

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Predicción de problemas de calidad en aguacate Hass por medio de la interrelación de factores clave que afectan sus características de calidad y vida útil

Trabajo de graduación presentado por María Fernanda Rodríguez Alarcón para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería en Ciencias de los Alimentos

Guatemala,

2021

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Predicción de problemas de calidad en aguacate Hass por medio de la interrelación de factores clave que afectan sus características de calidad y vida útil

Trabajo de graduación presentado por María Fernanda Rodríguez Alarcón para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería en Ciencias de los Alimentos

Guatemala,

2021

Vo.Bo.




MSc. Ana Alicia Paz Pierri

Tribunal examinador:



MSc. Ana Alicia Paz Pierri



MSc. Patricia Palacios de Palomo



MSc. Ana Silvia Colmenares de Ruiz

Fecha de aprobación del examen de graduación:

Guatemala, 4 de febrero de 2021

Contenido

Lista de cuadros	vi
Lista de figuras	vii
Resumen	x
1. Introducción.....	1
2. Antecedentes.....	3
2.1 Producción de aguacate.....	3
2.1.1 Producción de aguacate en Guatemala	3
2.2 Efecto de factores de manejo post-cosecha.....	6
2.3 Características de calidad del aguacate	6
2.4 Factores que afectan la vida útil del aguacate	8
2.4.1 Efecto de las condiciones de almacenamiento en la vida útil del aguacate	8
2.4.2 Efecto del daño mecánico en la vida útil del aguacate	9
2.5 Pérdidas post-cosecha	9
2.5.1 Disminución de pérdidas post-cosecha	11
3. Justificación	12
4. Objetivos.....	15
4.1 General.....	15
4.2 Específicos	15
5. Marco teórico.....	16
5.1 Aguacate	16
5.2 Manejo post-cosecha.....	17
5.3 Manejo y cadena de distribución del aguacate para exportación	19
5.4 Maduración	20
5.5 Índices de calidad.....	21
5.5.1 Apariencia	21
5.5.2 Firmeza.....	22
5.5.3 Color.....	22
5.5.4 Materia seca	24
5.5.5 Pérdida de peso	24
5.5.6 Tasa de respiración.....	24
5.6 Factores que inciden en el deterioro del aguacate	25
5.6.1 Etileno y gases de respiración	25
5.6.2 Humedad relativa	26

5.6.3	Temperatura	27
5.6.4	Daño por frío	28
5.6.5	Daño mecánico	28
5.7	Método matemáticos para evaluar riesgo y pérdida de características de calidad.....	29
5.7.1	Diseño experimental factorial completo.....	29
5.7.2	Análisis de varianza (ANOVA)	29
5.7.3	Vida útil modelo cinético	30
5.7.4	Kruskal-Wallis	31
6.	Metodología.....	32
6.1	Muestreo:	32
6.2	Diseño experimental factorial completo	33
6.3	Condiciones del diseño	33
6.3.1	Temperatura	33
6.3.2	Daño mecánico.....	34
6.3.3	Humedad relativa	34
6.4	Determinación de parámetros fisicoquímicos de calidad del aguacate	34
6.4.1	Color.....	34
6.4.2	Defectos	35
6.4.3	Rugosidad.....	37
6.4.4	Firmeza:	38
6.4.5	Determinación de dióxido de carbono.....	38
6.4.6	Materia seca	38
6.4.7	Pérdida de peso	39
6.5	Análisis de datos	39
6.5.1	Análisis factorial completo y modelo simple de regresión lineal	39
6.5.2	Modelo cinético de vida útil.....	40
6.5.3	Análisis producción de CO ₂	41
7.	Resultados y discusión.....	42
7.1	Parámetros de calidad y vida útil evaluados	44
7.2	Análisis de variables significativas por análisis de varianza y Kruskal-Wallis.....	51
7.3	Modelos predictivos.....	56
7.4	Análisis de vida útil	61
8.	Conclusiones.....	66
9.	Recomendaciones	67
10.	Referencias	69
11.	Anexos	74
12.	Glosario	140

Lista de cuadros

Cuadro	Página
1. Niveles de factores a utilizar en el diseño experimental factorial completo	33
2. Cartilla de defectos de aguacate Hass.....	36
3. Cartilla rugosidad de aguacate Hass	37
4. Análisis de varianza CO ₂	51
5. Análisis de varianza pérdida de peso.....	53
6. Análisis de varianza materia seca	54
7. Prueba Kruskal-Wallis Color interno	54
8. Prueba Kruskal-Wallis Color externo.....	55
9. Modelo predictivo para la variable CO ₂	56
10. Modelo predictivo para la variable pérdida de peso	58
11. Modelo predictivo para la variable color externo.....	60
12. Cálculo de Q ₁₀ basado en la ecuación de vida útil del aguacate Hass.....	64
13. Datos experimentales de variables paramétricas evaluadas del aguacate Hass.....	94
14. Datos experimentales de variables no paramétricas evaluadas del aguacate Hass....	117

Lista de figuras

Figuras	Página
1. Áreas aptas cercanas a vías asfaltadas para el desarrollo del cultivo aguacate variedad Hass	4
2. Millones de dólares exportados de aguacate	5
3. Porcentaje de volumen exportado de aguacate Hass en Guatemala según el destino	5
4. Cambios de color externo, cambios estructurales de la cascara e intensidad de gris en aguacate Hass durante su proceso de maduración.....	7
5. Etapas donde suceden la pérdidas post-cosecha en Latinoamérica	10
6. Características de diferentes variedades de aguacate	17
7. Estadios fisiológicos del desarrollo del aguacate	21
8. Relación entre los cambios de color y textura del aguacate Hass y su estado de madurez.	23
9. Ubicación de la finca de aguacate Hass en Santa María de Jesús, Sacatepéquez	32
10. Cartilla de color externo aguacate Hass	35
11. Cartilla de color interno aguacate Hass	35
12. Puntos de penetración del aguacate	38
13. Efecto de la temperatura en el color externo del aguacate en el día 16 a 95% y 0.25m	43
14. Efecto del daño mecánico en el color externo del aguacate en el día 10 a 95% y 22°C	43
15. Defectos en los aguacates Hass utilizados durante la experimentación	44
16. Efecto de pérdida de peso mayor al 10% del aguacate Hass.....	45
17. Concentración de CO ₂ vs. Días a 4°C, 95% y 0.25m.....	46
18. Concentración de CO ₂ vs. Días a 4°C, 95% y 0.50m.....	47
19. Concentración de CO ₂ vs. Días a 4°C, 95% y 1.00m.....	47
20. Concentración de CO ₂ vs. Días a 10°C, 95% y 0.25m.....	48
21. Concentración de CO ₂ vs. Días a 10°C, 95% y 0.50m.....	48
22. Concentración de CO ₂ vs. Días a 10°C, 95% y 1.00m.....	49

23. Concentración de CO ₂ vs. Días a 22°C, 95% y 0.25m.....	49
24. Concentración de CO ₂ vs. Días a 22°C, 95% y 0.50m.....	50
25. Concentración de CO ₂ vs. Días a 22°C, 95% y 1.00m.....	50
26. Análisis de vida útil aguacate Hass con 0.25m de daño mecánico.....	62
27. Análisis de vida útil aguacate Hass con 0.50m de daño mecánico.....	63
28. Análisis de vida útil aguacate Hass con 1.00m de daño mecánico.....	64
29. Diagrama de caja y bigotes CO ₂ vs. daño mecánico	74
30. Diagrama de caja y bigotes CO ₂ vs. humedad relativa	75
31. Diagrama de caja y bigotes CO ₂ vs. temperatura	76
32. Diagrama de caja y bigotes pérdida de peso vs. daño mecánico	77
33. Diagrama de caja y bigotes pérdida de peso vs. humedad relativa.....	78
34. Diagrama de caja y bigotes pérdida de peso vs. temperatura	79
35. Diagrama de caja y bigotes materia seca vs. daño mecánico	80
36. Diagrama de caja y bigotes materia seca vs. humedad relativa.....	81
37. Diagrama de caja y bigotes materia seca vs. temperatura	82
38. Diagrama de caja y bigotes color interno vs. daño mecánico.....	83
39. Diagrama de caja y bigotes color interno vs. humedad relativa	84
40. Diagrama de caja y bigotes color interno vs. temperatura.....	85
41. Diagrama de caja y bigotes color externo vs. daño mecánico.....	86
42. Diagrama de caja y bigotes color externo vs. humedad relativa.....	87
43. Diagrama de caja y bigotes color externo vs. temperatura	88
44. Color externo vs. Días a 4°C, 0.25m y 95%	89
45. Color externo vs. Días a 10°C, 0.25m y 95%	89
46. Color externo vs. Días a 22°C, 0.25m y 95%	90
47. Color externo vs. Días a 4°C, 0.50m y 95%	90
48. Color externo vs. Días a 10°C, 0.50m y 95%	91
49. Color externo vs. Días a 22°C, 0.50m y 95%	91
50. Color externo vs. Días a 4°C, 1.00m y 95%	92
51. Color externo vs. Días a 10°C, 1.00m y 95%	92

52. Color externo vs. Días a 22°C, 1.00m y 95% 93

Resumen

El objetivo del presente trabajo es establecer un sistema predictivo de las características de calidad y vida útil del aguacate Hass (*Persa Americans "Hass"*) 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. Esto se evaluó sometiendo aguacates Hass (*Persa Americans "Hass"*) a temperaturas de 4°C, 10°C y 22°C, humedades relativas de 75%, 85% y 95% y daño mecánico de 0.25m, 0.50m y 1.00m. Los parámetros de calidad evaluados fueron; color externo, color interno, defectos, rugosidad, firmeza, contenido de materia seca, pérdida de peso y producción de CO₂.

Según los datos obtenidos durante la experimentación se logró desarrollar un modelo predictivo de los parámetros de pérdida de peso y color externo con una capacidad predictiva aceptable. Por otro lado, se obtuvieron ecuaciones en cada nivel de daño mecánico para predecir la vida útil del aguacate Hass en base a la temperatura. Finalmente, Se determinó que en promedio la vida útil del aguacate Hass decrece 1.77 veces por cada 10°C de aumento en la temperatura, independientemente del tratamiento de daño mecánico aplicado. El uso de los modelos predictivos de pérdida de peso y color externo y las ecuaciones de vida útil según el color externo y temperatura permitirá disminuir las pérdidas post-cosecha durante el proceso de exportación debido a que se podrán predecir problemas de calidad

1. Introducción

El aguacate es clasificado como la quinta fruta tropical de mayor relevancia en el mundo. Actualmente se espera un crecimiento de la demanda de aguacate del 2019 hasta el 2020 del 42.28% en Latinoamérica. Sin embargo, una de las principales limitantes en la exportación del aguacate son las pérdidas post-cosecha de aproximadamente un 30%, las cuales tienen un impacto social, económico y ambiental. Guatemala es uno de los lugares originarios de aguacate en el mundo y ofrece un gran potencial para la exportación. Se estima que la producción de aguacate tiene un área de 2,900 a 3,200 hectáreas con una producción global de 26,000 toneladas.

El objetivo del presente trabajo es establecer un sistema predictivo de las características de calidad y vida útil del aguacate Hass (*Persa Americans "Hass"*) 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. Esto se evaluó sometiendo aguacates Hass (*Persa Americans "Hass"*) obtenidos de una plantación en Santa María de Jesús, Sacatepéquez a temperaturas de 4°C, 10°C y 22°C, humedades relativas de 75%, 85% y 95% y daño mecánico de 0.25m, 0.50m y 1.00m. Los parámetros de calidad para evaluar el deterioro de los aguacates fueron; color externo, color interno, defectos, rugosidad, firmeza, contenido de materia seca, pérdida de peso y producción de dióxido de carbono.

Se logró desarrollar un modelo predictivo de los parámetros de pérdida de peso y color externo con una capacidad predictiva aceptable por medio de las interrelaciones significativas con las condiciones de temperatura, humedad relativa, daño mecánico y día. Por lo tanto, se podrán obtener predicciones precisas sobre el comportamiento de los parámetros de pérdida de peso y color externo del aguacate Hass al ser sometido a cierta temperatura, humedad relativa, daño mecánico y días durante la cadena de suministros.

Por otro lado, se obtuvieron ecuaciones para predecir la vida útil del aguacate Hass (*Persa Americans "Hass"*) para cada nivel de daño mecánico al que se sometió el fruto. La vida útil se calculó en base a la temperatura por ser la variable que más afecta la vida útil del aguacate y se tomó como parámetro crítico de calidad el color externo. Finalmente, se determinó que en promedio la vida útil del aguacate Hass (*Persa Americans "Hass"*) decrece 1.77 veces por cada 10°C de aumento en la temperatura, independientemente del tratamiento de daño mecánico aplicado.

El uso de los modelos predictivos de pérdida de peso y color externo y las ecuaciones de vida útil serán una herramienta que permitirá disminuir las pérdidas post-cosecha del aguacate Hass debido a que se podrá predecir la vida útil que tendrá el fruto al ser sometido a condiciones específicas de temperatura, humedad relativa y daño mecánico durante la cadena de suministros. Se logrará aprovechar el aguacate ya que al conocer su vida útil se podrán tomar decisiones más precisas y planificar mejor los recursos.

2. Antecedentes

El aguacate es un fruto popular en el mundo debido a sus características nutricionales y de flavor. Su pulpa es considerada de buena calidad y poco fibrosa, con un adecuado contenido de vitaminas liposolubles y ácidos grasos insaturados. El aguacate Hass (*Persa Americans "Hass"*) es una planta originaria de Guatemala y parte de Centro América. Su época de floración es de noviembre a febrero y su cosecha es de mayo a julio. Guatemala es uno de los países donde se cosecha aguacate debido a la riqueza de la tierra y condiciones climatológicas adecuadas para el correcto desarrollo del fruto. Sin embargo, se ha observado que debido a las malas prácticas post-cosecha se puede tener pérdida del 20-50% del fruto (Márquez *et al.*, 2014). Los daños al aguacate no se manifiestan inmediatamente, estos se dan días después y se ven afectadas sus características sensoriales y fisicoquímicas. Si se desea alargar la vida útil del aguacate para poder ser comercializado es importante seguir las buenas prácticas post-cosecha durante toda la cadena de suministros, hasta llegar al consumidor final.

2.1 Producción de aguacate

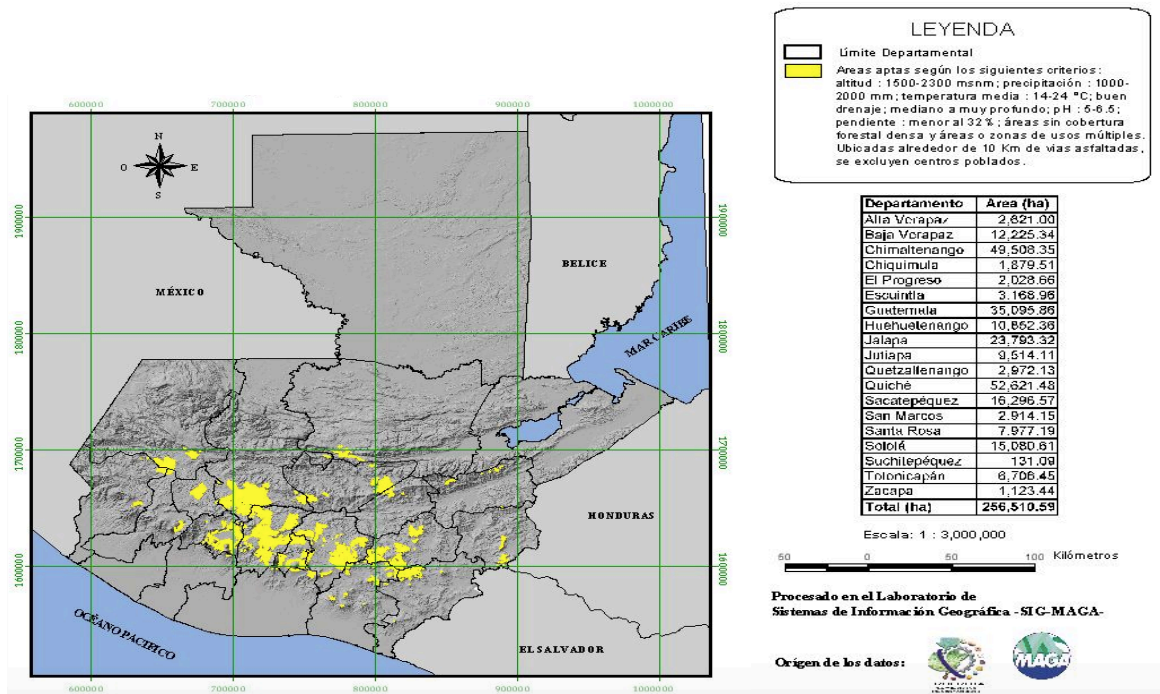
El aguacate es un fruto originario de Guatemala y Latinoamérica, el cual ha sido cultivado en un rango variado de hábitats como la tropical y subtropical. El aguacate se produce comercialmente en México, Chile, Israel, España, Sur África, Perú, Kenya, Estados Unidos, entre otros países. En las últimas décadas Perú ha emergido como un exportador de frutas y vegetales importante, siendo Estados Unidos y Europa sus principales mercados. El aumento de las exportaciones en Perú se debe a sus ventajas climáticas, bajos costos de producción y acuerdos comerciales preferenciales con los principales países productores de alimentos. Sin embargo, México sigue siendo uno de los exportadores más fuertes de aguacate en Latinoamérica (Meade, Baldwin, and Calvin, 2010).

2.1.1 Producción de aguacate en Guatemala

Guatemala es uno de los lugares originarios de aguacate en el mundo y ofrece un gran potencial para la exportación. Los aguacates se cultivan en los departamentos de Guatemala, Chimaltenango, Sacatepéquez, Alta Verapaz, Baja Verapaz, Quiché, San Marcos, Quetzaltenango, Huehuetenango, Jalapa, Retalhuleu, Escuintla y Petén. Las áreas aptas cercanas a vías asfaltada para el desarrollo del cultivo de aguacate variedad Hass se presentan en la Figura 1, dando un total de 343,749.17 ha aptas según los criterios geográficos (Anacafé, 2004).

Se estima que la producción de aguacate tiene un área de 2,900 a 3,200 hectáreas con una producción global de 26,000 toneladas, donde la mayoría son aguacates criollos debido a que se producen solo 5,000 toneladas de aguacates mejorados. Estos aguacates mejorados son Hass, Panchoy, Booth 8 y Azteca y se estima que en Guatemala utilizan un área de cultivo de 900 hectáreas (Salazar, 2016).

Figura No. 1: Áreas aptas cercanas a vías asfaltadas para el desarrollo del cultivo aguacate variedad Hass

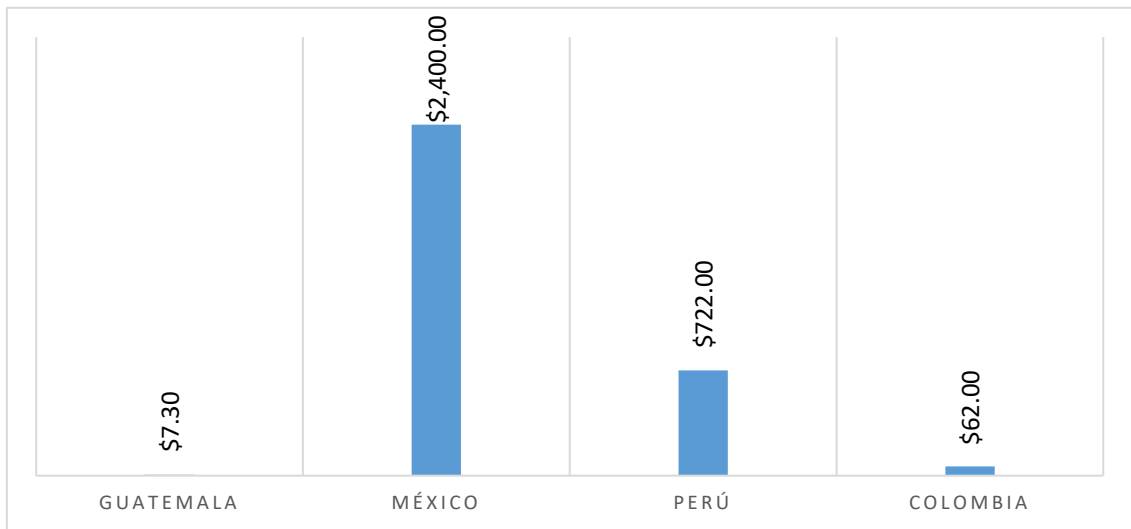


(Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación, 2000)

En el 2019 las principales exportaciones de aguacate en Guatemala fueron de \$7.3 millones, mientras que las exportaciones de México fueron de \$2,400 millones, de Perú \$722 millones y de Colombia de \$62 millones, como se muestra en la Figura 2. Los principales destinos de la exportación de aguacate son; Holanda, Inglaterra, España, Canadá, El Salvador, Honduras y Nicaragua. El volumen exportado de los destinos de exportación está representado en la Figura 3. Sin embargo, Guatemala necesita explotar su potencial por medio del establecimiento de estándares de calidad y contar con medidas y controles sanitarios y fitosanitarios, con el fin de obtener una producción formal que permita fomentar la comercialización del fruto a Estados Unidos, el cual es el principal comprador (Anacafé, 2004).

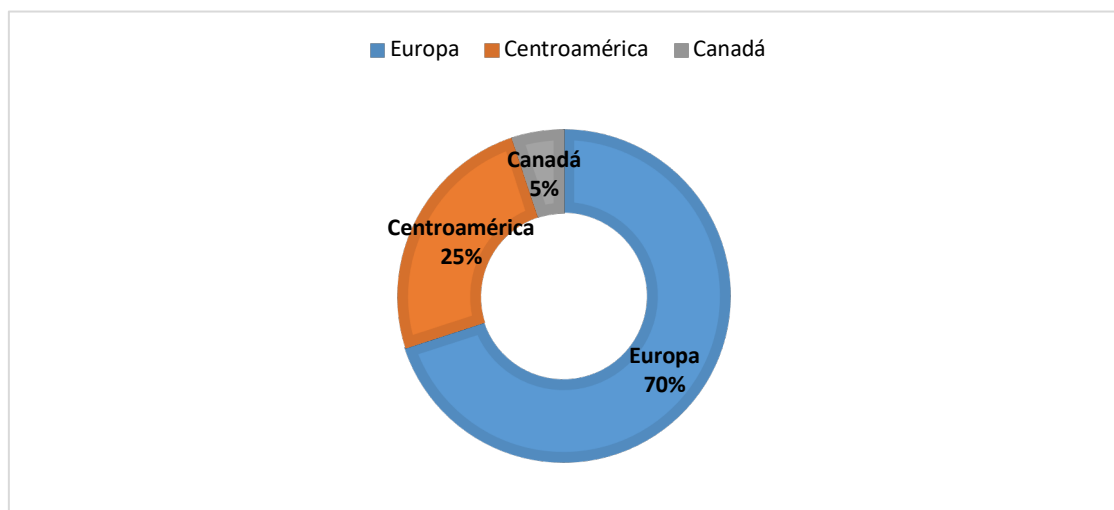
Los aspectos que se deben considerar para cultivar aguacate Hass son los siguientes; una temperatura media entre 17-24°C, el árbol es susceptible a heladas y vientos fuertes, la humedad relativa óptima es del 60%, pH del suelo 5.5 a 6.5, altitud óptima de 1,200 a 1,800 metros sobre el nivel del mar y con una pendiente no menor al 30%. El fruto se puede cultivar en una gran variedad de suelos, desde francos hasta arcillados, dependiendo de la precipitación y buenas prácticas agrícolas. La principal característica que debe tener el terreno es un buen drenaje para evitar pudriciones de las raíces del árbol (Salazar, 2016).

Figura No. 2: Millones de dólares exportados de aguacate



(Anacafé, 2004)

Figura No. 3: Porcentaje de volumen exportado de aguacate Hass en Guatemala según el destino



(Anacafé, 2004)

2.2 Efecto de factores de manejo post-cosecha

Los aguacates por ser una fruta climatérica sufren daño por frío, sin embargo, se ha determinado que los aguacates maduros toleran temperaturas menores que los aguacates que aún no han madurado sin tener el riesgo del daño por frío. Según Kader, (2011) los principales síntomas del daño por frío a temperaturas entre 5-10°C son; picaduras en la piel, quemaduras y ennegrecimiento. Los síntomas internos que puede presentar el aguacate en su pulpa también incluyen decoloración café-gris, decoloración del tejido vascular, ablandamiento y desarrollo de sabores indeseados.

El aguacate Hass puede ser almacenado por un límite de 28 días a temperatura de 5-6°C con humedad relativa de 90-95% antes de que los desórdenes fisiológicos comiencen a aumentar de forma drástica. Se ha demostrado repetitivamente que disminuir la temperatura de almacenamiento a 1-2°C puede prolongar el período de almacenamiento máximo al reducir la decoloración del mesocarpio y el ennegrecimiento de la pulpa, pero puede aumentar el daño por frío. Ensayos semi-comerciales han indicado que después de dos semanas los aguacates Hass almacenados a 0°C no fueron significativamente diferentes de los almacenados a 5°C y después de 4 semanas ya se observó un daño por frío moderado (Blakey, 2011).

Se ha demostrado que en comparación a otros frutos tropicales los aguacates debido a su proceso de maduración se someten a varios cambios en su composición, textura y flavor. Los aguacates no maduran en el árbol, la naturaleza exacta de cómo se inhibe la maduración no se sabe, pero esto continúa su efecto alrededor de 24 horas después de la cosecha. La maduración del aguacate se acelera cuando este es expuesto a concentraciones de 10ppm de etileno a 15°C-18°C y humedad relativa de 85% hasta 90% por 12 a 24 horas. Temperaturas de 25°C se pueden usar si se desea una maduración más rápida (Kader, 2011). Por otro lado, la eliminación o exclusión del etileno del ambiente donde están almacenados los aguacates ayuda a extender su vida útil ya que atrasa el ablandamiento, aparición de daño por frío e incidencia de descomposición (Kader, 2011).

2.3 Características de calidad del aguacate

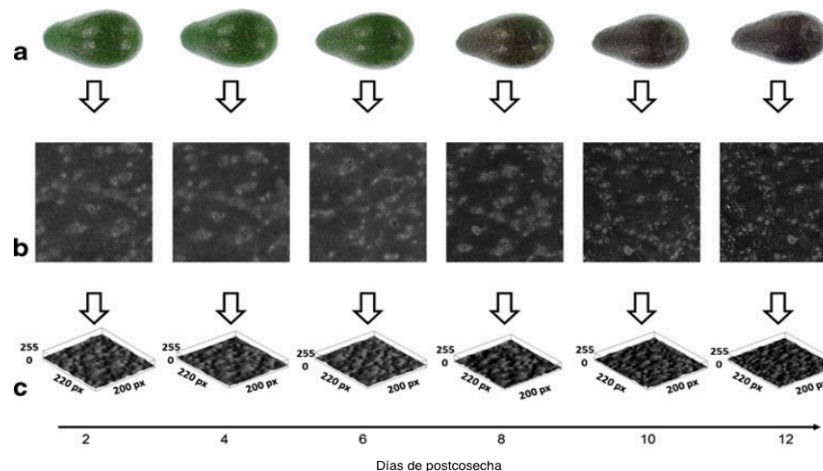
El aguacate es clasificado como un producto perecedero y aun así es una de las frutas tropicales más valoradas para la exportación. Las frutas aun después de la cosecha siguen siendo seres vivos, lo cual implica que siguen con sus procesos de respiración, transpiración y están sujetos a cambios continuos. Los cambios que reducen la calidad interna y externa no son deseados para el productor. Durante el proceso de exportación el aguacate es sometido a diferentes condiciones y procesos que pueden deteriorar su calidad. Los cambios en la post-cosecha no pueden ser detenidos y muchas veces sus efectos no se ven de forma inmediata, por lo tanto, se establecen ciertos límites de aceptabilidad para que el producto logre llegar al minorista con la calidad esperada (Camelo, 2003).

Correa, Pérez y Ruiz, (1995) han logrado correlacionar la firmeza de la pulpa del aguacate con el grado de maduración del fruto. Se determinó que dicha correlación es debido a la liberación de enzimas durante la maduración que ablanda la pared celular. Por otro lado, Mandemaker, Elmsly y Smith, (2006) evaluaron la relación entre la altura de la caída y la calidad del aguacate recién cosechado. Se concluyó que el efecto de la caída en la calidad de este depende de la madurez del fruto, la distancia a la que se cae, la masa del fruto y/o la masa del objeto que golpea la fruta.

La firmeza del fruto es uno de los métodos fiables y universales aceptados para evaluar la madurez del aguacate. Magwaza y Tesfay (2015) establecieron que la firmeza se correlaciona bien con la madurez medida por otros parámetros como el contenido de aceite y la calidad de consumo. La firmeza inicialmente disminuye a un ritmo moderado, luego la tasa de disminución aumenta y cae cerca de cero en la maduración completa del fruto. Se demostró que los consumidores pueden distinguir la firmeza blanda lista para el consumo del aguacate, sin embargo, no pueden distinguir entre la firmeza en diferentes etapas de madurez (Magwaza y Tesfay, 2015).

Según Zapata *et al.*, (2014) los cambios de color externos son estándares claros de calidad que se han utilizado a lo largo del tiempo con el aguacate. Durante el proceso de madurez se observa un cambio en el color externo por la degradación de la clorofila de un tono verde oscuro a violeta oscuro, casi negro dependiendo de la variedad de aguacate. Los cambios se pueden observar en la Figura 4. Sin embargo, se ha observado que mucho de los cambios de color interno del fruto son difíciles de detectar, pero los cambios de color a tonos grises en la pulpa del aguacate son uno de los principales parámetros para evaluar si el aguacate cuenta con daño por frío.

Figura No. 4: Cambios de color externo, cambios estructurales de la cascara e intensidad de gris en aguacate Hass durante su proceso de maduración



(Arzate-Vázquez, *et al.*, 2011)

Donde a son los cambios de color de los aguacates, b los cambios estructurales en la cascara y c la intensidad de nivel de gris.

Kader, (2011) mencionó que en ciertos países se contaba con un contenido mínimo de aceite como un estándar principal de madurez del aguacate. Este índice ha sido insatisfactorio debido a que es difícil de aplicar y algunos aguacates que cuentan con más del mínimo del requerimiento de aceite carecen de calidad de flavor. Por otro lado, aumentar el mínimo del contenido de aceite puede eliminar del mercado variedades particulares del aguacate que cuentan con una adecuada calidad de flavor a un bajo contenido de aceite. Debido a estos inconvenientes se realizaron diversos estudios donde indicaron que el patrón de acumulación de materia seca o el crecimiento del aguacate se puede utilizar no solo para determinar cuando el mínimo de madurez aceptable se alcanzó, sino que para predecir la fecha en el que se va a alcanzar.

Los estudios realizados por paneles sensoriales para evaluar la calidad de aguacate indicaron que las puntuaciones de sabor aumentaron a medida que el contenido de aceite aumentaba, además se observó que el contenido de aceite puede ser correlacionado con el porcentaje de materia seca. Consecuentemente, uno de los índices de madurez más utilizados en el control de calidad del aguacate es el contenido de materia seca (Kader, 2011). Esto se debe a que la materia seca aumenta durante el desarrollo del fruto, principalmente por el aumento del aceite. Se determinó que los aguacates pueden tener un rango de materia seca del 20% a 40%, donde 20% se considera mínimamente maduro y 40% muy maduro (Magwaza y Tesfay, 2015).

2.4 Factores que afectan la vida útil del aguacate

La vida útil se define como el periodo en el que el fruto debe mantener cierto nivel de calidad en condiciones específicas de almacenamiento. Se ha determinado que la vida útil depende de la temperatura de almacenamiento, el tiempo de exposición, contenido de oxígeno en el ambiente, el cultivo y las condiciones de la cosecha. En el caso del aguacate, su vida útil esta inversamente relacionada con la tasa de respiración y producción de etileno. Por otro lado, la calidad de la mayoría de los frutos se ve afectada por la pérdida de agua durante el almacenamiento, según condiciones de temperatura y humedad relativa (Pérez, Mercado y Soto-Valdez, 2004).

2.4.1 Efecto de las condiciones de almacenamiento en la vida útil del aguacate

La vida útil de aguacate se puede prologar en el almacenamiento a temperaturas bajas, debido a que el metabolismo se retarda por una reducción en la tasa de respiración, producción de etileno, cambios de color y ablandamiento. Sin embargo, el uso de bajas temperaturas para almacenar aguacates es limitado debido a la susceptibilidad del fruto al daño por frío. Se ha determinado que la temperatura óptima para aguacates inmaduros es de 5°C a 13°C para una vida útil de 2 a 4 semanas y de 2°C a 4°C para aguacates maduros, según el cultivo (Pérez, Mercado y Soto-Valdez, 2004).

Según Pérez, Mercado y Soto-Valdez (2004) al someter el aguacate a diferentes temperaturas de almacenamiento se observó que a temperaturas bajas de 4° a 10°C se tienen una tasa de producción máxima de etileno 8.5 veces menor que a temperaturas altas de 20°C. El comportamiento se debe al efecto de las diferentes temperaturas en las reacciones metabólicas del tejido vegetal. Por otro lado, también se determinó que uno de los índices de calidad que primero se presentan en el fruto es la firmeza y en un rango de 6-8°C se inhibe el ablandamiento del fruto, lo cual permitió el alargamiento de la vida útil.

2.4.2 Efecto del daño mecánico en la vida útil del aguacate

El daño mecánico se puede dar en cualquier parte de la cadena de suministros del aguacate, lo cual puede resultar en una reducción sustancial de la calidad del fruto. Según Zhiguo y Colin (2014) los daños mecánicos al fruto se dan principalmente durante las operaciones de cosecha en el campo, pero también ocurren en el transporte, líneas de clasificación y empaque y en la manipulación final de la cadena de suministros, es decir cuando el fruto llega a las manos de los minoristas. La calidad del aguacate se ve reducida sustancialmente, especialmente si este no es consumido de inmediato, lo cual trae problemas económicos y de seguridad alimentaria.

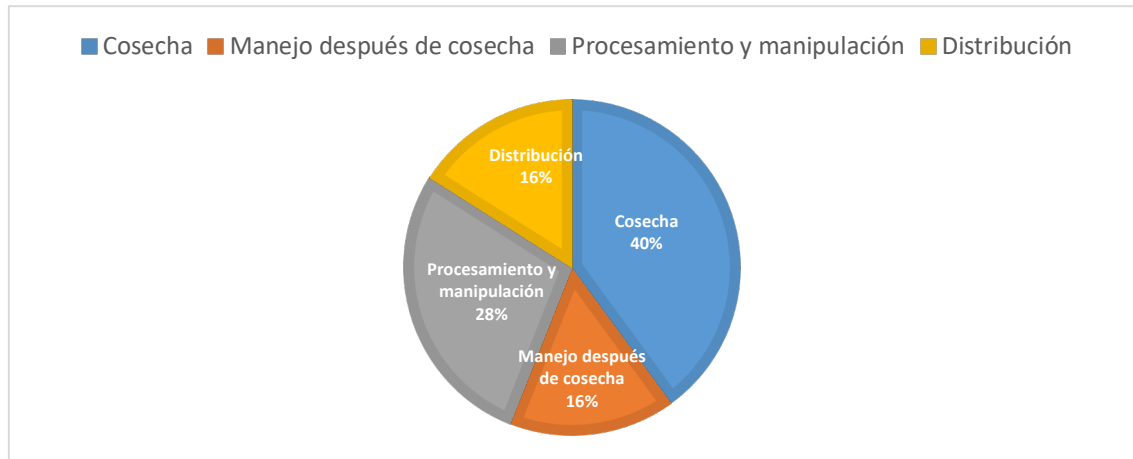
El daño mecánico es causado por uno o más tipos de carga, compresión, impacto y vibración. Pérez-Vicente *et al.*, (2002) ha demostrado que los hematomas están relacionados linealmente con la energía del impacto ocasionado al aguacate, además el fruto sometido a estrés mecánico presenta una degradación visible del mesocarpio y el endocarpio durante el almacenamiento. La anatomía del tejido, la adhesión celular, turgencia celular y la fuerza de la pared celular son factores que contribuyen a la respuesta de hematoma y la magnitud de estos factores parece verse afectada por la maduración y la variedad del aguacate.

2.5 Pérdidas post-cosecha

En el período de tiempo que se tiene desde la cosecha del fruto hasta su destino final se producen pérdidas de calidad y cantidad. Según Dorantes *et al.*, (2004) se han registrado durante los últimos años pérdidas post-cosecha de 5-25% en países desarrollados y de 20-50% en países en vías de desarrollo. Los porcentajes de pérdidas pueden ser mayores a los reportados ya que en estas estadísticas el método de recolección de datos es limitado. Por otro lado, Humble y Reneby, (2014) establecen que las pérdidas ocurren en todas las actividades post-cosecha tales como; manipulación, almacenamiento, procesamiento, empaque, transporte y comercialización. Las actividades claves para garantizar la inocuidad de los alimentos y reducir las pérdidas son la manipulación y procesamiento.

Kitinoja y Kader, (2015) estimaron que en el manejo post-cosecha de las frutas y vegetales en Latinoamérica se pierde alrededor de un 50%, el cual es dividido según las etapas de la cadena de suministros como se muestra en la Figura 4. Por otro lado, en Latinoamérica el comercio local y exportación de las frutas tropicales genera ingresos importantes a pequeños productores. Alrededor del 80% del cultivo de aguacate en México es realizado por pequeños productores.

Figura No. 5: Etapas donde suceden la pérdidas post-cosecha en Latinoamérica



(Kitinoja y Kader, 2015)

Las pérdidas post-cosecha tienen un impacto económico, ambiental y social. Goletti y Wolff, (1999) indican que reducir el desperdicio de los cultivos es más sostenible que aumentar la producción para compensar las pérdidas que se tiene en la post-cosecha. El aumento de la producción requiere una agricultura más intensiva o expandir el área de cultivo, lo cual aumenta la producción de gases de efecto invernadero en miles de toneladas ya que se utiliza la tierra, agua, mano de obra y los recursos no renovables como fertilizantes y energía para producir, procesar, manipular y transportar el cultivo.

