfico B de la misma Figura 14, se puede observar los datos de pérdida de peso. Se puede ver claramente que la pérdida de peso fue mayor en las cajas de mora almacenadas en refrigeración. Esto se debe a que estuvieron almacenadas por muchos más días que las moras a temperatura ambiente, por lo que el factor determinante en este caso puede ser la cantidad de días en almacenamiento y no tanto un efecto de la temperatura. Sin embargo, se ha comprobado que el reducir los tiempos de retraso de enfriamiento pueden contribuir significativamente a la reducción de la pérdida de peso en bayas. (Do Nascimento Nunes, et al, 2014)

Por último, en la Figura 14 también se puede observar, en el gráfico C el comportamiento del decaimiento a las diferentes temperaturas. En el nivel bajo de temperatura, es decir, en refrigeración, existe una variabilidad alta y datos atípicos debido a que el decaimiento fue aumentando con el paso de los días por lo que no fue posible establecer una media adecuada como en los demás factores. En el nivel alto de temperatura, las moras no duraron más de 3 días, por lo que el porcentaje de decaimiento fue aumentando rápidamente hasta tener decaimiento total en el día 4, como se observa

en la Figura 15. las cajas mostraron una cantidad significativa de moho en la superficie, condensación debido a la respiración y goteo. Al revisar los datos obtenidos por el ANOVA (Figura 26 en Anexos), se puede confirmar que la temperatura sí fue un factor significativo en el decaimiento de la fruta. El almacenamiento refrigerado retrasó el decaimiento y aumentó la vida útil.

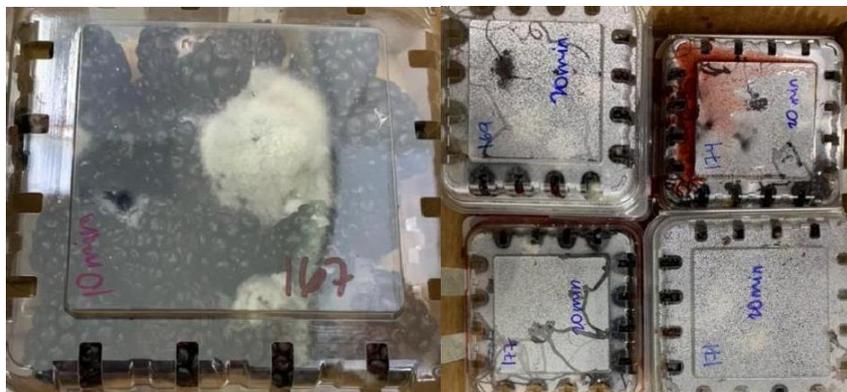


Figura 15. Cajas almacenadas a temperatura ambiente en el día 5 de almacenamiento, con presencia de moho y goteo.

Con las diferentes intensidades de humedad relativa (HR), no se tuvieron cambios significativos en los parámetros fisicoquímicos de la mora, sino que, en la mayoría, se tuvieron promedios muy similares para ambos niveles. La acidez y pH (gráficos A y B) de la Figura 16, muestran una leve diferencia en el promedio obtenido, y de acuerdo con los ANOVAS, la humedad relativa de almacenamiento afectó de manera significativa solo en la acidez titulable. Para los demás parámetros, pH, sólidos solubles y textura, la humedad relativa no tuvo mucha variabilidad en los datos y como se puede observar en las Figuras 22 y 23 en Anexos, el análisis de variables confirma que la humedad relativa no tuvo un efecto significativo.

En la siguiente figura, Figura 17, se puede observar una alta variabilidad de los datos de pérdida de peso (gráfico B). Existe un poco más de variabilidad a menor humedad relativa y el comportamiento de los datos indica un aumento de pérdida de peso. Entre más días se almacenen las moras con humedad relativa baja, se tendrá una mayor pérdida de peso, ya que baja humedad relativa aumenta la respiración y con ello, la pérdida de agua. De acuerdo con las conclusiones de varios estudios, el defecto de pérdida de peso en moras disminuye su comerciabilidad, ya que el peso que se entregue de producto será menor y se verá afectada también la apariencia de las moras, las cuales comienzan a verse deshidratadas y su tamaño disminuye como se observa en la Figura 18. Por este motivo, y para mantener la tasa de respiración en niveles adecuados, se recomienda siempre mantener las humedades relativas en mayores niveles, entre 90-95% según el Centro de Postcosecha de UC Davis.

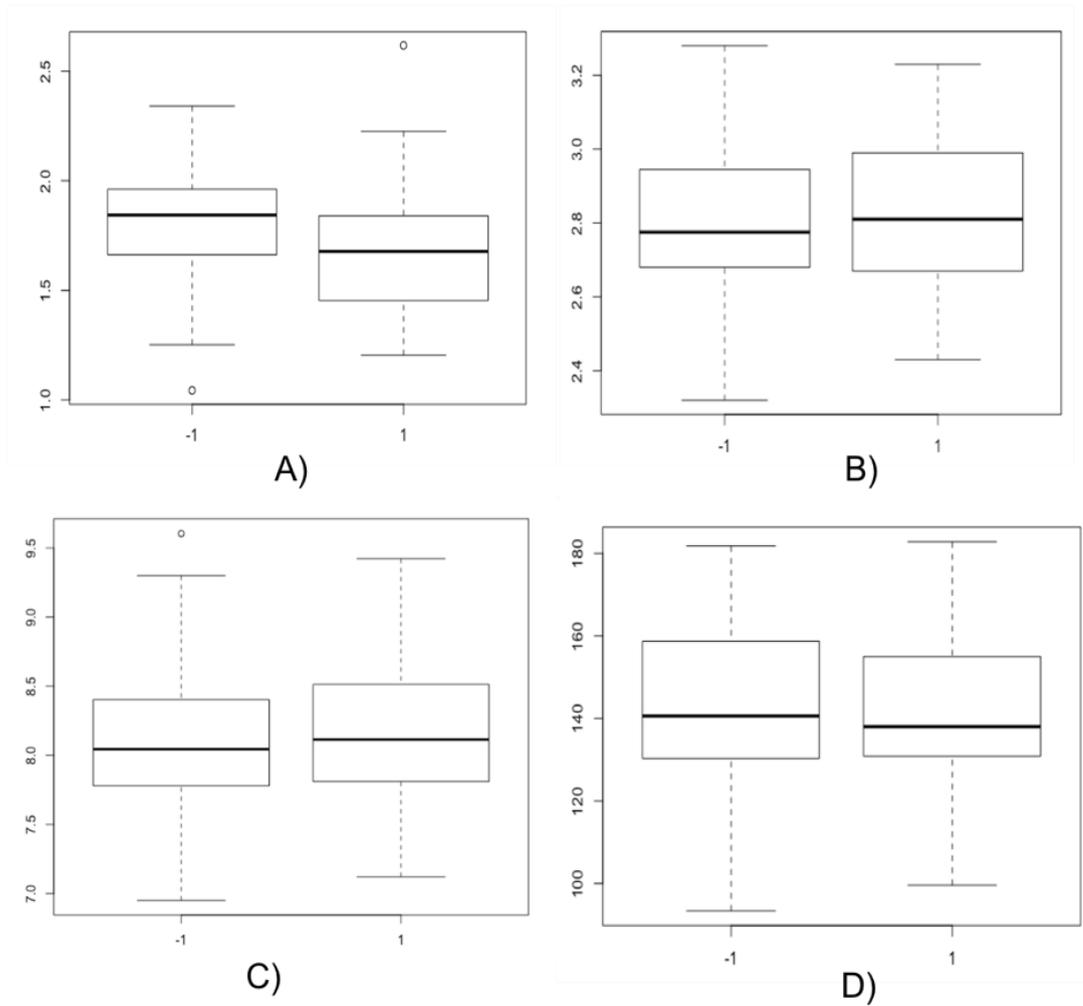


Figura 16. Efecto de la humedad relativa en los parámetros fisicoquímicos. Humedad relativa codificada (nivel bajo -1 y nivel alto 1) en el eje “x” y parámetros en el eje “y” en el siguiente orden: A) acidez (% ácido málico), B) pH, C) sólidos solubles (Brix), D) textura (mm de penetración).

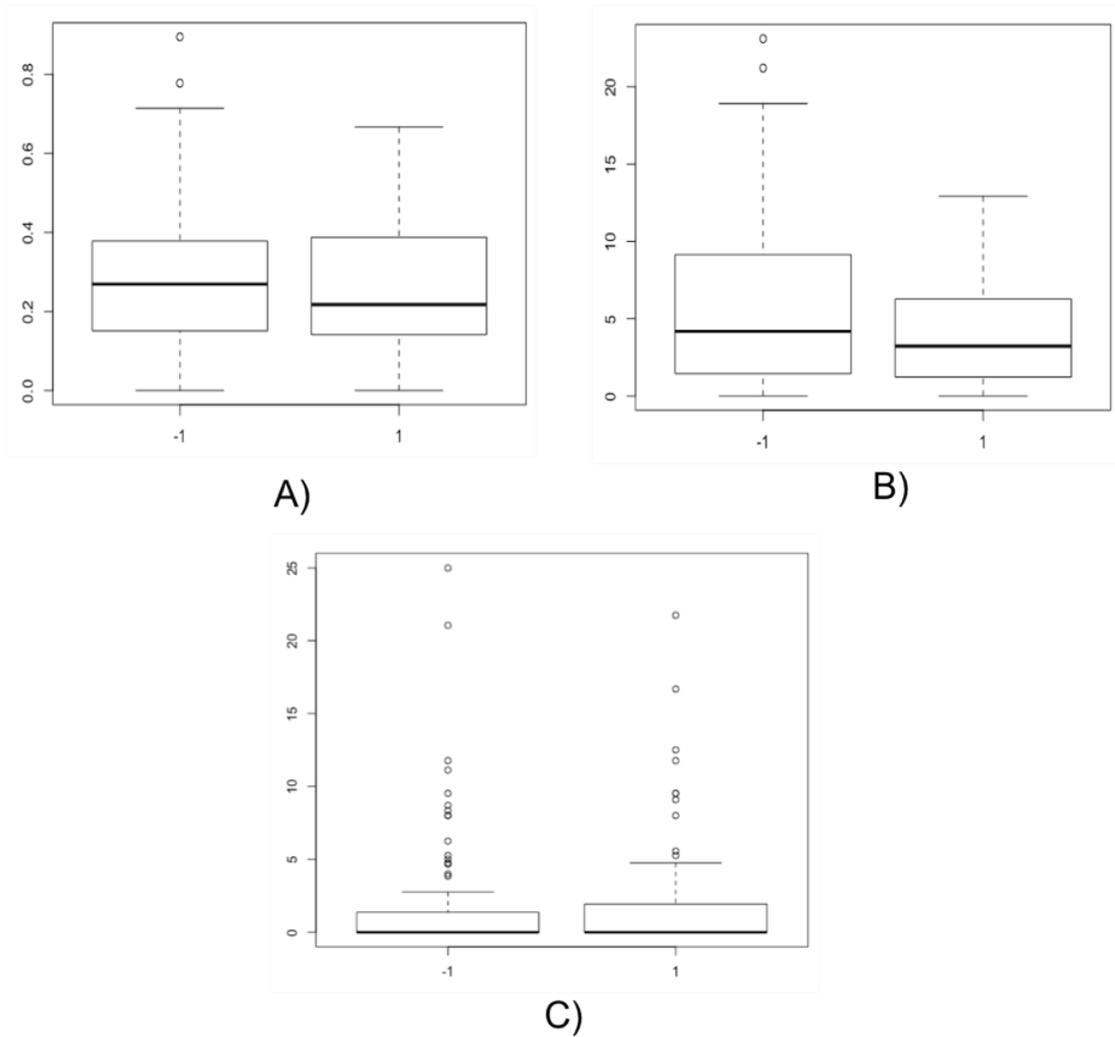


Figura 17. Efecto de la humedad relativa en los parámetros fisicoquímicos. Humedad relativa codificada (nivel bajo -1 y nivel alto 1) en el eje “x” y parámetros en el eje “y” en el siguiente orden: A) reversión por caja (moras con reversión/moras por caja), B) pérdida de peso (% de pérdida) y C) decaimiento



Figura 18. Moras almacenadas por 14 días en temperatura de refrigeración con humedad del 60%.

En el gráfico C, de la Figura 17, se puede observar el comportamiento de los datos de decaimiento. Existe gran variabilidad en los datos, principalmente por el cambio que se dio a lo largo de los días, lo cual produce datos atípicos. Esto indica que sí hubo un aumento en el decaimiento con el paso de los días y al analizar el ANOVA de la Figura 11, se puede comprobar que los días sí fueron un factor significativo sin importar el grado de humedad relativa que existía en el ambiente de almacenamiento. Sin embargo, visualmente, el decaimiento, considerado principalmente por la presencia de microorganismos, se vio reflejado mucho más en las cajas almacenadas a 95% HR que en las cajas almacenadas a 60% HR, por el mismo motivo que la presencia de humedad y nutrientes favorecen el crecimiento microbiano.

Con los resultados de humedad obtenidos, se considera que, a pesar de tener menor crecimiento microbiano a menor humedad relativa, la apariencia de las moras al momento de compra es mucho más importante. Por esto, se recomienda mantener los niveles de humedad entre 90-95%.