El avance que se ha tenido en el mejoramiento de los sistemas de transporte y la disminución de las barreras al comercio internacional ha traído un fuerte acercamiento de los mercados mundiales. La mayoría de productores agrícolas tiene el conocimiento de cómo producir un cultivo de calidad, sin embargo, en ocasiones se desconoce el manejo adecuado post-cosecha. Almacenar la fruta en un lugar fresco no asegura un producto de calidad (López y Cajuste, 1999).

Mandemaker, Elmsly y Smith, (2006) indican que el daño mecánico es de las razones más importantes de la pérdida post-cosecha en muchas frutas, incluyendo los aguacates. Este tipo de daño está presente en aproximadamente el 78% de las frutas que se cultivan. La razón principal de este problema es por los golpes a los que se somete el fruto durante el transporte, caminos en mala condiciones y procesos de limpieza, preparación y empaque para el mercado de producto fresco. Humble y Reneby, (2014) determinaron que las pérdidas post-cosecha también se deben al estrés hídrico, daño fúngico, daño por frío y pérdidas de la cadena de frío.

En los estudios de Kassim *et al.*, (2013), López y Cajuste, (1999), Araya *et al.*, (2006) y Dorantes *et al.*, (2004) sobre los cuidados que se deben tener en la post-cosecha del aguacate, toman en consideración aspectos relacionados con el estado de madurez, las temperaturas de almacenamiento (límites mínimos y máximos), humedad relativa, exposición al etileno y manejo del fruto para evitar daños mecánicos durante el transporte, bodega, carga y descarga. Por otro lado, se ha encontrado que aquellos frutos cosechados en un estado fisiológico de desarrollo inmaduro pueden presentar una maduración irregular, lo cual tiene como consecuencia sabores desagradables y desórdenes fisiológicos (López y Cajuste, 1999).

2.5.1 Disminución de pérdidas post-cosecha

En industrias alimenticias se han desarrollado diversas tecnologías para disminuir las pérdidas en el manejo post-cosechas, en las cuales resaltan atmósferas modificadas, atmósferas controladas, uso de ceras, humidificación a 95% de humedad relativa para reducir la pérdida de agua, recubrimientos que permiten manejar ciertas tasas de respiración del aguacate, shock de dióxido de carbono (20% CO₂), uso de inhibidores de etileno (1-MCP), empaques inteligentes, sensores infrarrojos y sensores de temperatura y humedad relativa, pero la principal desventaja es que estas tecnologías generalmente representan un costo alto (Blakey, 2011).

3. Justificación

El aguacate se clasifica como la quinta fruta tropical de mayor relevancia en el mundo, en términos de volumen y de área cultivada, sólo en el 2018 la producción mundial de aguacates superó los 57 millones de toneladas. La capacidad de producción que tiene el cultivo de aguacate permite que esta fruta posea un gran potencial para exportación. Sin embargo, como resultado de una elevada demanda interna y una ausencia de adecuadas prácticas en el manejo en campo y post-cosecha, es difícil el acceso de esta fruta a mercados internacionales (Yabrudy, 2012).

Actualmente se espera un crecimiento de la demanda de aguacate del 2019 hasta el 2020 del 42.28%. Este crecimiento se debe a una mayor conciencia de los beneficios nutricionales del aguacate, el cual es etiquetado a menudo como una súper fruta nutricional, y por su sabor. Alentados por la creciente demanda, se prevé que los incentivos para una mayor producción de aguacates se vean impulsado por fuertes márgenes de ganancias y una tendencia en los rendimientos de los cultivos a medida que los sectores se vuelven más comercializados, jugando un papel importante el correcto manejo post-cosecha y las tecnologías emergentes (OECD/FAO, 2019).

Gracias a las condiciones climáticas favorable y la intensiva mano de obra en el proceso de producción, los países de Latinoamérica disfrutan una ventaja competitiva en la exportación de frutas tropicales. Ventaja que se puede fortalecer por medio del mejoramiento de las prácticas post-cosecha utilizando sistemas predictivos. En los últimos años la expansión de las cadenas de suministro y el énfasis en la eficiencia y seguridad alimentaria han impulsado un cambio en la forma en que el sistema de post-cosecha se concibe, ahora este es visto como una cadena de valor integrado con componentes individuales que vinculan al productor y al cliente. Las oportunidades que presenta la adopción de este enfoque pueden conducir a una mayor eficiencia de inocuidad y calidad de los alimentos y da una imagen más clara de los participantes y beneficios derivados de la cadena de valor (Baker *et al.*, 2010).

Todos los productos agrícolas frescos que provienen de partes vivas de plantas no detienen sus procesos bioquímicos vitales después de ser cosechados. El aguacate luego de ser cosechado continua con su proceso de transpiración y respiración, por lo tanto, el tiempo de vida del fruto se vuelve una carrera contra el tiempo para los productores, distribuidores y vendedores para poder mantener la calidad deseada por el cliente y reducir pérdidas del producto. La resolución del problema se puede lograr por medio de la aplicación de sistemas predictivos que sean accesibles económicamente para los productores y exportadores.

El aguacate es una fruta climatérica demandado por muchos consumidores debido a su excelente sabor y textura. Además, cuenta con varias características nutricionales importantes, las cuales son su aporte en vitamina, fibra y el contenido en ácidos grasos, como el oleico, palmítico, linoleico, palmitoleico y esteárico. Esta fruta también se caracteriza por ser muy versátil ya que puede ser consumido de distintas formas. Gracias a todos sus atributos se espera que el mercado de aguacate alcance los 7.6 millones en el 2025 (Bill *et al.*, 2014).

Desafortunadamente, la vida útil del aguacate se encuentra limitada por diversos factores relacionado a un incorrecto manejo post-cosecha como lo son los daños mecánicos y cambios en temperatura y humedad relativa. Estos factores provocan cambios indeseados en la textura, color, maduración no uniforme, crecimiento de hongos, entre otros. Los cambios en el aguacate durante la cadena de suministros por un mal manejo post-cosecha tiene como consecuencia un rechazo por parte de la industria y los consumidores debido al incumplimiento de los parámetros de calidad e inocuidad.

Se estima que a nivel mundial las pérdidas post-cosecha de frutas se encuentran alrededor del 2% al 23% en países desarrollados y se pueden llegar a tener pérdidas del 50% en países en vías de desarrollo. Por otro lado, se teme que este porcentaje sea mayor a los que son reportados en la literatura debido a que en los procesos de recolección de datos no se toma en cuenta a toda la población. La falta de información se debe a que muchos de los productores no reportan su producción y pérdidas. Sin embargo, se sabe que las pérdidas se les atribuyen a los procesos post-cosecha, específicamente en la manipulación y el transporte (Márquez *et al.*, 2014).

Un aspecto importante en la exportación del aguacate es poder reducir el costo de pérdidas dentro de la empresa y proporcionarles a los clientes, tanto actuales como potenciales, productos y procesos que cumplan con sus estándares de calidad. Lo que da lugar a una excelente oportunidad de mejora en la industria agroexportadora para aumentar su rendimiento de producción por medio de la implementación de nuevas tecnologías económicamente rentables para la industria, con el fin de poder complacer a todas las partes interesadas dentro de la cadena de suministros.

Las pérdidas post-cosecha tienen un impacto tanto económico como ambiental ya que generan miles de toneladas de gases de efecto invernadero. Reducir las pérdidas post-cosecha aumenta la cantidad de comida disponible para ser consumida. Disminuir el desperdicio de suministros de frutas y vegetales es más sostenible que aumentar la producción para compensar dicha pérdida. El modelo predictivo permitirá aprovechar el producto por medio de la predicción de las características de calidad del aguacate, según los parámetros del manejo post-cosecha, con el fin de poder tomar decisiones antes de que el aguacate sea desechado. Esto permite cumplir con el objetivo de desarrollo sostenible número 13, el cual es combatir el cambio climático y sus efectos (OECD/FAO, 2019).

El uso de la tecnología para control predictivo representa una herramienta potencial en la industria exportadora de aguacates tanto en Guatemala como en cualquier parte del mundo, ya que es una necesidad en la industria por las altas pérdidas que se tienen en la post-cosecha. Por otro lado, mediante el uso de los modelos predictivos se pueden tomar decisiones sobre el destino de venta del aguacate dependiendo del manejo post-cosecha que el aguacate tuvo y determinar en qué parte de la cadena de suministro el aguacate no cumplió con cierto parámetro de manejo que pueden afectar posteriormente en su calidad y/o inocuidad.

Uno de los principales problemas con los aguacates durante el proceso de exportación es que muchos de los manejos inadecuados que sufrió durante la post-cosecha se manifiestan en el fruto días o semanas después, dependiendo del grado de madurez del fruto y la especie. La incertidumbre que tiene el exportador sobre la calidad del fruto puede llegar a tener incidencias económicas, ya que en muchos de los casos los daños no se pueden percibir hasta el consumo. Los modelos matemáticos predictivos de vida útil son una herramienta económica que permite al exportador predecir, por medio de una base de datos de los parámetros post-cosecha cruciales, como y en cuánto tiempo el fruto va a madurar.

La importancia de usar método de evaluación de riesgo es que permiten determinar la calidad y viabilidad de venta del aguacate y otros productos vegetales, cumpliendo con los requisitos de calidad. Conocer el riesgo es una de las herramientas más valiosas de la toma de decisiones para evitar pérdidas de producto, definir planes de contingencia, implementar estrategias precisas para la planificación de recursos y prevenir la interrupción de la cadena de suministro. Identificar el riesgo y cuantificar su probabilidad permite comprender no solo que podría suceder con la calidad del fruto, sino también cuáles es la probabilidad de que cambien ciertas características de calidad y vida útil del aguacate si este es sometido a ciertas condiciones de almacenamiento y manejo (Curbelo, 2018).

Los métodos matemáticos de evaluación de riesgo ofrecen no solo resultados potenciales de una decisión dada, sino la probabilidad de que ocurra cada decisión. Permiten calcular que entradas tuvieron el mayor impacto en cada resultado, muestra lo que puede suceder cuando se obtienen ciertos resultados, indica como las variables de entradas se correlacionan o impactan entre sí. Los modelos predictivos permitirán la reducción de pérdidas en la post-cosecha, lo cual causará un impacto positivo en el medio ambiente y permitirá al productor tomar decisiones correctivas en el momento para obtener ahorros económicos. Finalmente, con la implementación de estos modelos en la cadena de suministros del aguacate se podrá brindar al cliente final un producto con la calidad esperada.

4. Objetivos

4.1 General

- Establecer un sistema predictivo de las características de calidad y vida útil del aguacate Hass 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.

4.2 Específicos

- Determinar las variables significativas y su interrelación con los cambios de las características de calidad del aguacate Hass.
- Desarrollar un modelo predictivo de vida útil basado el comportamiento de las características de calidad del aguacate Hass.

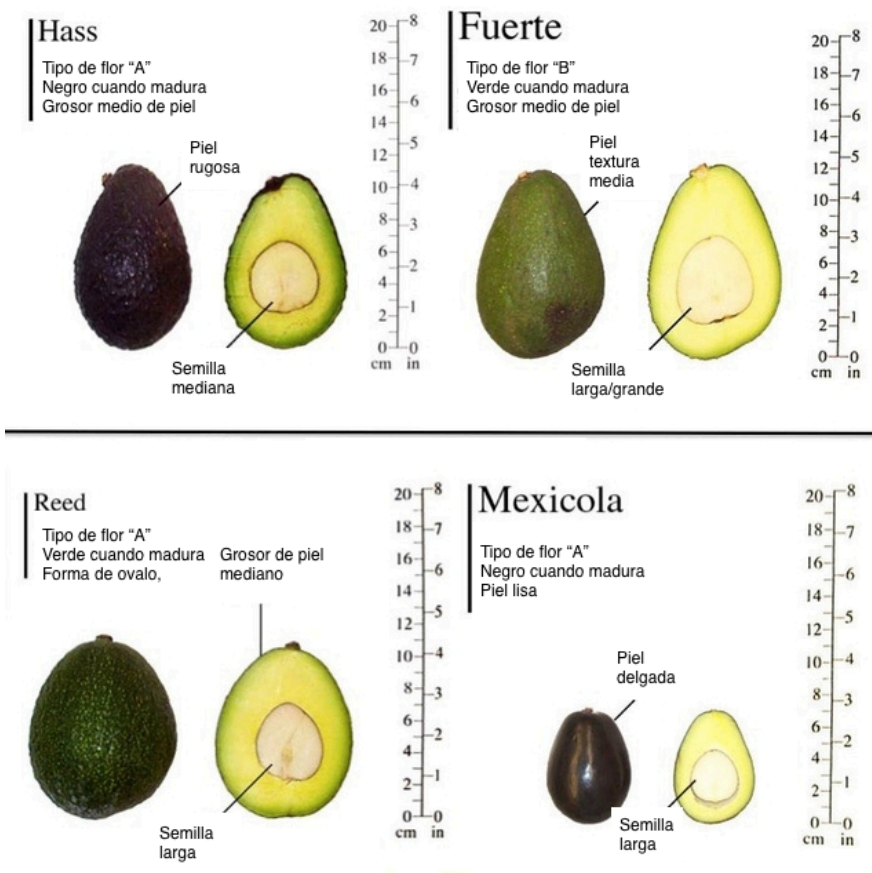
5. Marco teórico

El aguacate es un fruto originario de México, Guatemala y Sur América. Las variedades más famosas son Hass, Fuerte, Reed y Mexicola. El aguacate después de su cosecha sigue con sus procesos bioquímicos de maduración, los cuales llevan a cambios en las características fisicoquímicas y sensorial del fruto. En la industria agroexportadora se tienen índices de calidad del fruto para definir en que estadio de madurez se encuentra. Por otro lado, los índices de calidad son parámetros clave para determinar si se tuvo un correcto manejo post-cosecha ya que se ven afectados por las malas prácticas que se tengan durante la cadena de suministros, como los cambios en temperatura y humedad relativa y el efecto del daño mecánico.

5.1 Aguacate

El aguacate (*Persea americana*) es una planta perteneciente a la familia Lauráceas. El fruto es originario de México, Guatemala y las Indias Occidentales. La raza de las Indias Occidentales, conocida también como Sur América, es nativa de las tierras bajas de Centro América y es principalmente tropical, produciendo grandes frutos con un bajo contenido de aceite de solo 3-10%. El guatemalteco es nativo del altiplano del país y es un fruto mediano y redondo con un contenido de aceite del 8-15%. El árbol originario de Guatemala es menos tolerante al frío que el mexicano. La raza mexicana tiene un crecimiento óptimo en climas subtropicales y es el fruto más pequeño de las tres especies, con piel delgada y con un alto contenido de aceite de hasta 30% (Bill *et al.*, 2014). En la figura 6 se muestran las características y diferencias de los frutos híbridos más populares.

Figura No. 6: Características de diferentes variedades de aguacate



Faber, B. (2016)

El aguacate Hass es una planta dicotiledónea originaria de Guatemala, parte de Centro América y México. Su época de floración es de noviembre a febrero y su cosecha es de mayo a julio. El fruto contiene alrededor de 136g de pulpa comestible, la cual tiene una textura cremosa y esta cubierta por una piel con grosor medio de color verde oscuro/negro y textura irregular. La semilla y la piel del aguacate son aproximadamente el 33% del peso total del fruto entero (Salazar, 2016).

5.2 Manejo post-cosecha

La vida útil puede definirse como el período en el que el fruto debe mantener un nivel predeterminado de calidad en las condiciones de almacenamiento específicas. El aguacate (*Persea americana* Miller) es un producto altamente perecedero y a pesar de eso sigue siendo valorado para la exportación. Esto se ve reflejado en las proyecciones de crecimiento del mercado, ya que en el 2019 se producían 1.878 toneladas métricas de aguacate y se estima que la producción crecerá a 2.672 toneladas métricas para el 2028 (OECD/FAO, 2019).

Después, de la cosecha el aguacate debe transferirse de manera cuidadosa de la bolsa de recolección a las cajas del campo para lograr evitar las lesiones por daño mecánico, especialmente hematomas. El fruto no debe colocarse en el suelo para evitar la contaminación por patógenos que pueden vivir en la tierra, como *Listeria monocytogenes*. Las cajas donde se coloca el aguacate antes de ser transportado a la plana no deben llenarse en exceso y deben colocarse en un área sombreada que esté protegido del sol. La exposición al sol aumenta la temperatura de la pulpa lo cual acelera la maduración y acorta la vida útil (Bill *et al.*, 2014).

En las buenas prácticas de manejo post-cosecha se recomienda enfriar el aguacate lo antes posible después de la cosecha, con el fin de poder retrasar la maduración y el ablandamiento relacionado. El preenfriamiento es muy importante, especialmente cuando las temperaturas de campo son altas y pueden llegar a más de 25°C. Después de transportar el fruto a la planta este se enfría a aproximadamente 16°C para eliminar el calor de campo. Comercialmente los métodos más utilizados son: hidrogenfriamiento, aire forzado y aire frío en cámara (Bill *et al.*, 2014).

Durante el transporte y almacenamiento se debe asegurar de mantener el fruto a temperaturas de 3-7°C con humedad relativa 90-95%. Estos factores son importantes para mantener la calidad del aguacate y aumentar su vida de anaquel. Sin embargo, la reducción de temperatura durante períodos muy largos esta limitado por la susceptibilidad que presenta el aguacate a daños por frío y maduración irregular. Generalmente los aguacates destinados para exportación son almacenados en cámaras con atmosferas controlada para disminuir la actividad respiratoria (Mares y Kazuz, 2002).

La piel del aguacate Hass, la cual es de grosor medio, ejerce cierto grado de protección, pero para asegurar una mayor vida útil es importante manipular el aguacate con cuidado en todas las etapas del manejo post-cosecha, evitando cualquier golpe, rozadura y/o fricción. Por otro lado, en el transporte y almacenamiento no se debe sobrepasar el número de estiba máxima, ya que el peso de los aguacates estimados hasta arriba puede ejercer cierta fuerza sobre los otros aguacates y causar daños mecánicos (Mares y Kazuz, 2002).

En el proceso de empaque del aguacate, ya sea destinado para exportación como para consumo local, el fruto se selecciona y clasifica de acuerdo con; heridas, imperfecciones, daño por insectos y residuos de roció. Además, después de la maduración la fruta debe estar libre de enfermedades como antracnosis y pudrición del tallo, trastornos fisiológicos como pulpa color gris, pardeamiento vascular y hematomas (Bill *et al.*, 2014). En algunos proceso el aguacate se le puede aplicar un encerados para y/o empaque con atmosferas modificadas durante la exportación poder aumentar su la vida útil.

5.3 Manejo y cadena de distribución del aguacate para exportación

En la industria orientada a la exportación cosechar el aguacate en su madurez óptima es un factor crucial porque proporciona flexibilidad al mercado y asegura una calidad de consumo aceptable para el cliente final. En los cultivos de aguacate Hass el periodo de recolección comienza cuando el fruto alcanza la etapa de madurez mínima, el cual es un contenido de materia seca mínimo de 21%. Esta etapa de madurez se caracteriza por la capacidad del aguacate de poder madurar sin marchitarse. Si el aguacate se cosecha inmaduro generalmente se ha observado que el fruto madura de manera anormal, se arruga durante almacenamiento y tiene un sabor acuoso y una textura pobre, fibrosa y gomosa (Bill *et al.*, 2014).

Una característica importante de la biología del aguacate es la forma en que madura en el árbol, debido a que la fruta no madura hasta que se cosecha. Esta característica es deseada por los productores ya que permite retrasar la cosecha si los precios del mercado son demasiado bajos. Como resultado el aguacate se puede quedar en el árbol durante más de 12 meses después de alcanzar la madurez mínima de cosecha. Sin embargo, se debe tener cuidado ya que una fruta sobremadura tendrá una vida útil más corta y es susceptible a enfermedades y trastornos fisiológicos en la post-cosecha (Bill *et al.*, 2014).

El aguacate debe cosecharse sin daños mecánicos que puedan afectar la apariencia de la fruta y actuar como un punto de entrada para los microorganismos patógenos que causan pudrición durante el almacenamiento o transporte. Las magulladuras también son causa de lesiones localizadas y ablandan el fruto. Inmediatamente después de la cosecha el aguacate debe moverse a la sombra para reducir la pérdida de peso debido a la pérdida de humedad por exposición al sol. Generalmente se recomienda el aguacate llegue a la empacadora dentro de 2 horas después de ser recolectada (Bill *et al.*, 2014).

En la empacadora se clasifica el aguacate de acuerdo con heridas, imperfecciones, daños por insectos, residuos y tamaño del fruto. Posteriormente se hace un preenfriado para eliminar el calor de campo y llegar el fruto a 16°C. En algunas industrias se trata el fruto con fungicida como mecanismo de defensa para controlar enfermedades post-cosecha como antracnosis y pudrición del tallo. Se utilizan también tratamientos con cera para modificar la atmósfera interna de la fruta y retrasar los procesos de madurez (Bill *et al.*, 2014).

El aguacate de exportación finalmente se clasifica según los diferentes grados de tamaño y apariencia y se empacan en cajas para poder colocar el producto en contenedores refrigerados. La mayoría de los aguacates son exportados por mar, donde es vital el control estricto de la cadena de frío para asegurar la calidad deseada al consumidor final. Los viajes marítimos pueden durar de 14 a 16 días dependiendo del destino. El envío en atmósferas controladas es una práctica común debido a que mantiene mejor la calidad de la fruta (Vorster, 2001).

5.4 Maduración

El aguacate es un fruto climatérico que no produce etileno mientras está adherido al árbol, es decir que no madura en esta condición, sin embargo, presenta un fuerte aumento en la producción de etileno después de la cosecha y durante la maduración. Esto se le denomina la fase climatérica ya que se inicia una serie de cambios bioquímicos, acompañada por la producción autocatalítica de etileno y aumento de la respiración. El ablandamiento es el cambio más evidente en los aguacates maduros (Herrera *et al.*, 2017).

El fruto posee una necesidad de acumular la suficiente energía y reservas de carbono de la planta madre para que esta posteriormente logre suplir los requerimientos respiratorios y metabólicos de la post-cosecha. La maduración requiere grandes cantidades de energía debido a los numerosos procesos metabólicos que se requieren para lograr el ablandamiento y otros cambios fisicoquímicos. También se requiere fuentes adecuadas de carbono para los procesos anabólicos, principalmente la síntesis de enzimas que modifican la pared celular. El aguacate debe permanecer en la etapa pre-climatérica durante el almacenamiento en frío para garantizar que la calidad interna no se vea comprometida. La calidad del fruto cambia rápidamente una vez que se ingresa al climaterio y comercialmente la fruta necesita ser monitoreada durante la maduración para evitar su deterioro (Blakey, 2011).

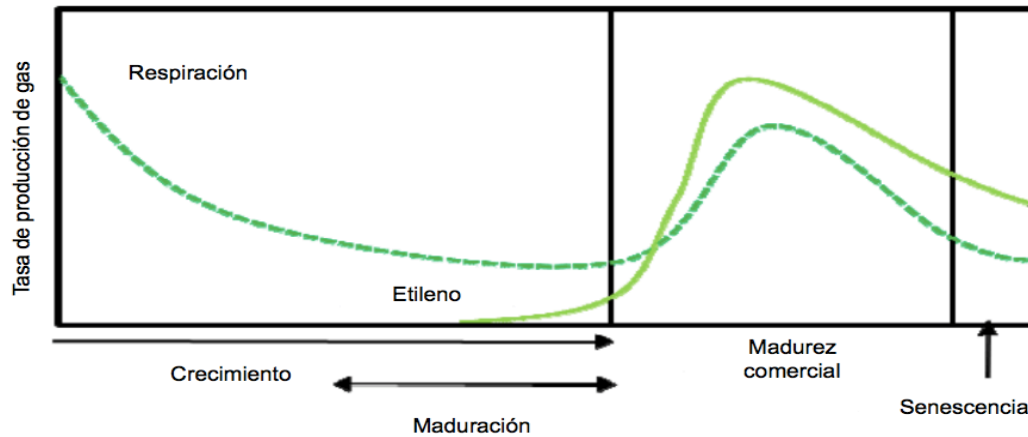
En el aguacate existen tres estadios fisiológicos principales de desarrollo, estos son la madurez fisiológica, madurez comercial y senescencia. La calidad del aguacate comienza en la cosecha, con la madurez fisiológica, la cual es cuando el fruto ha alcanzado un estadio particular de desarrollo donde si este es cosecha madurará de la forma esperada, dependiendo de la variedad. En esta etapa la división celular y agrandamiento es parte del crecimiento y determina el tamaño final del aguacate (Zapata *et al.*, 2014).

La madurez comercial se refiere al punto de maduración en el cual el fruto ha desarrollado todas las características organolépticas deseadas por el consumidor. El proceso de maduración del aguacate se basa en el metabolismo de lípidos, lo cual tiende a una rápida acumulación de aceite y materia seca. Después de que el fruto alcanzó su madurez fisiológica comienzas a suceder diversas reacciones bioquímicas producto de la respiración y transpiración del aguacate, que tiene como consecuencia la disminución en el contenido de humedad, aumento en contenido de aceite y materia seca y cambio en la textura y color. Esto cambios permiten que el fruto llegue a una madurez comercial (Zapata *et al.*, 2014).

Después del estado de madurez comercial el aguacate pasa por otro estado fisiológico el cual es llamado senescencia. Durante este periodo los procesos catabólicos exceden los anabólicos resultando en envejecimiento y necrosis del fruto. La cosecha provoca estrés en las frutas ya que estas son separadas de la planta madre y deben depender de las reservas de agua y energía que son adquiridas durante el desarrollo previo a la cosecha. Estos recursos se agotan durante el almacenamiento y maduración, por lo tanto, el manejo que el fruto tenga sobre estos recursos determinar la calidad post-cosecha (Blakey, 2011).

Se ha establecido que el aguacate Hass alcanza su madurez de cosecha con un mínimo de 21% de materia seca en el mesocarpio y la temperatura de almacenamiento debe de ser alrededor de 5.5°C durante no más de cuatro semanas, con una humedad relativa entre 90-95%. La tasa de respiración va desde 10 a 100 ml CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ y tiene una producción de etileno a 20°C mayor a 100µL C₂H₄ kg⁻¹ h⁻¹ (Herrera *et al.*, 2017). En la Figura 7 se muestra el comportamiento de la respiración y producción de etileno en el aguacate.

Figura No. 7: Estadios fisiológicos del desarrollo del aguacate



(Kassim, Workneh y Bezuidenhout, 2013)

5.5 Índices de calidad

La calidad de los productos hortícolas se compone de atributos sensoriales, nutritivos, constituyentes químicos, propiedades mecánicas, propiedades funcionales y defectos. Las principales características fisicoquímicas utilizadas comúnmente en el control de calidad de aguacate son; tamaño, forma, color de piel, firmeza, rugosidad, defectos tales como deformaciones, quemaduras solares, heridas en la piel por roces, daño por insectos y cicatrices, rancidez, ennegrecimiento del mesocarpio y enfermedades como la antracnosis (Kassim, Workneh y Bezuidenhout, 2013).

5.5.1 Apariencia

En muchos casos los defectos no afectan las cualidades comestibles del fruto, pero la ausencia de defectos junto con la frescura y uniformidad son los principales componentes de la apariencia. La primera impresión que tiene el cliente es la apariencia del fruto, por lo tanto, esta determina la aceptación y compra. La apariencia del aguacate se compone del tamaño (rango de preferencia del consumidor), forma (dependiente del tipo de cultivo) y color (verde oscuro o negro), los cuales se establecen como parámetros de calidad en la industria alimenticia. Dentro de la forma se encuentra un parámetro importante que es la rugosidad del fruto. El aguacate Hass se clasifica por tener una piel rugosa a semirrugosa (Camelo, 2003).

Las características de calidad incluyen la ausencia de daños por insectos, daños de enfermedades como la antracnosis y pudrición del extremo del tallo, quemaduras solares, heridas, manchas de la piel por daños mecánicos, rancidez y ennegrecimiento de la pulpa, fibras oxidadas, rajaduras y presencia de moho. El daño por frío también es clasificado como defecto en el aguacate, sus principales síntomas son manchas negras en la piel o decoloración gris-marrón oscuro del mesocarpio. En el control de calidad del aguacate si se tiene presencia de estos síntomas se clasifica como producto no conforme (Kader y Arpaia, 2016).

5.5.2 Firmeza

La firmeza se puede definir como a fuerza necesaria para lograr una deformación definida durante la evaluación de textura. Las diferencias de la firmeza en el fruto son buenos predictores de las etapas de maduración. Se tiene diferentes métodos para evaluar la firmeza del aguacate. Por ejemplo; por firmometro o densímetro en los cuales se tienen unidades de Newtons. Munzhedzi, (2016) indicó, por medio de una medición con densímetro, que 5.05N representa un aguacate suave y listo para consumirlo. Ahmed, Yousef y Hassan, (2010) determinaron, por medio de un medidor de presión, que el aguacate “Hass” inmaduro tiene una firmeza de alrededor 77.24N y este puede llegar a su madurez de consumo alrededor de los 10.75N o menor. Por otro lado, Villa *et al.*, (2011) descubrieron que en los días de almacenamiento 0, 4, 8 y 12 a 15°C la firmeza disminuye aproximadamente de 130.51N a 54.62N, 19.92N y 7.37N, respectivamente.

La textura se encuentra relacionada con el estado de madurez del aguacate, ya que el proceso de respiración y producción de etileno estimula la liberación de enzimas hidrolíticas como la celulasa, pectinasa, hemicelulasa, poligalacturonasa y galactosidasa que tiene un efecto sobre la estructura de pared celular del fruto, causando su ablandamiento (Blakey, 2011). Las actividades de degradación de las enzimas celulasa en la pared celular y poligalacturonasa dan como resultado una disminución de la cohesión de los tejidos como resultado de la degradación de la pectina y el desorden celular (Bill *et al.*, 2014).

5.5.3 Color

El color externo del aguacate es un indicador importante de su estado de madurez para la industria de producto fresco y los consumidores. El color se puede medir objetivamente, donde se utiliza un medidor de croma o colorímetro o subjetivamente, utilizando panelistas sensoriales entrenados o cartillas de color. Los parámetros relacionados con las medidas de color son:

L = luminosidad, donde L= 0 es negro y L= 100 es blanco

a* = coordenadas rojo/verde, donde los valores negativos indica verde y positivos rojo

b* = coordenadas amarillo/azul, donde los valores negativos indican azul y positivos amarillo.

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

$$h^\circ = \tan^{-1} \left(\frac{a}{b} \right)$$

La cromaticidad (C) es la saturación o intensidad del color mientras que el ángulo de matiz (h°) es la unidad básica de color y se interpreta de la siguiente manera: 0° es rojo, 90° es amarillo, 180° es verde azulado y 270° es azul (Osuna *et al.*, 2011).

Los cambios de color externos son uno de los índices de madurez más utilizados debido a que es un cambio fácil de percibir de manera visual. Durante el proceso de maduración del aguacate sucede una decoloración parcial debido a la degradación de clorofila. Este proceso hace que el aguacate Hass pierda su color verde brillante, llegando a tener una apariencia más opaca con ciertas tonalidades de morado/negro (Zapata *et al.*, 2014).

El color de la pulpa o carne del aguacate no es considerado como un índice de madurez relevante ya que este no cambia significativamente durante el período de maduración. El color puede pasar de ser pálido a un amarillo-verdoso más intenso, pero estos son cambios leves y solo son más notorios en la parte que está en contacto con la semilla, como se muestra en la Figura 8. Por otro lado, se pueden tener pardeamiento de la pulpa o cambios a colores gris como consecuencias de lesiones en el manejo del producto, pero no por el proceso de maduración (Hatton Jr y Campbell, 1959).

Figura No. 8: Relación entre los cambios de color y textura del aguacate Hass y su estado de madurez.



(California Avocado Commission, 2014)

5.5.4 Materia seca

La materia seca se define como el contenido de sólidos presentes en el fruto menos el contenido de agua. Por lo tanto, los sólidos son todos los carbohidratos, vitaminas, proteínas, lípidos, fibra, azúcares, etc. El contenido de materia seca aumenta conforme el aguacate va madurando porque durante este proceso el aceite va reemplazando al agua. Actualmente este parámetro se usa para determinar la madurez del aguacate por ser un indicador confiable del sabor y debido a la ausencia de un método adecuado para medir la concentración de aceite (Carvalho, Velásquez & Van Rooyen, 2015).

En las pruebas de control de calidad la materia seca se define como lo que queda de la pulpa del aguacate después de que se haya eliminado el agua completamente utilizado cualquier método. Este método es una alternativa a la determinación del contenido de aceite para evaluar la madurez ya que existe una relación entre el contenido de materia seca y aceite. Se establece que el aguacate Hass debe contar con un mínimo del 21% de materia seca, sin embargo, estudios por Haker *et al.*, (2007) indicaron que los consumidores prefieren un mínimo de 25% de materia seca. Para calcular el porcentaje de materia seca se utiliza la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{peso final de la muestra}}{\text{peso inicial de la muestra}} \times 100$$

5.5.5 Pérdida de peso

La pérdida de peso se encuentra directamente relacionada con la pérdida de agua que puede sufrir el fruto. Herrera *et al.*, (2017) indica que cuando el aguacate supera el 10% de pérdida fisiológica de masa ya se vea afectada su apariencia. La razón de la variación en el porcentaje de pérdida de peso durante el proceso de ablandamiento aun no puede ser explicado con certeza. Se cree que las variaciones en el contenido de agua de la fruta pueden ser influenciadas por las condiciones de almacenamiento (Bill *et al.*, 2014).

5.5.6 Tasa de respiración

El aguacate es una fruta climatérica por lo que muestra una mayor tasa de respiración durante la maduración, conocido también como climaterio respiratorio. El climaterio se refiere a la etapa de maduración del fruto asociado con una mayor tasa de respiración y producción de etileno. El proceso de maduración se divide en las siguientes tres etapas; pre-climatérica donde se tiene una baja tasa de respiración, climatérica donde se tiene una tasa de respiración máxima y post-climatérica donde disminuye la velocidad de respiración.

La respiración de las frutas es un proceso catabólico de moléculas complejas a simples, produciendo energía, agua y dióxido de carbono necesario para reacciones bioquímicas. Esto indica que la respiración se puede medir por la producción de CO₂ y etileno. Mares y Kazuz, (2002) determinaron que en aguacates de la variedad Hass a 20°C presentan un contenido de O₂ entre 15 a 19% y CO₂ entre 1 a 3%. Se estableció que durante el pico climatérico el O₂ presenta una disminución de 5-10% y el CO₂ aumenta hasta un 5-10% y en el postclimatérico el O₂ disminuye hasta 2% y el CO₂ incrementa hasta un 13%.

5.6 Factores que inciden en el deterioro del aguacate

5.6.1 Etileno y gases de respiración

El proceso de maduración del aguacate está asociado con el aumento en la velocidad de la tasa de respiración, la cual se ve favorecida por la producción endógena o la aplicación exógena de etileno. Para disminuir la tasa de respiración el tiempo en el que el fruto debe ser enfriado después de ser cosechado debe ser de aproximadamente 6 horas o menos (Mares y Kazuz, 2002).

El etileno es una fitohormona en estado gaseoso que tiene extensos efectos sobre la fisiología del fruto. La síntesis del etileno es estimulada por estrés biótico y abiótico. La metionina es un aminoácido precursor de la biosíntesis del etileno. La primera etapa la biosíntesis de etileno es la conversión de la metionina a S-adenosil-L-metionina o AdoMet por la AdoMet sintetasa. Después la AdoMet se convierte en ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) por el efecto de la ACC sintetasa. La reacción final es la formación de etileno a partir de ACC por ACC oxidasa. El CO₂ y HCN son subproductos de la oxidación de ACC. La ACC sintetasa aumenta al estrés que el fruto pueda tener durante el proceso de post-cosecha, lo cual aumenta la formación de ACC que se puede transformar en etileno (Bill *et al.*, 2014).

La producción de etileno es autocatalítica, es decir que es muy difícil limitar la producción una vez iniciada. La producción de etileno representa una pérdida de calidad del fruto si esta es estimulada antes de la maduración. El proceso de maduración del fruto muestra un patrón respiratorio característicos que coincide con una mayor producción de etileno. El aumento de la tasa de respiración y la biosíntesis del etileno es acompañado de cambios bioquímicos, que incluyen una mayor actividad enzimática lo que resulta principalmente en ablandamiento del fruto, cambios en el color del mesocarpio y síntesis de sustancias químicas y aromáticas. Estos cambios también pueden suceder gracias a la presencia de etileno exógena durante el almacenamiento y transporte del fruto (Bill *et al.*, 2014).

El aumento en los niveles de etileno comienza antes del inicio del climaterio respiratorio y ambos procesos son afectados por la temperatura y por la concentración de CO₂ en la atmosfera donde se encuentre el aguacate. La producción de etileno empieza después de la cosecha y aumenta con la maduración a más de 100µl C₂H₄ /kg*h a 20°C. Según Kader y Arpaia, (2016) los tratamientos con 100 ppm de etileno a 20°C por 48, 24 o 12 horas inducen a que el proceso de maduración se lleve a cabo en 3-6 días, dependiendo del cultivo y estadio de madurez.

5.6.2 Humedad relativa

La humedad relativa es un parámetro utilizado para establecer el contenido de agua presente en el aire y es definida como una relación porcentual entre la presión de vapor del agua real y la presión de vapor en el punto de saturación del aire a esa temperatura. En los tejidos vegetales un gran porcentaje de agua se encuentra en forma líquida, formando parte de los jugos celulares, pero en equilibrio con los espacios intercelulares en donde se encuentra el agua en forma gaseosa a concentraciones cercanas a la saturación, es decir un 100% de humedad relativa (Camelo, 2003).