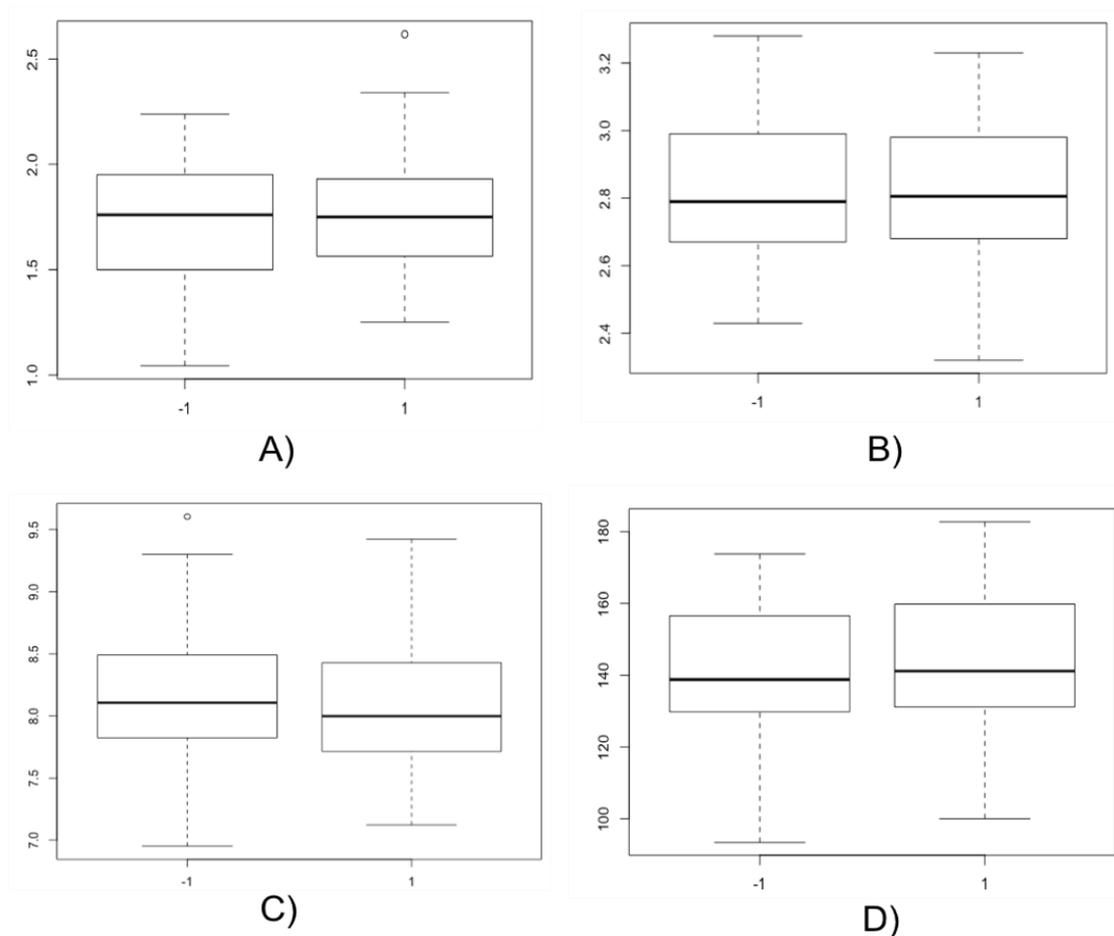


Figura 19. Efecto del daño mecánico en los parámetros fisicoquímicos. Daño mecánico codificado (nivel bajo -1 y nivel alto 1) en el eje “x” y parámetros en el eje “y” en el siguiente orden: A) acidez (% ácido málico), B) pH, C) sólidos solubles (oBrix), D) textura (mm de penetración).

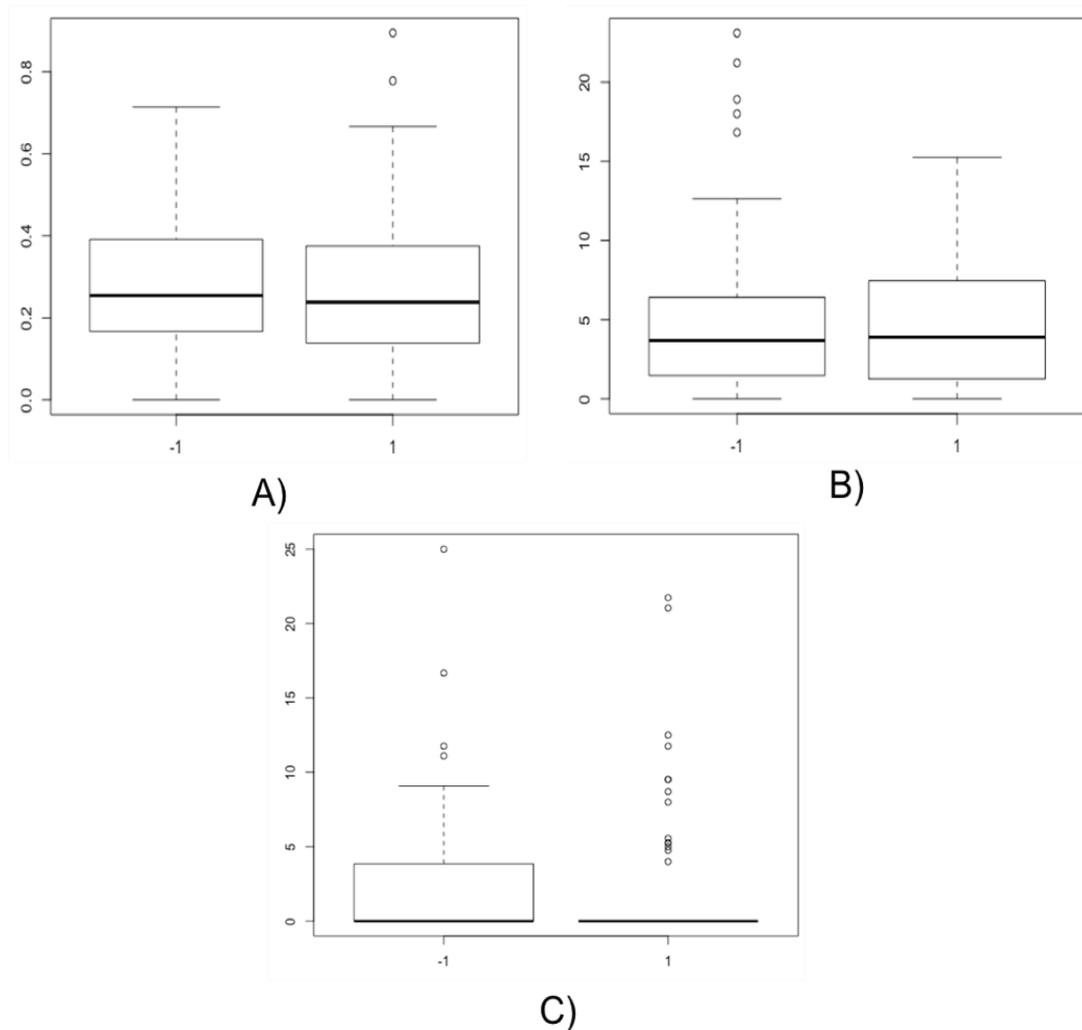


Figura 20. Efecto del daño mecánico en los parámetros fisicoquímicos. Daño mecánico codificado (nivel bajo -1 y nivel alto 1) en el eje “x” y parámetros en el eje “y” en el siguiente orden: A) reversión por caja, B) pérdida de peso y C) decaimiento

Como se observa en las Figuras 19 y 20 y en los ANOVAS (ver sección A de Anexos para verificar los valores p determinados), se estableció que el daño mecánico no tiene un impacto significativo en el cambio de los parámetros fisicoquímicos evaluados durante este estudio. Se puede observar en los diagramas de caja y bigotes que los valores promedio de cada uno de los parámetros de calidad se encuentran en valores muy parecidos en cada uno de los niveles de intensidad y tienen pocos datos atípicos, por lo que se puede decir que, en los dos niveles de daño, las características tuvieron poco cambio.

El único gráfico que muestra diagramas un poco diferentes para cada grado de intensidad es el gráfico C de la Figura 20. Se puede observar que se tuvo variabilidad en los datos, en ambos gráficos de caja y bigote y aunque se tiene un poco más de datos atípicos y variabilidad en el nivel alto, este comportamiento pudo deberse al aumento en el decaimiento a lo largo de los días, factor significativo de acuerdo con el ANOVA, y no necesariamente por el daño mecánico ocasionado al producto inicialmente.

Con el daño mecánico sí se esperaba un cambio significativo en los parámetros de calidad, principalmente en la textura ya que, de acuerdo con Ayala, Valenzuela y Bohórquez en 2013 y otros estudios, con la madurez de la fruta, la resistencia a la compresión disminuye, haciendo a la fruta más sensible ante daños mecánicos. Además, los daños mecánicos como las vibraciones afectan la estructura interna de las moras lo cual podría provocar un ablandamiento (Edgely, Close y Measham, 2020). Sin embargo, no se obtuvo ninguna diferencia, por lo que se determinó que posiblemente la diferencia en las intensidades del daño mecánico no fue la suficiente para causar un impacto significativo. Se recomienda hacer pruebas con diferentes tiempos y mayores niveles o intensidades de vibración para poder simular otras condiciones de transporte y determinar su efecto.

Luego de analizar el comportamiento de los datos, se procedió a la realización de modelos lineales simples con los factores y las combinaciones de factores significativos. Para ello, se ingresaron los datos nuevamente en el programa R studio. Los niveles de cada uno de los factores se ingresaron codificados, en donde -1 representaba el nivel bajo y 1 el nivel alto. Es importante recordar que, al momento de aplicar los modelos, se deben ingresar siempre valores codificados para el correcto funcionamiento de los modelos.

Cuadro 6. Modelos predictivos obtenidos para los diferentes parámetros de calidad

PARÁMETRO	ECUACIÓN	R CUADRADO
pH	$\text{pH} = 0.122978(T) + 2.8060220$	0.1497
Acidez	$\text{Acidez} = -0.090976(T) - 0.050344(\text{Día}) + 1.858936$	0.3687
Sólidos solubles	$\text{Brix} = -0.1273881(\text{Día}) - 0.1056344(T)(\text{Día}) + 8.3758765$	0.1397
Reversión	$\% \text{ Reversión}/100 = -0.136468 (T)(DM) + 0.314858$	0.1692
Textura	$\text{Mm de penetración} = 3.16084(\text{Día}) + 2.48666(T)(\text{Día}) + 137.95102$	0.123
Pérdida de peso	$\% \text{ pérdida de peso} = 0.44427(HR) + 0.86812(\text{Día}) - 0.21976(HR)(\text{Día}) - 0.18289$	0.921
Decaimiento	$\% \text{ Decaimiento}/100 = 1.77431(\text{Día}) + 1.373194(T)(\text{Día})$	0.3409

*Nota: Los valores de temperatura (T), humedad relativa (HR) y daño mecánico (DM) deben ingresarse en el modelo codificados (-1 corresponde al nivel bajo y 1, al nivel alto)

Luego de los análisis de variables significativas, se obtuvieron los modelos lineales simples para poder realizar predicciones de cada uno de los parámetros de calidad analizados. La idea de crear estos modelos era poder encontrar un medio teórico para determinar el comportamiento de las características de calidad de las moras a través de la combinación de los tres diferentes factores analizados: temperatura, humedad relativa y daño mecánico. Principalmente se deseaba poder determinar si un producto bajo ciertas condiciones tendría la vida útil y características adecuadas para poder ser exportado sin problemas.

Se obtuvieron modelos para cada una de las características de calidad analizadas en los cuales se pueden ingresar valores codificados de temperatura, humedad relativa y daño mecánico y obtener un valor estimado del parámetro en un tiempo determinado. Es importante recordar que, si los valores de temperatura, humedad o daño que se desean no son los aplicados en este estudio, deben de interpolar los valores para hacer la equivalencia dentro del mismo sistema de codificación.

Al analizar los resultados de cada uno de los parámetros junto con el R cuadrado obtenido, se puede observar que el único parámetro con una relación significativa fue la pérdida de peso, con un R cuadrado de 0.92. Esto puede deberse a que la mora durante el almacenamiento sí tiene una pérdida de peso constante con un comportamiento lineal por lo que el modelo puede usarse para determinar el comportamiento de la pérdida de peso ante diferentes situaciones. Con este modelo podría establecerse un límite de pérdida de peso aceptable para una caja de moras y en base a eso determinar la vida útil de la mora.

Los demás modelos obtenidos tienen valores de R cuadrado por debajo de 0.5, lo que indica que los modelos logran explicar muy poco la variación de los datos y que no se ajustan al tipo de datos obtenidos. Esto no es deseable, ya que, si se utilizan, los resultados que se obtendrán no estarán apegados a la realidad de los datos. Los modelos predictivos de este tipo son una referencia teórica para determinar el comportamiento y la vida útil de los productos. Sin embargo, factores internos como el estado de madurez al momento de la cosecha y externos como la manipulación, humedad superficial, entre otros, pueden afectar significativamente el comportamiento durante el almacenamiento. Esto puede provocar que los cambios con el paso del tiempo no sigan un comportamiento lineal como el que predice el modelo.

A pesar de no salir con un nivel de significancia alto para ningún parámetro, la relación entre la temperatura y humedad relativa es un factor crítico para minimizar la diferencia de presión de vapor entre el producto y el ambiente y conservar mejor la mora. Por esto, el aumentar la humedad relativa, disminuir la temperatura del aire de circulación, minimizar la diferencia de temperatura entre el ambiente y la fruta, minimizar el movimiento de aire y almacenar en empaques adecuados, son prácticas recomendadas para disminuir la pérdida de peso, la reversión del color y el decaimiento.

El clima es un factor que puede afectar mucho el proceso, ya que, si la mora se humedece, el proceso de decaimiento se acelera por la aparición de moho gris. Por este motivo, es importante considerar las temporadas de lluvia y establecer temporadas de recolección de mora para exportación, la cual debe estar en las mejores condiciones posibles para poder llegar a su lugar de destino sin tener tantas pérdidas. Si la temporada alta de exportación coincide con la temporada lluviosa, deben buscarse alternativas en campo para poder proteger la mora y empacarla con la menor cantidad de humedad posible para aumentar su vida útil y poder exportar sin problemas.

También es importante considerar el momento de recolección, el cual debe realizarse en un horario adecuado para evitar tener rocío en el fruto que pueda aumentar el crecimiento microbiano en la superficie. Dentro de las tecnologías que se han usado en industrias más tecnificadas, se encuentran los sistemas de preenfriamiento en campo por medio del uso de corrientes de aire, lo cual puede contribuir con también con la eliminación de la humedad en exceso que tenga la mora. En el caso de productores

pequeños, se podrían emplear tecnologías más simples y accesibles como el uso de ventiladores y espacios de almacenamiento en campo que sean frescos. Por parte de los exportadores, es importante también tener una planificación adecuada de recolección para evitar tener el producto en campo sin enfriamiento más de 3-5 horas, lo cual ayudará a aumentar la vida útil y reducir la incidencia de defectos como pérdida de peso y reversión de color.

De los análisis de varianza y planteamiento de modelos, se puede decir que no todos los factores y sus interacciones fueron significativos en el deterioro de las moras durante su vida útil. El factor con el mayor impacto en el cambio de todos los parámetros fisicoquímicos de las moras fue la temperatura, por lo cual fue el único factor que se consideró para el estudio sensorial de vida útil. La humedad relativa del ambiente de almacenamiento fue el segundo factor significativo, principalmente en la pérdida de peso de las moras debido al cambio en la respiración por diferencial de presión de vapor que se puede generar entre el ambiente y el producto. Por último, el daño mecánico representó el factor externo con menor efecto en la modificación de las características de calidad posiblemente porque el equipo utilizado no fue el adecuado y la diferencia entre los niveles estudiados no fue la suficiente para causar un cambio. En general, se determinó por medio de los modelos que los parámetros analizados no tienen una correlación directa útil para la estimación de la vida útil de la mora. Los niveles bajos de R cuadrado de todos los modelos (a excepción del modelo de pérdida de peso) demuestran que la capacidad de predicción de los modelos es muy baja.

Para la determinación del tiempo de vida útil de las moras, se utilizó un método conocido como análisis de vida útil sensorial. Para ello, se utilizó un formulario con fotografías de moras con diferentes períodos de almacenamiento y se pasó el formulario a 60 consumidores. Se realizó de esta manera, ya que debido a la pandemia del COVID-19, no fue posible reunir a los consumidores para la aplicación de un panel sensorial. En el Cuadro 7, se muestran las imágenes utilizadas para el análisis de vida útil sensorial. Se eligieron las imágenes de esos días porque eran las que mostraban cambios más significativos en el tiempo y representaban el proceso de decaimiento de las moras.

Cuadro 7. Imágenes usadas en el formulario del análisis de vida útil sensorial

Día de almacenamiento	Temperatura ambiente (25°C)	Temperatura de refrigeración (4°C)
1		

Continuación Cuadro 7.

Día de almacenamiento	Temperatura ambiente (25°C)	Temperatura de refrigeración (4°C)
3		
5		
7	NA	

Continuación Cuadro 7.

Día de almacenamiento	Temperatura ambiente (25°C)	Temperatura de refrigeración (4°C)
12	NA	
14	NA	
15	NA	

En el formulario se les hizo la pregunta a las personas si comprarían o no el producto que se mostraba en la imagen (ver en Anexos D y E el formulario y sus respuestas, respectivamente). De las respuestas, se determinó que el comportamiento de los consumidores podría segmentarse en 3 tipos de consumidor,

- *Tipo de consumidor 1.* Este ilustra lo que se esperaba del estudio de vida útil, es decir, fue un consumidor que aceptó las muestras hasta cierto período de tiempo y luego las rechazó constantemente. Algunos rechazaron a partir del día

7, otros a partir del día 12 y otros a partir del día 14. Estos consumidores podrían tener una censura de izquierda o de intervalo dentro del análisis.

- *Tipo de consumidor 2.* Este representa a los consumidores que aceptaron las muestras de forma inconsistente. Algunos aceptaron las muestras en el día uno, la rechazaron en el día 7 y la volvieron a aceptar en el día 12. Se podría decir que los datos se encuentran con censura de intervalo entre el día 7 y 14. También hubo quienes rechazaron la muestra hasta el día 14 pero la volvieron a aceptar en el día 15, lo que se considera como censura de derecha, ya que no se sabe con certeza hasta que punto volverían a rechazar la muestra.

- *Tipo de consumidor 3.* Rechazaron la muestra inicialmente, es decir el producto casi fresco. Con estos consumidores pudo haber sucedido cualquiera de las siguientes opciones: a) fueron reclutados por equivocación y no eran consumidores de moras o b) no entendieron bien lo que se les pedía. En este caso, no sería razonable considerar sus resultados en el estudio de vida útil del producto. Tres consumidores presentaron este comportamiento y se descartaron sus respuestas.

Al hacer el análisis se obtuvo la información de los datos censurados como se muestra en el Cuadro 14, en el Anexo F, en el que se puede ver también que se descartaron los datos de los 3 consumidores tipo 3, por no ser relevantes para el análisis de vida útil. En el cuadro, la primera columna muestra el número de filas existentes; las segunda, el dato del número de panelista; la tercera y cuarta representan los intervalos bajo y alto de tiempo de rechazo del producto, para datos con censura a la derecha o izquierda muestran el mismo valor en ambas columnas; y la última, presenta el tipo de censura que tienen los datos del panelista. De la misma forma como se muestran estos datos, se obtuvieron los datos del análisis de vida útil a temperatura ambiente, sin embargo, con este, todos los consumidores tuvieron datos de censura de intervalo con días de rechazo entre 1 y 5, como muestra el Cuadro 15 en el Anexo F.

Con los datos censurados, se genera también un código para cada tipo de censura en donde 0 es hacia la derecha; dos, hacia la izquierda y tres, de intervalo. Se procedió a realizar el análisis de Weibull como análisis para la determinación de la vida útil de las moras almacenadas en diferentes condiciones de temperatura. Se utilizó el método de vida útil sensorial, ya que es un método que no requiere de panelistas entrenados y representa la forma más directa y real de elección de los consumidores. Los Cuadros 8 y 9 muestran los datos obtenidos estimados de vida útil junto con los valores inferior y superior del intervalo con un 95% de confianza.

Cuadro 8. Tiempo de vida estimado por medio del análisis de Weibull para moras almacenadas a 4°C

Porcentaje de rechazo deseado	Valor estimado	Valor inferior	Valor superior	Error
50%	11.151614	10.366483	11.996209	0.415377

De acuerdo con lo obtenido del análisis de Weibull para las moras almacenadas a 4°C, como se observa en el Cuadro 8., los consumidores aceptan visualmente una caja de moras hasta aproximadamente 11 días con un 50% de probabilidad. Esto quiere decir que, en el día 11, se tiene un 50% de probabilidad que los consumidores rechacen el producto, por lo que las pérdidas aumentan. El valor obtenido es menor al valor

esperado de 15 días, pero puede deberse a que las personas estaban observando únicamente imágenes del producto y no lo tenían de forma presencial o que el producto tuvo una menor vida útil por factores como los mencionados anteriormente de humedad inicial que pudieron haber acelerado su deterioro.

Cuadro 9. Tiempo de vida estimado por medio del análisis de Weibull para moras almacenadas a 25°C

Porcentaje de rechazo deseado	Valor estimado	Valor inferior	Valor superior	Error
50%	2.849599	1.133537e-05	7.163608e+0.5	18.07861

De acuerdo con lo obtenido del análisis de Weibull para las moras almacenadas a 25°C, se tiene un 50% de probabilidad de rechazo de caja de moras hasta aproximadamente 2 a 3 días. De igual forma, se obtuvo un menor tiempo al esperado de 5 días, sin embargo, en el caso del almacenamiento a temperatura ambiente esta reducción de tiempo solo confirma la necesidad del uso correcto de un sistema de refrigeración para el manejo de la mora, principalmente si se desea exportar, para que se tenga una mora con la menor cantidad de defectos hasta cumplir con por lo menos 10 días de almacenamiento.

Por medio del análisis sensorial de vida útil, se logró determinar con la opinión de 60 consumidores y un análisis estadístico, el tiempo de vida útil que podrían tendrían las cajas de moras almacenadas en dos temperaturas diferentes: 25°C y 4°C. Se determinó que el almacenamiento refrigerado sí incrementa significativamente la aceptación de las moras por parte de un consumidor, al retrasar el crecimiento microbiano y decaimiento del producto.

El enfoque del estudio de vida útil es analizar la probabilidad del consumidor de aceptar un producto luego de un tiempo de almacenamiento. Con la respuesta de 60 consumidores, se logró crear un modelo de la probabilidad de los consumidores de aceptar una caja de moras con solo verla en diferentes tiempos de almacenamiento y con ello determinar un tiempo de vida útil estimado para el producto. Se realizó el estudio de vida útil tomando en cuenta únicamente el factor con mayor significancia en todos los parámetros de calidad, la temperatura. Con los resultados, se estimó un tiempo de vida útil en almacenamiento refrigerado de 11 días y en almacenamiento a temperatura ambiente de casi 3 días. Para la mejora del estudio de vida útil se podría hacer el mismo estudio de forma presencial para ver si hay una diferencia en la aceptación visual por medio de fotografías y por medio de una visualización real del producto como simulando lo que se haría normalmente en un supermercado.

Con esta investigación se logró determinar que el factor que más afecta en la vida útil de las moras es la temperatura. Este es el factor que más debe controlarse durante toda la cadena de suministro de la mora para poder tener un producto de mejor calidad para exportación. Temperaturas bajas adecuadas como lo es 4°C-5°C, ayudan a la conservación de la fruta al disminuir la actividad enzimática y microbiana de frutas con altas tasas de respiración como la mora, dándole una vida útil de hasta 11 días. El factor de humedad relativa en el ambiente no fue un factor significativo durante el almacenamiento en la mayoría de los parámetros fisicoquímicos, únicamente en la pérdida de peso y sin embargo, tiene un gran impacto en la apariencia de la mora. Una

menor humedad relativa, produce una mayor pérdida de peso por deshidratación y provoca un cambio negativo en la apariencia de la fruta. Por último, el daño mecánico debe seguir siendo analizado, ya que es importante determinar hasta qué niveles de daño se pueden tener sin afectar significativamente el comportamiento de los parámetros de calidad de la mora.

VIII. CONCLUSIONES

- Se determinó que el factor que más afecta la vida útil de las moras es la temperatura. Al disminuir la temperatura de almacenamiento a 4°C, se logró disminuir el crecimiento microbiano y decaimiento de las moras, aumentando así, su vida útil.
- A pesar de que la humedad relativa no fue un factor significativo de acuerdo con los análisis de varianza, se determinó que el controlarla y mantenerla en niveles altos, ayuda a mantener en mejores condiciones la apariencia de las moras hasta el final de su vida útil y a disminuir la pérdida de peso.
- La diferencia de intensidades de daño mecánico utilizado no fue significativa en la vida útil y cambio en los parámetros de calidad de la mora.
- El único modelo predictivo con un coeficiente de determinación alto fue el modelo para la pérdida de peso. Este modelo puede ser utilizado para la determinación de la vida útil tomando una referencia del porcentaje de pérdida máximo que se desea tener.
- Se determinó por medio del análisis sensorial de vida útil y el método de Weibull, con un 95% de confianza, que: a temperatura ambiente, las moras tienen una vida útil de dos días, mientras que en refrigeración (4°C) puede llegar hasta once días.