En el almacenamiento se puede contar con una pérdida de peso del aguacate debido a su deshidratación. Esto es producido por un diferencial en el contenido de humedad relativa del aguacate y la atmósfera que lo rodea, por lo que el vapor de agua migra desde los espacios interno del fruto hacia la atmósfera. El diferencial de humedad relativa puede ser consecuencia de que el fruto se encuentre a una temperatura más elevada que el medio o que la humedad relativa del medio es menor a la del aguacate. Se establece que la humedad relativa optima del aguacate debe mantenerse entre 90-95% para lograr prolongar su vida útil (Kader y Arpaia, 2016).

La humedad relativa es un factor ambiental que influye en la tasa de pérdida de agua del aguacate. El aumento de la humedad relativa puede tener una influencia positiva en el retraso del proceso de maduración del fruto, pero si el contenido de humedad de la atmosfera donde se encuentra alcanza el nivel de saturación esto podría permitir el desarrollo de microorganismos de descomposición. Por lo tanto, en el proceso de almacenamiento del aguacate debe tener una humedad relativa que presente un equilibrio entre el deterioro microbiano y la pérdida de peso del fruto (Huysamer & Mare, 2003).

El estrés hídrico post-cosecha afecta significativamente la maduración de la fruta y reduce su vida útil. Aunque la pérdida de agua es necesaria durante la maduración, esta debe minimizarse antes de la cosecha y durante el almacenamiento en frío y manejarse durante el proceso de maduración para lograr reducir los problemas fisiológicos de calidad en el consumo. Fisiológicamente, la fruta con un potencial hídrico más bajo tiende a madurar más rápido después del almacenamiento, lo cual se le atribuye a una mayor producción de etileno debido al estrés (Blakey, 2011).

Las frutas como el aguacate están compuestas principalmente por agua y el mantenimiento del producto a humedades relativas optimas permite mantener la calidad del aguacate durante la post-cosecha. La pérdida de agua o deshidratación no tiene solo impacto en la disminución del peso del fruto fresco ya que esto también afecta la apariencia, firmeza y en algunos casos cambia el sabor. La pérdida de turgencia y lo crocante está directamente relacionado a la sensación de frescura del aguacate por parte de consumidor (Camelo, 2003).

5.6.3 Temperatura

Es importante que para tener un exitoso almacenamiento del aguacate se remueva rápidamente el calor de campo y luego mantener el fruto a la temperatura adecuada de almacenamiento. El proceso de remover rápidamente el calor de campo se llama pre-enfriamiento. Este proceso resulta en una aceleración en la velocidad de enfriamiento y asegura una distribución uniforme de la temperatura en el fruto, evitando que durante el almacenamiento en frío se tenga presencia de condensados debido a la diferencia de temperaturas (Ginsberg, 1985).

El manejo de las temperaturas es la herramienta más efectiva para mantener la calidad del aguacate y prolongar su vida útil debido a sus efectos sobre la fisiología y patología. El objetivo del almacenamiento en frío es poner el fruto en un estado de actividad fisiológica reducido para mantener la firmeza y calidad de la fruta, hasta que esta sea retirada del almacenamiento para que lleve a cabo su proceso de maduración de forma normal. Las temperaturas optimas son; 5-13°C para aguacates verdes-maduros, dependiendo del cultivo, y 2-5°C para aguacates maduros (Kader y Arpaia, 2016).

Durante el almacenamiento la vida útil del fruto varía inversamente con la tasa de respiración, lo cual quiere decir que la vida útil de los aguacates se verá acortada a altas temperaturas. El almacenamiento a bajas temperaturas logra inhibir el efecto de múltiples enzimas que participan en la síntesis de etileno, carbohidratos, ácidos orgánicos y compuestos volátiles. Sin embargo, las temperaturas no deben ser menores a los 4-5°C ya que el fruto puede sufrir daños por frío (Bill *et al.*, 2014).

El almacenamiento en frío permite mantener los parámetros generales de calidad, como lo son la textura, sabor y composición durante la cadena de suministro. Una baja temperatura tiene un efecto directo en la tasa de respiración ya que logre disminuirla y, por lo tanto, prolonga la vida útil de producto, evitando o reduciendo la producción de enzimas mencionadas anteriormente. Por otro lado, se ha determinado que un aumento de 10°C en la temperatura, duplica la tasa de respiración aproximadamente y los sustratos metabólicos primarios, los cuales son azúcares y ácidos orgánicos, se agotan a una tasa cada vez más rápida (Bill *et al.*, 2014).

5.6.4 Daño por frío

El daño por frío es un tipo de daño fisiológico permanente o irreversible que sufren los tejidos, células y órganos de las plantas, el cual es consecuencia de la exposición de la planta a temperaturas por debajo de un umbral crítico para la especie o tejido. La gravedad del daño depende del tiempo de exposición, las temperaturas, el entorno y otros tipos de estrés que puede experimentar el fruto. Los frutos climatéricos generalmente exhiben una mayor lesión por frío una vez este es retirado del almacenamiento en frío y aumenta su actividad metabólica. Las lesiones por frío es el resultado de la desecación y necrosis del exocarpio (Kader and Arpaia, 2016).

Los principales síntomas externo del daño por frío en el aguacate verde-maduro almacenado de 0-2°C por más de 7 días antes de la transferencia a temperaturas de maduración son; picaduras en la piel, quemaduras y ennegrecimiento. Los aguacates expuestos a 3-5°C durante más de dos semanas pueden presentar ennegrecimiento, manchas en la pulpa, pardeamiento vascular, falta de maduración y mayor susceptibilidad al ataque de microorganismos patógenos. El tiempo del desarrollo del daño por frío y su gravedad dependen del tipo de cultivo, área de producción y la etapa de madurez (Kader and Arpaia, 2016).

5.6.5 Daño mecánico

El daño mecánico se clasifica como cualquier golpe, rozadura, abrasión, fricción y/o compresión al cual el fruto es sometido. El daño mecánico puede ocurrir tanto interna como externamente, dependiendo de la fuerza del impacto y el estado de maduración del fruto. El efecto de esto puede resultar poco visibles ya que no se manifiestan de manera instantánea, pero el deterioro del producto se acelera y los daños se manifiestan cuando el producto alcanza la madurez de consumo. Los principales cambios debido a este tipo de daño son; oscurecimiento de la pulpa, maduración y ablandamiento no homogéneo y mayor susceptibilidad a microorganismos de deterioro.

El daño mecánico es una de las causas principales que se tiene por pedidas post-cosecha durante el transporte y manipulación del producto. Los aguacates, aunque sean cosechados en un estadio de madurez fisiológica adecuada los daños mecánicos, que se puede manifestar como hematomas, son causa importante de la pérdida de calidad cuando el producto llega al minorista, ya que los golpes sirven como fuente de etileno que promueve la maduración prematura. Los daños mecánicos pueden ocurrir en cualquier momento, desde la cosecha hasta la venta y solo se puede disminuir con un manejo post-cosecha cuidadoso (Mandemaker, Elmsly & Smith, 2006).

5.7 Método matemáticos para evaluar riesgo y pérdida de características de calidad

Los modelos matemáticos para evaluar riesgo permiten conocer el riesgo y, por lo tanto, tomar decisiones para evitar pérdidas, definir planes de contingencia, implementar estrategias precisas para la planificación de recursos y prevenir la interrupción de la cadena de suministro. Identificar el riesgo y cuantificar su probabilidad permite comprender no solo qué podría suceder con la calidad del fruto, sino también cuál es la probabilidad de que cambien ciertas características de calidad y vida útil del aguacate si este es sometido a ciertas condiciones de almacenamiento y manejo (Curbelo, 2018).

5.7.1 Diseño experimental factorial completo

Los diseños factoriales son métodos matemáticos en donde cada nivel de cada atributo se combina con todos los niveles de los demás atributos seleccionados en el experimento. Es decir que si un diseño experimenta factorial tiene tres atributos con tres niveles para cada uno, la cantidad de posibles combinaciones es igual a $3^3 = 27$ combinaciones de posibles escenarios. Los diseños factoriales donde se utilizan todas las posibles combinaciones son llamados diseños factoriales completos. Estos aseguran que todos los efectos o niveles de interés de los atributos son independientes para estimar los parámetros de interés independientemente con los resultados (Soler, 2016).

Los diseños factorial son una herramienta para obtener información de los efectos que se tiene entre los factores de cada observación, siendo el efecto de un factor un cambio en la respuesta ocasionada por un cambio en el nivel de ese factor. En ese diseño se puede formar una matriz de diseño factorial donde se colocan un conjunto de puntos experimentales o tratamiento que pueden formarse considerando todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores (Soler, 2016).

5.7.2 Análisis de varianza (ANOVA)

El análisis de varianza es un conjunto de situaciones experimentales y procedimiento estadísticos para analizar la respuesta de unidades experimentales. Este método permite la comparación de dos o más medias en diversas situaciones y es la base del análisis multivariable. Permite estudiar el efecto de uno o más factores sobre la media de una variable continua y determinar si es estadísticamente significativo. Para utilizar ANOVA se debe cumplir con los siguientes supuestos; las poblaciones cuentan con una distribución normal, las K muestras sobre las que se aplicaran lo tratamientos son independientes y las poblaciones tienen todas igual varianza (Dagnino, 2014).

5.7.3 Vida útil modelo cinético

El método de vida útil es una metodología que en base a la característica de calidad crítica permite estimar la vida útil que tendrá el producto de interés, por medio de ensayos de almacenamiento y caracterización y aplicación de la técnica de estimación adecuada. La modelación cinética se basa en establecer bajo condiciones ambientales constantes la degradación y pérdida de calidad del producto de interés. Esto se puede represar por la disminución o aumento de uno o varios índices de calidad que sean críticos o los principales en el producto de interés (Núñez *et al.*, 2018).

En alimentos la mayoría de las reacciones se clasifican como orden cero o de primer orden. El tipo de orden aparente de la reacción de deterioro y su constante de velocidad se obtiene hace por medio de la grafica de los parámetros de calidad obtenidos en la experimentación a tres diferentes temperaturas. El orden aparente será aquel que se obtenga del modelo que mejor se ajuste con el coeficiente de determinación (R^2). Finalmente, al obtener la ecuación de vida útil correspondiente se pueden hacer predicciones utilizando la temperatura de almacenamiento del producto de interés (Núñez *et al.*, 2018).

El proceso básico para hacer una prueba de almacenamiento por medio de abuso de temperaturas se puede resumir en los siguientes pasos:

- Selección de las temperaturas a las que se almacenara el producto para la aceleración del deterioro.
- Diseño experimental del estudio cinético para cada una de las temperaturas de almacenamiento establecidas.
- Ejecución del estudio cinético
- Modelación cinética o evaluación de los parámetros del modelo cinético a cada temperatura.
- Determinación del efecto de la temperatura sobre la velocidad de la reacción de deterioro por medio de la ecuación de Arrhenius
- Determinación de la vida útil para cada temperatura
- Determinación de la relación entre vida útil y la temperatura, es decir Q_{10} .
- Uso de la ecuación obtenida para la determinación de la vida útil a cierta temperatura seleccionada.

La relación entre la vida útil y la temperatura se expresa con Q_{10} ya que permite saber la tasa o proporción de la velocidad de reacción a temperaturas que difieren en 10°C o el cambio en la vida útil cuando el alimento se almacena a temperaturas diferentes a 10°C . También es utilizado para poder confirmar que no se tuvieron cambios en el mecanismo de reacción entre las temperaturas establecidas en la experimentación. Q_{10} es un factor dependiente de la temperatura y energía de activación, por lo que es muy importante establecer primero la ecuación de Arrhenius (Núñez *et al.*, 2018).

5.7.4 Kruskal-Wallis

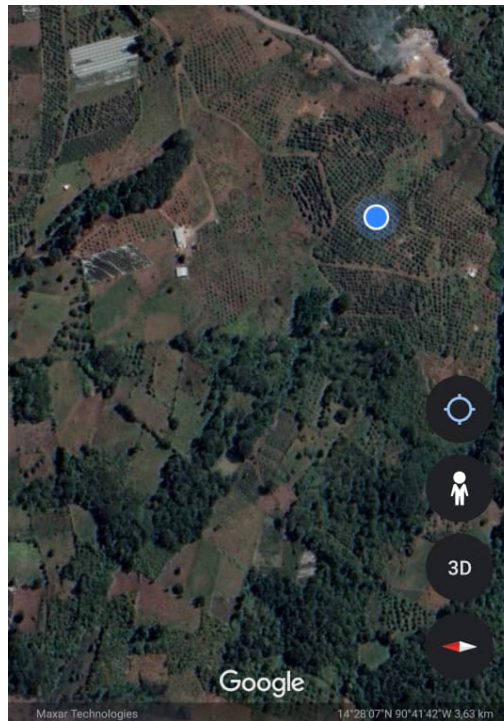
Es un método no paramétrico que permite probar si un grupo de datos proviene de la misma población. Se puede decir que este método es idéntico al ANOVA con los datos reemplazos por categorías. Esta prueba por ser no paramétrica no asume normalidad en los datos. Si se desea aplicar esta prueba se debe conocer el número total de unidades experimentales y el número de muestras de cada tratamiento. Los requisitos para aplicar Kruskal-Wallis son; observaciones medida en escala ordinal y distribución de las poblaciones continuas (Núñez, 2018).

6. Metodología

6.1 Muestreo:

Para las pruebas se utilizó aguacate Hass, obtenido de una plantación en Santa María de Jesús, Sacatepéquez. La ubicación de la finca se presenta en la Figura 9.

Figura No. 9: Ubicación de la finca de aguacate Hass en Santa María de Jesús, Sacatepéquez



Las muestras se obtuvieron directamente de las plantaciones el día de la cosecha, donde durante la cosecha se evitaron golpes innecesarios y el corte del pedúnculo se realizó a un cuarto de longitud. El aguacate con enfermedades fue descartado y se clasificaron de acuerdo con los parámetros de calidad de la finca. El aguacate cortado se transfirió de manera cuidadosa de la bolsa de recolección a hieleras. Las hieleras contenían ice packs para poder eliminar el calor de campo y transportar el aguacate al laboratorio en las mejores condiciones. En las hieleras no se sobrepasó la estima máxima de los aguacates para evitar cualquier daño mecánico. Se utilizó el muestreo aleatorio simple para determinar la cantidad de muestras que se analizará por lote de aguacate Hass de la finca.

Se utilizaron 28 aguacates en cada una de las 27 corridas, dando un total de 756 aguacates utilizado durante toda la experimentación. Las pruebas se dividieron en grupos, donde se realizaron 6 corridas el 8 de agosto, 6 corridas el 5 de septiembre, 6 corridas el 3 de octubre y finalmente 9 corridas el 31 de octubre. Se determinó de forma aleatoria el orden en el que se realizaron las corridas por medio de Excel. Se seleccionó aguacate con calibre de primera y segunda, el cual es de un peso mayor a 155g.

6.2 Diseño experimental factorial completo

Se midió el efecto de tres niveles de los factores de temperatura, daño mecánico y humedad relativa en las características de color, defectos, rugosidad, textura, dióxido de carbono, materia seca y pérdida de peso de los aguacates. Los niveles que fueron utilizados se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro No. 1: Niveles de factores a utilizar en el diseño experimental factorial completo

Nivel	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Daño mecánico (m)
Bajo	4	75	0.25
Medio	10	85	0.50
Alto	22	95	1.00

Para la experimentación se realizó una aleatorización de las interacciones de los factores con los tres niveles diferentes, para tener un total de 27 corridas. La aleatorización se realizó por medio del programa Excel.

6.3 Condiciones del diseño

El mismo día de la cosecha los aguacates Hass se transportaron de la finca al laboratorio para someterlas a las condiciones necesarias de las corridas. Se utilizaron 28 aguacates para una cada una de las corridas.

6.3.1 Temperatura

Los aguacates se almacenaron en unidades refrigeradas a temperaturas de 4°C y 10°C y en una caja de cartón a temperatura ambiente (22°C), sin sobrepasar la estiba máxima que utiliza la empresa exportadora. Se colocó un data loggers en cada una de las refrigerados y a temperatura ambiente para controlar la humedad relativa y la temperatura. Se realizó, un día sí y otro no por aproximadamente 26 días o hasta que los aguacates ya no contaban con las características aceptables de exportación, las pruebas de color interno, color externo defectos, rugosidad, firmeza, materia seca, pérdida de peso y dióxido de carbono a dos aguacates de cada una de las condiciones.

6.3.2 Daño mecánico

Los aguacates se dejaron caer aleatoriamente a tres distintas alturas, las cuales fueron; 0.25m, 0.50m y 1.00m y se almacenaron los aguacates golpeados en las unidades refrigeradas según cada corrida, sin sobrepasar la estiba máxima del exportador. Se colocará un data logger en cada refrigeradora para monitorear la temperatura y humedad relativa. Se realizó, un día sí y otro no por aproximadamente 26 días o hasta que los aguacates ya no contaban con las características aceptables de exportación, las pruebas de color interno, color externo, defectos, rugosidad, firmeza, materia seca, pérdida de peso y dióxido de carbono a dos aguacates de cada una de las condiciones.

6.3.3 Humedad relativa

Se almacenaron los aguacates en unidades refrigeradas a humedades relativas de 75%, 85% y 95% para realizar las corridas. Los ambientes con estas humedades fueron creados colocando en las refrigeradoras humidificadores para las humedades de 85% y 95% y deshumidificadores para la humedad de 75% y 22°C. Los humidificadores se revisaron todos los días para agregarles agua.

Se estuvo controlado por medio de data loggers la humedad relativa y la temperatura. Se realizó, un día sí y otro no por aproximadamente 26 días o hasta que los aguacates ya no contaban con las características aceptables de exportación, las pruebas de color interno, color externo, defectos, rugosidad, firmeza, materia seca, pérdida de peso y dióxido de carbono a dos aguacates de cada una de las condiciones.

6.4 Determinación de parámetros fisicoquímicos de calidad del aguacate

6.4.1 Color

Se midió el color externo un día sí y otro no, utilizando la cartilla de color de la Figura 10, hasta que los dos aguacates analizados de cada uno de los ambientes llegaron a un color 4 de la cartilla.

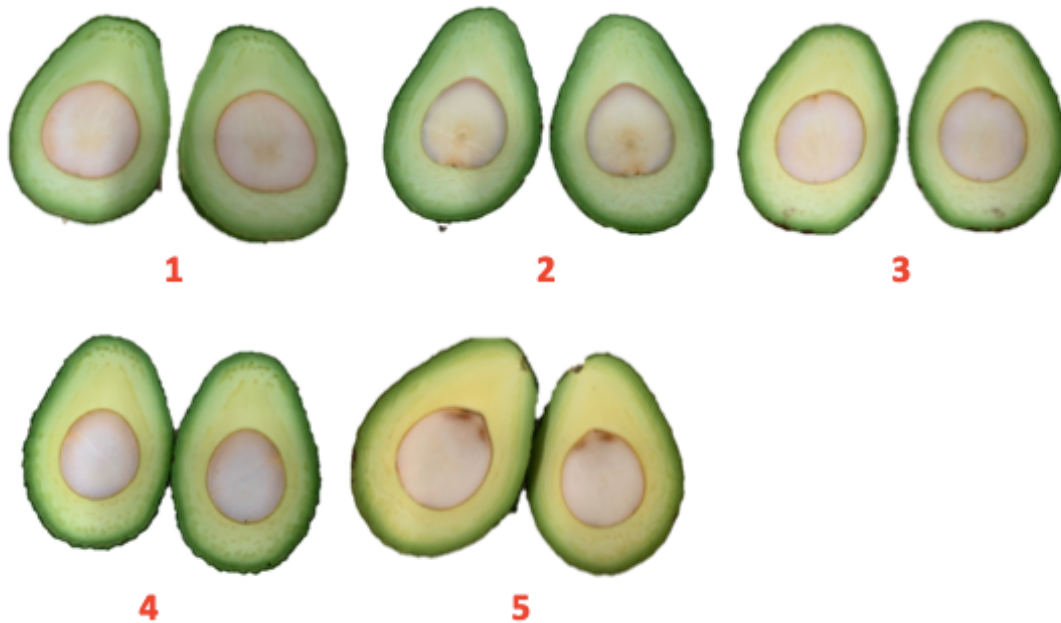
Figura No. 10: Cartilla de color externo aguacate Hass



(Elaboración propia, 2020)

El color interno de la pulpa se midió un día sí y otro no, utilizando de las cartillas de color de la Figura 11.

Figura No. 11: Cartilla de color interno aguacate Hass



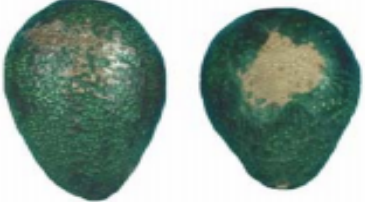





(Elaboración propia, 2020)

6.4.2 Defectos

Se midió los defectos externos de los aguacates un día sí y otro no, de cada uno de los ambientes por medio del Cuadro 2.

Cuadro No. 2: Cartilla de defectos de aguacate Hass

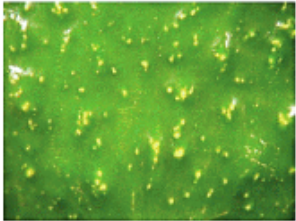
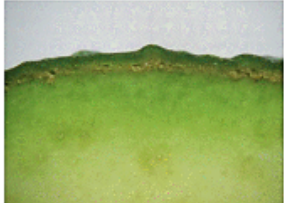
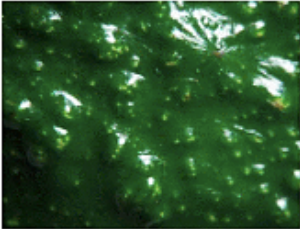
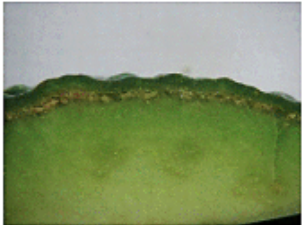
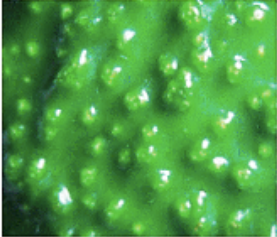
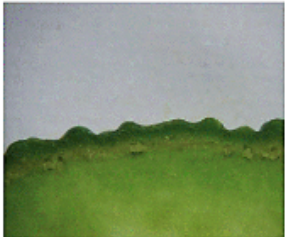
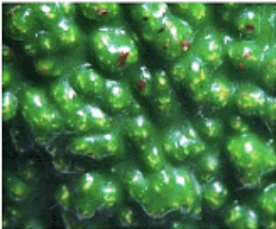
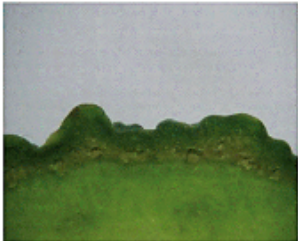
Defecto	Imagen
Daño por trips	
Daño mecánico	
Abrasión	
Quemadura de sol	
Antracnosis	
Moho peduncular	

Elaboración propia a partir de (Vásquez, Fonseca y Londoño, 2019)

6.4.3 Rugosidad

Se clasificó la rugosidad externa de los aguacates por medio del Cuadro 3.

Cuadro No. 3: Cartilla rugosidad de aguacate Hass

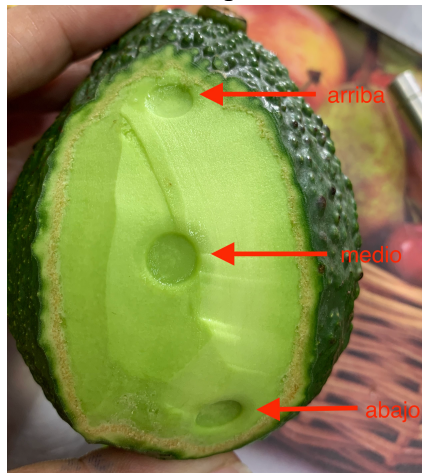
Nivel	Vista superficial	Vista lateral
Bajo		
Medio		
Alto		
Muy alto		

Elaboración propia a partir de (Salazar, S., Medina R. y Álvarez, 2016)

6.4.4 Firmeza:

Un día sí y otro no se sacaron dos aguacates de cada uno de los ambientes donde se encontraban almacenado y se midió la firmeza. Se utilizó el penetrómetro modelo FT 237 con punta de $\frac{1}{2}$ cm² (5/16 pulgadas; 8mm diámetro y capacidad de 13 Kg para medir la textura del aguacate. Se realizó la medición primero pelado una parte del aguacate donde se introducirá el penetrómetro. Luego se colocó el aguacate en una superficie plana, posteriormente se coloca el penetrómetro en la superficie pelada del aguacate y se presiona lentamente con fuerza creciente hasta que la punta penetre en la pulpa hasta la línea. Se midió la firmeza en tres puntos del aguacate, lo cuales fueron: arriba, en medio y abajo, como se muestra en la Figura 12, para poder obtener un valor promedio.

Figura No. 12: Puntos de penetración del aguacate



6.4.5 Determinación de dióxido de carbono

Un día sí y otro no se sacaron dos aguacate de cada uno de los ambientes donde se encontraban almacenados y se midió la velocidad de respiración como ppm de CO₂. Esto se realizó colocando los aguacates por 15 minutos en un recipiente de vidrio hermético, donde dentro del recipiente se tenía un logger EXTECH SD800.

6.4.6 Materia seca

Se determinó el contenido de materia seca por medio de la técnica de secado hasta peso constante con un microondas; para ello se removerá completamente la cáscara del aguacate con un pelador, se realizará un corte longitudinal en el aguacate hasta la semilla, de tal forma que el fruto quede dividido en dos mitades.

Se remueve la semilla y el tegumento y se cortaron rodajas longitudinales de aguacate de aproximadamente 1 mm de espesor, estas se colocaron en un beaker previamente pesadas y se pesaron 10g de muestra. Las muestras se secaron en un microondas con pausas cada 15 segundos, hasta obtener peso constante. Las muestras serán pesadas en una balanza KERN Pes con capacidad de 4200g 0.01g. (Cerdas, Montero y Somarribas, 2014).

6.4.7 Pérdida de peso

Todos los aguacates utilizados para las pruebas fueron numerados individualmente y pesado en una balanza marca KERN Pes con capacidad de 4200g \pm 0.01g el día que se recolectaron de la finca. Posteriormente un día si y otro no, hasta llegar a una pérdida mayor al 10% de masa, se pesarán nuevamente dos aguacates de cada una de las diferentes condiciones evaluadas en la prueba de temperatura, humedad relativa y daño mecánico con el fin de obtener la diferencia de peso. Los datos serán expresados como porcentaje de masa pérdida.

6.5 Análisis de datos

6.5.1 Análisis factorial completo y modelo simple de regresión lineal

Los datos obtenidos durante la experimentación fueron recopilados en Excel por medio de una matriz de 3³. Se utilizó el diseño experimental factorial completo (3³) para determinar la relación entre variables por combinaciones de posibles escenarios y sus efectos sobre las variables respuesta. Las variables respuesta analizadas fueron CO₂, pérdida de peso, materia seca, color interno y color externo. Se utilizaron estas variables respuesta por ser índices de calidad del aguacate.

Se analizaron las variables utilizando una codificación para la humedad relativa de -1, 0 y 1 para los niveles bajo, medio y alto, respectivamente y para la temperatura y daño mecánico de -1, 0 y 2 para los niveles bajo, medio y alto, respectivamente. Los valores de cada variable se pueden observar en el cuadro 1. Se utilizó estos valores ya que son el rango promedio al que se puede someter el aguacate durante la cadena de suministros al ser exportado.

Por medio de un análisis de varianza (ANOVA) en RStudio-1.3.1093 se determinaron las variables paramétricas significativas ($p < 0.05$) de CO₂, pérdida de peso y materia seca. En el caso de las variables no paramétricas de color interno y externo se utilizó el modelo de Kruskal-Wallis en RStudios-1.3.1093, asumiendo que los datos no se comportan de forma normal. Se obtuvieron gráficos de caja y bigotes de la combinación de cada una de las variables respuesta con temperatura, humedad relativa y daño mecánico para observar el comportamiento de los datos obtenidos.

Posteriormente solo con las variables e interrelaciones significativas se estableció la ecuación predictiva para cada una de las variables respuesta por medio del modelo simple de regresión lineal, utilizando la siguiente ecuación:

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

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

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

Según los Cuadros 9, 10 y 11 se obtuvieron modelos predictivos de los parámetros de calidad y vida útil de CO₂, pérdida de peso y color externo. El modelo permite ingresar las condiciones ambientales de temperatura, humedad relativa y daño mecánico a la que fue sometido el aguacate Hass durante la cadena de suministro por medio de valores codificados, obteniendo así los valores que pueden tener el aguacate de CO₂, pérdida de peso y color externo. Sin embargo, para utilizar las ecuaciones de cada uno de los modelos predictivos la temperatura, humedad relativa y daño mecánico no se ingresa directamente, sino que debe ser codificada.

Como se mencionó anteriormente en la temperatura se estableció que -1 hace referencia a 4°C, 0 a 10°C y 2 a 22°C. En el caso de la humedad relativa se estableció que el valor -1 hace referencia a 75%, el valor 0 a 85% y el valor 1 a 95%. Finalmente, para el daño mecánico se estableció que -1 hace referencia a 0.25m, 0 a 0.50m y 2 a 1.00m, donde en las escalas para cada una de las variables se tienen la misma proporción entre los valores. Si se desea utilizar las ecuaciones predictivas obtenidas por el modelo simple de regresión lineal para las variables respuesta se deben de ingresar los valores de humedad relativa, temperatura y daño mecánico evaluados en la cadena de suministros convertidos a la escala a la que cada variable hace referencia.

6.5.2 Modelo cinético de vida útil

Se realizó un análisis de vida útil para modelos cinéticos utilizando como parámetro crítico de calidad el color externo del aguacate Hass, por una de las principales variables de rechazo. Se graficó el color externo obtenido en los días de experimentación a 4°C, 10°C y 22°C para determinar el orden de reacción. Luego por medio de la ecuación de Arrhenius se determinó el efecto de la temperatura sobre la velocidad de reacción del deterioro, mediante la siguiente ecuación:

$$[\text{Ec. 2}] \quad k = k_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right)$$

En donde k es la constante de velocidad de la reacción de deterioro, E_a es una constante conocida como factor pre exponencial, R la energía de activación y T la temperatura absoluta en Kelvin.

Finalmente, se realizó la determinación de la relación entre la vida útil y la temperatura por medio del modelo Q_{10} , donde se utilizó el termino Q_{Δ} porque la diferencia de las temperaturas utilizadas en la experimentación no es distinta a 10°C . El valor de Q_{10} indica la velocidad a la que se acelera la reacción de deterioro por cada de 10°C en la temperatura.

Se obtuvieron 3 ecuaciones para predecir la vida útil de aguacate y 3 velocidades de Q_{10} ya que se siguió el mismo procedimiento para los datos obtenidos en los 3 niveles de daño mecánico. En la experimentación se decidió simular 3 intensidades de golpe con el fin de determinar los diferentes comportamiento de deterioro a cada una de las intensidad de golpe aplicadas al aguacate.

6.5.3 Análisis producción de CO_2

Según los datos obtenidos de la producción de CO_2 en cada una de las diferentes combinaciones de tratamiento aplicados, se realizaron gráficos para evaluar el efecto en la producción de CO_2 en las diferentes combinaciones en los niveles temperatura y daño mecánico. En todos los gráficos se mantuvo la humedad relativa al nivel óptimo de 95% ya que no fue una variable significativa que afectara la producción de CO_2 . Los gráficos se utilizaron para determinar el comportamiento de la producción de CO_2 durante el proceso de maduración en las diferentes condiciones de temperatura y daño mecánico evaluadas.

7. Resultados y discusión

En el presente trabajo de investigación se buscó desarrollar un modelo predictivo de las características de calidad y vida útil de aguacate Hass por medio de la interacción 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. La experimentación se llevó a cabo evaluando los parámetros de firmeza, CO₂, defectos, rugosidad, color interno, color externo, materia seca y pérdida de peso.

Los aguacates se obtuvieron de una finca en Santa María de Jesús, Sacatepéquez. Las pruebas se dividieron en grupos, donde se realizaron 6 corridas el 8 de agosto, 6 corridas el 5 de septiembre, 6 corridas el 3 de octubre y finalmente 9 corridas el 31 de octubre. Esto con el fin de poder almacenar cada una de las corridas en unidades de refrigeración y controlar sus condiciones de almacenamiento para mantenerlas constantes. Durante el manejo de la finca al laboratorio se mantuvo la temperatura en un rango de 4°C a 10°C y evitando daños mecánicos al fruto para que no acelerar o afectar el proceso de maduración del aguacate.

Los aguacates seleccionados para utilizar en la experimentación se clasificaban por ser de un calibre de segunda (< 174g y <155g) y primera (>175g), con un peso promedio de 180g. El contenido de materia seca fue mínimo de 21%, sin embargo, en las primeras 6 corridas se obtuvieron aguacates con un contenido de materia seca menor a 21%. Se decidió trabajar con los aguacates con materia seca menor debido a que no se vio un efecto significativo en los cambios de las variables de calidad y vida útil de aguacate Hass.

En el laboratorio se evaluaron las características de calidad iniciales del aguacate y luego se fueron evaluando las mismas características un día si y otro no hasta que el fruto perdiera mínimo una de las características de calidad evaluadas. La mayoría de los aguacates evaluados inicialmente, excepto por las primeras 6 corridas, contaban con un contenido de materia seca mínimo de 21% (cuadro 13 de anexos). Se observó que los aguacates el día de la cosecha ya contaban con leves defectos de trips, daño mecánico y abrasión (Cuadro 14 de anexos) y producían una concentración de CO₂ mayor a 790 ppm (Cuadro 13 de anexos). Por lo tanto, la mayoría de los aguacates utilizados para la experimentación contaban con la madurez fisiológica adecuada para llevar a cabo el proceso de maduración de manera uniforme

Figura No. 13: Efecto de la temperatura en el color externo del aguacate en el día 16 a 95% y 0.25m



No se evaluó la calidad de los aguacates diariamente debido a que estos cuentan con una vida útil larga, la cual está alrededor de 26 a 28 días en condiciones ideales. Durante la experimentación, cuadros 13 y 14 de anexos y Figura 13, se observó que los aguacates almacenados a 22°C contaban con menor tiempo de vida útil, debido a que a esas temperaturas se acelera el metabolismo del fruto y, por lo tanto, aumenta la tasa de respiración y producción de etileno. En base a los datos experimentales obtenidos se determinó que los aguacates almacenados a 4°C y 10°C presentaban una vida útil similar de 26 días debido a que en bajas temperaturas se logra disminuir su metabolismo. Esto permitió mantener a los aguacates por más tiempo en la etapa antes del pico climático.

Figura No. 14: Efecto del daño mecánico en el color externo del aguacate en el día 10 a 95% y 22°C



Se observó en el cuadro 13 y 14 de anexos y en la Figura 14 que el daño mecánico de 1.00m, independientemente de la temperatura, podía reducir la vida útil del fruto de 1 a 2 días debido al estrés inducido por el daño. El estrés en el aguacate ocasionado por el daño mecánico acelera las reacciones bioquímicas, dando como resultado una maduración no controlada y poco uniforme. Además, causa un daño celular, ablandamiento de la pared celular, oxidación enzimática por liberación de polifenoloxidasas y pardeamiento por formación de quinina durante la oxidación, las cuales se acumulan y se polimerizan formando un pigmento marrón.

La rugosidad se evaluó para estandarizar todos los aguacates utilizados durante la experimentación a una rugosidad baja y media. Esto debió a que, según García *et al.*, (2017) la rugosidad depende de la región donde se cosecha el aguacate y época, sin embargo, la rugosidad es un factor que puede afectar como se da la pérdida de peso del fruto. Por lo tanto, se decidió utilizar solo frutos con rugosidad similar con el fin de que este factor no afectara en la pérdida de peso evaluada durante la experimentación.

Figura No. 15: Defectos en los aguacates Hass utilizados durante la experimentación



Se evaluaron los defectos presentes en los aguacates utilizados con el fin de estandarizar la muestra y que esto no afectara el proceso y grado de maduración del aguacate. No se lograron obtener aguacates sin ningún defecto, pero se utilizaron aguacates con los mismos defectos y en proporciones bajas, como se observa en la Figura 15. Los principales defectos presentes en la mayoría de los aguacates fue daño mecánico, abrasión y trips. Es importante la estandarización ya que la abrasión y el daño mecánico pueden causar la aceleración de los procesos bioquímicos y, por lo tanto, se obtiene una madurez acelerada y no uniforme. En el caso del trips cuando este está presente en un mayor grado se deteriora el tejido celular y se produce una decoloración.

7.1 Parámetros de calidad y vida útil evaluados

Se evaluó el parámetro de firmeza ya que es un buen predictor de todas las etapas del madurez del aguacate y es de las principales variables de calidad que se manifiestan con el tiempo. La firmeza del fruto durante la maduración comienza con una alta resistencia a la penetración, luego pasa a una tasa moderada y cae a una baja resistencia a la penetración cuando está completamente maduro. Esto se debe a que durante el proceso de maduración se tiene actividad enzimática que va degradando la pared celular del fruto, dando como resultado una pérdida de firmeza gradual.

Se estableció como parámetro de rechazo cuando el aguacate Hass llegara a una firmeza menor a 13 Kg, esto debido a que el fruto llegó a una etapa de firmeza moderada, lo cual indica que el fruto está cerca del pico climatérico donde se tiene todas las características de calidad deseadas para consumo. Por lo tanto, como se está buscando una calidad de exportación se establecen parámetros de calidad antes del pico climatérico para que el fruto llegue al consumidor final con las características ideales para consumo. Además, manejar aguacates con poca firmeza durante el proceso de exportación hace al fruto más susceptible a la temperatura y daño mecánico por las altas tasas de respiración que se tiene en esa etapa.

Sin embargo, en la mayoría de los días de vida útil del aguacate Hass se obtuvieron datos fuera de la capacidad de medición del penetrómetro ya que la dureza del fruto era mayor de lo que el penetrómetro podía medir. Por lo tanto, se recomienda utilizar un penetrómetro con mayor capacidad o un texturómetro para obtener resultados más certeros y poder usar la firmeza en los modelos predictivos y no solo como parámetro de rechazo.

En el Cuadro 14 se observó que el color externo de los aguacates Hass fue otra de las principales variables de calidad que primero se manifiesta con el tiempo, por lo tanto, era de los principales motivos de rechazo del aguacate durante la experimentación por no cumplir con su calidad de exportación. Esto se debe a que conforme el aguacate empieza sus procesos de maduración aumenta la actividad enzimática de manera proporcional dentro del fruto, lo cual causa un cambio de color de verde oscuro a un rojizo-negro y va perdiendo su brillo por la degradación de la clorofila. Este efecto se aprecia claramente en la Figura 10, donde se observa la cartilla de color externo del aguacate Hass evaluado.

Figura No. 16: Efecto de pérdida de peso mayor al 10% del aguacate Hass



Se estableció que la pérdida de peso mayor al 10% era un motivo de rechazo ya que el aguacate no era visualmente aceptable, como se observa en la Figura 16, por presentar una apariencia arrugada debido a la pérdida de agua. En la Figura 33 se observó una mayor pérdida de peso a una humedad relativa de 75%, debido a que el agua comienza a migrar del aguacate hacia el ambiente para poder llegar a un equilibrio. La humedad relativa ideal para el almacenamiento de aguacates debe estar entre 90-95% para poder conservar de mejor forma los atributos de calidad del fruto, especialmente la pérdida de peso (Kader y Arpaia, 2016).

Controlar la humedad relativa es importante durante toda la cadena de suministros del aguacate. En este estudio solo se evaluó un rango relativamente alto de humedad relativa, sin embargo, cuando se refrigera el aguacate sin tener un control en la humedad relativa o sistema de humidificación se pueden obtener humedades entre 40-50% lo cual se considera sumamente bajo en el almacenamiento del aguacate. Humedades bajas pueden causar que la tasa de pérdida de peso sea mayor y, por lo tanto, se den problemas de calidad en la apariencia del fruto y estrés híbrido.

Figura No. 17: Concentración de CO₂ vs. Días a 4°C, 95% y 0.25m

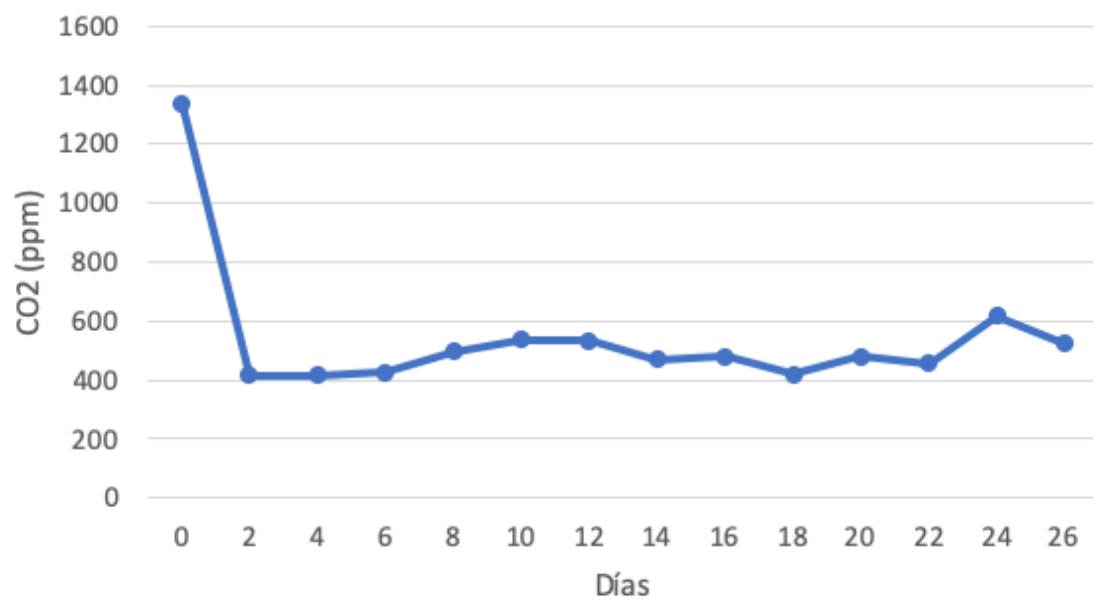


Figura No. 18: Concentración de CO₂ vs. Días a 4°C, 95% y 0.50m

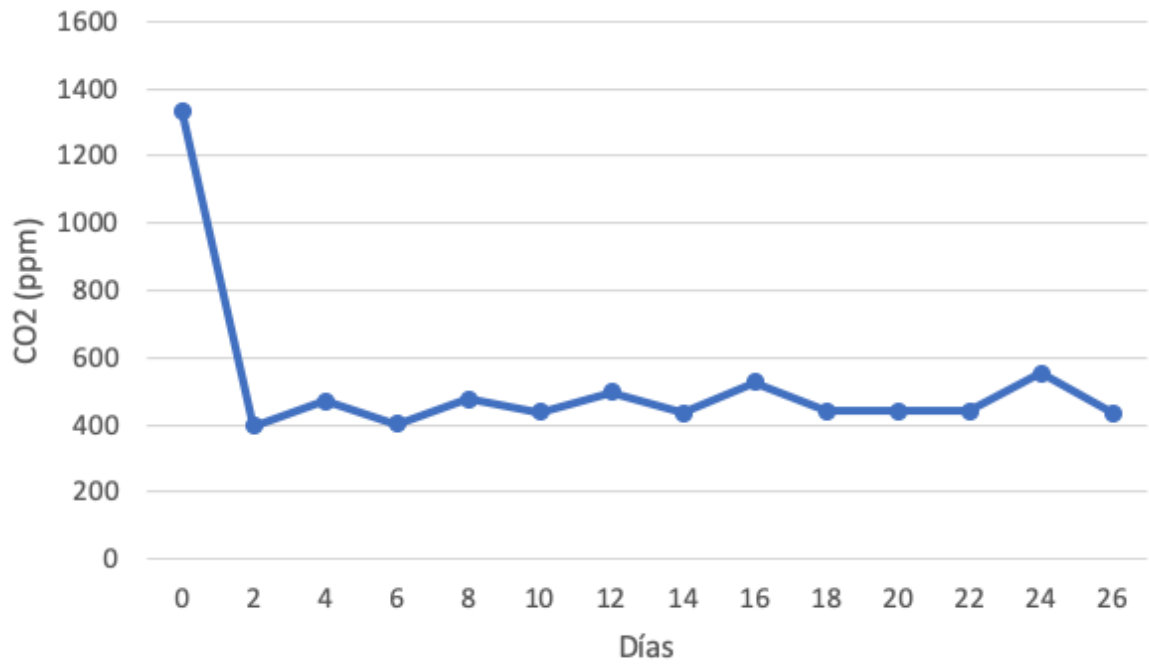


Figura No. 19: Concentración de CO₂ vs. Días a 4°C, 95% y 1.00m

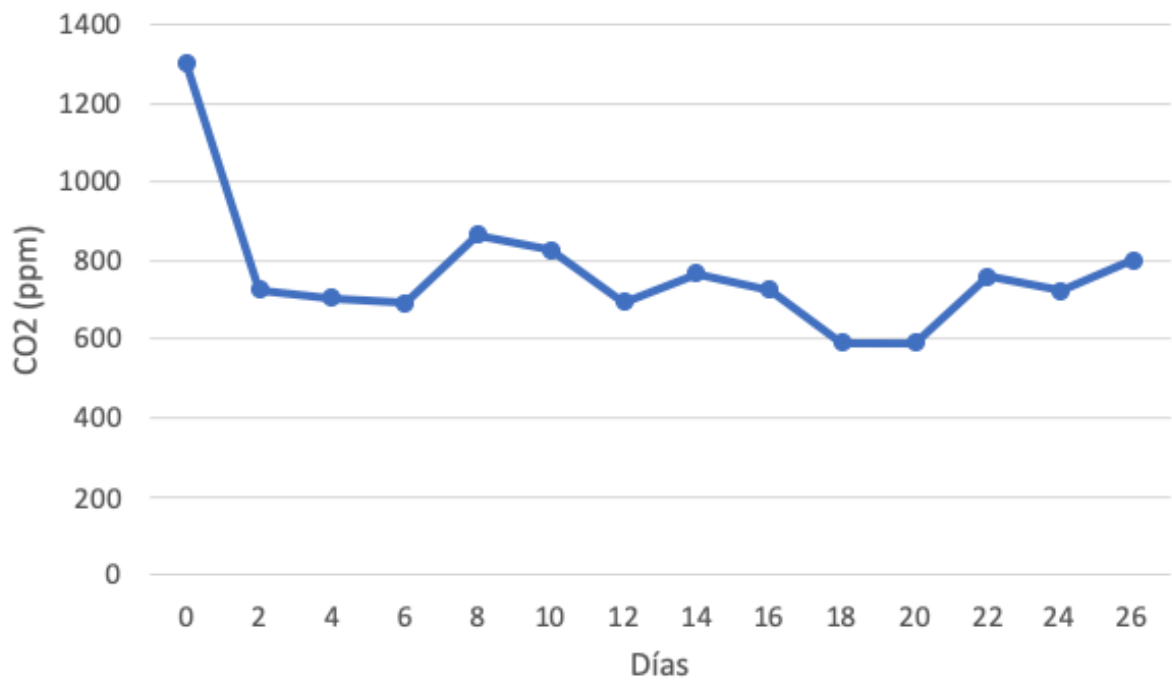


Figura No. 20: Concentración de CO₂ vs. Días a 10°C, 95% y 0.25m

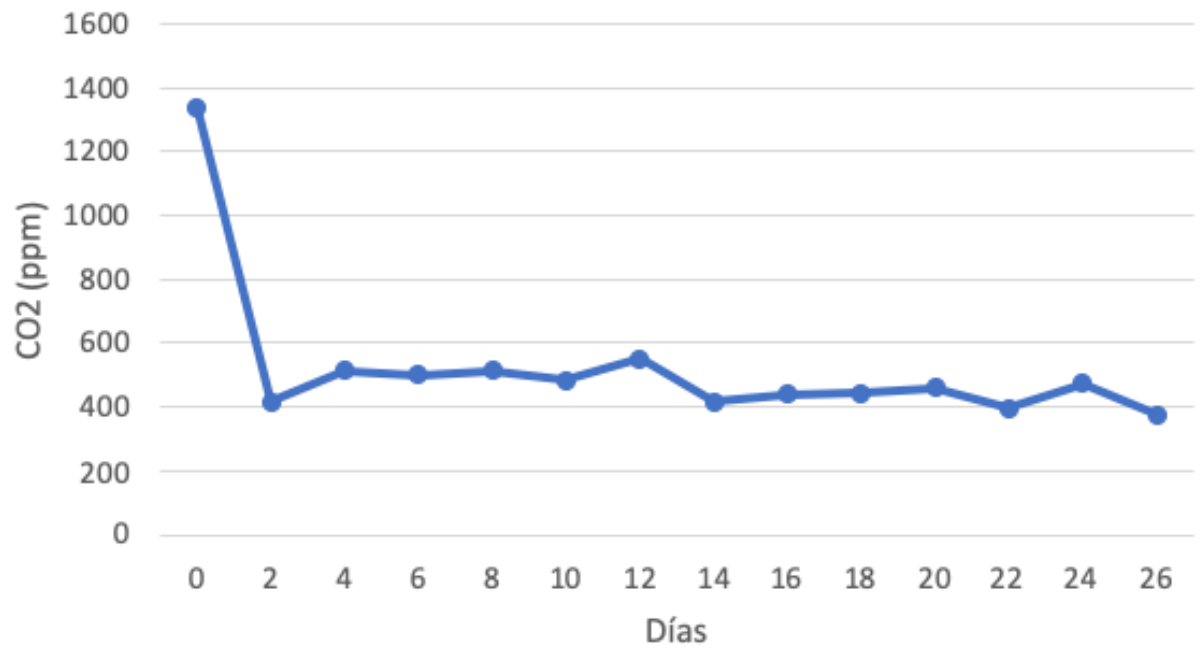


Figura No. 21: Concentración de CO₂ vs. Días a 10°C, 95% y 0.50m

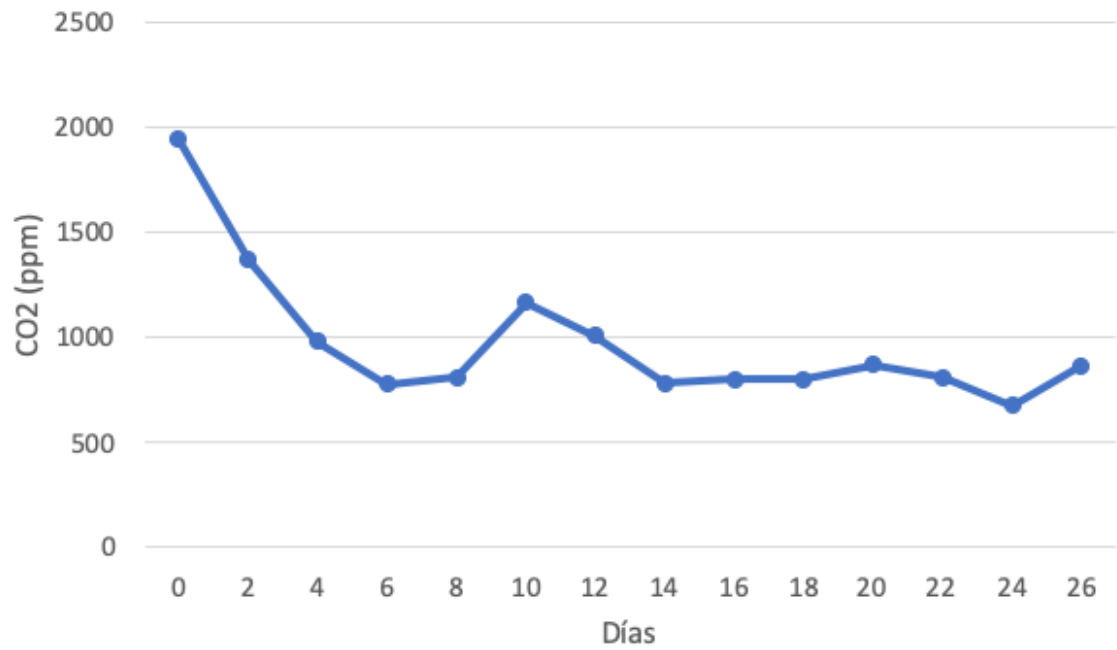


Figura No. 22: Concentración de CO₂ vs. Días a 10°C, 95% y 1.00m

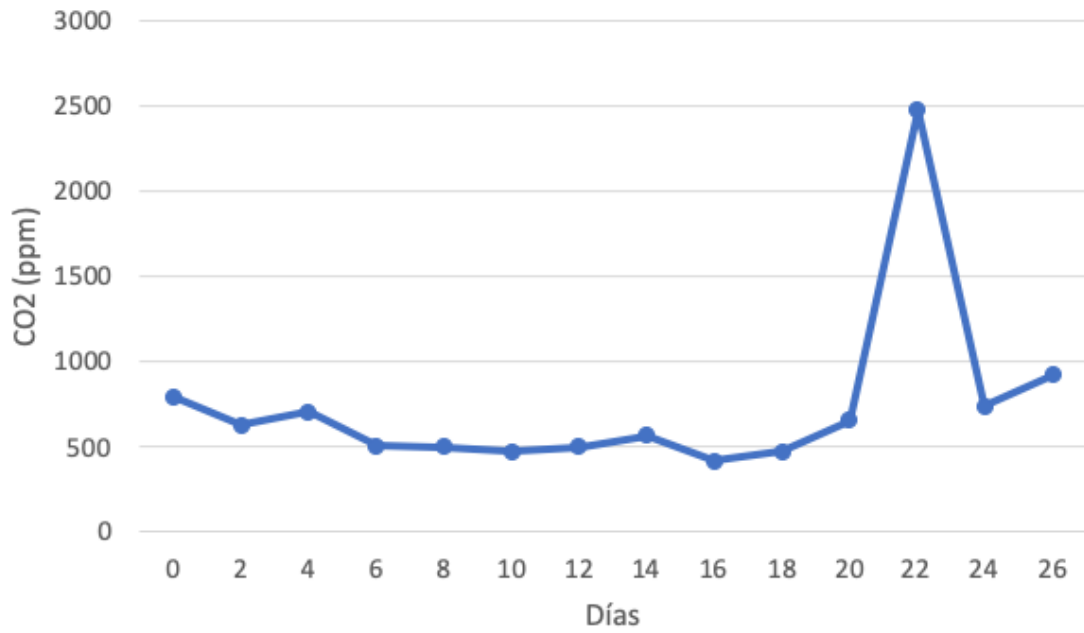


Figura No. 23: Concentración de CO₂ vs. Días a 22°C, 95% y 0.25m

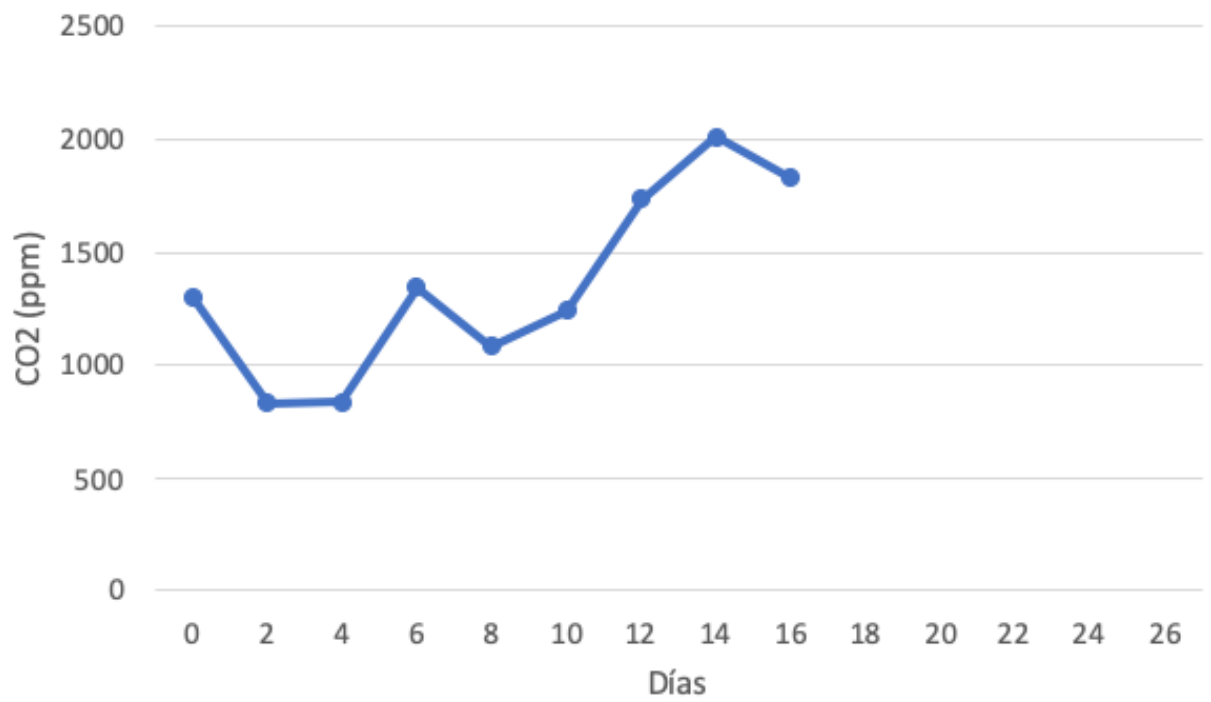


Figura No. 24: Concentración de CO₂ vs. Días a 22°C, 95% y 0.50m

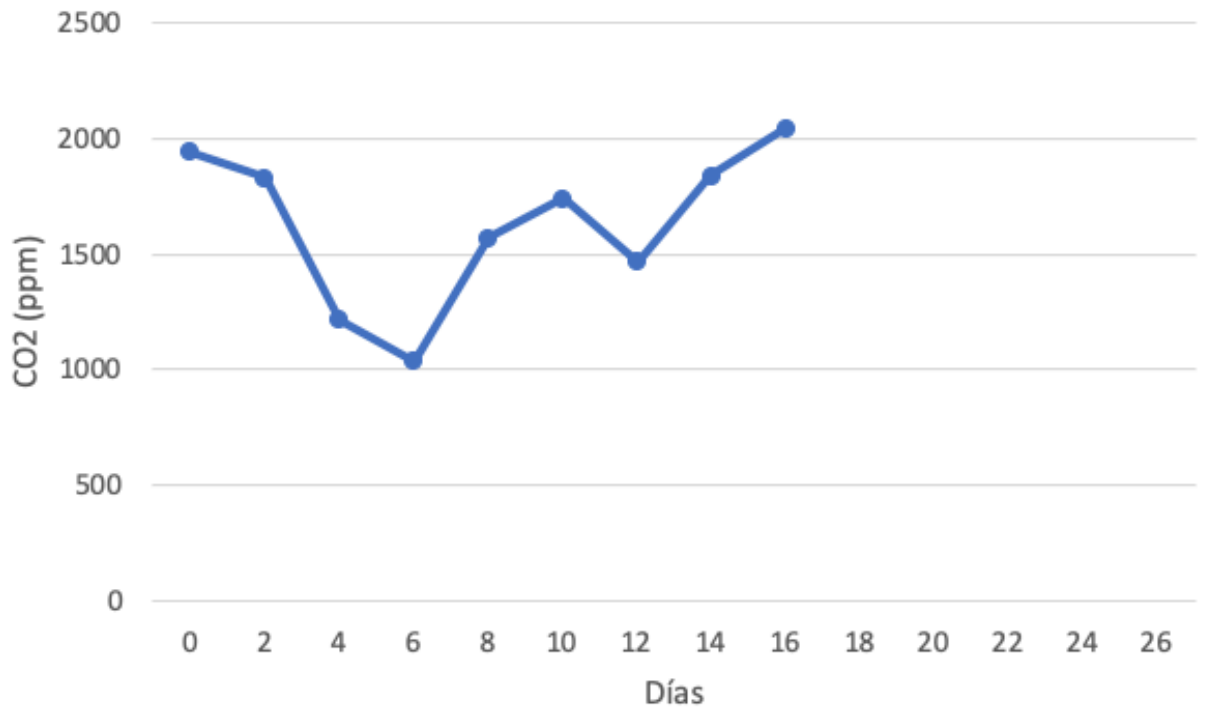
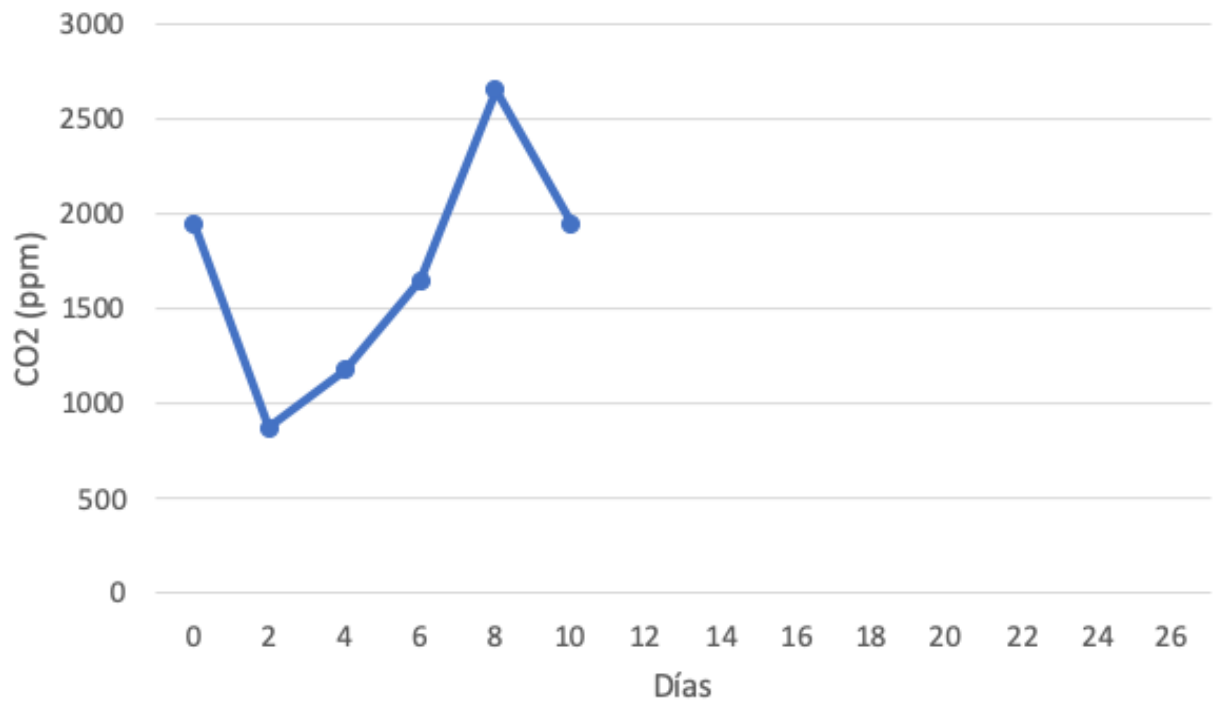


Figura No. 25: Concentración de CO₂ vs. Días a 22°C, 95% y 1.00m



Se determinó que el CO₂ presentaba diferentes valores debido a las distintas tasas de respiración, como se observa en las figuras de la 17 a la 25. Este efecto se le atribuye principalmente a la temperatura, donde a menor temperatura se daban tasas de respiración más bajas. Sin embargo, se observó que para cada condición el CO₂ llegaba al pico climatérico donde se producía un contenido máximo de CO₂. En esta etapa el fruto ya no cumplía con los parámetros de calidad de exportación. Se confirmó que ese era el pico climatérico ya que después del pico se daba una disminución del CO₂ como proceso de senescencia.

7.2 Análisis de variables significativas por análisis de varianza y Kruskal-Wallis

Según los datos obtenidos de cada uno de los parámetros de calidad de las 28 corridas se utilizó el análisis de varianza para determinar si los cambios en temperatura, humedad relativa, daño mecánico y días afectan individualmente a la producción de CO₂, pérdida de peso, materia seca, color externo y color interno. Los datos fueron analizados por medio de un análisis de varianza en el caso de las variables paramétricas y por Kruskal-Wallis para las variables no paramétricas.

Se establecieron las variables de color interno y externo como no paramétricas ya que al utilizar cartillas de color no se cuenta con una distribución particular de los datos y son variables categóricas. En las figuras 38 a la 43 se puede observar con los diagramas de caja y bigotes que no tiene una distribución normal para las variables de color interno y externo, lo cual se debe a que estas variables son datos no paramétricos y se confirma el uso correcto del modelo Kruskal-Wallis.

Cuadro No. 4: Análisis de varianza CO₂

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media cuadrática	Valor F	Valor P	Significativo
Temperatura	1	47152367	47152367	291.657	< 2E-16	Sí
Humedad relativa	1	385278	385278	2.383	0.123	No
Daño mecánico	1	2890570	2890570	17.879	2.69E-05	Sí
Día	1	903561	903561	5.589	0.018	Sí
Residuales	649	104924344	161671			

En el Cuadro 4 se determinó que la temperatura, daño mecánico y día son variables significativas en la producción de CO₂ del aguacate Hass ($p < 0.05$), es decir que el CO₂ producido por el aguacate Hass se ve afectado por los cambios en temperatura, daño mecánico y a lo largo de los días.

Los cambios de temperatura influyen en la producción de CO₂ ya que tiene un efecto sobre la fisiología del aguacate. Bajas temperaturas permiten alargar la vida útil del fruto ya que se tiene una actividad fisiológica reducida y se reduce el efecto de múltiples enzimas que participan en la síntesis de etileno, carbohidratos, ácidos orgánicos, entre otros. Esto genera una tasa de respiración baja debido a que se mantiene el aguacate por más tiempo en la etapa pre-climatérica. Por otro lado, a temperaturas altas se tiene una tasa de respiración mayor lo cual puede reducir la vida útil del aguacate de 10 a 20 días en lugar de 26 días, debido al aumento de la actividad respiratorio, reacciones bioquímica y pico climatérico (Pérez, Mercado y Soto-Valdez, 2004).

El daño mecánico es un tipo de estrés que se le puede ocasionar al aguacate, este se clasifica como cualquier tipo de golpe, fricción, abrasión o compresión que se le ocasiona al fruto. El daño mecánico genera daño a nivel de la pared celular y estimula la liberación de enzimas que participan en los procesos bioquímicos de madurez. Entre mayor es el daño mecánico más se ven acelerada la tasa de respiración del fruto y provoca un proceso de madurez no uniforme.

En los datos obtenidos durante la experimentación (cuadro 13 y 14) se confirmó el efecto del daño mecánico sobre la aceleración de los procesos de madurez del fruto ya que se observó como el daño mecánico de 1.00 m redujo la vida útil de 2 a 3 días, independientemente de la temperatura. En el caso del daño mecánico de 0.50 se observó que en ciertas condiciones redujo de 1 a 2 días de vida útil, especialmente a 22°C. Finalmente, el daño mecánico de 0.25m no tuvo un efecto en la reducción de vida útil del aguacate, ya que no fue un golpe significativo para acelerar los procesos de madurez.

Por otro lado, se observó que para el CO₂ se tiene más datos atípicos en los niveles más altos de daño mecánico y humedad relativa debido a que la maduración del aguacate no se produce de manera uniforme por la aceleración de dicho proceso. Según la Figura 28 no se observó un patrón en la variable de humedad relativa ya que como se obtuvo en el análisis de varianza esta no es una variable significativa en los cambios de los parámetros de calidad y vida útil del aguacate Hass.

La humedad relativa no tiene un efecto significativo sobre la producción de CO₂ debido a que este factor se ve reflejado principalmente en la pérdida de peso, como el aguacate esta sometido a diferentes humedades relativas sucede la migración de agua dentro del aguacate al ambiente para llegar a un equilibrio. Cuando el fruto ya pierde agua debido a las condiciones ambientales se puede generar el aumento de la producción de etileno debido al estrés hídrico, sin embargo, el aumento no fue significativo debido a que no se vio una relación con la tasa de respiración.

Cuadro No. 5: Análisis de varianza pérdida de peso

Variabes	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media cuadrática	Valor F	Valor P	Significativo
Temperatura	1	11	11	3.655	0.0563	Sí
Humedad relativa	1	290	290	92.893	< 2E-16	Sí
Daño mecánico	1	46	46	14.720	1.37E-04	Sí
Día	1	3917	3917	1254.317	< 2E-16	Sí
Residuales	649	2027	3			

En el Cuadro 5 se determinó que la temperatura, humedad relativa, daño mecánico y día son variables significativas en la pérdida de peso del aguacate Hass ($p < 0.05$), es decir que la pérdida de peso del aguacate Hass es afectada por los cambios en todas las variables analizadas, las cuales van aumento la pérdida de peso durante el tiempo de almacenamiento.

En comparación con los demás parámetros de calidad la pérdida de peso es el principal parámetro que se ve afectado por la humedad relativa. En el proceso de madurez el aguacate va reemplazando el agua dentro del fruto por aceite; sin embargo, según Bill *et al.* (2014) la pérdida de peso es influenciada principalmente por las condiciones de almacenamiento. Esto de debe a que durante el almacenamiento el aguacate busca llegar a un equilibrio con la humedad del ambiente, por lo que tiene que perder agua el aguacate a las humedades de 75% y 85% (Herrera *et al.*, 2017).

La pérdida de agua después de la cosecha afecta la calidad de los aguacates acelerando la tasa de maduración y puede tener un efecto en la incidencia de pudriciones. De acuerdo con Pérez, Mercado y Soto-Valdez (2004) la pérdida de peso causa un estrés híbrido dentro del fruto que aumenta la producción de etileno y por ende acelera los procesos de madurez del fruto. También se obtuvo que la temperatura y el daño mecánico inciden en la pérdida de peso por que estos factores acelerar los procesos de madurez, donde el fruto comienza a sustituir agua por aceite y debido a que ya se tiene un estrés híbrido que contribuye a la aceleración de la tasa de respiración.

Cuadro No. 6: Análisis de varianza materia seca

Variabes	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media cuadrática	Valor F	Valor P	Significativo
Temperatura	1	19	19.45	1.438	0.231	No
Humedad relativa	1	181	180.56	13.348	2.80E-04	Sí
Daño mecánico	1	77	76.9	5.685	1.74E-02	Sí
Día	1	43	43.07	3.184	0.075	No
Residuales	647	8752	13.53			

En el Cuadro 6 se determinó que el contenido de materia seca es afectado por los cambios en las variables de humedad relativa y daño mecánico ($p < 0.05$). Sin embargo, estos datos no se consideran confiables ya que la materia seca no iba aumentando conforme se daba el proceso de madurez, como establece la teoría.

La materia seca de los aguacates muestreados no presentó ninguna tendencia y se tenían valores variados, como se puede observar en las figuras 35, 36 y 37, ya que por ser una prueba destructiva no se lograba medir el comportamiento de la materia seca de un aguacate conforme pasaban los días en cada una de las condiciones de almacenamiento. Además, aunque se trató de tener muestras lo más similar posible no se logró una distribución homogénea de la materia seca. Por lo tanto, no se utilizó esta variable en el modelo predictivo.

Cuadro No. 7: Prueba Kruskal-Wallis color interno

Variabes	Grados de libertad	Chi-cuadrado	Valor P	Significativo
Temperatura	2	104.65	$< 2.2E-16$	Sí
Humedad relativa	2	4.118	0.128	No
Daño mecánico	2	31.944	1.157E-07	Sí
Día	13	44.581	2.457E-05	Sí

En el Cuadro 7 se determinó que el color interno es afectado por los cambios en las variables de temperatura, daño mecánico y día ($p < 0.05$). La humedad relativa no es una variable significativa, lo cual se puede confirmar con el diagrama de caja y bigotes de la Figura 34 donde no se observa una diferencia en el color interno con los diferentes niveles de humedad relativa.

El color interno se ve afectado por los cambios en la temperatura y daño mecánico ya que estas variables al aumentar causan un aumento en los procesos de madurez del aguacate. Conforme va madurando el fruto se observó que la tonalidad verde de la pulpa del aguacate se va tornando levemente amarilla de forma creciente y luego permaneció constante el color. Este efecto se puede asociar a la síntesis y permanencia de pigmentos carotenoides.

Cabe mencionar que los resultados obtenidos durante la experimentación no son precisos debido a que los cambios de color en la pulpa del aguacate son subjetivos y difíciles de apreciar. Por lo tanto, tampoco se utilizó esta variable en el modelo predictivo. Se recomienda utilizar un método de evaluación de color por medio de colorímetro para poder obtener datos más precisos que se puedan utilizar en los modelos predictivos.

Cuadro No. 8: Prueba Kruskal-Wallis color externo

Variabes	Grados de libertad	Chi-cuadrado	Valor P	Significativo
Temperatura	2	4.300	0.117	No
Humedad relativa	2	5.036	0.081	No
Daño mecánico	2	12.667	2.000E-03	Sí
Día	13	402.190	< 2.2E-16	Sí

En el Cuadro 8 se determinó que el color externo del aguacate Hass se ve afectado por los cambios en el daño mecánico y a lo largo de los días ($p < 0.05$). Sin embargo, como se observará posteriormente la temperatura si tiene un efecto significativo, pero al relacionarse con los días. Esto se debe a que los cambios del color externo por el efecto de la temperatura se ven conforme pasan los días de almacenamiento.

Los cambios en el daño mecánico influyen en color externo de aguacate debido a que entre mayor es el daño mayor es el grado de actividad enzimática. Las enzimas producidas llevan a una serie de procesos bioquímicos que aumentan la tasa de respiración y por ende se disminuye la vida útil de fruto. Conforme madura el aguacate la luminosidad decrece, hasta que se llega a un punto cerca del climaterio donde disminuye la tonalidad de verde y aumenta los colores rojos y cafés. Estos cambios en el color se ven asociados con la degradación de la clorofila b por acción enzimática, donde se hidroliza la clorofilida y fitol (Márquez *et al.*, 2014).

7.3 Modelos predictivos

Utilizando solo las variables significativas obtenidas anteriormente se establecieron los modelos predictivos. Donde por medio de las variables significativas y sus interrelaciones se construyó una ecuación para cada uno de los parámetros de CO₂, pérdida de peso y color externo, donde la variable “y” hace referencia a cada uno de dichos parámetros de calidad evaluados. Las ecuaciones establecidas ayudan a predecir los parámetros de calidad por medio de los datos de temperatura, humedad relativa, daño mecánico y día a lo que somete el aguacate durante la post-cosecha, con el fin de poder determinar el comportamiento de CO₂, pérdida de peso y color externo que puede tener.

Cuadro No. 9: Modelo predictivo para la variable CO₂

Variables	Coefficiente	Error estándar	Valor t	Valor P	Significativo
Intercepto	960.784	30.168	31.847	<2E-16	Sí
Temperatura	143.051	24.730	5.784	1.13E-08	Sí
Daño mecánico	16.761	23.481	0.714	0.476	No
Día	-4.931	2.160	-2.283	0.023	Sí
Temperatura: Daño mecánico	33.887	19.120	1.772	0.077	No
Temperatura: Día	7.913	2.100	3.769	1.79E-04	Sí
Daño mecánico: Día	2.831	1.709	1.657	0.098	No
Temperatura: Daño mecánico: Día	-1.576	1.635	-0.964	0.335	No

En el Cuadro 9 se estableció el modelo predictivo utilizando la variable CO₂, donde por medio de las variables e interrelaciones significativas se obtuvo la siguiente ecuación:

$$[\text{Ec. 1}] \quad y = 960.784 + 143.051 (\text{temperatura}) - 4.931 (\text{día}) + 7.913 (\text{temperatura})(\text{día})$$

La variable “y” es la producción de CO₂ en ppm del aguacate a cierta temperatura y día. El modelo predictivo indica que la producción de CO₂ en el aguacate Hass se ve afectada principalmente por los cambios de temperatura, días y la interacción entre temperatura y los días ($p < 0.05$). En esta ecuación predictiva se obtuvo un $R^2 = 0.3449$, lo cual nos dice que este modelo tiene una capacidad predictiva baja, dando como resultado una predicción poco precisa.