IX. RECOMENDACIONES

Según los resultados obtenidos de este análisis y las observaciones realizadas en puntos específicos de la cadena de suministros, se recomienda:

- Debido a la falta de significancia del efecto del daño mecánico en las características de calidad analizadas en este estudio, estudiar diferentes niveles de vibración y tiempos para encontrar hasta qué punto la vibración comienza a ser un factor significativo en el deterioro de la mora.
- Seguir analizando el uso de modelos matemáticos para poder encontrar los mejores modelos que se ajusten a procesos de postcosecha. Dentro de ellos, puede analizarse un modelo logarítmico por el comportamiento de los datos.
- Estudiar la interrelación entre otros factores, diferentes de los que se analizaron en este estudio, como el tipo de cultivo, la altura de los cultivos, la temporada de cosecha, etc., para complementar esta investigación y encontrar las mejores condiciones no solo de almacenamiento y transporte, sino también de cosecha.
- Para complementar estos resultados, realizar estudios en diferentes épocas del año, en época lluviosa y época seca para determinar las mejores prácticas dependiendo del comportamiento en las diferentes épocas de cosecha, a manera de tener siempre una buena cadena de suministro que mantenga las características de las moras en la mejor calidad.
- Estudiar otros procesos como el uso de atmósferas modificadas, tratamientos con radiación para eliminar carga microbiana u otras tecnologías emergentes que puedan usarse para mantener la mora en una calidad óptima para poder comercializar en un mercado más competitivo.
- Estandarizar el método de análisis sensorial virtual, estandarizando la toma de fotografías para poder tener imágenes más comparables al momento de hacer las encuestas.
- Estandarizar también las preguntas del método de análisis sensorial virtual para poder filtrar de mejor forma a los participantes y sus respuestas.
- Estudiar con mayor profundidad sistemas de monitoreo que permitan controlar los ambientes internos de las cajas de mora, de esta forma se tendrá un control no solo de la temperatura externa sino interna de la mora para poder tener un historial y según eso determinar el estado de esta como lo realizan Do Nascimento, *et. al*, 2014 en su estudio sobre el mejoramiento de la calidad de la fruta fresca por medio de un análisis logístico.
- Analizar otras formas en las que se pueda procesar para incursionar en nuevos mercados que puedan traer altos niveles de rentabilidad a las empresas guatemaltecas. Esto puede ser útil para temporadas lluviosas o muy calurosas en donde los factores externos pueden reducir drásticamente la vida útil de la mora
- Difundir la investigación y promover investigación en el manejo postcosecha por el alto potencial del país para la producción de una gran variedad de productos agrícolas.

X. BIBLIOGRAFÍA

1. AGEXPORT (2020). *Comité de berries*. Extraído de: <https://export.com.gt/publico/comite-de-berries>
2. Alija, Josean (2015) *La mora*. Extraído de: <http://www.joseanalija.com/mora/> , Fecha de consulta: diciembre ,2020.
3. Anderson, D.R., Sweeney, D.J., Williams, T.A., Camm, J.D. y Cochran, J.J. (2016) *Estadística para negocios y Economía*. México DF., México. Cengage Learning Editorial.
4. Arazuri, S., Arana, I. y Jaren, C. (2010). *Evaluation of Mechanical Tomato Harvesting Using Wireless Sensors*. Sensors Journal. Sensors2010 (10) 11126-11143. doi:10.3390/s101211126
5. Armour, M.F. Worthington, M.L, Clark, J.R. (2019). *Effect of Harvest Time on Red Druplet Reversion in Blackberry (Rubus subgenus Rubus)*. University of Arkansas, Division of Agriculture.
6. Ayala, L.C., Valenzuela, C.P. y Bohórquez, Y. (2013) *Caracterización fisicoquímica de mora de castilla (Rubus glaucus Benth)* Biología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. 11(2) 10-18.
7. Cajamar (2014) *Parámetros de calidad interna de hortalizas y frutas en la industria agroalimentaria*. Fichas de Transferencia (005). Extraído de: <http://chilorg.chil.me/download-doc/86426>; fecha de consulta: abril, 2020
8. Castro Retana, J.J. y Cerdas Araya, M. Del M. (2005). *Mora (Rubus spp) Cultivo y Manejo Poscosecha*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José, C.R. 95p ISBN 9968-877-15-8
9. Clark, J.R. y Finn, C.E. (2011) *Blackberry Breeding and Genetics*. Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology. 5(Special Issue 1) 27-43.
10. Clark, J.R. y 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>
11. Do Nascimento Nunes, M.C., Nicometo, M., Emond, J.P., Melis, R.B. y Uysal, I. (2014) *Improvement in fresh fruit and vegetable logistics quality: berry logistics eld studies*. *Phil. Trans. R. Soc. A* **372**: 20130307. <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2013.0307>

12. Edgley, M, Close, D.C. y Measham, P.F. (2020) *Red druplet reversion in blackberries: A complex of genetic, and environmental factors*. Scientia Horticulturae 272(2020). 109555. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109555>
13. Escobar, C.M. (2013) *Rendimiento y calidad de dos variedades de mora: Ciudad Vieja, Sacatepéquez. Sistematización de práctica profesional*. Extraído de: <http://biblio3.url.edu.gt/Tesario/2013/06/17/Escobar-Carina.pdf>. fecha de consulta, enero, 2021.
14. Espino Timón, C. (2017) *Análisis predictivo: técnicas y modelos utilizados y aplicaciones del mismo – herramientas Open Source que permiten su uso* (Trabajo de Fin de Grado). Universitat Oberta de Catalunya, España.
15. Faulín, J, y Juan, A.A. (2005). *Simulación de Monte Carlo con excel*. Ciencia y Técnica Administrativa. 5 (1). ISSN 1666-1680
16. Fiestas Sorogastúa, E. y Prado Gardini, S. (2018) *Sensores tipo fruto electrónico: Aplicabilidad en procesos agroindustriales y metodología para su desarrollo*. Scientia Agropecuaria, 9(3), 441-459. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.03.16>
17. Gutiérrez, J.L. (2017) *Diseño experimental factorial*. Centro Universitario UAEM Zumpango. Recuperado en mayo, 2020 de: http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/70079/secme-3276_1.pdf?sequence=1
18. Herrera-González, J.A. y Salazar-García, S. (2017) *Impactos al fruto de aguacate 'Hass' en la línea de empaque y su efecto en la calidad poscosecha*. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 8(spe19), 4049-4061. <https://dx.doi.org/10.29312/remexca.v0i19.672>
19. Horvits, S. (2017). *Post-Harvest Handling of Berries*. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.69073>
20. Hough, G. (2010). *Sensory shelf-life estimation of food products*. CRC Press.
21. Hough, G, Langohr, K, Gómez, G. y Curia, A. (2003) *Survival Analysis applied to Sensory Shelf Life of Foods*. JFS: Sensory and Nutritive Qualities of Food. 68(1). 359-362.
22. Hunterlab (2016) *CIE L*a*b Color Scale. Applications Note*. Extraído de: <https://support.hunterlab.com/hc/en-us/articles/203996325-CIE-L-a-b-Color-Scale-an07-96a>; fecha de consulta: abril, 2020.
23. Hunterlab (2019). *Hunter L, a, b Versus Cie 1976 L*a*b. Applications Note*. Extraído de: <https://support.hunterlab.com/hc/en-us/articles/203993105-Hunter-L-a-b-Versus-CIE-1976-L-a-b-an02-01>; fecha de consulta: abril, 2020.

24. Lawrence, B. y Melgar, J.C. (2018). *Harvest, Handling, and Storage Recommendations for improving Postharvest Quality of Blackberry Cultivars*. HortTechnology. 28(5) 578-583. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH04062-18>
25. Lee, J. (2017) *Blackberry fruit quality components, composition, and potential health benefits*. En: H. Hall, R. Funt (Ed.), *Blackberries and their hybrids*. (pp.49-62) Parma, Estados Unidos: CAB International.
26. Mitcham, E.J., Crisosto, C.H. y Kader, A.A. (1998). *Bushberries: Recommendations for Maintaining Postharvest Quality*. Obtenido de: http://postharvest.ucdavis.edu/Commodity_Resources/Fact_Sheets/Datastores/Fruit_English/index.cfm?uid=12&ds=798#. Fecha de consulta: marzo 2020
27. Moreno, B.L., Oyola, Y.A. (2016). *Caracterización de parámetros fisicoquímicos en frutos de mora (Rubus alpinus Macfad)*. Acta Agron. 65(2), 130-136. ISSN 0120-2812 | e-ISSN 2323-0118.
28. Napolitano, H. (2010). *Diseño de experimentos*. Journal Article
29. Palharini, M.C. de A., Fischer, I.H., Vegian, M.R. da C., Fileti, M. de S., Montes, S.N.M.N. (2015). *Effect of storage temperature on blackberry postharvest conservation*. Pesq. Agropec. Trop., Goiânia. 45(4) p. 413-419. e-ISSN 1983-4063
30. Pérez-Pérez, G.A., Fabela-Gallegos, M.J., Vázquez-Barrios, M.E., Rivera-Pastrana, D.M., Palma-Tirado, L., Mercado-Silva, E. y Escalona, V. (2018). *Effect of the transport vibration on the generation of the color reversion in blackberry fruit*. Acta Hortic. 1194, 1329-1336. DOI: 10.17660/ActaHortic.2018.1194.187 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1194.187>
31. Perkins-Veazie, P., Collins, J.K. y Clark, J.R. (1998). *Shelf-life and quality of "Navaho" and "Shawnee" blackberry fruit stored under retail storage conditions*. Journal of Food Quality. 22(1999) 535-544.
32. Quality One International (2020) *Weibull Analysis. Reliability Life Data Analysis*. Extraído de: <https://quality-one.com/weibull/#:~:text=Weibull%20Analysis%20is%20a%20methodology,field%20or%20laboratory%20test%20data>. Fecha de consulta: diciembre 2020
33. Retamales, J.B. (2011). *World Temperate Fruit Production: Characteristics and Challenges*. Revista Brasileira de Fruticultura. 33(spe1). 121-130. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000500015>
34. Roa, Y.H.H., Fruett, F. y Ferreira, M.D. (2013). *Real time measurement system based on wireless instrumented sphere*. SpringerPlus. 2(582). doi:10.1186/2193-1801-2-582

35. Segatini, D.M., Threlfall, R., Clark, J.R., Brownmiller, C.R., Howard, L.R., Lawless, L.J.R. (2017). *Changes in fresh-market and sensory attributes of blackberry genotypes after postharvest storage*. Journal of Berry Research. 7(2017) 129-145. DOI:10.3233/JBR-170153
36. Torres, J.D., Gonzáles, K.J. y Acevedo, D. (2014) *Análisis del perfil de textura en frutas, productos cárnicos y quesos*. Revista CieTeIA 14(2). 63-75
37. Tosun, I., Utsun, N.S. y Tekguler, B. (2008) *Physical and Chemical Changes during ripening of blackberry fruits*. Sci. Agric. 65(1). 87-90
38. USDA. (2020). *US. Imports*. Recuperado en febrero 2020 de: <https://www.ers.usda.gov/data-products/fruit-and-tree-nut-data/data-by-category/>
39. Vergara, M.F., Vargas, J. y Acuña, J.F. (2016). *Physicochemical characteristics of blackberry (Rubus glaucus Benth.) Fruits from four production zones of Cundinamarca, Colombia*. Agronomía Colombiana. 34(3). 336-345
40. Yu, P., Li, C., Takeda, F. y Krewer, G. (2014). *Visual Bruise Assessment and Analysis of Mechanical Impact Measurement in Southern Highbush Blueberries*. American Society of Agricultural and Biological Engineers. 30(1). 29-37. DOI 10.13031/aea.30.10224
41. Zhao, Y. (2007). *Berry Fruit. Value-Added Products for Health Promotion*. CRC Press. Taylor & Francis Group. Boca Ratón, Florida. 442p. ISBN: 978-1-4200-0614-8

XI. ANEXOS

A. Resultados de ANOVAS de la relación de los diferentes factores analizados con los parámetros de calidad.

Figura 21. ANOVA de relación de factores con acidez titulable de las moras

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Temp	1	0.230	0.2304	4.077	0.045449 *
HumRel	1	0.680	0.6797	12.027	0.000704 ***
Dano	1	0.036	0.0355	0.629	0.429110
Dia	1	1.695	1.6946	29.986	2.05e-07 ***
Residuals	135	7.629	0.0565		

 Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
 84 observations deleted due to missingness

Figura 22. ANOVA de relación de factores con pH de las moras

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Temp	1	0.158	0.1582	4.083	0.04531 *
HumRel	1	0.015	0.0155	0.400	0.52841
Dano	1	0.000	0.0000	0.000	0.98291
Dia	1	0.517	0.5172	13.344	0.00037 ***
Residuals	135	5.232	0.0388		

 Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
 84 observations deleted due to missingness

Figura 23. ANOVA de relación de factores con sólidos solubles (°Brix) de las moras

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Temp	1	0.16	0.1607	0.531	0.4675
HumRel	1	0.06	0.0643	0.213	0.6455
Dano	1	0.34	0.3388	1.119	0.2920
Dia	1	1.12	1.1233	3.711	0.0562 .
Residuals	131	39.65	0.3027		

 Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
 88 observations deleted due to missingness

Figura 24. ANOVA de relación de factores con el porcentaje de reversión de las cajas de mora

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Temp	1	0.226	0.22579	6.822	0.0103 *
HumRel	1	0.051	0.05142	1.553	0.2153
Dano	1	0.001	0.00134	0.040	0.8409
Dia	1	0.011	0.01126	0.340	0.5608
Residuals	111	3.674	0.03310		

 Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
 92 observations deleted due to missingness

Figura 25. ANOVA de relación de factores con la pérdida de peso de las cajas de mora

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Temp	1	525.5	525.5	120.723	< 2e-16 ***
HumRel	1	156.0	156.0	35.835	1.74e-08 ***
Dano	1	1.4	1.4	0.321	0.572
Dia	1	1730.9	1730.9	397.655	< 2e-16 ***
Residuals	139	605.0	4.4		

 Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
 80 observations deleted due to missingness

Figura 26. ANOVA de relación de factores con el decaimiento de las moras

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Temp	1	141.9	141.9	7.954	0.00555 **
HumRel	1	0.5	0.5	0.029	0.86532
Dano	1	0.1	0.1	0.005	0.94556
Dia	1	341.3	341.3	19.135	2.46e-05 ***
Residuals	131	2336.8	17.8		

 Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
 88 observations deleted due to missingness

Figura 27. ANOVA de relación de factores con el cambio de textura de las moras

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Temp	1	1993	1993.1	6.396	0.0126 *
HumRel	1	19	18.5	0.060	0.8076
Dano	1	633	633.0	2.031	0.1564
Dia	1	865	865.2	2.777	0.0980 .
Residuals	135	42070	311.6		

 Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
 84 observations deleted due to missingness

B. Verificación de la concentración de la solución de hidróxido de sodio para la determinación de acidez titulable en moras.