La temperatura es un factor importante en el proceso de maduración del aguacate ya que tiene una relación proporcional con la tasa de respiración del aguacate. Las altas temperaturas desencadenan los procesos bioquímicos del aguacate acompañado por la producción autocatalítica de etileno y aumento de la tasa de respiración. Por otro lado, almacenar el aguacate a bajas temperaturas causa que los procesos bioquímicos del aguacate se den en menor grado, permitiendo que se alargue la vida útil del fruto (Pérez, Mercado y Soto-Valdez, 2004).

En las figuras 17 a la 25 se puede observar los diferentes comportamientos de la producción de CO₂ que se tuvo durante los días de vida útil del aguacate Hass a las diferentes temperaturas y daños mecánicos, donde se mantuvo una humedad relativa ideal de 95% ya que esta no es una variable significativa en los cambios de la producción de CO₂. Se obtuvo un pico alto en el día 0 de cada condiciendo debido a que ese día al cortarlo del árbol aumenta la tasa de respiración debido a que empieza la producción de etileno del fruto. Se observó que a 4°C se presenta el pico climatérico a los 24 y 26 días. Sin embargo, a las temperaturas de 10°C y 22°C no se presentan los picos en los mismos días. Esto se debe a que a esas temperaturas la tasa de respiración es mayor y menos controlada que a 4°C, dando como resultado mayor variabilidad en la curva de respiración.

Los picos climatéricos son reflejo de un incremento en la actividad mitocondrial debido a la alta actividad enzimática que permite transformar las características bioquímicas y fisiológicas del aguacate. El climaterio es donde se marca el paso hacia la senescencia y presenta un aumento de la respiración que conduce a la maduración óptima para consumo. Como se menciona anteriormente, en todas las condiciones se obtuvo un pico climatérico, sin embargo, el valor máximo del pico climatérico era menor a temperaturas bajas y se daba días después de los picos obtenidos a 22°C. Este efecto se da por un menor grado de la tasa de respiración y por mantener el aguacate por más tiempo en la etapa post-climatérica (Arpaia *et al.*, 2018).

Por medio de diagramas de caja y bigotes se analizaron los resultados obtenidos de los parámetros de calidad y vida útil de aguacate en las diferentes condiciones de daño mecánico, humedad relativa y temperatura aplicadas a los aguacates. Se confirmo por medio de la figura 29 y 31 que al aumentar el daño mecánico y la temperatura se produce mayor CO₂ debido a que se le induce estrés al fruto, acelerando la tasa de respiración y la biosíntesis de etileno. Esto es acompañado de cambios bioquímicos, que incluyen la una mayor actividad enzimática lo que resulta principalmente en cambios en los índices de calidad.

Cuadro No. 10: Modelo predictivo para la variable pérdida de peso

Variables	Coefficiente	Error estándar	Valor t	Valor P	Significativo
Intercepto	0.250	0.125	1.999	0.046	Sí
Temperatura	0.275	0.103	2.678	0.008	Sí
Humedad relativa	0.132	0.154	0.857	0.392	No
Daño mecánico	-0.216	0.097	-2.222	0.026	Sí
Día	0.332	0.009	36.924	<2 E-16	Sí
Temperatura: Humedad relativa	-0.077	0.127	-0.605	0.546	No
Temperatura: Daño mecánico	0.007	0.080	0.089	0.929	No
Temperatura: Día	0.034	0.009	3.834	1.39E-04	Sí
Humedad relativa: Daño mecánico	0.100	0.119	0.842	0.400	No
Humedad relativa: Día	-0.088	0.011	-7.804	2.46E-14	Sí
Daño mecánico: Día	0.005	0.007	0.690	0.490	No
Temperatura: Humedad relativa: Daño mecánico	0.040	0.098	0.410	0.682	No
Temperatura: Humedad relativa: Día	-0.007	0.011	-0.619	0.536	No
Temperatura: Daño mecánico: Día	-0.019	0.007	-2.717	0.007	Sí
Humedad relativa: Daño mecánico: Día	-0.003	0.009	-0.348	0.728	No
Temperatura: Humedad relativa: Daño mecánico: Día	-0.002	0.009	-0.259	0.796	No

En el Cuadro 10 se estableció el modelo predictivo utilizando la variable pérdida de peso, donde por medio de las variables e interrelaciones significativas se obtuvo la siguiente ecuación:

$$[Ec. 2] \quad y = 0.249954 + 0.274929(\text{temperatura}) - 0.216435(\text{daño mecánico}) + 0.332283 (\text{día}) + 0.033913(\text{temperatura})(\text{día}) - 0.087923(\text{humedad relativa})(\text{día}) - 0.019430 (\text{temperatura})(\text{daño mecánico})(\text{día})$$

La variable “y” es el porcentaje de pérdida de peso del aguacate a cierta temperatura, daño mecánico y día. La pérdida de peso en el aguacate Hass se ve afectada principalmente por los cambios de temperatura, daño mecánico, días y la interacción entre temperatura y los días, humedad relativa y días y temperatura, daño mecánico y días ($p < 0.05$). En esta ecuación predictiva se obtuvo un $R^2 = 0.7243$, lo cual nos dice que este modelo tiene una capacidad predictiva aceptable y se puede utilizar para poder predecir el efecto de la temperatura, humedad relativa, daño mecánico y días en según el parámetro de calidad de pérdida de peso.

Se observó en la figura 33 y 34 que la pérdida de peso se ve afectada principalmente por la humedad relativa y temperatura, ya que se obtuvo una mayor pérdida de peso en el nivel de humedad relativa más bajo (75%) y en el nivel de temperatura más alto (22°C). Esto se debe a la migración del vapor de agua desde el fruto hacia la atmósfera causado por un diferencial de humedad entre el aguacate y la atmósfera a la que está almacenado. El diferencial de humedad se genera cuando se tiene humedades relativas menores a 90%. La migración de agua dentro del fruto tiene como consecuencia su deshidratación.

En la Figura 32 se observó una pérdida de peso similar para los distintos niveles de daño mecánico, sin embargo, se tiene una mayor cantidad de datos atípicos en el nivel más alto de daño mecánico debido a una maduración no uniforme. El proceso de maduración no uniforme se debe a que por medio del estrés inducido por el daño mecánico afecta el sistema de formación de etileno y, por lo tanto, la fisiología de la maduración puede verse afectada, dando como resultado que durante la maduración no se de correctamente el proceso de sustitución de agua por aceite dentro del fruto por lo que se tienen datos atípicos en la pérdida de agua.

La pérdida de peso se da dentro del fruto por sustitución de agua por aceite debido al aumento de materia seca por los procesos de madurez y por las condiciones ambientales a las que se almacena el fruto. El estrés híbrido tiene efecto en la maduración del aguacate, por lo tanto, la tasa de pérdida de agua de la fruta durante el almacenamiento afecta tanto la tasa de maduración como la calidad de la fruta. Se determinó que la temperatura tuvo un efecto significativo por la aceleración del proceso de madurez de aguacate. En el caso se la humedad relativa se cree que su efecto fue significativo principalmente por la migración de agua al ambiente a humedades relativas menores a 90% y no por los procesos de madurez.

Cuadro No. 11: Modelo predictivo para la variable color externo

VARIABLES	Coeficiente	Error estándar	Valor t	Valor P	Significativo
Intercepto	1.052	0.046	22.999	<2E-16	Sí
Temperatura	-0.029	0.038	-0.767	0.443	No
Daño mecánico	0.004	0.036	0.119	0.906	No
Día	0.104	0.003	31.675	<2E-16	Sí
Temperatura: Daño mecánico	-0.033	0.029	-1.139	0.255	No
Temperatura: Día	0.028	0.003	8.784	<2E-16	Sí
Daño mecánico: Día	0.011	0.003	4.251	2.44E-05	Sí
Temperatura: Daño mecánico: Día	1.696E-04	0.002	0.068	0.945	No

En el Cuadro 11 se estableció el modelo predictivo utilizando la variable color externo, donde por medio de las variables e interrelaciones significativas se obtuvo la siguiente ecuación:

$$[Ec. 5] \quad y = 1.0522371 + 0.1037352(\text{día}) + 0.0279692(\text{temperatura})(\text{día}) + 0.0110142(\text{daño mecánico})(\text{día})$$

La variable “y” es la escala de color externo del aguacate a cierta temperatura, daño mecánico y día. El color externo del aguacate Hass se ve afectada principalmente por los cambios en los días y la interacción entre temperatura y día y daño mecánico y días ($p < 0.05$). En esta ecuación predictiva se obtuvo un $R^2 = 0.6511$, lo cual indica que el modelo tiene una capacidad predictiva aceptable y se puede utilizar para poder predecir el efecto de la temperatura, daño mecánico y días en base al parámetro de calidad del color externo. Los cambios en la humedad relativa no afectan significativamente al color externo.

En el modelo se puede observar que la temperatura y daño mecánico no son variables significativas, sin embargo, la interacción de estas variables con los días es significativa ya que los cambios en el color externo por temperatura y daño mecánico se van observando en el transcurso del tiempo. Esto se debe a que el estrés causado por la temperatura y el daño no se genera inmediatamente, sino que se primero causa la aceleración del proceso de madurez del fruto donde posteriormente se presentan los cambios de color por la alta actividad enzimática que degrada la clorofila.

Se logró establecer la ecuación predictiva para cada una de las variables respuesta por medio del modelo simple de regresión lineal. Sin embargo, se obtuvo que la ecuación contaba con una capacidad predictiva aceptable solo para las variables de pérdida de peso y color externo. La ecuación predictiva de CO₂, materia seca y color interno no se recomienda utilizar debido a que su capacidad predictiva es pobre y daría como resultados datos no confiables.

La baja capacidad predictiva del CO₂ se le atribuye a la variabilidad de los datos a las temperaturas de 10°C y 22°C, debido a una tasa de respiración es menos controlada. Por otro lado, los datos variables también se ven afectados por el estrés inducido tanto por la temperatura como por el daño mecánico. El estrés causa daños en la fisiología de la maduración, dando como resultado que ocurra antes de tiempo el pico climatérico y de manera no uniforme.

En el caso del contenido de materia seca la baja capacidad predictiva se debe a la variabilidad en el contenido de materia seca de los aguacates, a pesar de que se obtenidos del mismo lote. Además, debido a que las pruebas para determinar el contenido de materia seca eran destructivas no se logró evaluar el mismo aguacate a lo largo de su vida útil y observar como iba cambiando con la maduración del fruto.

Finalmente, para el color interno no se logró tener una buena capacidad predictiva ya que el color de la pulpa o carne del aguacate no es considerado como un índice de madurez relevante ya que este no cambia significativamente durante el período de maduración. El color puede pasar de ser pálido a un amarillo-verdoso más intenso, pero estos son cambios leves y solo son más notorios en la parte que está en contacto con la semilla.

7.4 Análisis de vida útil

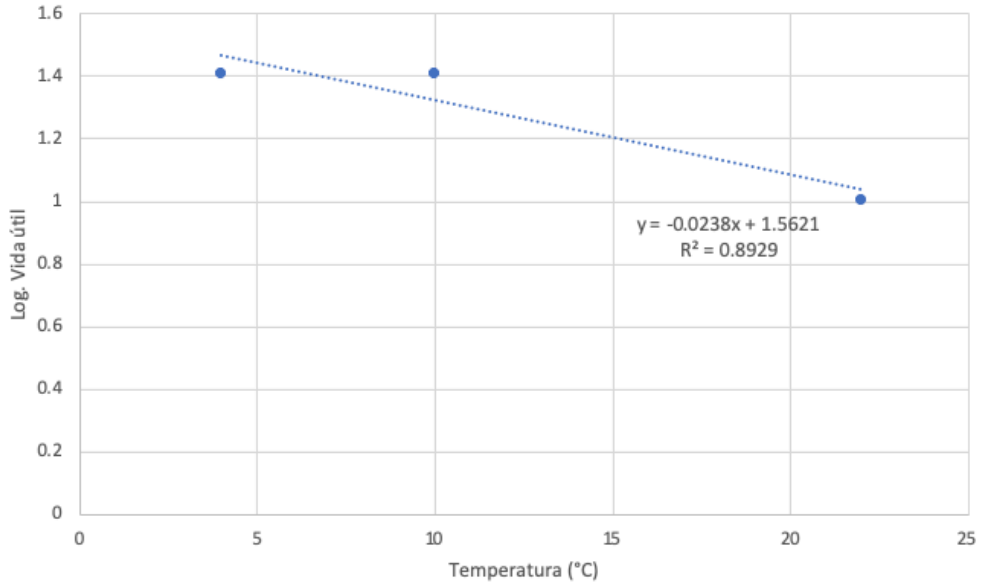
Finalmente, para poder obtener una ecuación predictiva del comportamiento de la vida útil de la vida útil del aguacate Hass a la diferentes condiciones evaluadas se utilizó el modelo cinético de vida útil. En los datos utilizados para la generación de la ecuación de vida útil se mantuvo una humedad relativa ideal de 95%, ya que esta no es una variable significativa que afecte el color externo. Se utilizó el color externo como parámetro crítico para indicar el deterioro de la calidad del aguacate ya que este fue el que presentó una mayor capacidad predictiva en el modelo simple de regresión lineal y fue una de las principales variables de rechazo de la vida útil del aguacate Hass durante la experimentación.

En la determinación de las ecuaciones de vida útil se estableció como límite máximo de calidad el valor 3 de la cartilla de color externo (Figura 10), ya que a partir de ese valor el aguacate no cuenta con las características de calidad deseadas en la exportación. Por otro lado, cuando se llega a un color 4 en la cartilla de color externo (Figura 10) el aguacate por estar en un estadio de madurez más avanzado se ve más afectado por los cambios de temperatura y daño mecánico.

Se graficó el color externo con la temperatura por ser la variable que más afecta a lo largo del tiempo ya que causó una disminución clara en la vida útil del aguacate de 10 a 16 días. El gráfico del comportamiento del color externo a lo largo de los días a las temperaturas de 4°C, 10°C y 22°C permitió clasificar la reacción como orden cero, lo cual indica una relación lineal entre el color externo y los días. Se utilizó la ecuación de Arrhenius para predecir como cambia la velocidad de reacción a distintas temperaturas.

Finalmente, se utilizó el método de Q_{10} para predecir el efecto de la temperatura sobre el aguacate. Este factor significa el número de veces que la velocidad de las reacciones se modifica cuando la temperatura aumenta en 10°C, sin embargo, como las temperaturas evaluadas durante la experimentación no contaban con diferencia de 10°C se corrigió por medio de Q_{Δ} para obtener ecuaciones donde se pueda calcular la vida útil que tendrá el aguacate al ser sometido a cierta temperatura.

Figura No. 26: Análisis de vida útil aguacate Hass con 0.25m de daño mecánico

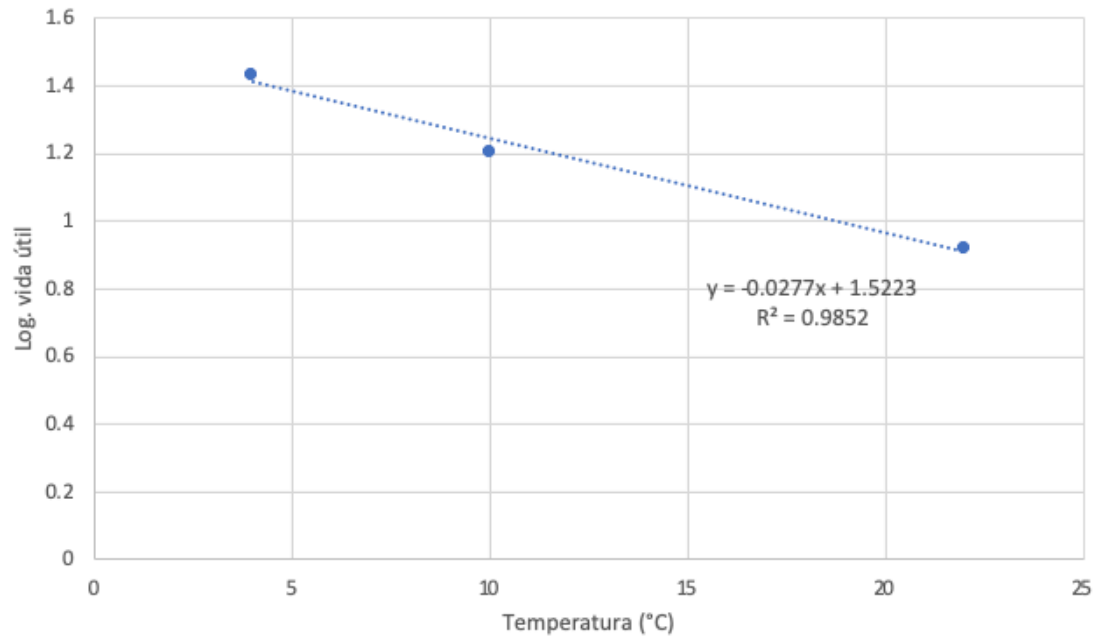


En la Figura 26 se estableció el modelo predictivo de vida útil utilizando la variable color externo como parámetro crítico de calidad, donde se utilizaron los experimentales con 0.25m de daño mecánico para obtener la siguiente ecuación:

$$[Ec. 6] \quad Vida \text{ útil} = 10^{(-0.0238T + 1.5621)}$$

La ecuación de vida útil cuenta con un R^2 de 0.8929, lo cual al estar cercano a 1 indica que por medio de esta ecuación se pueden obtener datos precisos en la predicción de vida útil del aguacate Hass.

Figura No. 27: Análisis de vida útil aguacate Hass con 0.50m de daño mecánico

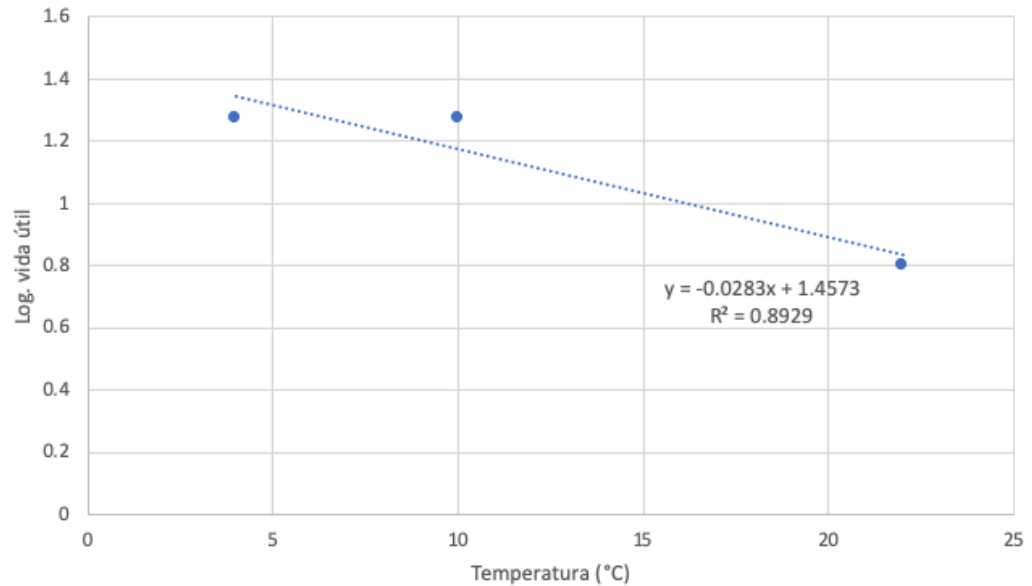


En la Figura 27 se estableció el modelo predictivo de vida útil utilizando la variable color externo como parámetro crítico de calidad, donde se utilizaron los experimentales con 0.50m de daño mecánico para obtener la siguiente ecuación:

$$[Ec. 7] \quad Vida \text{ útil} = 10^{(-0.0277T + 1.5223)}$$

La ecuación de vida útil cuenta con un R^2 de 0.9852, lo cual al estar cercano a 1 indica que por medio de esta ecuación se pueden obtener datos precisos en la predicción de vida útil del aguacate Hass.

Figura No. 28: Análisis de vida útil aguacate Hass con 1.00m de daño mecánico



En la Figura 28 se estableció el modelo predictivo de vida útil utilizando la variable color externo como parámetro crítico de calidad, donde se utilizaron los experimentales con 1.00m de daño mecánico para obtener la siguiente ecuación:

$$[Ec. 8] \quad Vida \text{ útil} = 10^{(-0.0283T + 1.4573)}$$

La ecuación de vida útil cuenta con un R^2 de 0.8929, lo cual al estar cercano a 1 indica que por medio de esta ecuación se pueden obtener datos precisos en la predicción de vida útil del aguacate Hass.

Cuadro No.12: Cálculo de Q_{10} basado en la ecuación de vida útil del aguacate Hass

Daño mecánico (m)	Q_{10} promedio
0.25	1.70
0.50	1.90
1.00	1.70
Promedio	1.77
Desviación estándar	± 0.03

En el Cuadro 12 se obtuvo un Q_{10} promedio de 1.77, este valor indica que la velocidad de la reacción de deterioro se acelera 1.77 veces por cada 10°C de aumento en la temperatura, en otras palabras, la vida útil del aguacate Hass decrece 1.77 veces por cada 10°C de aumento en la temperatura. Se obtuvo una desviación estándar baja lo cual indica que independientemente del daño mecánico aplicado la vida útil del aguacate disminuye de manera similar, debido a que la temperatura es lo que más afecta en el proceso de maduración del aguacate.

Los objetivos se cumplieron ya que se logró determinar por medio de un análisis de varianza que la temperatura, daño mecánico, humedad relativa y día son variables significativas en los cambios de los parámetros de calidad y vida útil del aguacate Hass. Se logró desarrollar un modelo predictivo con capacidad predictiva aceptable de los parámetros de pérdida de peso y color externo por medio de las interrelaciones significativas con las condiciones de temperatura, humedad relativa, daño mecánico y día.

Por otro lado, por medio del modelo predictivo de vida útil se logró establecer tres ecuaciones de vida útil para cada uno de los datos obtenidos con daño mecánico de 0.25m, 0.50m y 1.00m. Las ecuaciones de vida útil permiten determinar la relación entre la cantidad de días que dura el aguacate antes de perder su calidad de exportación por medio de la variable crítica de color y las temperaturas a la que es sometido durante la cadena de suministros.

Se recomienda realizar todas las corridas juntas con el fin de evitar variabilidad en el contenido de materia seca ya que conforme pasa el tiempo el aguacate en el árbol el contenido de materia seca va aumentando. Un aguacate con materia seca muy alta puede reducir la vida útil del fruto de 1 a 2 días. Finalmente, es importante el uso de otro equipo con mayor capacidad para medir la firmeza. Tener valores más precisos permitirá utilizar la firmeza en los modelos predictivos por ser una de las principales variables de rechazo.

Las ecuaciones predictivas obtenidos por medio del modelo simple de regresión lineal y de vida útil para modelos cinéticos de pérdida de peso y color externo se pueden utilizar en el proceso de exportación del aguacate Hass con el fin de poder predecir problemas de calidad al someter el aguacate a cierta temperatura, humedad relativa y daño mecánico. Esto permitirá disminuir las pérdidas post-cosecha debido a que se puede realizar una toma de decisiones más asertiva. Identificar el riesgo permitirá definir planes de contingencia para la implementación de estrategias precisas.

Un mal manejo post-cosecha en el proceso de exportación del aguacate se manifiesta en el fruto días o semanas después, dependiendo del grado de madurez en la que se encuentre el aguacate. La incertidumbre que tiene el exportador sobre las características de calidad que tendrá el fruto puede resultar en pérdidas económicas, ya que los daños a la calidad del fruto no se manifiestan inmediatamente. Los modelos matemáticos predictivos de vida útil son una herramienta económica que permite al exportador predecir, por medio de una base de datos de los parámetros post-cosecha cruciales, como y en cuánto tiempo el fruto va a madurar.

8. Conclusiones

1. Los objetivos se cumplieron ya que se logró determinar por medio de un análisis de varianza que la temperatura, daño mecánico, humedad relativa y día son variables significativas en los cambios de los parámetros de calidad y vida útil del aguacate Hass.
2. Se logró desarrollar un modelo predictivo de los parámetros de pérdida de peso y color externo con una capacidad predictiva aceptable por medio de las variables e interrelaciones significativas de temperatura, humedad relativa, daño mecánico y día. El modelo predictivo de CO₂ presentó una capacidad predictiva baja debido a las diferentes tasas de respiración en cada nivel de temperatura y tasas de respiración no controladas por una maduración no uniforme.
3. No se obtuvo un modelo con buena capacidad predictiva de las variables de materia seca y color interno debido a que a las condiciones a las que se sometieron los aguacates Hass estos parámetros no se vieron afacetados considerablemente.
4. Se determinó que en promedio la vida útil del aguacate Hass decrece 1.77 veces por cada 10°C de aumento en la temperatura, independientemente del tratamiento de daño mecánico aplicado.

9. Recomendaciones

Si se cuenta con el espacio necesario para almacenar los aguacates en las 27 diferentes condiciones ambientales, se recomienda realizar todas las corridas seguidas con el fin de poder evitar cierta variabilidad en el contenido de materia seca del aguacate, el cual va aumentando cada mes cuando el aguacate esta en el árbol. Esto se debe de realizar con el fin de evitar que la materia seca afecte la vida útil de aguacate, ya que con un contenido de materia seca mayor su vida útil se reduce aproximadamente 2 días. Sin embargo, se recomienda realizar un estudio del efecto del contenido de materia seca sobre la vida útil del aguacate, con el fin de determinar si se pueden trabajar con aguacates en cierto rango de materia seca sin afectar la vida útil del fruto.

La firmeza es una variable de calidad clave ya que cuando el aguacate comienza con sus procesos de madurez una de las principales características donde se refleja el estadio de madurez es en la firmeza. Por lo tanto, se recomienda utilizar otro modelo de penetrómetro Wagner FT40 con un rango de 0-20kg o un texturómetro que permite obtener datos precisos, los cuales se puede utilizar para construir un modelo predictivo más certero.

Es importante evaluar las producción de etileno del aguacate Hass como un factor de calidad. Esto debido a que es un índice de calidad importante que proporciona datos precisos sobre el estadio de madurez del fruto. Además, se recomienda aplicar diferentes niveles de etileno al fruto y evaluar su comportamiento. Esto debido a que durante ciertas etapas de la post-cosecha el aguacate es almacenado y genera etileno, los cual puede acelerar los procesos de maduración de los demás aguacates almacenados en un mismo contenedor.

Se recomienda utilizar muestras de fincas que exporten aguacate, con el fin de poder asegurar un fruto sin daños o enfermedades, además de poder ejemplificar el proceso de exportación de manera más precisa para poder adaptar de mejor forma las ecuaciones predictivas a exportadores de aguacates. Una mejor estandarización de la muestra permitirá reducir el efecto que estas variables tengan sobre las variables respuesta que fueron evaluadas, obteniendo así un modelo con mejor capacidad predictiva.

En futuras experimentaciones se puede evaluar solo el efecto de la temperatura y el daño mecánico sobre las características de calidad y vida útil del aguacate Hass, con el fin de obtener modelos predictivas más preciso, debido a la simplicidad del modelo. No se recomienda incluir la humedad relativa ya que se vio que en el rango de humedades de 75% a 95% no afecta las características de calidad del aguacate. Incluir más variables puede causar que los resultados de los modelos predictivos sean específicos para esa experimentación y no se puedan aplicar de la misma manera a cualquier exportador que necesite utilizar las ecuaciones predictivas.

Finalmente, a los exportadores de aguacate se recomienda que el fruto se mantenga a temperaturas entre 4-10°C durante todas las etapas de la cadena de suministros, debido a que la temperatura es uno de las condiciones de almacenamiento principales que afectan la vida útil de aguacate. Esto se debe a que a temperaturas bajas disminuyen la tasa de respiración y, por lo tanto, aumenta la vida útil. Por otro lado, es importante evitar el daño mecánico en cualquier etapa de la cadena de suministros ya que este acelera los procesos de madurez, disminuyendo la vida útil del fruto.

10. Referencias

- Abuín, J. (2007). Regresión lineal múltiple. *IdEyGdM-Ld Estadística, Editor*, 32.
- Ahmed, D., Yousef, A. & Hassan, H. (2010). Relationship between electrical conductivity, softening and color of Fuerte avocado fruits during ripening. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 1(5), 878-885.
- Anacafé (2004). Cultivo de Aguacate (*Persea americana* Mill). Programa de diversificación de ingresos en la empresa cafetalera, asociación nacional de café. Guatemala.
- Anderson, D., Sweeney, D. y Williams, T. (2011). Estadística para negocios y economía. 11a. Edición. México. *Cengage Learning Editores*, 1080.
- Araya, M., Calderón, M. y Cordero, E. (2006). Manual de manejo pre y postcosecha de Aguacate (*Persea americana*). San José, Costa Rica.
- Arpaia, M., Collin, S., Sievert, J., y Obenland, D. (2018). ‘Hass’ avocado quality as influenced by temperature and ethylene prior to and during final ripening. *Postharvest Biology and Technology*, 140, 76-84.
- Arzate-Vázquez, I., Chanona-Pérez, J., Perea-Flores, M., Calderón-Domínguez, G., Moreno-Armendáriz, M., Calvo, H. y Gutiérrez-López, G. (2011). Image processing applied to classification of avocado variety Hass (*Persea americana* Mill.) during the ripening process. *Food and Bioprocess Technology*, 4(7), 1307-1313.
- Baker, D., Da Silva, C., Shepherd, A., Jenane, C. y Miranda, S. (2010). Agro-Industries for Development. Oxfordshire, UK: FAO and UNIDO with CAB International, 2009, 296 pp., ISBN: 978-1845935771, \$123.50. *Agribusiness*, 26(4), 573-574.
- Bill, M., Sivakumar, D., Korsten, L. y Thompson, K. (2014). The efficacy of combined application of edible coatings and thyme oil in inducing resistance components in avocado (*Persea americana* Mill.) against anthracnose during post-harvest storage. *Crop Prot.* 64:159-167.
- Bill, M., Sivakumar, D., Thompson, A. K., & Korsten, L. (2014). Avocado fruit quality management during the postharvest supply chain. *Food Reviews International*, 30(3), 169-202.

Blakey, R. J. (2011). *Management of avocado postharvest physiology* (Doctoral dissertation, University of KwaZulu-Natal, Pietermaritzburg).

Camelo, A. (2003). Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas. *Servicios Agrícolas de la FAO, 1*.

California Avocado Commission (2014). Avocado Storing and Handling. Culinary Education Module, Lesson 4.

Carvalho, P, Velásquez, M. & Van Rooyen, Z. (2015). Determination of the minimum dry matter index for the optimum harvest of 'Hass' avocado fruits in Colombia. *Agronomía Colombiana*. 32. 399-406.

Cerdas, M., Montero, M. y Somarribas, O. (2014). Verificación del contenido de materia seca como indicador de cosecha para aguacate (*Persa americana*) cultivar Hass en zona intermedia de producción de los Santos Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 38(1), 207-214.

Correa, P., Pérez, J. y Ruiz, M. (1995). Ensayos no destructivos para la evaluación de madurez post-recolección de aguacate. *Agro-Ciencia*, 11(2), 197-200.

Curbelo, A., Municio, Á., y Delgado, F. (2018). Herramientas para la gestión de riesgos en cadenas de suministro: una revisión de la literatura. *Dirección y Organización*, (64), 5-35.

Dagnino, J. (2014). Análisis de varianza. *Revista Chilena de Anestesia*, 43, 306-310.

Díaz, P., & Fernández, P. (2001). Determinación del tamaño muestral para calcular la significación del coeficiente de correlación lineal. *Metodología de la Investigación*, 1(6).

Dorantes, L., Parada, L. and Ortiz, A. (2004). AVOCADO: Post-harvest Operation. Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO, Rome, Italy.

Dueñas, R. (2016). Efecto de diferentes métodos de reducción de tamaño sobre la calidad sensorial del aguacate liofilizado. Centro de Investigación y Asistencias en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.

Faber, B. (2016). Avocado cultivars, botanical races and genetic footprints. Department of Botany and Plant Sciences, University of California Riverside.

García, J., González, Y., González, J, Maldonado, S. y Bravo, A. (2017). Influencia del clima y rugosidad sobre la tolerancia a refrigeración del aguacate 'Hass'. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Pub. Esp. Núm. 19*. p. 3911-3921

Ginsberg, L. (1985). Post harvest physiological problems of avocados. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, 8, 8-11.

- Goletti, F., & Wolff, C. (1999). *The impact of postharvest research* (No. 596-2016-40016).
- Hatton Jr, T. & Campbell, C. (1959). Evaluation of indices for Florida avocado maturity. In *Florida State Horticulture Society* (Vol. 72, p. 349).
- Harker, F., Jaeger, S., Hofman, P., Bava, C., Thompson, M., Stubbings, B., White, A., Wohlers, M., Heffer, M., Lund, C. and Woolf, A. (2007). Australian Consumers' Perceptions and Preferences for 'Hass' Avocado. Horticulture Australia Ltd, Sydney.
- Herrera, J., Salazar, S., Martínez, H. y Ruiz, J. (2017). Indicadores preliminares de madurez fisiológica y comportamiento postcosecha del fruto de aguacate Méndez. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 40(1), 55-63.
- Humble, S., & Reneby, A. (2014). Post-harvest losses in fruit supply chains—a case study of mango and avocado in Ethiopia. *Karin Hakelius, Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Economics*.
- Huysamer, M., & Mare, L. (2003). The Effect of relative humidity and ethylene scrubbing on fuerte and hass avocado fruit quality. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, 26(96), 98-105.
- Kader, A. (2011). *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. (Vol. 3529). University of California Agriculture and Natural Resources.
- Kader, A. and Arpaia, M. (2016). Avocado, Recommendations for Maintaining Postharvest Quality. Postharvest Technology Center. University of California, Davis.
- Kassim, A., Workneh, T., and Bezuidenhout, C. (2013). A review on postharvest handling of avocado fruit. *African Journal of Agricultural Research*, 8(21), 2385-2402.
- Kitinoja, L., & Kader, A. (2015). Measuring postharvest losses of fresh fruits and vegetables in developing countries. *PEF White Paper*, 15-02.
- Mandemaker, A., Elmsly, T. & Smith, D. (2006). Effects of drop heights and fruit harvesting methods on the quality of 'Hass' avocados. *New Zealand Avocado Growers' Association Annual Research Report*, 6, 97-104.
- Magwaza, L. y Tesfay, S. (2015). A review of destructive and non-destructive methods for determining avocado fruit maturity. *Food and bioprocess technology*, 8(10), 1995-2011.
- Márquez, C., Yepes, D., Sanchez, L. y Osorio, J. (2014). CAMBIOS FÍSICO-QUÍMICOS DEL AGUACATE (*Persea americana* Mill. cv. "Hass") EN POSCOSECHA PARA DOS MUNICIPIOS DE ANTIOQUIA. *Temas Agrarios - Vol. 19*:(1).
- Mares, E. & Kazuz, E. (2002). Manejo postcosecha del aguacate. *Vitae*, 9(2), 5-16.

Meade, B., Baldwin, K. and Calvin, L. (2010). Peru: An Emerging Exporter of Fruits and Vegetables. A Report from the Economic Research Service. USDA.

Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (2000). El cultivo del aguacate en Guatemala. Manual del proyecto de la fruticultura y agroindustria.

Munzhedzi, M. (2016). Effect of haverst season and ripening duration on the physico-chemical properties of new 'fuerte-type' avocando fruit selections during ripening (Doctoral dissertation, University of Limpopo).

Núñez, C. (2018). Análisis de varianza no paramétrica: un punto de vista a favor para utilizarla. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 4 (3): 69-79.

Núñez, M., Álvarez, R., Álvarez, I., Rodríguez, J. y López, Y. (2018). Metodología para la estimación de la vida útil de los alimentos. II. Métodos de estimación. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 27(2).

López, L. y Cajuste, J. (1999). Comportamiento postcosecha de fruta de aguacate CV. Hass con base en la altitud de producción y tipo de flotación. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5: 365-371.

Ocaña, J. (2019). *Evaluación del efecto de tres tiempos de exposición al 1-metilciclopropeno en dos variedades de aguacate (Persea americana Mill.)* (Bachelor's thesis, Quito: UCE).

OECD/FAO (2019). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2019-2028*, OECD Publishing, Paris/Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Osuna, J., Doyon, G., Salazar, S., Goenaga, R. & González, I. (2011). Relationship between skin color and some fruit quality characteristics of Hass' avocado. *The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, 95(1-2), 15-23.

Pérez, K., Mercado, J., y Soto-Valdez, H. (2004). Note. Effect of storage temperature on the shelf life of Hass avocado (*Persea americana*). *Food science and technology international*, 10(2), 73-77.

Pérez-Vicente, A., Martínez-Romero, D., Carbonell, A., Serrano, M., Riquelme, F., Guillén, F. y Valero, D. (2002). *Role of polyamines in extending shelf life and the reduction of mechanical damage during plum (Prunus salicina Lindl.) storage*. , 25(1), 25–32. doi:10.1016/s0925-5214(01)00146-6

Rojas, L. (2005). El MÉTODO MONTECARLO en dosimetría y otras aplicaciones. *Contacto Nuclear*, 39, 14-19.

Salazar, A. (2016). Proyecto de factibilidad para la siembra y producción de aguacate de la variedad Hass en Santa Cruz Balanyá. Universidad de San Carlos de Guatemala.

Salazar, S., Medina, R. y Álvarez, A. (2016). Evaluación inicial de algunos aspectos de calidad del fruto de aguacate 'Hass' producido en tres regiones de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(2), 277-289.

Soler Martínez, M. (2016). Diseño de escenarios para la obtención de preferencias declaradas. Universidad Jaume I.

Uriel, E. (2013). Regresión lineal múltiple: estimación y propiedades. *Universidad de Valencia Versión*, 09-2013.

Vásquez, N., Fonseca, P. y Londoño, G. (2019). Principales fitopatógenos de poscosecha y defectos de calidad de los frutos de aguacate (*Persea americana* Mill cv. Hass). Agrosavia. Colombia.

Villa, J., Molina F., Ayala J., Olivas G. and González G. (2011). Effect of maturity stage on the content of fatty acids and antioxidant activity of 'Hass' avocado. *Food Res. Int.* 44(5):1231-1237.

Vorster, L. (2001). Avocado Production in South Africa. *California Avocado Production Society Yearbook*, 85, 52-63.

YABRUDY, J. (2012). El Aguacate en Colombia: Estudio de caso de los Montes de María, en el Caribe colombiano. Banco de la República – Cartagena. 171:6- 15.

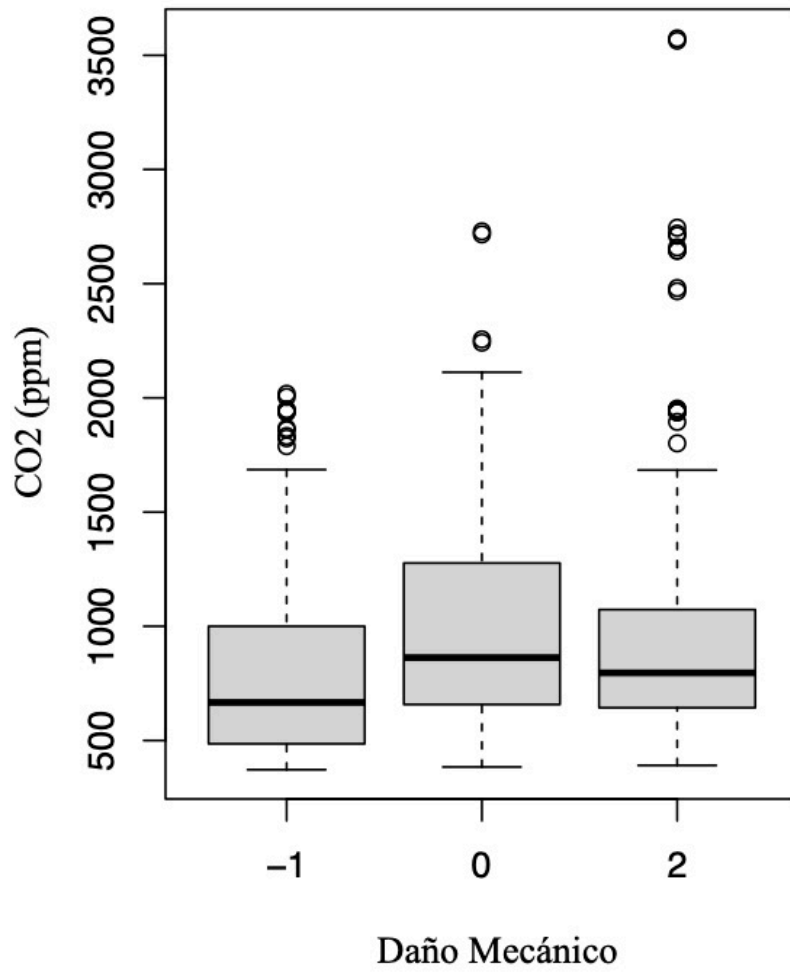
Zapata, E., Ochoa, S., Ceja, J., Gómez, F. y Ríos, A. (2014). Manual Técnico Poscosecha Aguacate Hass (*Persea americana* Mill). ISBN 978-958-8843-11-17.

Zapata, C., Piñeros, L., & Castaño, D. (2004). El método de simulación de Montecarlo en estudios de confiabilidad de sistemas de distribución de energía eléctrica. *Scientia et technica*, 10(24), 55-60.

Zhiguo, L. y Colin, T. (2014). *Quantitative evaluation of mechanical damage to fresh fruits. Trends in Food Science & Technology*, 35(2), 138–150. doi:10.1016/j.tifs.2013.12.001

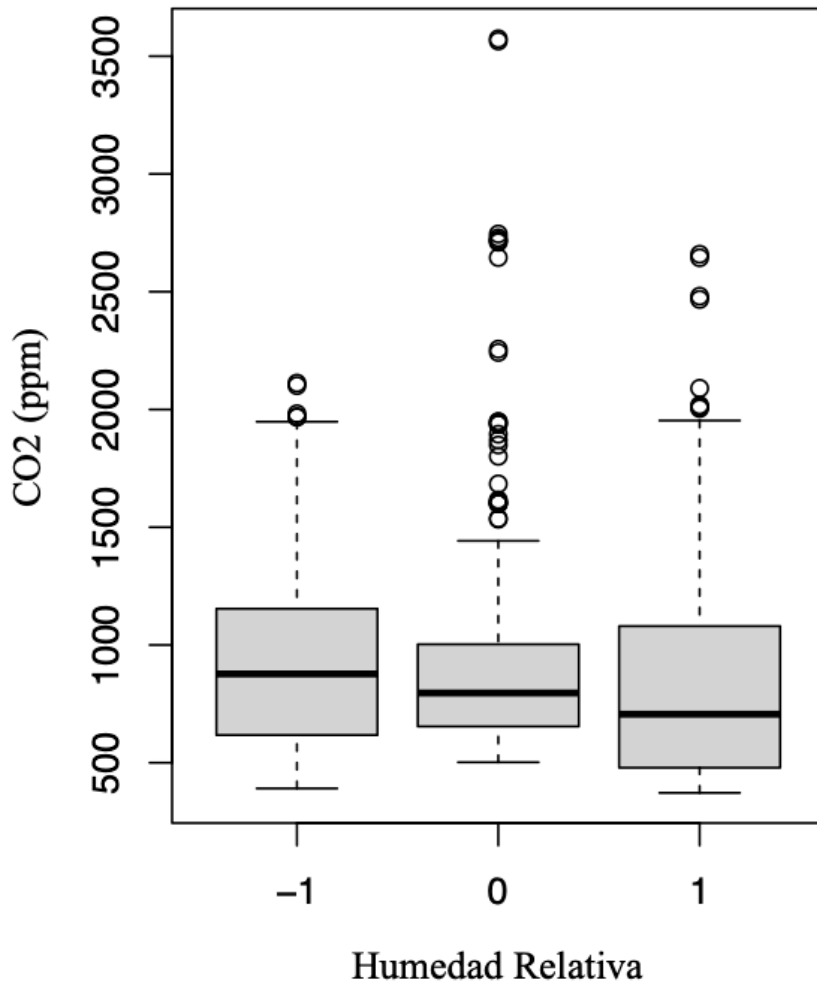
11. Anexos

Figura No. 29: Diagrama de caja y bigotes CO₂ vs. daño mecánico



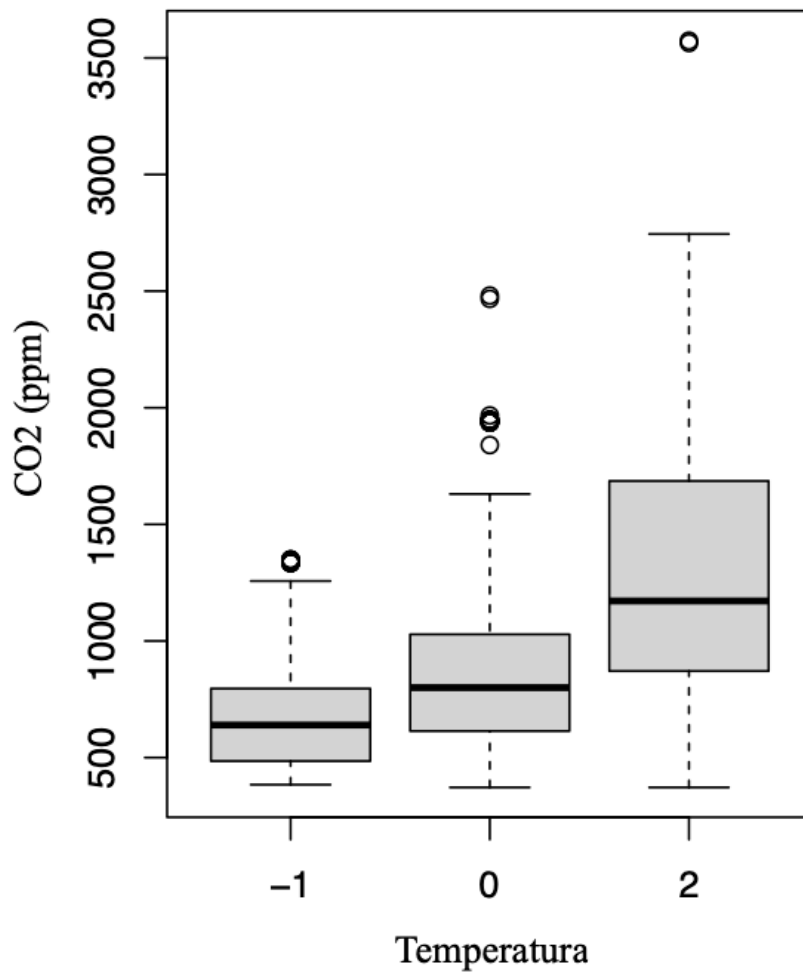
Nota: donde -1 es 0.25m, 0 es 0.50m y 2 es 1.00m

Figura No. 30: Diagrama de caja y bigotes CO₂ vs. humedad relativa



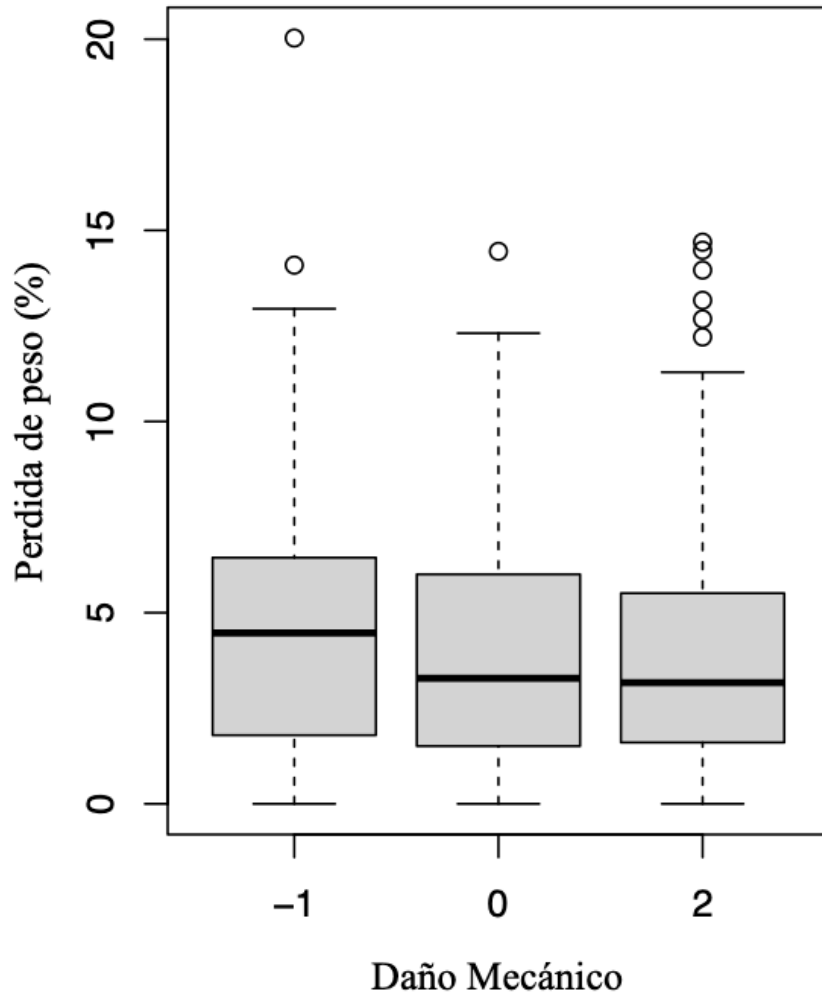
Nota: donde -1 es 75%, 0 es 85% y 1 es 95%

Figura No. 31: Diagrama de caja y bigotes CO₂ vs. temperatura



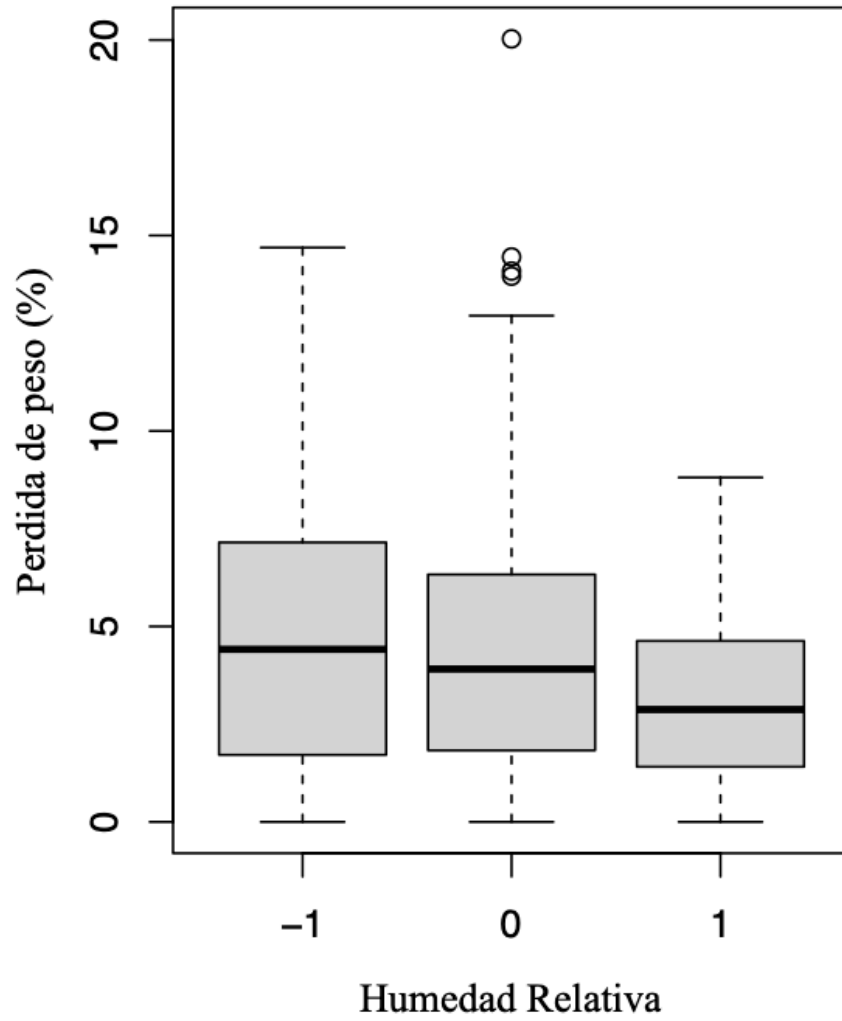
Nota: donde -1 es 4°C, 0 es 10°C y 2 es 22°C

Figura No. 32: Diagrama de caja y bigotes pérdida de peso vs. daño mecánico



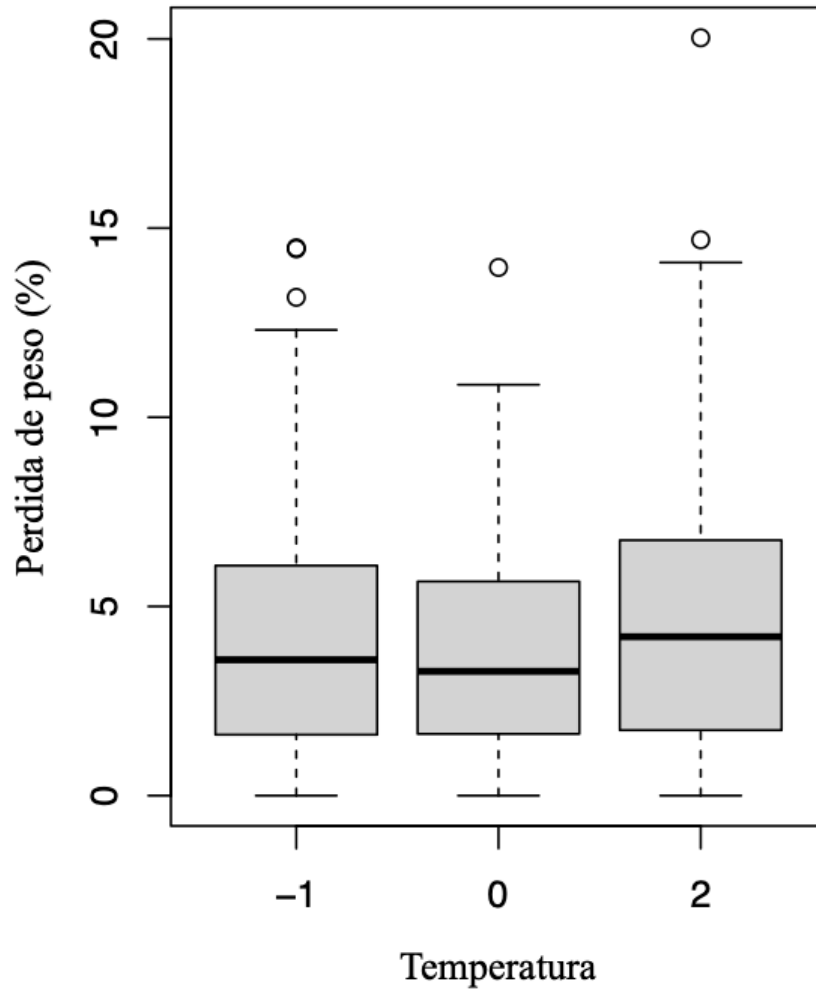
Nota: donde -1 es 0.25m, 0 es 0.50m y 2 es 1.00m

Figura No. 33: Diagrama de caja y bigotes pérdida de peso vs. humedad relativa



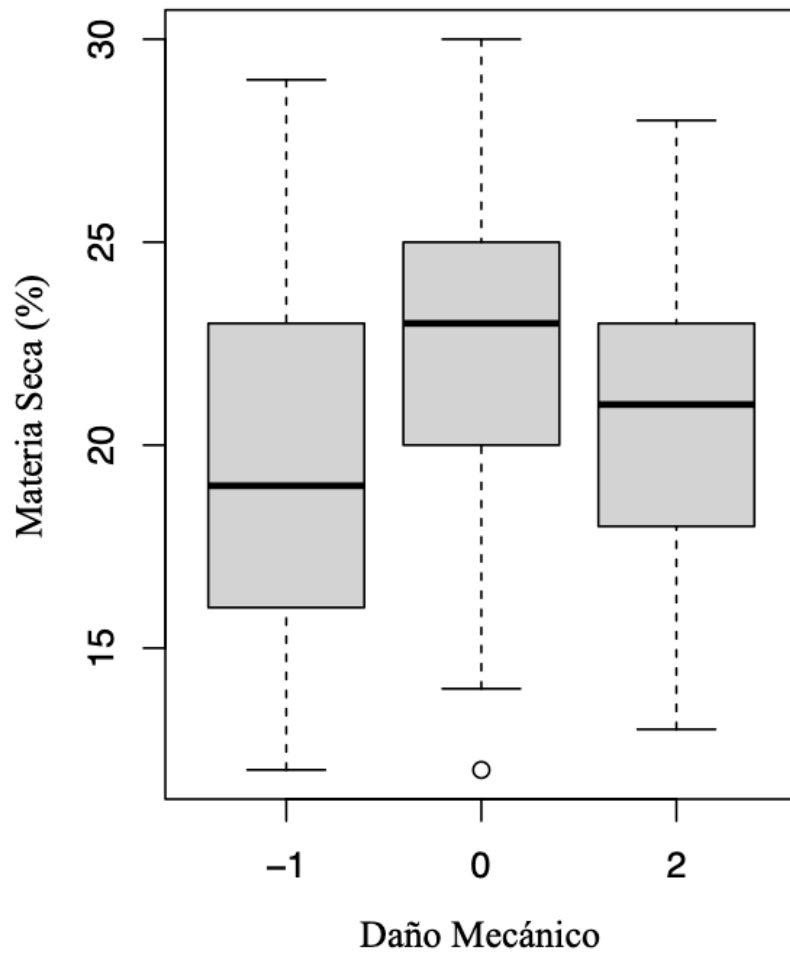
Nota: donde -1 es 75%, 0 es 85% y 1 es 95%

Figura No. 34: Diagrama de caja y bigotes pérdida de peso vs. temperatura



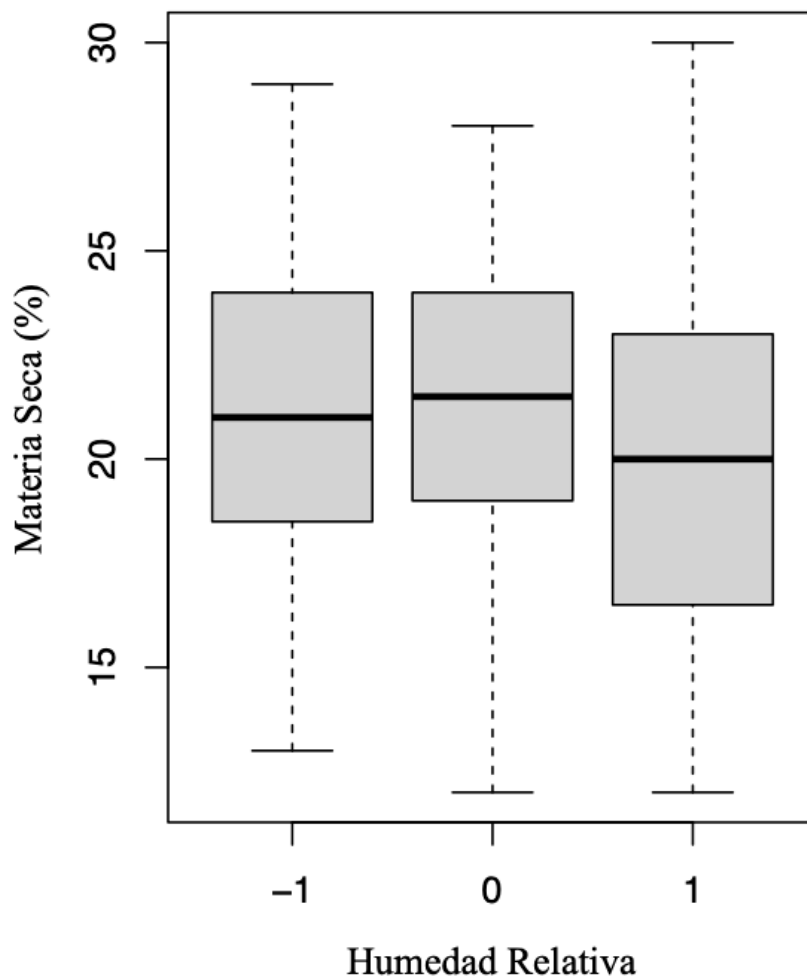
Nota: donde -1 es 4°C, 0 es 10°C y 2 es 22°C

Figura No. 35: Diagrama de caja y bigotes materia seca vs. daño mecánico



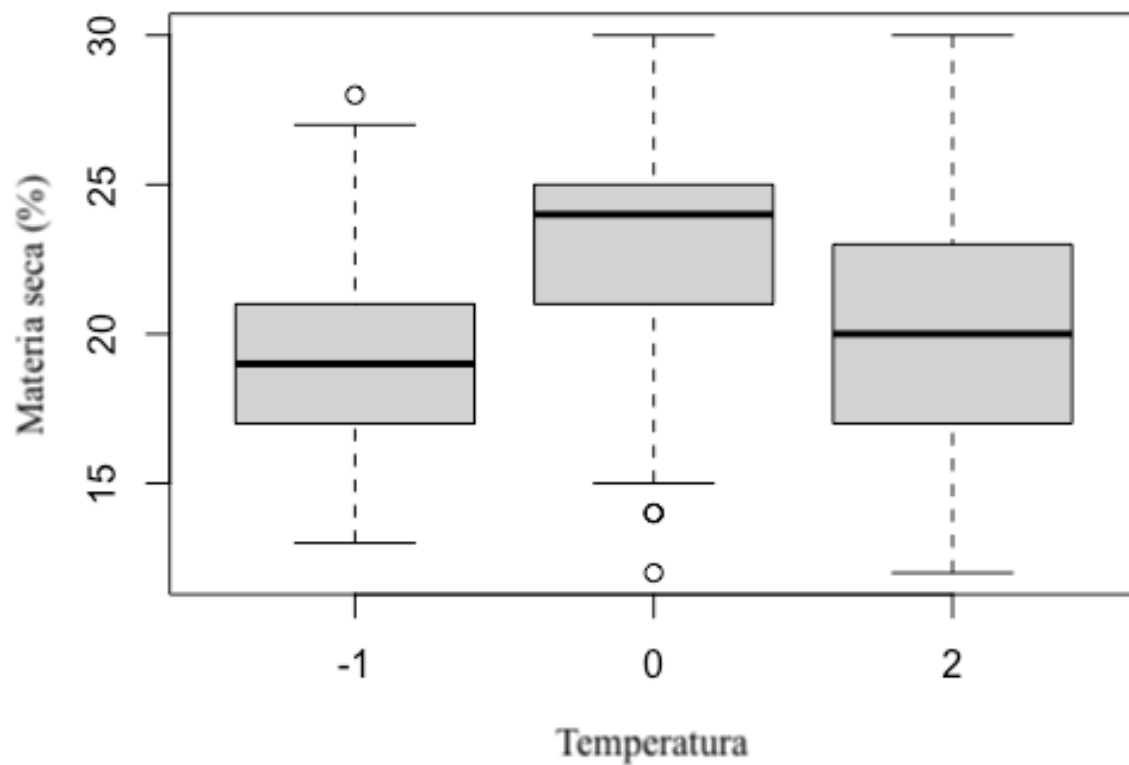
Nota: donde -1 es 0.25m, 0 es 0.50m y 2 es 1.00m

Figura No. 36: Diagrama de caja y bigotes materia seca vs. humedad relativa



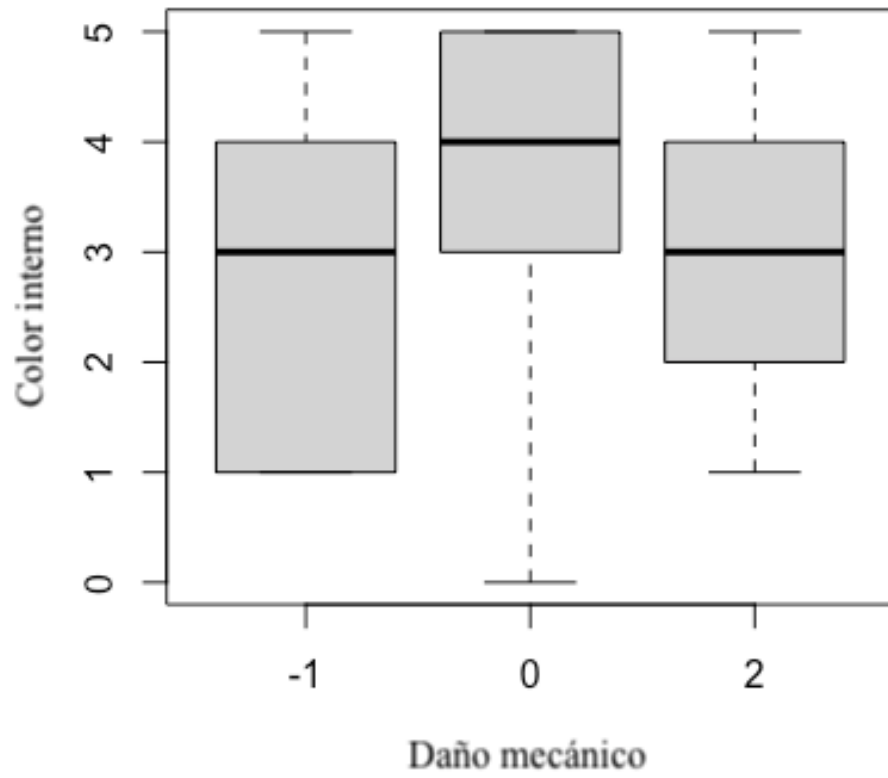
Nota: donde -1 es 75%, 0 es 85% y 1 es 95%

Figura No. 37: Diagrama de caja y bigotes materia seca vs. temperatura



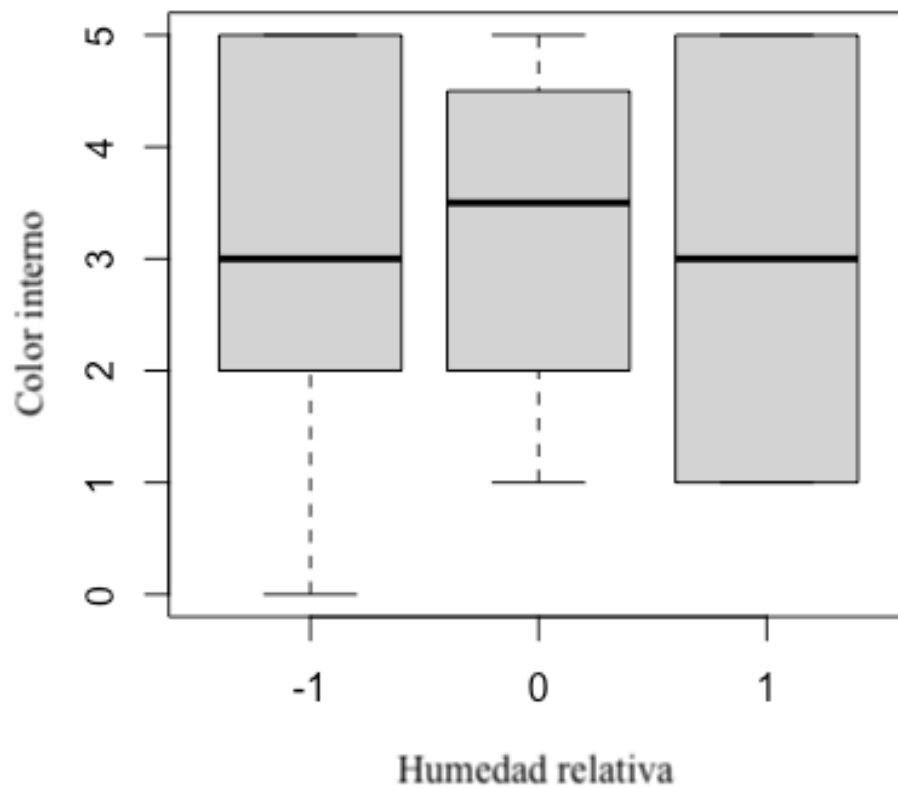
Nota: donde -1 es 4°C, 0 es 10°C y 2 es 22°C

Figura No. 38: Diagrama de caja y bigotes color interno vs. daño mecánico



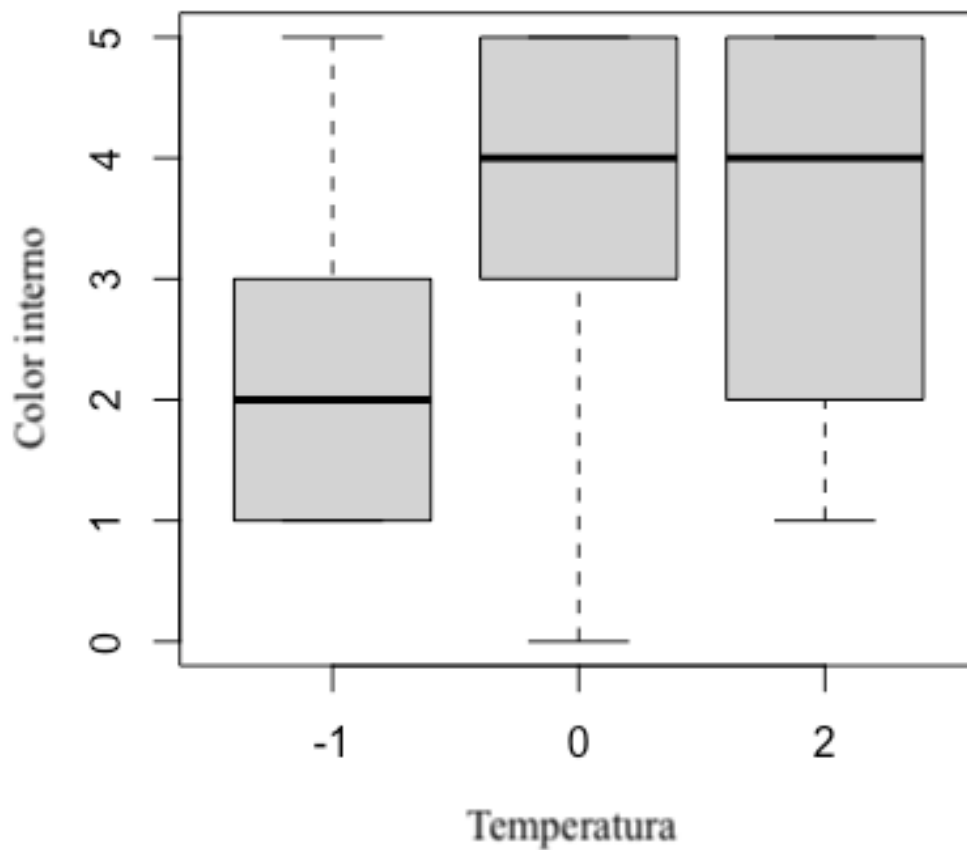
Nota: donde -1 es 0.25m, 0 es 0.50m y 2 es 1.00m

Figura No. 39: Diagrama de caja y bigotes color interno vs. humedad relativa



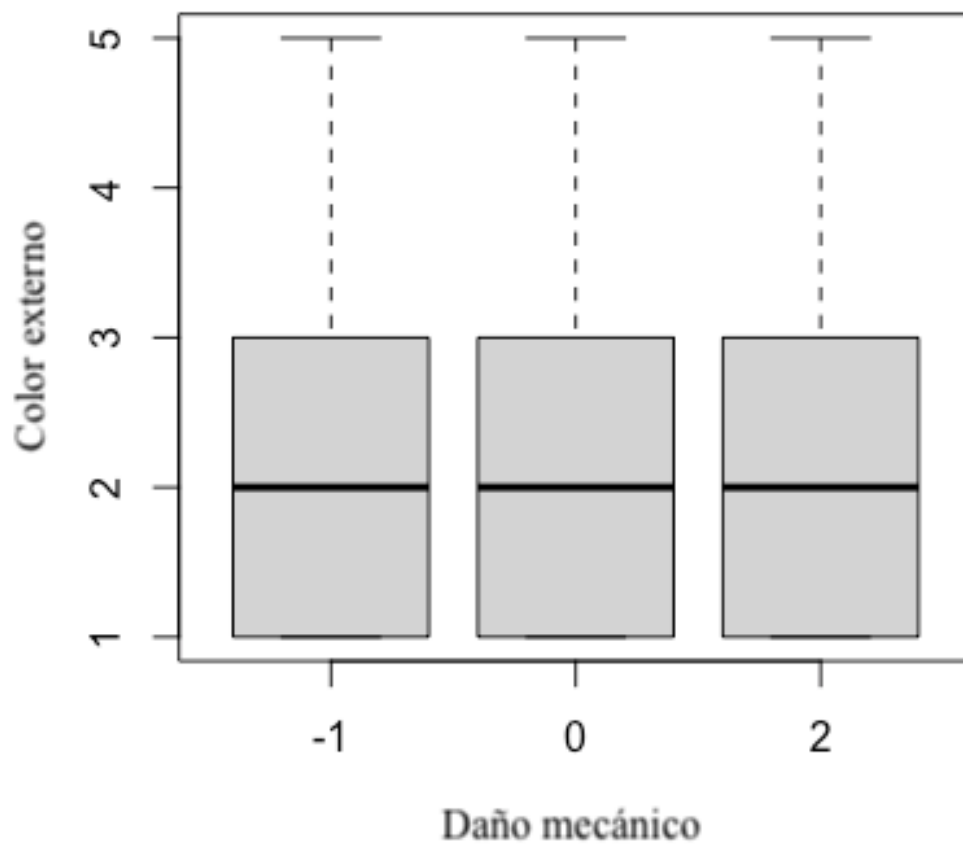
Nota: donde -1 es 75%, 0 es 85% y 1 es 95%

Figura No. 40: Diagrama de caja y bigotes color interno vs. temperatura



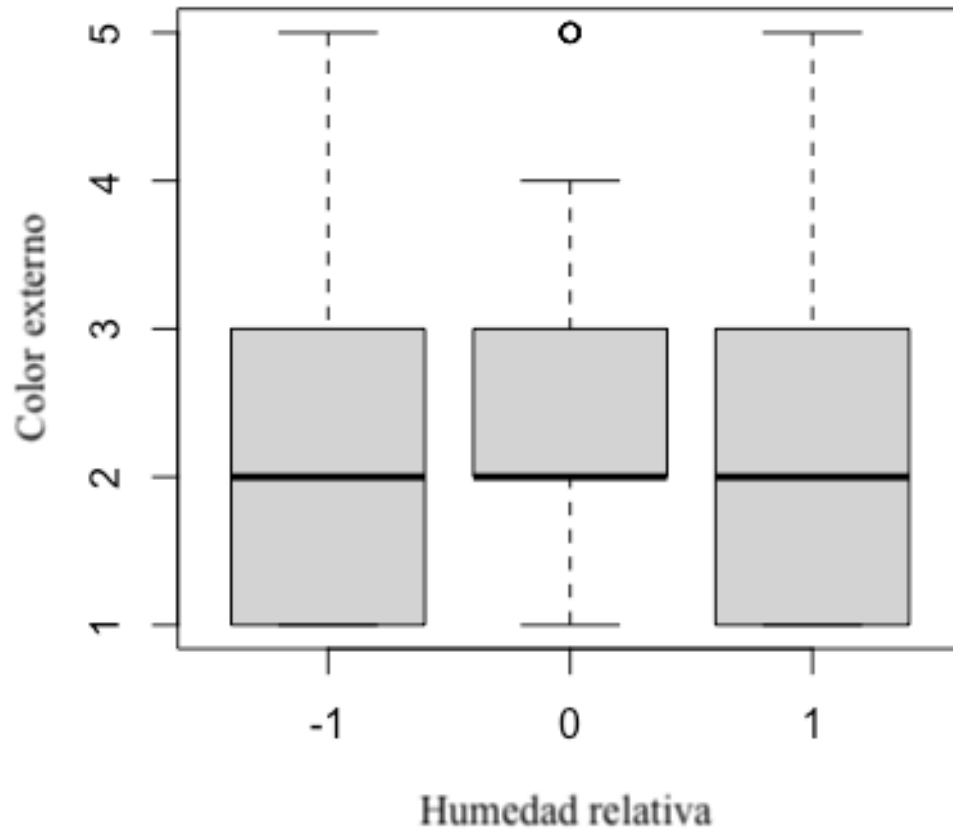
Nota: donde -1 es 4°C, 0 es 10°C y 2 es 22°C