Cuadro 10. Verificación de la concentración de la solución de hidróxido de sodio para la titulación

Peso de patrón de ftalato de potasio (g)	Volumen de Hidróxido de sodio usado (ml)	Normalidad
0.5109	3.40	0.7358
0.5112	3.45	0.7256
0.5110	3.425	0.7306
PROMEDIO		0.7306

C. Datos obtenidos de los parámetros fisicoquímicos de la mora en el tiempo bajo diferentes condiciones

Cuadro 11. Resultados de pH, acidez y textura de las moras a lo largo de los días de almacenamiento.

Prueba	Temp	HumRel	Daño	Réplica	Día	pH	Acidez	Textura
1	-1	-1	-1	1	0	2.99	1.7622072	136.3
1	-1	-1	-1	2	0	3.23	1.6643068	161
2	-1	-1	1	1	0	2.99	1.7622072	136.3
2	-1	-1	1	2	0	3.23	1.6643068	161
3	-1	1	-1	1	0	2.99	1.7622072	136.3
3	-1	1	-1	2	0	3.23	1.6643068	161
4	-1	1	1	1	0	2.99	1.7622072	136.3
4	-1	1	1	2	0	3.23	1.6643068	161
5	1	-1	-1	1	0	2.99	1.7622072	136.3
5	1	-1	-1	2	0	3.23	1.6643068	161
6	1	-1	1	1	0	2.99	1.7622072	136.3
6	1	-1	1	2	0	3.23	1.6643068	161
7	1	1	-1	1	0	2.99	1.7622072	136.3
7	1	1	-1	2	0	3.23	1.6643068	161
8	1	1	1	1	0	2.99	1.7622072	136.3
8	1	1	1	2	0	3.23	1.6643068	161
1	-1	-1	-1	1	1	2.5	1.958008	141
1	-1	-1	-1	2	1	2.51	2.1538088	126.4
2	-1	-1	1	1	1	2.82	1.99215930 2	136.2
2	-1	-1	1	2	1	2.32	2.09107650 5	115.4

Continuación Cuadro 11.

Prueba	Temp	HumRel	Daño	Réplica	Día	pH	Acidez	Textura
3	-1	1	-1	1	1	2.55	1.36786986	131.2
3	-1	1	-1	2	1	2.7	1.958008	117.4
4	-1	1	1	1	1	2.46	1.838050988	134.6
4	-1	1	1	2	1	2.85	1.657676096	128.8
5	1	-1	-1	1	1	2.73	1.043360837	152.4
5	1	-1	-1	2	0	3.23	1.6643068	161
6	1	-1	1	1	0	2.99	1.7622072	136.3
6	1	-1	1	2	0	3.23	1.6643068	161
7	1	1	-1	1	0	2.99	1.7622072	136.3
7	1	1	-1	2	0	3.23	1.6643068	161
8	1	1	1	1	0	2.99	1.7622072	136.3
8	1	1	1	2	0	3.23	1.6643068	161
1	-1	-1	-1	1	1	2.5	1.958008	141
1	-1	-1	-1	2	1	2.51	2.1538088	126.4
2	-1	-1	1	1	1	2.82	1.992159302	136.2
2	-1	-1	1	2	1	2.32	2.091076505	115.4
3	-1	1	-1	1	1	2.55	1.36786986	131.2
3	-1	1	-1	2	1	2.7	1.958008	117.4
4	-1	1	1	1	1	2.46	1.838050988	134.6
4	-1	1	1	2	1	2.85	1.657676096	128.8
5	1	-1	-1	1	1	2.73	1.043360837	152.4
5	1	-1	-1	2	1	2.56	1.950207171	110.2
6	1	-1	1	1	1	2.7	1.8601076	140.6
6	1	-1	1	2	1	2.79	1.958008	128
7	1	1	-1	1	1	2.75	1.453966337	124
7	1	1	-1	2	1	2.8	1.85639481	132.4
8	1	1	1	1	1	2.49	2.04771753	155
8	1	1	1	2	1	2.65	1.852696813	122
1	-1	-1	-1	1	2	2.7	1.950207171	93.4
1	-1	-1	-1	2	2	2.48	2.0559084	137.6
2	-1	-1	1	1	2	2.49	2.340248606	152
2	-1	-1	1	2	2	2.56	2.238279523	100
3	-1	1	-1	1	2	2.43	2.225009091	135.4
3	-1	1	-1	2	2	2.55	1.96926092	134.6
4	-1	1	1	1	2	2.68	1.755186454	153.4
4	-1	1	1	2	2	2.55	1.741311462	146.2
5	1	-1	-1	1	2	2.86	1.8601076	173.8
5	1	-1	-1	2	2	2.77	1.720905469	132
6	1	-1	1	1	2	2.7	1.75868982	141.8
6	1	-1	1	2	2	2.95	1.553974603	159.8

Continuación Cuadro 11.

Prueba	Temp	HumRel	Daño	Réplica	Día	pH	Acidez	Textura
7	1	1	-1	1	2	2.67	1.557064016	158.2
7	1	1	-1	2	2	2.67	1.75868982	154.4
8	1	1	1	1	2	2.66	1.5664064	160
8	1	1	1	2	2	2.68	1.657676096	134.6
1	-1	-1	-1	1	3	2.75	1.912117188	139.8
1	-1	-1	-1	2	3	2.77	1.9540998	127.5
2	-1	-1	1	1	3	2.53	1.923387033	151.3
2	-1	-1	1	2	3	2.68	2.04771753	131.8
3	-1	1	-1	1	3	2.44	1.99498827	137.8
3	-1	1	-1	2	3	2.53	1.79894352	122
4	-1	1	1	1	3	2.5	2.13248396	132.2
4	-1	1	1	2	3	3.13	1.3706056	114.8
5	1	-1	-1	1	3	3.1	1.262604365	163
5	1	-1	-1	2	3	2.94	1.35435336	155
6	1	-1	1	1	3	2.93	1.252662598	168.4
6	1	-1	1	2	3	2.92	1.459747515	160.6
7	1	1	-1	1	3	2.97	1.346370923	162.2
7	1	1	-1	2	3	3.04	1.267634661	159.8
8	1	1	1	1	3	2.84	2.617139406	138
8	1	1	1	2	3	3.1	1.453966337	182.8
1	-1	-1	-1	1	4	2.63	1.845344841	167.4
1	-1	-1	-1	2	4	2.78	1.841690693	139
2	-1	-1	1	1	4	2.63	2.1538088	113.8
2	-1	-1	1	2	4	2.64	1.938621782	152.2
3	-1	1	-1	1	4	2.74	1.965495602	141.1
3	-1	1	-1	2	4	2.65	1.811250285	149.4
4	-1	1	1	1	4	2.67	1.68149542	147
4	-1	1	1	2	4	2.78	1.66098483	162.4
5	1	-1	-1	1	4	NA	NA	NA
5	1	-1	-1	2	4	NA	NA	NA
6	1	-1	1	1	4	NA	NA	NA
6	1	-1	1	2	4	NA	NA	NA
7	1	1	-1	1	4	NA	NA	NA
7	1	1	-1	2	4	NA	NA	NA
8	1	1	1	1	4	NA	NA	NA
8	1	1	1	2	4	NA	NA	NA
1	-1	-1	-1	1	5	2.72	1.823634902	160.4
1	-1	-1	-1	2	5	2.81	1.499462648	107.2

Continuación Cuadro 11.

Prueba	Temp	HumRel	Daño	Réplica	Día	pH	Acidez	Textura
2	-1	-1	1	1	5	2.65	2.136715079	122.4
2	-1	-1	1	2	5	2.68	2.111577255	169.4
3	-1	1	-1	1	5	2.58	1.75868982	137.7
3	-1	1	-1	2	5	2.8	1.727654118	157.9
4	-1	1	1	1	5	2.7	1.706431275	167
4	-1	1	1	2	5	2.66	1.905247305	130.9
5	1	-1	-1	1	5	NA	NA	NA
5	1	-1	-1	2	5	NA	NA	NA
6	1	-1	1	1	5	NA	NA	NA
6	1	-1	1	2	5	NA	NA	NA
7	1	1	-1	1	5	NA	NA	NA
7	1	1	-1	2	5	NA	NA	NA
8	1	1	1	1	5	NA	NA	NA
8	1	1	1	2	5	NA	NA	NA
1	-1	-1	-1	1	6	2.69	2.238279523	116.6
1	-1	-1	-1	2	6	2.67	2.0559084	118.4
2	-1	-1	1	1	6	2.77	1.834425641	140.6
2	-1	-1	1	2	6	2.82	1.751697018	174.8
3	-1	1	-1	1	6	2.77	1.75868982	144.1
3	-1	1	-1	2	6	2.83	1.560165737	139.7
4	-1	1	1	1	6	2.66	1.841690693	129.4
4	-1	1	1	2	6	2.72	1.673102539	142.2
5	1	-1	-1	1	6	NA	NA	NA
5	1	-1	-1	2	6	NA	NA	NA
6	1	-1	1	1	6	NA	NA	NA
6	1	-1	1	2	6	NA	NA	NA
7	1	1	-1	1	6	NA	NA	NA
7	1	1	-1	2	6	NA	NA	NA
8	1	1	1	1	6	NA	NA	NA
8	1	1	1	2	6	NA	NA	NA
1	-1	-1	-1	1	7	2.63	1.748221429	156.8
1	-1	-1	-1	2	7	2.67	1.905247305	136.6
2	-1	-1	1	1	7	2.72	1.734455906	150.2
2	-1	-1	1	2	7	2.79	1.930974359	129
3	-1	1	-1	1	7	2.97	1.349387643	150.5
3	-1	1	-1	2	7	2.84	1.927173228	152
4	-1	1	1	1	7	2.7	1.748221429	152.8
4	-1	1	1	2	7	2.62	1.886420751	116.8
5	1	-1	-1	1	7	NA	NA	NA
5	1	-1	-1	2	7	NA	NA	NA

Continuación Cuadro 11.

Prueba	Temp	HumRel	Daño	Réplica	Día	pH	Acidez	Textura
6	1	-1	1	1	7	NA	NA	NA
6	1	-1	1	2	7	NA	NA	NA
7	1	1	-1	1	7	NA	NA	NA
7	1	1	-1	2	7	NA	NA	NA
8	1	1	1	1	7	NA	NA	NA
8	1	1	1	2	7	NA	NA	NA
1	-1	-1	-1	1	8	2.75	2.04771753	114.6
1	-1	-1	-1	2	8	3.28	1.362431014	144
2	-1	-1	1	1	8	2.74	1.934790514	114.8
2	-1	-1	1	2	8	2.82	1.654380517	134.6
3	-1	1	-1	1	8	2.67	1.852696813	99.6
3	-1	1	-1	2	8	2.7	1.9540998	104
4	-1	1	1	1	8	2.83	1.56327984	131.2
4	-1	1	1	2	8	2.96	1.453966337	136.8
5	1	-1	-1	1	8	NA	NA	NA
5	1	-1	-1	2	8	NA	NA	NA
6	1	-1	1	1	8	NA	NA	NA
6	1	-1	1	2	8	NA	NA	NA
7	1	1	-1	1	8	NA	NA	NA
7	1	1	-1	2	8	NA	NA	NA
8	1	1	1	1	8	NA	NA	NA
8	1	1	1	2	8	NA	NA	NA
1	-1	-1	-1	1	9	2.69	2.194648343	119
1	-1	-1	-1	2	9	3.02	1.631673333	168.4
2	-1	-1	1	1	9	2.77	1.841690693	141.8
2	-1	-1	1	2	9	2.72	1.942468254	130.8
3	-1	1	-1	1	9	2.8	1.889969112	132.6
3	-1	1	-1	2	9	2.82	1.727654118	130.6
4	-1	1	1	1	9	2.92	1.442540275	138
4	-1	1	1	2	9	2.98	1.505412897	150
5	1	-1	-1	1	9	NA	NA	NA
5	1	-1	-1	2	9	NA	NA	NA
6	1	-1	1	1	9	NA	NA	NA
6	1	-1	1	2	9	NA	NA	NA
7	1	1	-1	1	9	NA	NA	NA
7	1	1	-1	2	9	NA	NA	NA
8	1	1	1	1	9	NA	NA	NA
8	1	1	1	2	9	NA	NA	NA
1	-1	-1	-1	1	10	2.67	2.115725737	157.6
1	-1	-1	-1	2	10	2.78	1.965495602	138.6

Continuación Cuadro 11.