Figura No. 41: Diagrama de caja y bigotes color externo vs. daño mecánico



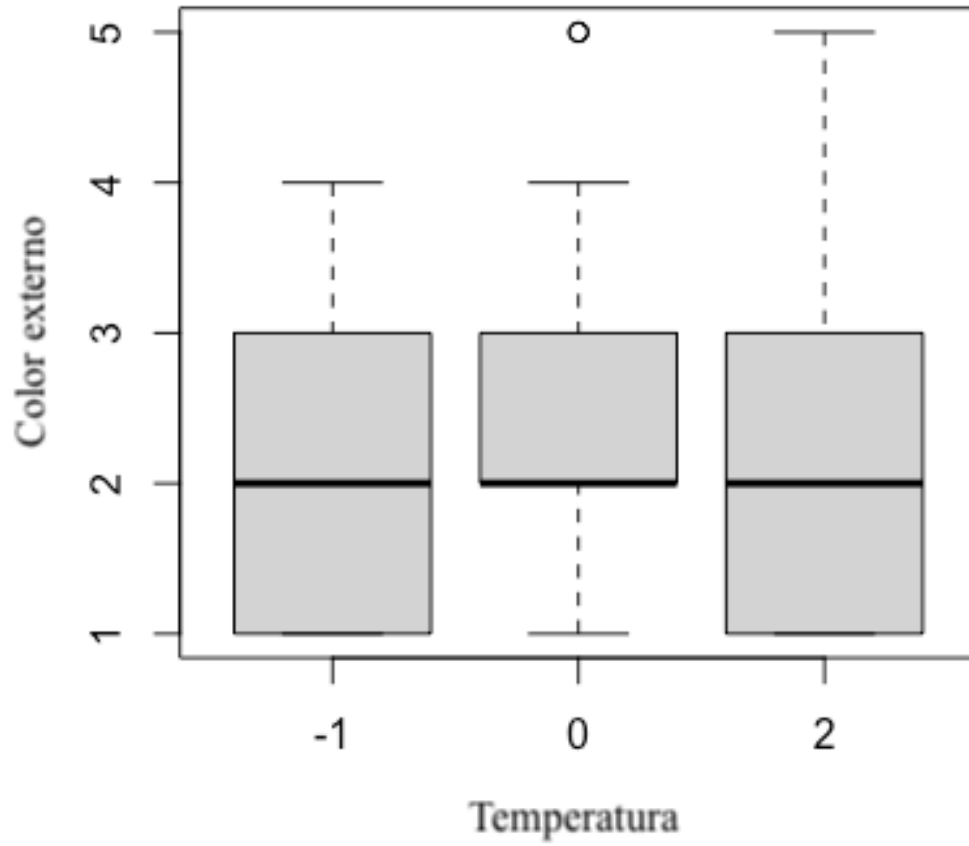
Nota: donde -1 es 0.25m, 0 es 0.50m y 2 es 1.00m

Figura No. 42: Diagrama de caja y bigotes color externo vs. humedad relativa



Nota: donde -1 es 75%, 0 es 85% y 1 es 95%

Figura No. 43: Diagrama de caja y bigotes color externo vs. temperatura



Nota: donde -1 es 4°C, 0 es 10°C y 2 es 22°C

Figura No. 44: Color externo vs. Días a 4°C, 0.25m y 95%

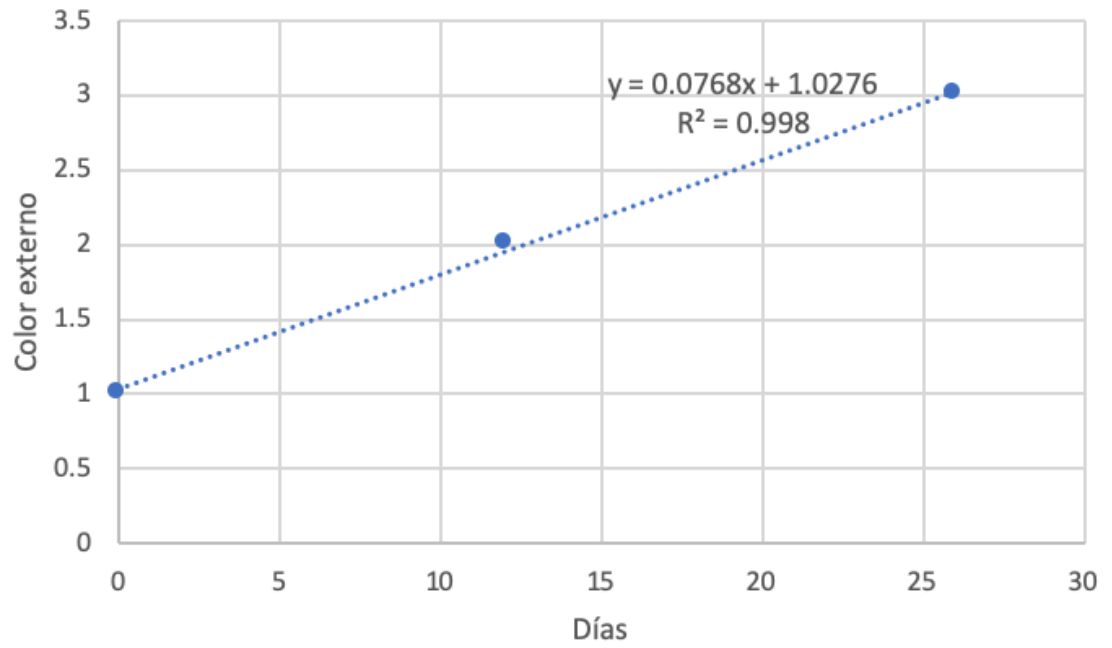


Figura No. 45: Color externo vs. Días a 10°C, 0.25m y 95%

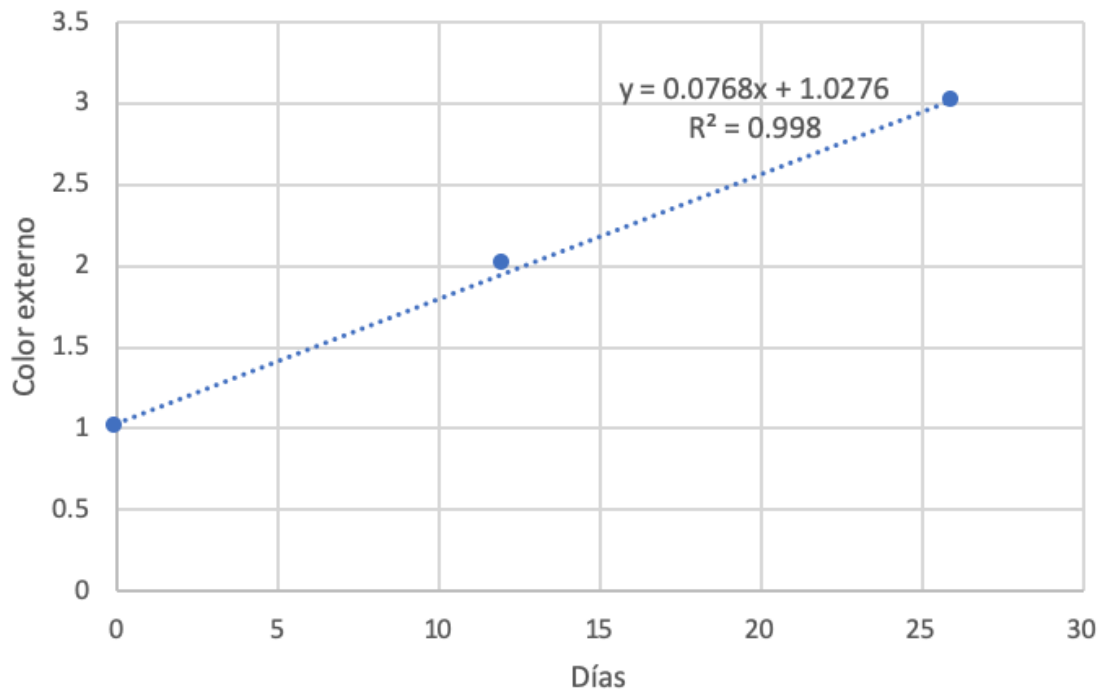


Figura No. 46: Color externo vs. Días a 22°C, 0.25m y 95%

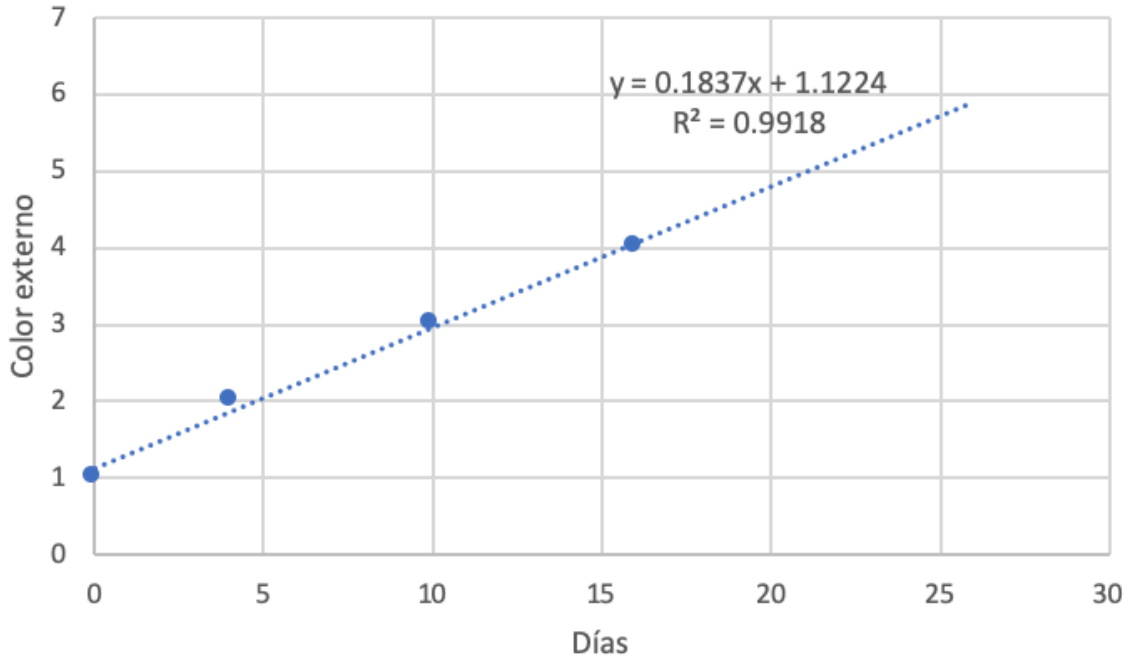


Figura No. 47: Color externo vs. Días a 4°C, 0.50m y 95%

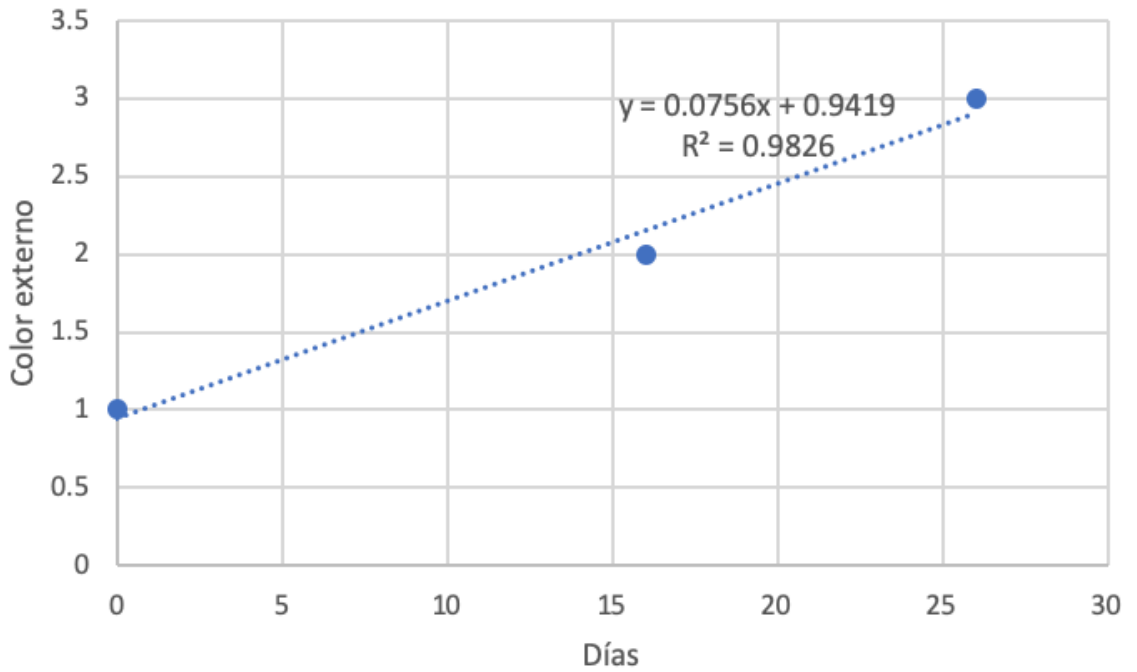


Figura No. 48: Color externo vs. Días a 10°C, 0.50m y 95%

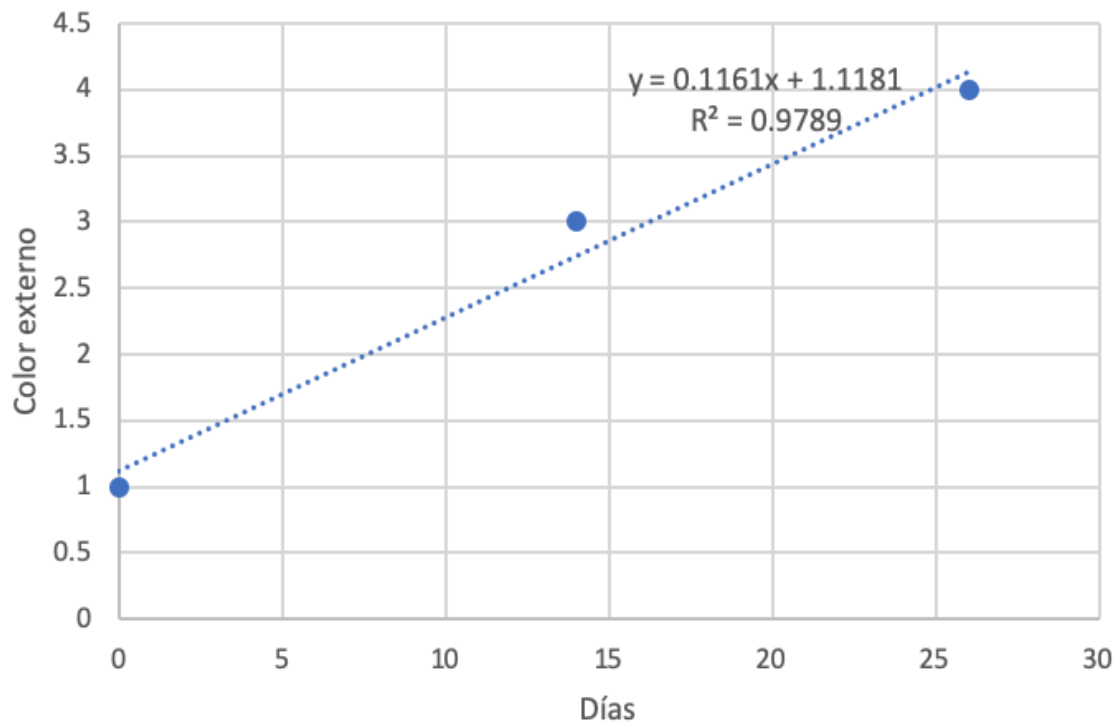


Figura No. 49: Color externo vs. Días a 22°C, 0.50m y 95%

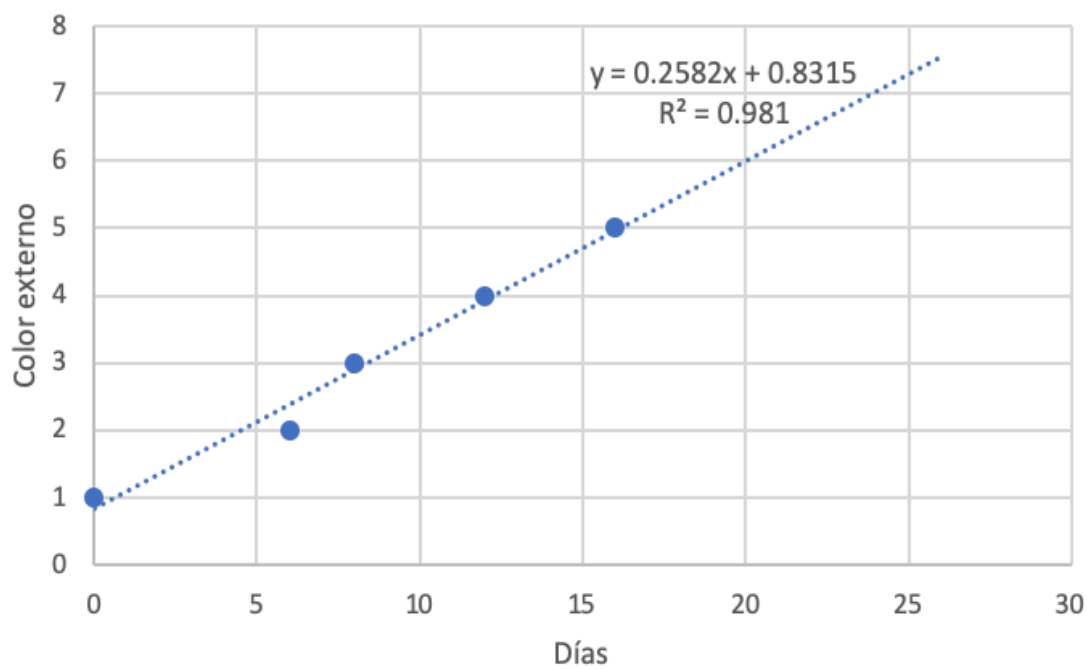


Figura No. 50: Color externo vs. Días a 4°C, 1.00m y 95%

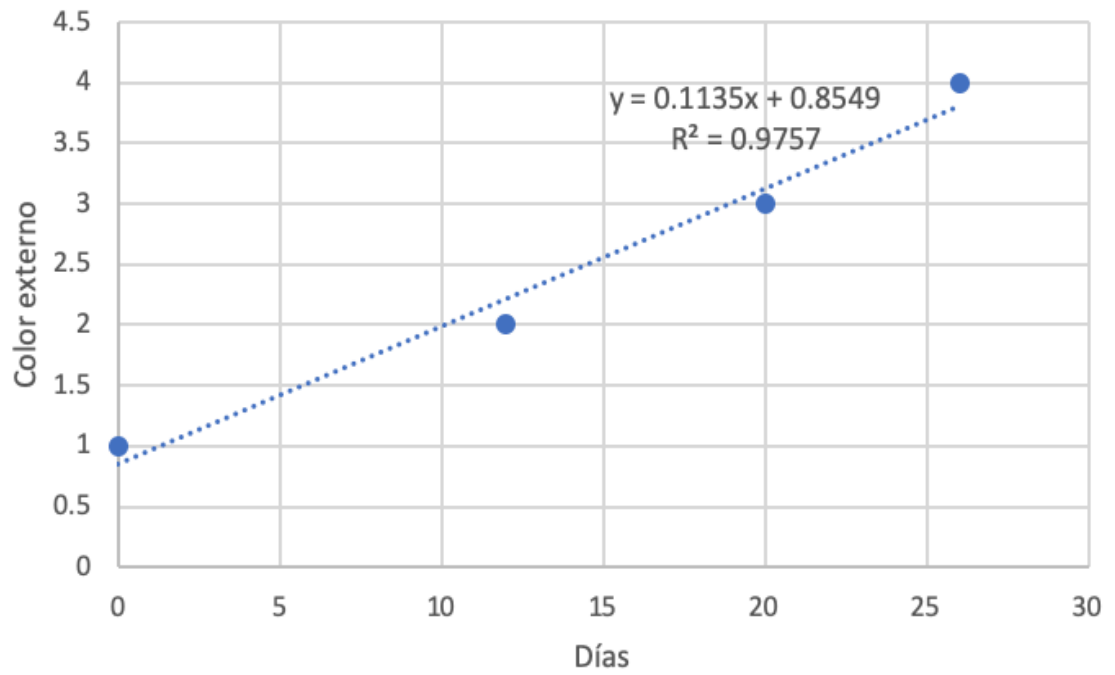


Figura No. 51: Color externo vs. Días a 10°C, 1.00m y 95%

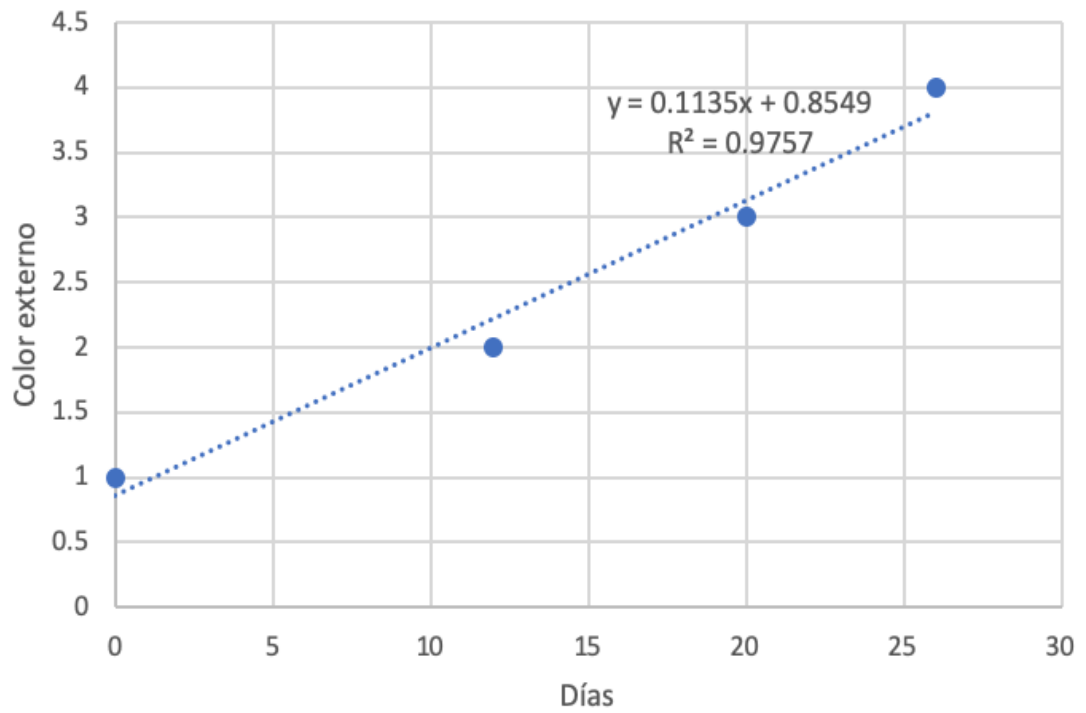
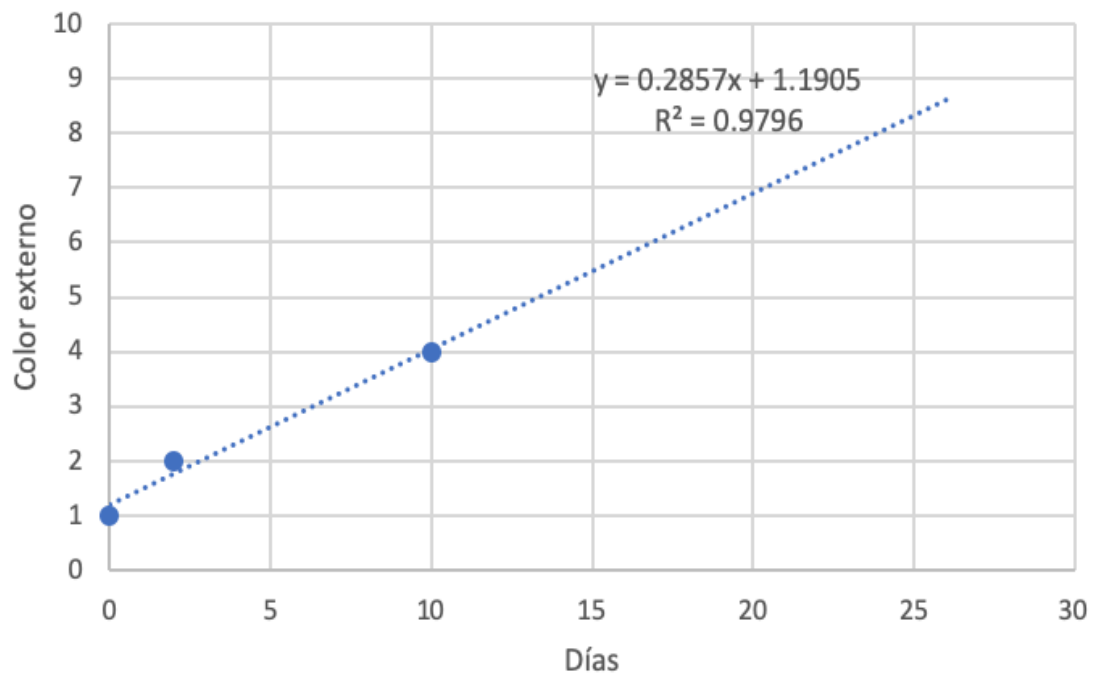


Figura No. 52: Color externo vs. Días a 22°C, 1.00m y 95%



Cuadro No. 13: Datos experimentales de variables paramétricas evaluadas del aguacate Hass

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	CO2 (± 40 ppm)	Pérdida de peso ($\pm 0.01\%$)	Materia seca ($\pm 0.01\%$)
-1	0	-1	1	0	790	0.00	20
-1	0	-1	2	0	796	0.00	19
-1	0	0	1	0	1257	0.00	21
-1	0	0	2	0	1349	0.00	20
-1	0	2	1	0	1257	0.00	21
-1	0	2	2	0	1349	0.00	20
-1	-1	-1	1	0	1335	0.00	20
-1	-1	-1	2	0	1335	0.00	19
-1	-1	0	1	0	790	0.00	20
-1	-1	0	2	0	796	0.00	19
-1	-1	2	1	0	790	0.00	20
-1	-1	2	2	0	796	0.00	19
-1	1	-1	1	0	1335	0.00	20
-1	1	-1	2	0	1335	0.00	19
-1	1	0	1	0	1335	0.00	20
-1	1	0	2	0	1335	0.00	19
-1	1	2	1	0	1257	0.00	21
-1	1	2	2	0	1349	0.00	20
0	0	-1	1	0	1937	0.00	21
0	0	-1	2	0	1948	0.00	24
0	0	0	1	0	1937	0.00	21
0	0	0	2	0	1948	0.00	24
0	0	2	1	0	1257	0.00	21
0	0	2	2	0	1349	0.00	20
0	-1	-1	1	0	1937	0.00	21
0	-1	-1	2	0	1948	0.00	24
0	-1	0	1	0	1937	0.00	21
0	-1	0	2	0	1948	0.00	24
0	-1	2	1	0	1937	0.00	21
0	-1	2	2	0	1948	0.00	24
0	1	-1	1	0	1335	0.00	20
0	1	-1	2	0	1335	0.00	19
0	1	0	1	0	1937	0.00	21

Continuación de cuadro No. 13

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	CO2 (± 40 ppm)	Pérdida de peso ($\pm 0.01\%$)	Materia seca ($\pm 0.01\%$)
0	1	0	2	0	1948	0.00	24
0	1	2	1	0	790	0.00	20
0	1	2	2	0	796	0.00	19
2	0	-1	1	0	1335	0.00	20
2	0	-1	2	0	1335	0.00	19
2	0	0	1	0	790	0.00	20
2	0	0	2	0	796	0.00	19
2	0	2	1	0	790	0.00	20
2	0	2	2	0	796	0.00	19
2	-1	-1	1	0	1257	0.00	21
2	-1	-1	2	0	1349	0.00	20
2	-1	0	1	0	1937	0.00	21
2	-1	0	2	0	1948	0.00	24
2	-1	2	1	0	1335	0.00	20
2	-1	2	2	0	1335	0.00	19
2	1	-1	1	0	1257	0.00	21
2	1	-1	2	0	1349	0.00	20
2	1	0	1	0	1937	0.00	21
2	1	0	2	0	1948	0.00	24
2	1	2	1	0	1937	0.00	21
2	1	2	2	0	1948	0.00	24
-1	0	-1	1	2	543	0.93	20
-1	0	-1	2	2	557	0.67	21
-1	0	0	1	2	751	0.87	22
-1	0	0	2	2	756	0.80	20
-1	0	2	1	2	1009	1.67	19
-1	0	2	2	2	1028	1.41	23
-1	-1	-1	1	2	394	1.19	17
-1	-1	-1	2	2	392	0.58	17
-1	-1	0	1	2	701	1.26	22
-1	-1	0	2	2	705	0.90	20
-1	-1	2	1	2	523	0.79	19
-1	-1	2	2	2	533	0.84	19

Continuación de cuadro No. 13

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	CO2 (± 40 ppm)	Pérdida de peso ($\pm 0.01\%$)	Materia seca ($\pm 0.01\%$)
-1	1	-1	1	2	415	1.40	16
-1	1	-1	2	2	418	1.41	17
-1	1	0	1	2	392	0.56	18
-1	1	0	2	2	399	0.67	17
-1	1	2	1	2	723	0.70	21
-1	1	2	2	2	730	0.37	23
0	0	-1	1	2	1191	1.81	26
0	0	-1	2	2	1194	1.28	23
0	0	0	1	2	851	1.42	24
0	0	0	2	2	859	1.11	24
0	0	2	1	2	650	0.85	22
0	0	2	2	2	664	2.19	20
0	-1	-1	1	2	1017	1.49	24
0	-1	-1	2	2	1020	0.85	26
0	-1	0	1	2	644	0.35	28
0	-1	0	2	2	645	0.40	22
0	-1	2	1	2	605	0.60	25
0	-1	2	2	2	605	0.42	25
0	1	-1	1	2	405	0.67	18
0	1	-1	2	2	430	0.88	17
0	1	0	1	2	1366	1.10	26
0	1	0	2	2	1372	1.32	24
0	1	2	1	2	622	0.74	21
0	1	2	2	2	625	0.75	21
2	0	-1	1	2	641	0.40	18
2	0	-1	2	2	641	0.63	16
2	0	0	1	2	1354	1.00	20
2	0	0	2	2	1442	1.12	20
2	0	2	1	2	2710	0.93	18
2	0	2	2	2	2719	0.86	21
2	-1	-1	1	2	1057	1.73	23
2	-1	-1	2	2	1058	2.24	24
2	-1	0	1	2	776	1.58	24

Continuación de cuadro No. 13

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	CO2 (±40ppm)	Pérdida de peso (±0.01%)	Materia seca (±0.01%)
2	-1	0	2	2	774	1.34	24
2	-1	2	1	2	1015	1.31	18
2	-1	2	2	2	1015	1.08	15
2	1	-1	1	2	832	1.78	19
2	1	-1	2	2	834	1.67	23
2	1	0	1	2	1835	0.44	30
2	1	0	2	2	1832	0.38	25
2	1	2	1	2	871	1.18	23
2	1	2	2	2	871	0.91	23
-1	0	-1	1	4	502	1.06	17
-1	0	-1	2	4	504	1.07	19
-1	0	0	1	4	772	0.85	19
-1	0	0	2	4	782	0.74	19
-1	0	2	1	4	912	0.72	21
-1	0	2	2	4	918	1.57	25
-1	-1	-1	1	4	427	0.84	18
-1	-1	-1	2	4	432	1.47	20
-1	-1	0	1	4	554	1.52	18
-1	-1	0	2	4	559	1.08	18
-1	-1	2	1	4	440	0.84	19
-1	-1	2	2	4	443	1.26	19
-1	1	-1	1	4	410	1.23	19
-1	1	-1	2	4	420	7.56	17
-1	1	0	1	4	460	1.09	16
-1	1	0	2	4	479	1.80	16
-1	1	2	1	4	702	0.78	23
-1	1	2	2	4	710	1.03	23
0	0	-1	1	4	946	2.49	23
0	0	-1	2	4	950	2.11	25
0	0	0	1	4	967	1.86	22
0	0	0	2	4	976	2.34	24
0	0	2	1	4	579	1.16	21
0	0	2	2	4	584	1.70	23

Continuación de cuadro No. 13

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	CO2 (± 40 ppm)	Pérdida de peso ($\pm 0.01\%$)	Materia seca ($\pm 0.01\%$)
0	-1	-1	1	4	782	1.77	24
0	-1	-1	2	4	792	1.48	26
0	-1	0	1	4	1148	1.15	27
0	-1	0	2	4	1153	1.16	27
0	-1	2	1	4	1044	1.12	26
0	-1	2	2	4	1051	1.62	26
0	1	-1	1	4	512	0.43	16
0	1	-1	2	4	516	1.50	18
0	1	0	1	4	980	1.21	26
0	1	0	2	4	983	1.31	25
0	1	2	1	4	698	1.88	18
0	1	2	2	4	701	1.15	20
2	0	-1	1	4	711	2.51	17
2	0	-1	2	4	734	2.45	17
2	0	0	1	4	934	1.83	19
2	0	0	2	4	936	1.41	19
2	0	2	1	4	1684	1.73	18
2	0	2	2	4	1041	1.76	18
2	-1	-1	1	4	1093	4.40	22
2	-1	-1	2	4	1178	4.30	22
2	-1	0	1	4	1089	3.22	27
2	-1	0	2	4	1166	2.77	27
2	-1	2	1	4	669	2.39	18
2	-1	2	2	4	673	1.19	18
2	1	-1	1	4	830	3.21	22
2	1	-1	2	4	838	4.28	24
2	1	0	1	4	1212	0.93	25
2	1	0	2	4	1221	1.01	27
2	1	2	1	4	1173	1.73	24
2	1	2	2	4	1180	2.21	28
-1	0	-1	1	6	817	2.00	20
-1	0	-1	2	6	819	1.31	19
-1	0	0	1	6	1047	1.23	24

Continuación de cuadro No. 13

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	CO2 (± 40 ppm)	Pérdida de peso ($\pm 0.01\%$)	Materia seca ($\pm 0.01\%$)
-1	0	0	2	6	1048	2.28	21
-1	0	2	1	6	902	2.75	24
-1	0	2	2	6	976	1.80	22
-1	-1	-1	1	6	476	1.61	20
-1	-1	-1	2	6	474	1.51	19
-1	-1	0	1	6	617	2.88	20
-1	-1	0	2	6	625	2.15	20
-1	-1	2	1	6	606	1.99	19
-1	-1	2	2	6	610	2.24	17
-1	1	-1	1	6	420	1.64	15
-1	1	-1	2	6	432	1.34	17
-1	1	0	1	6	400	0.87	24
-1	1	0	2	6	403	1.26	18
-1	1	2	1	6	690	1.96	20
-1	1	2	2	6	695	1.63	22
0	0	-1	1	6	659	1.74	24
0	0	-1	2	6	663	1.87	25
0	0	0	1	6	989	1.83	25
0	0	0	2	6	991	2.21	26
0	0	2	1	6	651	1.76	20
0	0	2	2	6	652	4.56	23
0	-1	-1	1	6	832	1.67	25
0	-1	-1	2	6	836	1.96	26
0	-1	0	1	6	1208	1.45	23
0	-1	0	2	6	1210	1.68	23
0	-1	2	1	6	1095	1.70	24
0	-1	2	2	6	1095	1.45	26
0	1	-1	1	6	501	0.84	18
0	1	-1	2	6	502	1.38	19
0	1	0	1	6	776	0.99	30
0	1	0	2	6	781	0.89	24
0	1	2	1	6	501	1.36	20
0	1	2	2	6	503	1.08	18

Continuación de cuadro No. 13

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	CO2 (± 40 ppm)	Pérdida de peso ($\pm 0.01\%$)	Materia seca ($\pm 0.01\%$)
2	0	-1	1	6	578	0.64	18
2	0	-1	2	6	581	4.22	20
2	0	0	1	6	1003	2.19	17
2	0	0	2	6	1008	2.41	18
2	0	2	1	6	1610	3.48	16
2	0	2	2	6	1616	2.29	17
2	-1	-1	1	6	865	3.82	21
2	-1	-1	2	6	871	5.24	21
2	-1	0	1	6	1286	3.55	25
2	-1	0	2	6	1290	3.84	26
2	-1	2	1	6	607	2.41	18
2	-1	2	2	6	619	2.12	18
2	1	-1	1	6	1336	3.46	25
2	1	-1	2	6	1349	3.88	19
2	1	0	1	6	1037	1.33	25
2	1	0	2	6	1037	1.50	27
2	1	2	1	6	1643	3.29	24
2	1	2	2	6	1657	3.24	25
-1	0	-1	1	8	509	2.93	17
-1	0	-1	2	8	511	3.24	18
-1	0	0	1	8	844	2.21	21
-1	0	0	2	8	849	3.12	22
-1	0	2	1	8	795	2.02	22
-1	0	2	2	8	800	1.13	22
-1	-1	-1	1	8	435	2.86	17
-1	-1	-1	2	8	432	2.96	17
-1	-1	0	1	8	616	2.43	16
-1	-1	0	2	8	618	3.17	18
-1	-1	2	1	8	491	3.17	21
-1	-1	2	2	8	497	1.67	24
-1	1	-1	1	8	492	1.83	15
-1	1	-1	2	8	504	2.25	14
-1	1	0	1	8	474	2.34	17