Prueba	Temp	HumRel	Daño	Réplica	Día	pH	Acidez	Textura
2	-1	-1	1	1	10	2.89	1.852696813	144.2
2	-1	-1	1	2	10	2.82	2.007723047	135.2
3	-1	1	-1	1	10	3.06	1.267634661	119.6
3	-1	1	-1	2	10	3.08	1.36786986	155
4	-1	1	1	1	10	3.1	1.459747515	159.8
4	-1	1	1	2	10	2.79	1.942468254	140.2
5	1	-1	-1	1	10	NA	NA	NA
5	1	-1	-1	2	10	NA	NA	NA
6	1	-1	1	1	10	NA	NA	NA
6	1	-1	1	2	10	NA	NA	NA
7	1	1	-1	1	10	NA	NA	NA
7	1	1	-1	2	10	NA	NA	NA
8	1	1	1	1	10	NA	NA	NA
8	1	1	1	2	10	NA	NA	NA
1	-1	-1	-1	1	11	2.98	1.605722266	129.8
1	-1	-1	-1	2	11	2.82	1.849013519	139.2
2	-1	-1	1	1	11	2.88	1.53268728	181.8
2	-1	-1	1	2	11	2.88	1.66098483	152.8
3	-1	1	-1	1	11	2.87	1.593053846	113
3	-1	1	-1	2	11	3.01	1.247750196	120.2
4	-1	1	1	1	11	3.03	1.357035248	166.2
4	-1	1	1	2	11	2.98	1.402723123	158.4
5	1	-1	-1	1	11	NA	NA	NA
5	1	-1	-1	2	11	NA	NA	NA
6	1	-1	1	1	11	NA	NA	NA
6	1	-1	1	2	11	NA	NA	NA
7	1	1	-1	1	11	NA	NA	NA
7	1	1	-1	2	11	NA	NA	NA
8	1	1	1	1	11	NA	NA	NA
8	1	1	1	2	11	NA	NA	NA
1	-1	-1	-1	1	12	3.1	1.298286248	166.8
1	-1	-1	-1	2	12	2.99	1.48189082	156.6
2	-1	-1	1	1	12	2.98	1.550897426	160
2	-1	-1	1	2	12	3.1	1.459747515	156.8
3	-1	1	-1	1	12	3.22	1.204483268	166.2
3	-1	1	-1	2	12	2.83	1.66098483	139.8
4	-1	1	1	1	12	3.18	1.265114513	179.8
4	-1	1	1	2	12	2.83	1.741311462	130.8
5	1	-1	-1	1	12	NA	NA	NA
5	1	-1	-1	2	12	NA	NA	NA

Continuación Cuadro 11.

Prueba	Temp	HumRel	Daño	Réplica	Día	pH	Acidez	Textura
6	1	-1	1	1	12	NA	NA	NA
6	1	-1	1	2	12	NA	NA	NA
7	1	1	-1	1	12	NA	NA	NA
7	1	1	-1	2	12	NA	NA	NA
8	1	1	1	1	12	NA	NA	NA
8	1	1	1	2	12	NA	NA	NA
1	-1	-1	-1	1	13	NA	NA	NA
1	-1	-1	-1	2	13	NA	NA	NA
2	-1	-1	1	1	13	NA	NA	NA
2	-1	-1	1	2	13	NA	NA	NA
3	-1	1	-1	1	13	2.86	1.397200591	143.8
3	-1	1	-1	2	13	2.8	1.45685119	130
4	-1	1	1	1	13	2.92	1.250201572	125.2
4	-1	1	1	2	13	3.09	1.265114513	124.6
5	1	-1	-1	1	13	NA	NA	NA
5	1	-1	-1	2	13	NA	NA	NA
6	1	-1	1	1	13	NA	NA	NA
6	1	-1	1	2	13	NA	NA	NA
7	1	1	-1	1	13	NA	NA	NA
7	1	1	-1	2	13	NA	NA	NA
8	1	1	1	1	13	NA	NA	NA
8	1	1	1	2	13	NA	NA	NA

Cuadro 12. Resultados de pérdida de peso, reversión, brix y decaimiento de las moras a lo largo de los días de almacenamiento.

Prueba	Temp	HumRel	Daño	Réplica	Día	Peso	Reversión	Brix	DEC
1	-1	-1	-1	1	0	0	0.7	9.3	0
1	-1	-1	-1	2	0	0	0.3333333333	8.1	0
2	-1	-1	1	1	0	0	0.117647059	9.3	0
2	-1	-1	1	2	0	0	0.5	8.1	0
3	-1	1	-1	1	0	0	0.526315789	9.3	0
3	-1	1	-1	2	0	0	0.04	8.1	0
4	-1	1	1	1	0	0	0.05	9.3	0
4	-1	1	1	2	0	0	0.291666667	8.1	0

Continuación Cuadro 12.

Prueba	Temp	HumRel	Daño	Réplica	Día	Peso	Reversión	Brix	DEC
5	1	-1	-1	1	0	0	0.277777778	9.3	0
5	1	-1	-1	2	0	0	0.315789474	8.1	0
6	1	-1	1	1	0	0	0.08	9.3	0
6	1	-1	1	2	0	0	0.08	8.1	0
7	1	1	-1	1	0	0	0.285714286	9.3	0
7	1	1	-1	2	0	0	0.375	8.1	0
8	1	1	1	1	0	0	0.076923077	9.3	0
8	1	1	1	2	0	0	0.238095238	8.1	0
1	-1	-1	-1	1	1	0.07	0.083333333	8.0624	0
1	-1	-1	-1	2	1	1.01	0.714285714	7.7548	0
2	-1	-1	1	1	1	1.17	0.894736842	8.1766	0
2	-1	-1	1	2	1	1.36	0.666666667	7.7828	0
3	-1	1	-1	1	1	1.04	0.04	8.0624	0
3	-1	1	-1	2	1	0.76	0.476190476	8.356	0
4	-1	1	1	1	1	0.76	0.16	8.857	0
4	-1	1	1	2	1	0.52	0.111111111	7.7618	0
5	1	-1	-1	1	1	0.81	0.277777778	8.0554	0
5	1	-1	-1	2	1	0.93	0.08	7.6686	0
6	1	-1	1	1	1	0.65	0.04	7.862	0
6	1	-1	1	2	1	0.79	0.142857143	7.7758	0
7	1	1	-1	1	1	1	0	8.2558	4.76
7	1	1	-1	2	1	0.93	0.045454545	8.356	4.17
8	1	1	1	1	1	1.02	0.375	7.2568	0
8	1	1	1	2	1	0.87	0.038461538	7.354	0
1	-1	-1	-1	1	2	2.04	0.277777778	8.1124	0
1	-1	-1	-1	2	2	1.66	0.318181818	8.213	0
2	-1	-1	1	1	2	1.56	0.777777778	7.9112	0
2	-1	-1	1	2	2	1.14	0.227272727	7.6094	0
3	-1	1	-1	1	2	1.07	0.192307692	8.213	0
3	-1	1	-1	2	2	1.37	0.391304348	8.4134	0
4	-1	1	1	1	2	1.78	0.529411765	8.4204	0
4	-1	1	1	2	2	2.19	0.16	9.4224	0

Continuación Cuadro 12.

Prueba	Temp	HumRel	Daño	Réplica	Día	Peso	Reversión	Brix	DEC
5	1	-1	-1	1	2	1.99	NA	8.8142	11.11
5	1	-1	-1	2	2	1.92	NA	7.8106	4
6	1	-1	1	1	2	1.71	NA	8.5858	0
6	1	-1	1	2	2	2.05	NA	7.9042	9.52
7	1	1	-1	1	2	1.6	NA	7.8844	4.35
7	1	1	-1	2	2	1.78	NA	7.71	4.55
8	1	1	1	1	2	2.01	NA	7.3076	12.5
8	1	1	1	2	2	1.98	NA	7.9112	0
1	-1	-1	-1	1	3	2.42	0.041666667	8.0778	0
1	-1	-1	-1	2	3	2.04	0.285714286	8.4856	0
2	-1	-1	1	1	3	2.17	0.588235294	7.4696	0
2	-1	-1	1	2	3	0.31	0.380952381	7.9566	0
3	-1	1	-1	1	3	2.64	0.208333333	8.1334	0
3	-1	1	-1	2	3	1.58	0.090909091	7.6234	0
4	-1	1	1	1	3	1.66	0.210526316	7.207	0
4	-1	1	1	2	3	2.69	0.24	7.3076	0
5	1	-1	-1	1	3	2.79	NA	7.7702	0
5	1	-1	-1	2	3	2.82	NA	6.9506	25
6	1	-1	1	1	3	2.54	NA	7.5628	8.7
6	1	-1	1	2	3	2.12	NA	8.0638	0
7	1	1	-1	1	3	2.23	NA	8.5578	11.76
7	1	1	-1	2	3	2.26	NA	8.3574	16.67
8	1	1	1	1	3	0.51	NA	7.9846	0
8	1	1	1	2	3	2.51	NA	7.691	9.52
1	-1	-1	-1	1	4	3.54	0.095238095	7.92248	0
1	-1	-1	-1	2	4	3.82	0.185185185	7.72868	2.76
2	-1	-1	1	1	4	4.32	0.315789474	7.8634	0
2	-1	-1	1	2	4	4.06	0.3	7.9566	0
3	-1	1	-1	1	4	2.99	0.076923077	8.9446	0
3	-1	1	-1	2	4	3.25	0.2	7.9496	0
4	-1	1	1	1	4	2.97	0.25	8.5788	0
4	-1	1	1	2	4	3.1	0.48	9.0658	0

Continuación Cuadro 12.

Prueba	Temp	HumRel	Daño	Réplica	Día	Peso	Reversión	Brix	DEC
5	1	-1	-1	1	4	NA	NA	NA	NA
5	1	-1	-1	2	4	NA	NA	NA	NA
6	1	-1	1	1	4	NA	NA	NA	NA
6	1	-1	1	2	4	NA	NA	NA	NA
7	1	1	-1	1	4	NA	NA	NA	NA
7	1	1	-1	2	4	NA	NA	NA	NA
8	1	1	1	1	4	NA	NA	NA	NA
8	1	1	1	2	4	NA	NA	NA	NA
1	-1	-1	-1	1	5	3.9	0.083333333	8.89704	4.67
1	-1	-1	-1	2	5	4.34	0.428571429	8.99712	0
2	-1	-1	1	1	5	4.88	0.052631579	8.01606	5.26
2	-1	-1	1	2	5	5.13	0	9.01746	0
3	-1	1	-1	1	5	4.16	0.217391304	7.92248	0
3	-1	1	-1	2	5	3.32	0.210526316	7.51536	0
4	-1	1	1	1	5	3.19	0.666666667	8.83066	0
4	-1	1	1	2	5	4.05	0.125	7.1212	0
5	1	-1	-1	1	5	NA	NA	NA	NA
5	1	-1	-1	2	5	NA	NA	NA	NA
6	1	-1	1	1	5	NA	NA	NA	NA
6	1	-1	1	2	5	NA	NA	NA	NA
7	1	1	-1	1	5	NA	NA	NA	NA
7	1	1	-1	2	5	NA	NA	NA	NA
8	1	1	1	1	5	NA	NA	NA	NA
8	1	1	1	2	5	NA	NA	NA	NA
1	-1	-1	-1	1	6	6.08	0.375	8.76912	0
1	-1	-1	-1	2	6	4.29	0.25	8.031	0
2	-1	-1	1	1	6	6.99	0.125	8.6872	0
2	-1	-1	1	2	6	7.48	0.238095238	8.43472	5
3	-1	1	-1	1	6	5.39	0.0625	8.5834	0
3	-1	1	-1	2	6	3.93	0.47826087	8.99034	0
4	-1	1	1	1	6	3.75	0.5	8.3032	5.56
4	-1	1	1	2	6	4.63	0.4	7.5024	0

Continuación Cuadro 12.

Prueba	Temp	HumRel	Daño	Réplica	Día	Peso	Reversión	Brix	DEC
5	1	-1	-1	1	6	NA	NA	NA	NA
5	1	-1	-1	2	6	NA	NA	NA	NA
6	1	-1	1	1	6	NA	NA	NA	NA
6	1	-1	1	2	6	NA	NA	NA	NA
7	1	1	-1	1	6	NA	NA	NA	NA
7	1	1	-1	2	6	NA	NA	NA	NA
8	1	1	1	1	6	NA	NA	NA	NA
8	1	1	1	2	6	NA	NA	NA	NA
1	-1	-1	-1	1	7	7.76	0.259259259	8.024	0
1	-1	-1	-1	2	7	6.47	0.166666667	7.2342	0
2	-1	-1	1	1	7	7.5	0.235294118	7.6536	0
2	-1	-1	1	2	7	6.88	0.260869565	8.81344	4.76
3	-1	1	-1	1	7	4.16	0.473684211	9	0
3	-1	1	-1	2	7	4.37	0.16	7.6396	4.35
4	-1	1	1	1	7	7.5	0.277777778	8.0766	0
4	-1	1	1	2	7	6.88	0.2	8.28328	0
5	1	-1	-1	1	7	NA	NA	NA	NA
5	1	-1	-1	2	7	NA	NA	NA	NA
6	1	-1	1	1	7	NA	NA	NA	NA
6	1	-1	1	2	7	NA	NA	NA	NA
7	1	1	-1	1	7	NA	NA	NA	NA
7	1	1	-1	2	7	NA	NA	NA	NA
8	1	1	1	1	7	NA	NA	NA	NA
8	1	1	1	2	7	NA	NA	NA	NA
1	-1	-1	-1	1	8	8.62	0.230769231	7.50888	0
1	-1	-1	-1	2	8	11.51	0.625	7.8027	8.33
2	-1	-1	1	1	8	6.97	0.137931034	7.8424	11.76
2	-1	-1	1	2	8	6.45	0.5	8.15	0
3	-1	1	-1	1	8	4.45	0.6	8.49672	0
3	-1	1	-1	2	8	5.03	0.44	7.79616	0
4	-1	1	1	1	8	6.61	0.083333333	8.3784	0
4	-1	1	1	2	8	6.39	0.2	8.686	4

Continuación Cuadro 12.

Prueba	Temp	HumRel	Daño	Réplica	Día	Peso	Reversión	Brix	DEC
5	1	-1	-1	1	8	NA	NA	NA	NA
5	1	-1	-1	2	8	NA	NA	NA	NA
6	1	-1	1	1	8	NA	NA	NA	NA
6	1	-1	1	2	8	NA	NA	NA	NA
7	1	1	-1	1	8	NA	NA	NA	NA
7	1	1	-1	2	8	NA	NA	NA	NA
8	1	1	1	1	8	NA	NA	NA	NA
8	1	1	1	2	8	NA	NA	NA	NA
1	-1	-1	-1	1	9	8.4	0.476190476	8.3644	0
1	-1	-1	-1	2	9	11.33	0.35	8.3714	6.25
2	-1	-1	1	1	9	10.44	0.304347826	7.5978	0
2	-1	-1	1	2	9	7.42	0.409090909	7.6024	0
3	-1	1	-1	1	9	4.19	0.384615385	8.1264	0
3	-1	1	-1	2	9	6.51	0.2	7.8246	8
4	-1	1	1	1	9	4.43	0.111111111	8.0118	0
4	-1	1	1	2	9	6.16	0.24	7.9252	0
5	1	-1	-1	1	9	NA	NA	NA	NA
5	1	-1	-1	2	9	NA	NA	NA	NA
6	1	-1	1	1	9	NA	NA	NA	NA
6	1	-1	1	2	9	NA	NA	NA	NA
7	1	1	-1	1	9	NA	NA	NA	NA
7	1	1	-1	2	9	NA	NA	NA	NA
8	1	1	1	1	9	NA	NA	NA	NA
8	1	1	1	2	9	NA	NA	NA	NA
1	-1	-1	-1	1	10	10.39	0.166666667	8.227	3.85
1	-1	-1	-1	2	10	12.64	0.689655172	7.8316	0
2	-1	-1	1	1	10	9.48	0.16	7.6304	0
2	-1	-1	1	2	10	10.01	0.166666667	7.738	0
3	-1	1	-1	1	10	7.12	0.2	7.256	3.85
3	-1	1	-1	2	10	6.39	0.111111111	8.3622	0

Continuación Cuadro 12.

Prueba	Temp	HumRel	Daño	Réplica	Día	Peso	Reversión	Brix	DEC
4	-1	1	1	1	10	8.09	0.333333333	8.5206	0
4	-1	1	1	2	10	6.71	0.315789474	8.4134	0
5	1	-1	-1	1	10	NA	NA	NA	NA
5	1	-1	-1	2	10	NA	NA	NA	NA
6	1	-1	1	1	10	NA	NA	NA	NA
6	1	-1	1	2	10	NA	NA	NA	NA
7	1	1	-1	1	10	NA	NA	NA	NA
7	1	1	-1	2	10	NA	NA	NA	NA
8	1	1	1	1	10	NA	NA	NA	NA
8	1	1	1	2	10	NA	NA	NA	NA
1	-1	-1	-1	1	11	18.91	0.24	8.4414	0
1	-1	-1	-1	2	11	12.23	0.181818182	8.1404	0
2	-1	-1	1	1	11	9.61	0.333333333	7.6444	8
2	-1	-1	1	2	11	8.79	0.368421053	7.9462	0
3	-1	1	-1	1	11	6.37	0.409090909	7.9322	0
3	-1	1	-1	2	11	6.16	0.222222222	8.6348	0
4	-1	1	1	1	11	9.52	0.434782609	7.6654	9.52
4	-1	1	1	2	11	7.44	0.157894737	7.8596	5.26
5	1	-1	-1	1	11	NA	NA	NA	NA
5	1	-1	-1	2	11	NA	NA	NA	NA
6	1	-1	1	1	11	NA	NA	NA	NA
6	1	-1	1	2	11	NA	NA	NA	NA
7	1	1	-1	1	11	NA	NA	NA	NA
7	1	1	-1	2	11	NA	NA	NA	NA
8	1	1	1	1	11	NA	NA	NA	NA
8	1	1	1	2	11	NA	NA	NA	NA
1	-1	-1	-1	1	12	18	NA	8.777	8
1	-1	-1	-1	2	12	23.1	NA	9.604	0
2	-1	-1	1	1	12	11.68	NA	7.807	0
2	-1	-1	1	2	12	13.95	NA	8.1076	21.05
3	-1	1	-1	1	12	6.43	0.526315789	7.823	9.09
3	-1	1	-1	2	12	6.47	0.333333333	7.322	0

Continuación Cuadro 12.

Prueba	Temp	HumRel	Daño	Réplica	Día	Peso	Reversión	Brix	DEC
4	-1	1	1	1	12	12.92	0.217391304	8.5052	21.74
4	-1	1	1	2	12	9.19	0.214285714	8.324	0
5	1	-1	-1	1	12	NA	NA	NA	NA
5	1	-1	-1	2	12	NA	NA	NA	NA
6	1	-1	1	1	12	NA	NA	NA	NA
6	1	-1	1	2	12	NA	NA	NA	NA
7	1	1	-1	1	12	NA	NA	NA	NA
7	1	1	-1	2	12	NA	NA	NA	NA
8	1	1	1	1	12	NA	NA	NA	NA
8	1	1	1	2	12	NA	NA	NA	NA
1	-1	-1	-1	1	13	16.82	NA	NA	NA
1	-1	-1	-1	2	13	21.21	NA	NA	NA
2	-1	-1	1	1	13	15.24	NA	NA	NA
2	-1	-1	1	2	13	13.13	NA	NA	NA
3	-1	1	-1	1	13	5.69	NA	NA	NA
3	-1	1	-1	2	13	5.5	NA	NA	NA
4	-1	1	1	1	13	11.94	NA	NA	NA
4	-1	1	1	2	13	7.86	NA	NA	NA
5	1	-1	-1	1	13	NA	NA	NA	NA
5	1	-1	-1	2	13	NA	NA	NA	NA
6	1	-1	1	1	13	NA	NA	NA	NA
6	1	-1	1	2	13	NA	NA	NA	NA
7	1	1	-1	1	13	NA	NA	NA	NA
7	1	1	-1	2	13	NA	NA	NA	NA
8	1	1	1	1	13	NA	NA	NA	NA
8	1	1	1	2	13	NA	NA	NA	NA

D. Formulario utilizado para la determinación de vida útil de las moras por medio de la aceptación o rechazo al momento de compra.

Figura 28. Formulario en Google Forms enviado a los consumidores.

Análisis Visual de Mora

Agradezco tu participación en este estudio. Los datos recabados son confidenciales y serán utilizados únicamente para un estudio de vida útil de moras para un trabajo de graduación.

***Obligatorio**

1. Sexo *

Marca solo un óvalo.

Femenino

Masculino

2. Rango de edad *

Marca solo un óvalo.

18-24 años

25-34 años

35-44 años

45-54 años

más de 54 años

3. ¿Cuál es tu estado civil? *

Marca solo un óvalo.

Soltero/a

Casado/a

Divorciado/a

Viudo/a

Continuación Figura 28. Formulario en Google Forms enviado a los consumidores

4. ¿Cuál es tu situación laboral? *

Marca solo un óvalo.

- Empleo de medio tiempo
- Empleo de tiempo completo
- Desempleado
- Trabajador de cuenta propia
- Estudiante
- Retirado
- Ama de casa

Indique si compraría o no el producto que aparece en cada una de las fotografías

5. *



Marca solo un óvalo.

- Sí
- No

6.



Marca solo un óvalo.

- Sí
- No

Continuación Figura 28. Formulario en Google Forms enviado a los consumidores

7. *



Marca solo un óvalo.

- Sí
 No

8. *



Marca solo un óvalo.

- Sí
 No

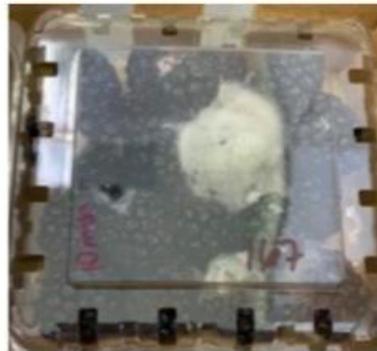
9. *



Marca solo un óvalo.

- Sí
 No

10.



Marca solo un óvalo.

- Sí
 No

11.



Marca solo un óvalo.

- Sí
 No

E. Datos de aceptación/rechazo del análisis visual de moras

Cuadro 13. Respuestas obtenidas de la encuesta realizada a los 60 consumidores, relacionadas con las imágenes de moras almacenadas a 4°C

Consumidor	Día				
	T1	T7	T12	T14	T15
1	Sí	No	No	No	No
2	Sí	Sí	No	No	No
3	Sí	Sí	Sí	No	No
4	Sí	Sí	Sí	No	No
5	Sí	Sí	Sí	No	No
6	Sí	Sí	Sí	No	No
7	Sí	Sí	Sí	No	No
8	Sí	No	No	No	No
9	Sí	Sí	No	No	No
10	Sí	Sí	Sí	No	No
11	Sí	No	Sí	No	No
12	Sí	Si	Sí	No	No
13	Sí	No	Sí	No	No
14	Sí	Sí	No	No	No
15	No	Sí	Sí	No	No
16	Sí	No	No	No	No
17	Sí	Sí	No	No	No
18	Sí	Sí	Sí	No	No
19	Sí	Sí	No	No	No
20	Sí	Sí	Si	No	No
21	Sí	Sí	No	No	No
22	Sí	Sí	Sí	No	No
23	Sí	Sí	Sí	No	No
24	Sí	Sí	Sí	No	No
25	Sí	No	Sí	No	No
26	Sí	Sí	No	No	No
27	Sí	No	Sí	No	No
28	Sí	Sí	Sí	No	No
29	Sí	Sí	Sí	No	No
30	Sí	Sí	No	No	No
31	Sí	Sí	No	No	No
32	Sí	Sí	Sí	No	No
33	Sí	Sí	Sí	No	No
34	Sí	Sí	Sí	No	Sí
35	Sí	No	Sí	No	No
36	Sí	Sí	No	No	No
37	Sí	Sí	No	No	No
38	Sí	Sí	No	No	No
39	Sí	No	No	No	No
40	Sí	Sí	Sí	No	No
41	Sí	No	No	No	No
42	Sí	Sí	Sí	No	No
43	Sí	No	Sí	No	No
44	No	Sí	No	No	No

Continuación Cuadro 13.

Consumidor	Día				
	T1	T7	T12	T14	T15
45	Sí	Sí	Sí	No	No
46	Sí	Sí	Sí	No	No
47	Sí	Sí	Sí	No	Sí
48	Sí	Sí	Sí	No	No
49	Sí	Sí	Sí	No	No
50	Sí	Sí	Sí	No	No
51	Sí	Sí	Sí	No	No
52	Sí	No	Sí	No	No
53	Sí	Sí	Sí	No	No
54	Sí	No	Sí	No	No
55	Sí	No	No	No	No
56	No	Sí	No	No	No
57	Sí	No	No	No	No
58	Sí	Sí	Sí	No	No
59	Sí	Sí	No	No	No
60	Sí	No	No	No	No

Cuadro 14. Respuestas obtenidas de la encuesta realizada a los 60 consumidores, relacionadas con las imágenes de moras almacenadas a 25°C

Consumidor	Día		
	T1	T3	T5
1	Sí	No	No
2	Sí	Sí	No
3	Sí	No	No
4	Sí	Sí	No
5	Sí	No	No
6	Sí	No	No
7	Sí	No	No
8	Sí	No	No
9	Sí	Sí	No
10	Sí	No	No
11	Sí	No	No
12	Sí	No	No
13	Sí	Sí	No
14	Sí	No	No
15	No	Sí	No
16	Sí	No	No
17	Sí	No	No
18	Sí	No	No
19	Sí	No	No
20	Sí	Sí	No
21	Sí	No	No
22	Sí	No	No
23	Sí	No	No

Continuación Cuadro 14.

Consumidor	Día		
	T1	T3	T5
24	Sí	Sí	No
25	Sí	No	No
26	Sí	No	No
27	Sí	No	No
28	Sí	Sí	No
29	Sí	No	No
30	Sí	Sí	No
31	Sí	Sí	No
32	Sí	Sí	No
33	Sí	Sí	No
34	Sí	Sí	No
35	Sí	No	No
36	Sí	No	No
37	Sí	No	No
38	Sí	No	No
39	Sí	No	No
40	Sí	Sí	No
41	Sí	Sí	No
42	Sí	Sí	No
43	Sí	Sí	No
44	No	Sí	No
45	Sí	No	No
46	Sí	Sí	No
47	Sí	Sí	No
48	Sí	No	No
49	Sí	Sí	No
50	Sí	No	No
51	Sí	No	No
52	Sí	No	No
53	Sí	No	No
54	Sí	Sí	No
55	Sí	No	No
56	No	Sí	No
57	Sí	No	No
58	Sí	No	No
59	Sí	No	No
60	Sí	Sí	No

F. Resultados del análisis de censura en datos obtenidos del análisis de vida útil sensorial

Cuadro 15. Resultados censura de los consumidores que fueron parte del estudio de vida útil y evaluaron las imágenes de moras con diferentes días de almacenamiento a 4°C.

No.	Panelista	Ti	Ts	Cens
1	1	7	7	izquierda
2	2	7	12	intervalo
3	3	12	14	intervalo
4	4	12	14	intervalo
5	5	12	14	intervalo
6	6	12	14	intervalo
7	7	12	14	intervalo
8	8	7	7	izquierda
9	9	7	12	intervalo
10	10	12	14	intervalo
11	11	14	14	izquierda
12	12	12	14	intervalo
13	13	14	14	izquierda
14	14	7	12	intervalo
15	16	7	7	izquierda
16	17	7	12	intervalo
17	18	12	14	intervalo
18	19	7	12	intervalo
19	20	12	14	intervalo
20	21	7	12	intervalo
21	22	12	14	intervalo
22	23	12	14	intervalo
23	24	12	14	intervalo
24	25	14	14	izquierda
25	26	7	12	intervalo
26	27	14	14	izquierda
27	28	12	14	intervalo
28	29	12	14	intervalo
29	30	7	12	intervalo
30	31	7	12	intervalo
31	32	12	14	intervalo
32	33	12	14	intervalo
33	34	15	15	derecha
34	35	14	14	izquierda
35	36	7	12	intervalo
36	37	7	12	intervalo
37	38	7	12	intervalo
38	39	7	7	izquierda
39	40	12	14	intervalo
40	41	7	7	izquierda
41	42	12	14	intervalo

Continuación Cuadro 15.

No.	Panelista	Ti	Ts	Cens
42	43	14	14	izquierda
43	45	12	14	intervalo
44	46	12	14	intervalo
45	47	15	15	derecha
46	48	12	14	intervalo
47	49	12	14	intervalo
48	50	12	14	intervalo
49	51	12	14	intervalo
50	52	14	14	izquierda
51	53	12	14	intervalo
52	54	14	14	izquierda
53	55	7	7	izquierda
54	57	7	7	izquierda
55	58	12	14	intervalo
56	59	7	12	intervalo
57	60	7	7	izquierda

Cuadro 16. Resultados censura de los consumidores que fueron parte del estudio de vida útil y evaluaron las imágenes de moras con diferentes días de almacenamiento a 25°C.

No.	Panelista	Ti	Ts	Cens
1	1	1	5	intervalo
2	2	1	5	intervalo
3	3	1	5	intervalo
4	4	1	5	intervalo
5	5	1	5	intervalo
6	6	1	5	intervalo
7	7	1	5	intervalo
8	8	1	5	intervalo
9	9	1	5	intervalo
10	10	1	5	intervalo
11	11	1	5	intervalo
12	12	1	5	intervalo
13	13	1	5	intervalo
14	14	1	5	intervalo
15	16	1	5	intervalo
16	17	1	5	intervalo
17	18	1	5	intervalo
18	19	1	5	intervalo
19	20	1	5	intervalo
20	21	1	5	intervalo
21	22	1	5	intervalo
22	23	1	5	intervalo
23	24	1	5	intervalo

Continuación Cuadro 16.

No.	Panelista	Ti	Ts	Cens
24	25	1	5	intervalo
25	26	1	5	intervalo
26	27	1	5	intervalo
27	28	1	5	intervalo
28	29	1	5	intervalo
29	30	1	5	intervalo
30	31	1	5	intervalo
31	32	1	5	intervalo
32	33	1	5	intervalo
33	34	1	5	intervalo
34	35	1	5	intervalo
35	36	1	5	intervalo
36	37	1	5	intervalo
37	38	1	5	intervalo
38	39	1	5	intervalo
39	40	1	5	intervalo
40	41	1	5	intervalo
41	42	1	5	intervalo
42	43	1	5	intervalo
43	45	1	5	intervalo
44	46	1	5	intervalo
45	47	1	5	intervalo
46	48	1	5	intervalo
47	49	1	5	intervalo
48	50	1	5	intervalo
49	51	1	5	intervalo
50	52	1	5	intervalo
51	53	1	5	intervalo
52	54	1	5	intervalo
53	55	1	5	intervalo
54	57	1	5	intervalo
55	58	1	5	intervalo
56	59	1	5	intervalo
57	60	1	5	intervalo

G. Códigos para el programa R studio utilizados en los análisis de datos

Figura 29. Código en R studio para la determinación de variables significativas por medio de análisis de variable (ANOVA) y creación de modelos predictivos.

```
##Instalacion de paquetes
install.packages("openxlsx")
install.packages("tidyverse")
install.packages("clipr")

library(openxlsx)
library(tidyverse)
library(clipr)

#leer datos
datosPH <- read_clip_tbl(header= TRUE)
head(datosPH)
datosPH

datosTextura <- read_clip_tbl(header = TRUE)
head(datosTextura)
datosTextura

datosPeso <- read_clip_tbl(header = TRUE)
head(datosPeso)
datosPeso

datosReversion <- read_clip_tbl(header = TRUE)
head(datosReversion)
datosReversion

datosAcidez <-read_clip_tbl(header = TRUE)
head(datosAcidez)
datosAcidez

datosBrix <-read_clip_tbl(header =TRUE)
head (datosBrix)
datosBrix

datosDec <-read_clip_tbl(header =TRUE)
head (datosDec)
datosDec

#graficos caja
#pH
#pH-Temperatura
boxplot(pH ~ Temp, data = datosPH)
#pH-HumRel
boxplot(pH ~ HumRel, data = datosPH)
```

Continuación Figura 29.

```
#pH-dano
boxplot(pH ~ Dano, data = datosPH)

#TEXTURA
#Textura-Temperatura
Boxplot (Textura ~ Temp, data = datosTextura)
#Textura-HumRel
Boxplot (Textura ~ HumRel, data = datosTextura)
#Textura-dano
Boxplot (Textura ~ Dano, data = datosTextura)

#PESO
#Peso-Temperatura
Boxplot (Peso ~ Temp, data = datosPeso)
#Peso-HumRel
Boxplot (Peso ~ HumRel, data = datosPeso)
#Peso-dano
Boxplot (Peso ~ Dano, data = datosPeso)

#REVERSION
#Reversion-Temperatura
Boxplot (Reversion ~ Temp, data = datosReversion)
#Peso-HumRel
Boxplot (Reversion ~ HumRel, data = datosReversion)
#Peso-dano
Boxplot (Reversion ~ Dano, data = datosReversion)

#ACIDEZ
#Acidez-Temperatura
Boxplot (Acidez ~ Temp, data = datosAcidez)
#Acidez-HumRel
Boxplot (Acidez ~ HumRel, data = datosAcidez)
#Acidez-dano
Boxplot (Acidez ~ Dano, data = datosAcidez)

#BRIX
#Brix-Temperatura
Boxplot (Brix ~ Temp, data = datosBrix)
#Brix-HumRel
boxplot(Brix ~ HumRel, data = datosBrix)
#Brix-dano
boxplot(Brix ~ Dano, data = datosBrix)

#DECAIMIENTO
#Dec-Temperatura
boxplot( DEC~ Temp, data = datosDec)

#Dec-HumRel
boxplot(DEC ~ HumRel, data = datosDec)
```

Continuación Figura 29.

```
#Dec-dano
boxplot(DEC ~ Dano, data = datosDec)

##ANOVAS
anovaPH <-aov(pH ~ Temp + HumRel + Dano + Dia, data = datosPH)
summary(anovaPH)

anovaTextura <-aov(Textura ~ Temp + HumRel + Dano + Dia, data = datosTextura)
summary(anovaTextura)

anovaPeso <-aov(Peso ~ Temp + HumRel + Dano + Dia, data = datosPeso)
summary(anovaPeso)

anovaReversion <-aov(Reversion ~ Temp + HumRel + Dano + Dia, data =
datosReversion)
summary(anovaReversion)

anovaAcidez <-aov(Acidez ~ Temp + HumRel + Dano + Dia, data = datosAcidez)
summary(anovaAcidez)

anovaBrix <-aov(Brix ~ Temp + HumRel + Dano + Dia, data = datosBrix)
summary(anovaBrix)

anovaDec <-aov(DEC ~ Temp + HumRel + Dano + Dia, data = datosDec)
summary(anovaDec)

#MODELOS PREDICTIVOS
modeloPH = lm (pH~(Temp+HumRel+Dano+Dia)^4,data=datosPH)
summary(modeloPH)

modeloTextura = lm (Textura~(Temp+HumRel+Dano+Dia)^4,data=datosTextura)
summary(modeloTextura)

modeloReversion = lm (Reversion~(Temp+HumRel+Dano+Dia)^4,data=datosReversion)
summary(modeloReversion)

modeloPeso = lm (Peso~(Temp+HumRel+Dano+Dia)^4,data=datosPeso)
summary(modeloPeso)

modeloAcidez = lm (Acidez~(Temp+HumRel+Dano+Dia)^4,data=datosAcidez)
summary(modeloAcidez)

modeloBrix = lm (Brix~(Temp+HumRel+Dano+Dia)^4,data=datosBrix)
summary(modeloBrix)

modeloDec = lm (DEC~(Temp+HumRel+Dano+Dia)^4,data=datosDec)
summary(modeloDec)
```

Figura 30. Código en R studio para estimar la vida útil por medio de análisis de Weibull.

```

library(clipr)
refri<-read_clip_tbl(header= TRUE)
amb <-read_clip_tbl(header = TRUE)
#asignar valores a data dependiendo del analisis, no usar ambos de data
data <- refri
  data <-amb
#para el analisis de temperatura ambiente, debe corregirse los tiempos
sslife <- function (data, tiempos= c(1, 7, 12, 14, 15), codiresp=c("Si","No"), model=
"weibull", percent=c(10,20,30,40,50))
  library(survival)
totalcases<-dim(data) [1]
casesdata <-cbind(1:totalcases, data)
codiresp=c("Si", "No")
casesok <- casesdata[, 1][data[, 2] ==codiresp[1]]
numindok <- length(casesok)
tiempos= c(1, 7, 12, 14,15)
numtimes <- length(tiempos)
id <-data [casesok, 1]
respcod <- data [casesok, 2:dim(data) [2]]
respnum <- matrix(rep(1, numindok*numtimes), ncol=numtimes)
respnum [respcod == codiresp [2]] <-0
ti <- rep(tiempos[1], numindok)
ts <- rep(tiempos[numtimes], numindok)
cens <- rep ("interval", numindok)
censcod <- rep( 3, numindok)
for (i in 1: numindok) {
  if(respnum[i, numtimes] == 1){
    ti[i] <- tiempos[numtimes]
    ts[i] <- tiempos[numtimes]
    cens[i] <- "right"
    censcod[i] <- 0
  }
  else {
    inf <- 1
    while(respnum[i, inf + 1] == 1) inf <- inf +1
    sup <- numtimes
    while(respnum [i,sup-1] == 0) sup <- sup-1
    if(inf == 1) {
      ti[i] <- tiempos[sup]
      ts[i] <- tiempos [sup]
      cens[i] <- "left"
      censcod[i] <- 2
    }
    else {
      ti[i]<-tiempos[inf]
      ts[i]<-tiempos[sup]
    }
  }
}
}

```

Continuación Figura 30.

```
}
percent=c(10,20,30,40,50)
prop<-percent/100
pp1<-data.frame(id, ti, ts, cens, censcod)
model= "weibull"
pp2<-survreg(Surv(ti, ts, censcod, type= "interval")~1, dist=model)
pp4<-predict(pp2, newdata=data.frame(1), type = "uquantile", p = prop, se.fit =T)
ci3<- cbind(pp4$fit, pp4$fit - 1.96*pp4$se.fit, pp4$fit + 1.96*pp4$se.fit)
if(model == "weibull"| model == "lognormal" | model == "loglogistic" |
model=="exponential") {

ci3 <- exp(ci3)
pp4$se.fit <- pp4$se.fit*ci3[,1]}

ci2<-cbind(ci3, pp4$se.fit)
mu <- c(pp2$coefficients,pp2$coefficients - 1.96 * sqrt(pp2$var[1,1]),
pp2$coefficients + 1.96 * sqrt(pp2$var[1,1]))
if(model == "exponential"){
sigma <- c(NA,NA,NA) }
else {
si <- exp(pp2$icoef[2])
sigma <- c(si, exp(log(si)-1.96*sqrt(pp2$var[2,2])), exp(log(si)+1.96*
sqrt(pp2$var[2,2])))
}

dimnames(ci2)<- list(percent, c("Estimate", "Lower ci", "Upper ci", "Error"))
value <- c("estimate", "lower", "upper")
list(censdata=pp1, musig=data.frame(value, mu, sigma), loglike=-pp2$loglik[1],
slives=ci2)
```