Continuación de cuadro No. 13

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	CO2 (±40ppm)	Pérdida de peso (±0.01%)	Materia seca (±0.01%)
-1	1	0	2	8	479	2.62	17
-1	1	2	1	8	864	1.59	22
-1	1	2	2	8	867	3.29	21
0	0	-1	1	8	797	2.28	24
0	0	-1	2	8	797	4.58	24
0	0	0	1	8	818	3.49	23
0	0	0	2	8	823	4.08	26
0	0	2	1	8	882	2.52	25
0	0	2	2	8	893	2.06	21
0	-1	-1	1	8	1151	4.16	27
0	-1	-1	2	8	1154	3.72	25
0	-1	0	1	8	1372	2.89	23
0	-1	0	2	8	1380	2.69	25
0	-1	2	1	8	963	2.16	26
0	-1	2	2	8	967	2.28	25
0	1	-1	1	8	509	1.99	18
0	1	-1	2	8	520	1.49	19
0	1	0	1	8	807	2.32	25
0	1	0	2	8	815	1.93	26
0	1	2	1	8	494	1.80	17
0	1	2	2	8	497	1.66	18
2	0	-1	1	8	563	4.57	16
2	0	-1	2	8	590	9.00	15
2	0	0	1	8	1600	4.09	19
2	0	0	2	8	1600	3.52	17
2	0	2	1	8	1601	3.44	19
2	0	2	2	8	1605	4.81	19
2	-1	-1	1	8	989	5.50	22
2	-1	-1	2	8	1002	5.28	23
2	-1	0	1	8	1140	4.83	23
2	-1	0	2	8	1154	4.18	25
2	-1	2	1	8	641	3.01	17
2	-1	2	2	8	644	3.23	16

Continuación de cuadro No. 13

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	CO2 (± 40 ppm)	Pérdida de peso ($\pm 0.01\%$)	Materia seca ($\pm 0.01\%$)
2	1	-1	1	8	1080	4.46	20
2	1	-1	2	8	1090	6.74	23
2	1	0	1	8	1570	2.67	26
2	1	0	2	8	1573	2.39	26
2	1	2	1	8	2644	2.86	23
2	1	2	2	8	2659	4.01	23
-1	0	-1	1	10	673	3.75	20
-1	0	-1	2	10	679	3.32	20
-1	0	0	1	10	1070	5.51	24
-1	0	0	2	10	1085	2.85	24
-1	0	2	1	10	986	3.17	23
-1	0	2	2	10	994	3.96	24
-1	-1	-1	1	10	394	3.44	15
-1	-1	-1	2	10	396	3.66	16
-1	-1	0	1	10	703	3.19	20
-1	-1	0	2	10	712	2.79	21
-1	-1	2	1	10	649	3.47	21
-1	-1	2	2	10	662	3.78	17
-1	1	-1	1	10	536	1.95	17
-1	1	-1	2	10	537	1.92	17
-1	1	0	1	10	438	0.74	14
-1	1	0	2	10	439	1.45	15
-1	1	2	1	10	790	1.83	24
-1	1	2	2	10	865	1.86	22
0	0	-1	1	10	770	4.98	27
0	0	-1	2	10	774	6.49	25
0	0	0	1	10	880	4.51	25
0	0	0	2	10	883	3.61	25
0	0	2	1	10	592	2.46	22
0	0	2	2	10	599	3.16	22
0	-1	-1	1	10	1279	4.87	29
0	-1	-1	2	10	1281	4.87	26
0	-1	0	1	10	1281	2.34	25

Continuación de cuadro No. 13

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	CO2 (± 40 ppm)	Pérdida de peso ($\pm 0.01\%$)	Materia seca ($\pm 0.01\%$)
0	-1	0	2	10	1288	2.67	25
0	-1	2	1	10	1582	2.57	23
0	-1	2	2	10	1590	3.45	24
0	1	-1	1	10	483	1.52	16
0	1	-1	2	10	487	1.48	18
0	1	0	1	10	1165	3.68	23
0	1	0	2	10	1169	3.49	24
0	1	2	1	10	466	1.54	15
0	1	2	2	10	478	1.53	19
2	0	-1	1	10	750	5.10	15
2	0	-1	2	10	767	5.49	14
2	0	0	1	10	1534	7.76	16
2	0	0	2	10	1537	4.92	16
2	0	2	1	10	1801	4.79	16
2	0	2	2	10	1895	4.93	17
2	-1	-1	1	10	1047	7.13	23
2	-1	-1	2	10	1060	7.34	23
2	-1	0	1	10	1450	6.37	25
2	-1	0	2	10	1458	7.70	26
2	-1	2	1	10	737	4.02	15
2	-1	2	2	10	745	4.66	14
2	1	-1	1	10	1242	7.42	21
2	1	-1	2	10	1245	7.50	23
2	1	0	1	10	1688	2.83	22
2	1	0	2	10	1794	2.92	21
2	1	2	1	10	1940	3.04	23
2	1	2	2	10	1953	3.01	23
-1	0	-1	1	12	605	3.74	19
-1	0	-1	2	12	610	3.86	19
-1	0	0	1	12	875	2.31	20
-1	0	0	2	12	882	4.83	25
-1	0	2	1	12	835	3.36	22
-1	0	2	2	12	835	2.98	23

Continuación de cuadro No. 13

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	CO2 (± 40 ppm)	Pérdida de peso ($\pm 0.01\%$)	Materia seca ($\pm 0.01\%$)
-1	-1	-1	1	12	440	4.58	15
-1	-1	-1	2	12	444	5.42	16
-1	-1	0	1	12	727	6.88	22
-1	-1	0	2	12	729	3.94	20
-1	-1	2	1	12	487	4.86	18
-1	-1	2	2	12	491	3.71	18
-1	1	-1	1	12	533	2.57	14
-1	1	-1	2	12	534	2.33	13
-1	1	0	1	12	491	2.67	16
-1	1	0	2	12	504	2.96	16
-1	1	2	1	12	691	2.74	23
-1	1	2	2	12	700	2.10	20
0	0	-1	1	12	632	4.58	27
0	0	-1	2	12	634	6.41	25
0	0	0	1	12	712	2.99	25
0	0	0	2	12	713	2.87	24
0	0	2	1	12	579	4.73	24
0	0	2	2	12	582	5.62	21
0	-1	-1	1	12	863	7.25	25
0	-1	-1	2	12	868	6.04	26
0	-1	0	1	12	923	2.78	25
0	-1	0	2	12	926	2.64	26
0	-1	2	1	12	969	1.59	25
0	-1	2	2	12	975	2.85	24
0	1	-1	1	12	551	1.97	16
0	1	-1	2	12	553	2.55	17
0	1	0	1	12	1005	3.28	24
0	1	0	2	12	1010	2.51	25
0	1	2	1	12	495	1.37	17
0	1	2	2	12	502	1.84	17
2	0	-1	1	12	983	6.61	16
2	0	-1	2	12	998	6.80	17
2	0	0	1	12	1849	4.45	16

Continuación de cuadro No. 13

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	CO2 (±40ppm)	Pérdida de peso (±0.01%)	Materia seca (±0.01%)
2	0	0	2	12	1870	9.38	17
2	0	2	1	12	3564	6.28	15
2	0	2	2	12	3574	5.03	15
2	-1	-1	1	12	1090	7.26	24
2	-1	-1	2	12	1101	10.85	20
2	-1	0	1	12	1569	8.88	24
2	-1	0	2	12	1578	9.29	24
2	-1	2	1	12	1170	5.81	20
2	-1	2	2	12	1295	5.52	16
2	1	-1	1	12	1681	5.85	22
2	1	-1	2	12	1789	6.47	23
2	1	0	1	12	1426	3.18	24
2	1	0	2	12	1511	4.90	22
2	1	2	1	12	NA	NA	NA
2	1	2	2	12	NA	NA	NA
-1	0	-1	1	14	608	4.00	19
-1	0	-1	2	14	612	4.20	21
-1	0	0	1	14	942	5.70	25
-1	0	0	2	14	950	3.67	26
-1	0	2	1	14	1030	2.77	20
-1	0	2	2	14	1030	3.83	21
-1	-1	-1	1	14	444	4.79	14
-1	-1	-1	2	14	444	5.06	15
-1	-1	0	1	14	509	4.83	19
-1	-1	0	2	14	512	5.13	20
-1	-1	2	1	14	838	4.65	18
-1	-1	2	2	14	848	4.98	21
-1	1	-1	1	14	469	3.27	14
-1	1	-1	2	14	471	3.26	16
-1	1	0	1	14	435	2.81	15
-1	1	0	2	14	437	3.39	15
-1	1	2	1	14	767	3.45	23
-1	1	2	2	14	769	3.16	24

Continuación de cuadro No. 13

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	CO2 (± 40 ppm)	Pérdida de peso ($\pm 0.01\%$)	Materia seca ($\pm 0.01\%$)
0	0	-1	1	14	721	3.77	24
0	0	-1	2	14	728	4.33	26
0	0	0	1	14	611	2.97	24
0	0	0	2	14	616	5.36	26
0	0	2	1	14	620	3.83	24
0	0	2	2	14	654	3.73	24
0	-1	-1	1	14	1024	6.87	23
0	-1	-1	2	14	1033	5.25	24
0	-1	0	1	14	987	4.22	24
0	-1	0	2	14	994	5.72	24
0	-1	2	1	14	997	3.17	25
0	-1	2	2	14	998	3.58	24
0	1	-1	1	14	413	2.81	15
0	1	-1	2	14	422	2.89	14
0	1	0	1	14	783	3.39	24
0	1	0	2	14	787	3.22	27
0	1	2	1	14	564	1.98	20
0	1	2	2	14	566	2.82	17
2	0	-1	1	14	966	6.75	16
2	0	-1	2	14	970	8.16	15
2	0	0	1	14	2716	6.85	17
2	0	0	2	14	2729	5.71	17
2	0	2	1	14	2645	8.03	16
2	0	2	2	14	2745	6.69	17
2	-1	-1	1	14	1860	10.70	24
2	-1	-1	2	14	1867	10.13	25
2	-1	0	1	14	1969	7.86	23
2	-1	0	2	14	1982	8.79	29
2	-1	2	1	14	1104	6.74	16
2	-1	2	2	14	1129	10.79	18
2	1	-1	1	14	2004	8.81	20
2	1	-1	2	14	2018	5.12	20
2	1	0	1	14	1786	3.41	22

Continuación de cuadro No. 13

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	CO2 (± 40 ppm)	Pérdida de peso ($\pm 0.01\%$)	Materia seca ($\pm 0.01\%$)
2	1	0	2	14	1896	4.10	25
2	1	2	1	14	NA	NA	NA
2	1	2	2	14	NA	NA	NA
-1	0	-1	1	16	643	4.36	19
-1	0	-1	2	16	650	4.66	18
-1	0	0	1	16	886	6.59	22
-1	0	0	2	16	892	4.74	21
-1	0	2	1	16	891	4.46	23
-1	0	2	2	16	896	4.27	26
-1	-1	-1	1	16	455	5.99	13
-1	-1	-1	2	16	456	5.75	14
-1	-1	0	1	16	825	8.40	19
-1	-1	0	2	16	833	7.21	21
-1	-1	2	1	16	716	7.37	18
-1	-1	2	2	16	723	5.60	20
-1	1	-1	1	16	479	4.46	16
-1	1	-1	2	16	482	3.19	17
-1	1	0	1	16	526	4.18	16
-1	1	0	2	16	528	3.35	17
-1	1	2	1	16	723	6.00	22
-1	1	2	2	16	728	3.54	23
0	0	-1	1	16	665	3.44	26
0	0	-1	2	16	668	3.16	24
0	0	0	1	16	657	3.29	22
0	0	0	2	16	659	2.85	26
0	0	2	1	16	557	6.32	25
0	0	2	2	16	560	5.50	21
0	-1	-1	1	16	882	8.11	21
0	-1	-1	2	16	886	6.86	24
0	-1	0	1	16	939	6.71	21
0	-1	0	2	16	947	7.12	24
0	-1	2	1	16	1095	3.65	24
0	-1	2	2	16	1108	4.18	22

Continuación de cuadro No. 13

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	CO2 (± 40 ppm)	Pérdida de peso ($\pm 0.01\%$)	Materia seca ($\pm 0.01\%$)
0	1	-1	1	16	440	3.35	12
0	1	-1	2	16	441	3.55	16
0	1	0	1	16	799	2.13	23
0	1	0	2	16	801	1.73	23
0	1	2	1	16	410	3.85	16
0	1	2	2	16	417	2.95	18
2	0	-1	1	16	1032	8.60	13
2	0	-1	2	16	1037	9.53	14
2	0	0	1	16	2242	7.29	12
2	0	0	2	16	2256	6.03	14
2	0	2	1	16	NA	NA	NA
2	0	2	2	16	NA	NA	NA
2	-1	-1	1	16	1682	10.23	22
2	-1	-1	2	16	1686	11.78	21
2	-1	0	1	16	2101	7.22	22
2	-1	0	2	16	2112	9.00	26
2	-1	2	1	16	933	9.88	13
2	-1	2	2	16	950	7.23	17
2	1	-1	1	16	1823	8.21	22
2	1	-1	2	16	1833	5.63	22
2	1	0	1	16	2010	4.86	19
2	1	0	2	16	2090	4.63	21
2	1	2	1	16	NA	NA	NA
2	1	2	2	16	NA	NA	NA
-1	0	-1	1	18	638	4.88	19
-1	0	-1	2	18	642	4.48	18
-1	0	0	1	18	786	8.66	27
-1	0	0	2	18	792	9.38	19
-1	0	2	1	18	835	6.33	23
-1	0	2	2	18	837	6.78	24
-1	-1	-1	1	18	440	5.65	13
-1	-1	-1	2	18	445	5.85	13
-1	-1	0	1	18	741	9.29	19

Continuación de cuadro No. 13

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	CO2 (± 40 ppm)	Pérdida de peso ($\pm 0.01\%$)	Materia seca ($\pm 0.01\%$)
-1	-1	0	2	18	757	9.16	20
-1	-1	2	1	18	574	4.62	20
-1	-1	2	2	18	577	4.43	20
-1	1	-1	1	18	418	3.77	15
-1	1	-1	2	18	420	4.67	16
-1	1	0	1	18	440	3.64	16
-1	1	0	2	18	441	4.72	16
-1	1	2	1	18	585	4.41	19
-1	1	2	2	18	595	3.00	24
0	0	-1	1	18	563	5.87	25
0	0	-1	2	18	569	3.73	23
0	0	0	1	18	554	7.66	26
0	0	0	2	18	556	2.59	24
0	0	2	1	18	691	9.14	22
0	0	2	2	18	696	5.04	22
0	-1	-1	1	18	848	8.28	23
0	-1	-1	2	18	853	7.26	25
0	-1	0	1	18	1120	6.87	26
0	-1	0	2	18	1131	6.96	21
0	-1	2	1	18	898	5.57	23
0	-1	2	2	18	902	4.63	24
0	1	-1	1	18	440	5.60	16
0	1	-1	2	18	446	5.47	17
0	1	0	1	18	800	1.70	24
0	1	0	2	18	800	1.64	25
0	1	2	1	18	467	7.33	15
0	1	2	2	18	475	3.87	19
2	0	-1	1	18	770	10.35	14
2	0	-1	2	18	783	12.95	15
2	0	0	1	18	NA	NA	NA
2	0	0	2	18	NA	NA	NA
2	0	2	1	18	NA	NA	NA
2	0	2	2	18	NA	NA	NA

Continuación de cuadro No. 13

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	CO2 (± 40 ppm)	Pérdida de peso ($\pm 0.01\%$)	Materia seca ($\pm 0.01\%$)
2	-1	-1	1	18	NA	NA	NA
2	-1	-1	2	18	NA	NA	NA
2	-1	0	1	18	NA	NA	NA
2	-1	0	2	18	NA	NA	NA
2	-1	2	1	18	869	4.25	13
2	-1	2	2	18	872	1.92	17
2	1	-1	1	18	NA	NA	NA
2	1	-1	2	18	NA	NA	NA
2	1	0	1	18	NA	NA	NA
2	1	0	2	18	NA	NA	NA
2	1	2	1	18	NA	NA	NA
2	1	2	2	18	NA	NA	NA
-1	0	-1	1	20	683	5.43	19
-1	0	-1	2	20	683	6.29	20
-1	0	0	1	20	794	9.31	23
-1	0	0	2	20	806	14.45	28
-1	0	2	1	20	1340	11.29	22
-1	0	2	2	20	1347	6.14	22
-1	-1	-1	1	20	469	5.95	14
-1	-1	-1	2	20	470	6.97	16
-1	-1	0	1	20	641	11.72	21
-1	-1	0	2	20	647	11.49	20
-1	-1	2	1	20	391	6.30	18
-1	-1	2	2	20	393	7.29	20
-1	1	-1	1	20	479	4.56	17
-1	1	-1	2	20	484	5.42	14
-1	1	0	1	20	439	4.94	18
-1	1	0	2	20	443	5.21	17
-1	1	2	1	20	584	5.20	21
-1	1	2	2	20	598	2.22	22
0	0	-1	1	20	664	7.97	25
0	0	-1	2	20	673	6.12	26
0	0	0	1	20	594	6.46	23

Continuación de cuadro No. 13

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	CO2 (± 40 ppm)	Pérdida de peso ($\pm 0.01\%$)	Materia seca ($\pm 0.01\%$)
0	0	0	2	20	597	9.96	27
0	0	2	1	20	716	7.83	24
0	0	2	2	20	718	10.77	25
0	-1	-1	1	20	913	7.15	22
0	-1	-1	2	20	915	8.63	26
0	-1	0	1	20	1840	8.50	24
0	-1	0	2	20	1967	8.97	23
0	-1	2	1	20	1624	8.66	24
0	-1	2	2	20	1630	5.97	26
0	1	-1	1	20	459	5.83	14
0	1	-1	2	20	459	4.57	14
0	1	0	1	20	867	1.98	24
0	1	0	2	20	871	1.57	26
0	1	2	1	20	651	5.25	20
0	1	2	2	20	657	6.72	20
2	0	-1	1	20	968	14.09	14
2	0	-1	2	20	978	0.00	15
2	0	0	1	20	NA	NA	NA
2	0	0	2	20	NA	NA	NA
2	0	2	1	20	NA	NA	NA
2	0	2	2	20	NA	NA	NA
2	-1	-1	1	20	NA	NA	NA
2	-1	-1	2	20	NA	NA	NA
2	-1	0	1	20	NA	NA	NA
2	-1	0	2	20	NA	NA	NA
2	-1	2	1	20	1016	12.68	17
2	-1	2	2	20	1021	14.69	15
2	1	-1	1	20	NA	NA	NA
2	1	-1	2	20	NA	NA	NA
2	1	0	1	20	NA	NA	NA
2	1	0	2	20	NA	NA	NA
2	1	2	1	20	NA	NA	NA
2	1	2	2	20	NA	NA	NA

Continuación de cuadro No. 13

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	CO2 (± 40 ppm)	Pérdida de peso ($\pm 0.01\%$)	Materia seca ($\pm 0.01\%$)
-1	0	-1	1	22	774	6.08	17
-1	0	-1	2	22	794	6.98	17
-1	0	0	1	22	938	8.96	23
-1	0	0	2	22	942	7.38	22
-1	0	2	1	22	1226	9.42	22
-1	0	2	2	22	1228	7.12	22
-1	-1	-1	1	22	518	8.00	14
-1	-1	-1	2	22	521	8.31	16
-1	-1	0	1	22	505	12.31	20
-1	-1	0	2	22	508	8.88	19
-1	-1	2	1	22	643	7.60	19
-1	-1	2	2	22	658	6.30	20
-1	1	-1	1	22	451	6.21	18
-1	1	-1	2	22	460	5.70	16
-1	1	0	1	22	438	4.93	14
-1	1	0	2	22	442	4.22	16
-1	1	2	1	22	758	7.36	26
-1	1	2	2	22	762	5.04	21
0	0	-1	1	22	651	7.87	28
0	0	-1	2	22	655	6.12	23
0	0	0	1	22	655	6.59	25
0	0	0	2	22	658	5.98	25
0	0	2	1	22	716	10.86	26
0	0	2	2	22	721	7.83	23
0	-1	-1	1	22	1170	4.76	25
0	-1	-1	2	22	1172	6.22	23
0	-1	0	1	22	1266	6.80	25
0	-1	0	2	22	1273	6.06	25
0	-1	2	1	22	1455	5.15	22
0	-1	2	2	22	1552	5.59	22
0	1	-1	1	22	393	5.53	15
0	1	-1	2	22	398	6.32	18
0	1	0	1	22	810	4.43	24

Continuación de cuadro No. 13

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	CO2 (± 40 ppm)	Pérdida de peso ($\pm 0.01\%$)	Materia seca ($\pm 0.01\%$)
0	1	0	2	22	812	3.79	25
0	1	2	1	22	2467	4.24	18
0	1	2	2	22	2481	5.15	18
2	0	-1	1	22	849	12.86	14
2	0	-1	2	22	862	20.03	13
2	0	0	1	22	NA	NA	NA
2	0	0	2	22	NA	NA	NA
2	0	2	1	22	NA	NA	NA
2	0	2	2	22	NA	NA	NA
2	-1	-1	1	22	NA	NA	NA
2	-1	-1	2	22	NA	NA	NA
2	-1	0	1	22	NA	NA	NA
2	-1	0	2	22	NA	NA	NA
2	-1	2	1	22	NA	NA	NA
2	-1	2	2	22	NA	NA	NA
2	1	-1	1	22	NA	NA	NA
2	1	-1	2	22	NA	NA	NA
2	1	0	1	22	NA	NA	NA
2	1	0	2	22	NA	NA	NA
2	1	2	1	22	NA	NA	NA
2	1	2	2	22	NA	NA	NA
-1	0	-1	1	24	631	6.85	17
-1	0	-1	2	24	631	7.85	22
-1	0	0	1	24	780	7.65	24
-1	0	0	2	24	789	10.95	25
-1	0	2	1	24	670	9.13	27
-1	0	2	2	24	677	9.61	26
-1	-1	-1	1	24	521	11.58	18
-1	-1	-1	2	24	525	9.65	16
-1	-1	0	1	24	562	10.21	17
-1	-1	0	2	24	566	11.04	20
-1	-1	2	1	24	784	7.68	17
-1	-1	2	2	24	798	12.21	21

Continuación de cuadro No. 13

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	CO2 (± 40 ppm)	Pérdida de peso ($\pm 0.01\%$)	Materia seca ($\pm 0.01\%$)
-1	1	-1	1	24	618	5.93	15
-1	1	-1	2	24	619	6.66	16
-1	1	0	1	24	553	6.97	16
-1	1	0	2	24	556	4.29	14
-1	1	2	1	24	722	6.30	21
-1	1	2	2	24	724	4.82	22
0	0	-1	1	24	533	8.05	24
0	0	-1	2	24	539	5.56	25
0	0	0	1	24	643	5.14	26
0	0	0	2	24	645	3.38	25
0	0	2	1	24	566	13.96	23
0	0	2	2	24	569	9.14	22
0	-1	-1	1	24	1132	6.90	28
0	-1	-1	2	24	1136	6.04	27
0	-1	0	1	24	1267	6.98	24
0	-1	0	2	24	1282	9.73	22
0	-1	2	1	24	NA	NA	NA
0	-1	2	2	24	NA	NA	NA
0	1	-1	1	24	473	7.54	15
0	1	-1	2	24	473	6.57	15
0	1	0	1	24	675	3.70	23
0	1	0	2	24	679	3.73	23
0	1	2	1	24	735	4.11	15
0	1	2	2	24	740	5.16	18
2	0	-1	1	24	NA	NA	NA
2	0	-1	2	24	NA	NA	NA
2	0	0	1	24	NA	NA	NA
2	0	0	2	24	NA	NA	NA
2	0	2	1	24	NA	NA	NA
2	0	2	2	24	NA	NA	NA
2	-1	-1	1	24	NA	NA	NA
2	-1	-1	2	24	NA	NA	NA
2	-1	0	1	24	NA	NA	NA

Continuación de cuadro No. 13

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	CO2 (± 40 ppm)	Pérdida de peso ($\pm 0.01\%$)	Materia seca ($\pm 0.01\%$)
2	-1	0	2	24	NA	NA	NA
2	-1	2	1	24	NA	NA	NA
2	-1	2	2	24	NA	NA	NA
2	1	-1	1	24	NA	NA	NA
2	1	-1	2	24	NA	NA	NA
2	1	0	1	24	NA	NA	NA
2	1	0	2	24	NA	NA	NA
2	1	2	1	24	NA	NA	NA
2	1	2	2	24	NA	NA	NA
-1	0	-1	1	26	784	10.01	18
-1	0	-1	2	26	794	10.06	19
-1	0	0	1	26	NA	NA	NA
-1	0	0	2	26	NA	NA	NA
-1	0	2	1	26	NA	NA	NA
-1	0	2	2	26	NA	NA	NA
-1	-1	-1	1	26	437	8.59	14
-1	-1	-1	2	26	443	9.49	16
-1	-1	0	1	26	NA	NA	NA
-1	-1	0	2	26	NA	NA	NA
-1	-1	2	1	26	596	14.48	23
-1	-1	2	2	26	608	13.17	21
-1	1	-1	1	26	521	5.21	NA
-1	1	-1	2	26	525	8.51	NA
-1	1	0	1	26	384	6.42	15
-1	1	0	2	26	485	6.84	16
-1	1	2	1	26	801	7.09	21
-1	1	2	2	26	803	7.52	22
0	0	-1	1	26	895	6.51	23
0	0	-1	2	26	905	5.82	25
0	0	0	1	26	626	4.27	25
0	0	0	2	26	639	6.33	24
0	0	2	1	26	NA	NA	NA
0	0	2	2	26	NA	NA	NA

Continuación de cuadro No. 13

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	CO2 (±40ppm)	Pérdida de peso (±0.01%)	Materia seca (±0.01%)
0	-1	-1	1	26	NA	NA	NA
0	-1	-1	2	26	NA	NA	NA
0	-1	0	1	26	829	7.78	26
0	-1	0	2	26	840	7.15	24
0	-1	2	1	26	NA	NA	NA
0	-1	2	2	26	NA	NA	NA
0	1	-1	1	26	372	6.03	15
0	1	-1	2	26	378	5.70	15
0	1	0	1	26	843	4.61	24
0	1	0	2	26	890	4.38	23
0	1	2	1	26	916	7.43	16
0	1	2	2	26	923	7.49	18
2	0	-1	1	26	NA	NA	NA
2	0	-1	2	26	NA	NA	NA
2	0	0	1	26	NA	NA	NA
2	0	0	2	26	NA	NA	NA
2	0	2	1	26	NA	NA	NA
2	0	2	2	26	NA	NA	NA
2	-1	-1	1	26	NA	NA	NA
2	-1	-1	2	26	NA	NA	NA
2	-1	0	1	26	NA	NA	NA
2	-1	0	2	26	NA	NA	NA
2	-1	2	1	26	NA	NA	NA
2	-1	2	2	26	NA	NA	NA
2	1	-1	1	26	NA	NA	NA
2	1	-1	2	26	NA	NA	NA
2	1	0	1	26	NA	NA	NA
2	1	0	2	26	NA	NA	NA
2	1	2	1	26	NA	NA	NA
2	1	2	2	26	NA	NA	NA

Cuadro No. 14: Datos experimentales de variables no paramétricas evaluadas del aguacate Hass

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	Color externo	Color interno	Firmeza ($\pm 0.01\text{kg}$)
-1	0	-1	1	0	1	1	>13
-1	0	-1	2	0	1	1	>13
-1	0	0	1	0	1	5	>13
-1	0	0	2	0	1	5	>13
-1	0	2	1	0	1	5	>13
-1	0	2	2	0	1	5	>13
-1	-1	-1	1	0	1	1	>13
-1	-1	-1	2	0	1	1	>13
-1	-1	0	1	0	1	1	>13
-1	-1	0	2	0	1	1	>13
-1	-1	2	1	0	1	1	>13
-1	-1	2	2	0	1	1	>13
-1	1	-1	1	0	1	1	>13
-1	1	-1	2	0	1	1	>13
-1	1	0	1	0	1	1	>13
-1	1	0	2	0	1	1	>13
-1	1	2	1	0	1	5	>13
-1	1	2	2	0	1	5	>13
0	0	-1	1	0	1	3	>13
0	0	-1	2	0	1	3	>13
0	0	0	1	0	1	3	>13
0	0	0	2	0	1	3	>13
0	0	2	1	0	1	5	>13
0	0	2	2	0	1	5	>13
0	-1	-1	1	0	1	3	>13
0	-1	-1	2	0	1	3	>13
0	-1	0	1	0	1	3	>13
0	-1	0	2	0	1	3	>13
0	-1	2	1	0	1	3	>13
0	-1	2	2	0	1	3	>13
0	1	-1	1	0	1	1	>13
0	1	-1	2	0	1	1	>13
0	1	0	1	0	1	3	>13

Continuación de cuadro No. 14

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	Color externo	Color interno	Firmeza ($\pm 0.01\text{kg}$)
0	1	0	2	0	1	3	>13
0	1	2	1	0	1	1	>13
0	1	2	2	0	1	1	>13
2	0	-1	1	0	1	1	>13
2	0	-1	2	0	1	1	>13
2	0	0	1	0	1	1	>13
2	0	0	2	0	1	1	>13
2	0	2	1	0	1	1	>13
2	0	2	2	0	1	1	>13
2	-1	-1	1	0	1	5	>13
2	-1	-1	2	0	1	5	>13
2	-1	0	1	0	1	3	>13
2	-1	0	2	0	1	3	>13
2	-1	2	1	0	1	1	>13
2	-1	2	2	0	1	1	>13
2	1	-1	1	0	1	5	>13
2	1	-1	2	0	1	5	>13
2	1	0	1	0	1	3	>13
2	1	0	2	0	1	3	>13
2	1	2	1	0	1	3	>13
2	1	2	2	0	1	3	>13
-1	0	-1	1	2	1	1	>13
-1	0	-1	2	2	1	1	>13
-1	0	0	1	2	1	2	>13
-1	0	0	2	2	1	3	>13
-1	0	2	1	2	1	5	>13
-1	0	2	2	2	1	4	>13
-1	-1	-1	1	2	3	1	>13
-1	-1	-1	2	2	1	1	>13
-1	-1	0	1	2	1	2	>13
-1	-1	0	2	2	1	2	>13
-1	-1	2	1	2	1	2	>13
-1	-1	2	2	2	1	2	>13

Continuación de cuadro No. 14

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	Color externo	Color interno	Firmeza ($\pm 0.01\text{kg}$)
-1	1	-1	1	2	1	1	>13
-1	1	-1	2	2	1	1	>13
-1	1	0	1	2	1	1	>13
-1	1	0	2	2	2	1	>13
-1	1	2	1	2	1	3	>13
-1	1	2	2	2	1	3	>13
0	0	-1	1	2	1	4	>13
0	0	-1	2	2	1	5	>13
0	0	0	1	2	1	5	>13
0	0	0	2	2	1	4	>13
0	0	2	1	2	1	3	>13
0	0	2	2	2	1	4	>13
0	-1	-1	1	2	1	5	>13
0	-1	-1	2	2	1	5	>13
0	-1	0	1	2	1	0	>13
0	-1	0	2	2	2	0	>13
0	-1	2	1	2	1	5	>13
0	-1	2	2	2	1	5	>13
0	1	-1	1	2	2	1	>13
0	1	-1	2	2	2	1	>13
0	1	0	1	2	1	5	>13
0	1	0	2	2	1	5	>13
0	1	2	1	2	1	1	>13
0	1	2	2	2	1	1	>13
2	0	-1	1	2	1	1	>13
2	0	-1	2	2	2	1	>13
2	0	0	1	2	1	3	>13
2	0	0	2	2	1	3	>13
2	0	2	1	2	1	3	>13
2	0	2	2	2	1	3	>13
2	-1	-1	1	2	1	4	>13
2	-1	-1	2	2	1	4	>13
2	-1	0	1	2	1	5	>13

Continuación de cuadro No. 14

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	Color externo	Color interno	Firmeza ($\pm 0.01\text{kg}$)
2	-1	0	2	2	2	5	>13
2	-1	2	1	2	1	1	>13
2	-1	2	2	2	1	1	>13
2	1	-1	1	2	1	4	>13
2	1	-1	2	2	1	5	>13
2	1	0	1	2	2	4	>13
2	1	0	2	2	2	5	>13
2	1	2	1	2	1	5	>13
2	1	2	2	2	2	5	>13
-1	0	-1	1	4	1	2	>13
-1	0	-1	2	4	1	2	>13
-1	0	0	1	4	2	4	>13
-1	0	0	2	4	2	5	>13
-1	0	2	1	4	2	3	>13
-1	0	2	2	4	2	4	>13
-1	-1	-1	1	4	1	1	>13
-1	-1	-1	2	4	1	1	>13
-1	-1	0	1	4	1	1	>13
-1	-1	0	2	4	1	2	>13
-1	-1	2	1	4	1	1	>13
-1	-1	2	2	4	1	1	>13
-1	1	-1	1	4	2	1	>13
-1	1	-1	2	4	2	1	>13
-1	1	0	1	4	1	1	>13
-1	1	0	2	4	1	2	>13
-1	1	2	1	4	2	3	>13
-1	1	2	2	4	2	3	>13
0	0	-1	1	4	1	3	>13
0	0	-1	2	4	1	4	>13
0	0	0	1	4	1	5	>13
0	0	0	2	4	1	4	>13
0	0	2	1	4	2	3	>13
0	0	2	2	4	2	3	>13

Continuación de cuadro No. 14

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	Color externo	Color interno	Firmeza ($\pm 0.01\text{kg}$)
0	-1	-1	1	4	1	4	>13
0	-1	-1	2	4	2	5	>13
0	-1	0	1	4	2	4	>13
0	-1	0	2	4	2	4	>13
0	-1	2	1	4	1	4	>13
0	-1	2	2	4	1	5	>13
0	1	-1	1	4	1	1	>13
0	1	-1	2	4	1	1	>13
0	1	0	1	4	1	4	>13
0	1	0	2	4	2	5	>13
0	1	2	1	4	1	2	>13
0	1	2	2	4	1	2	>13
2	0	-1	1	4	1	1	>13
2	0	-1	2	4	1	1	>13
2	0	0	1	4	1	2	>13
2	0	0	2	4	1	3	>13
2	0	2	1	4	1	2	>13
2	0	2	2	4	1	3	>13
2	-1	-1	1	4	2	4	>13
2	-1	-1	2	4	2	4	>13
2	-1	0	1	4	1	4	>13
2	-1	0	2	4	2	5	>13
2	-1	2	1	4	1	1	>13
2	-1	2	2	4	1	1	>13
2	1	-1	1	4	2	4	>13
2	1	-1	2	4	2	5	>13
2	1	0	1	4	1	5	>13
2	1	0	2	4	2	4	>13
2	1	2	1	4	2	5	>13
2	1	2	2	4	2	5	>13
-1	0	-1	1	6	1	1	>13
-1	0	-1	2	6	1	2	>13
-1	0	0	1	6	2	4	>13

Continuación de cuadro No. 14

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	Color externo	Color interno	Firmeza ($\pm 0.01\text{kg}$)
-1	0	0	2	6	2	3	>13
-1	0	2	1	6	2	3	>13
-1	0	2	2	6	2	3	>13
-1	-1	-1	1	6	1	1	>13
-1	-1	-1	2	6	1	1	>13
-1	-1	0	1	6	1	1	>13
-1	-1	0	2	6	1	1	>13
-1	-1	2	1	6	1	1	>13
-1	-1	2	2	6	1	2	>13
-1	1	-1	1	6	1	1	>13
-1	1	-1	2	6	1	1	>13
-1	1	0	1	6	1	1	>13
-1	1	0	2	6	1	1	>13
-1	1	2	1	6	2	3	>13
-1	1	2	2	6	2	3	>13
0	0	-1	1	6	1	5	>13
0	0	-1	2	6	2	4	>13
0	0	0	1	6	2	5	>13
0	0	0	2	6	2	5	>13
0	0	2	1	6	2	3	>13
0	0	2	2	6	2	4	>13
0	-1	-1	1	6	1	5	>13
0	-1	-1	2	6	1	4	>13
0	-1	0	1	6	1	5	>13
0	-1	0	2	6	2	5	>13
0	-1	2	1	6	2	4	>13
0	-1	2	2	6	2	5	>13
0	1	-1	1	6	1	1	>13
0	1	-1	2	6	1	1	>13
0	1	0	1	6	2	5	>13
0	1	0	2	6	1	5	>13
0	1	2	1	6	1	2	>13
0	1	2	2	6	1	2	>13

Continuación de cuadro No. 14

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	Color externo	Color interno	Firmeza ($\pm 0.01\text{kg}$)
2	0	-1	1	6	1	1	>13
2	0	-1	2	6	1	1	>13
2	0	0	1	6	2	2	>13
2	0	0	2	6	2	2	>13
2	0	2	1	6	2	2	>13
2	0	2	2	6	2	3	>13
2	-1	-1	1	6	2	3	>13
2	-1	-1	2	6	2	4	>13
2	-1	0	1	6	2	5	>13
2	-1	0	2	6	2	5	>13
2	-1	2	1	6	1	1	>13
2	-1	2	2	6	1	1	>13
2	1	-1	1	6	2	3	>13
2	1	-1	2	6	2	4	>13
2	1	0	1	6	1	5	>13
2	1	0	2	6	2	5	>13
2	1	2	1	6	2	5	>13
2	1	2	2	6	2	5	>13
-1	0	-1	1	8	2	2	>13
-1	0	-1	2	8	2	2	>13
-1	0	0	1	8	2	4	>13
-1	0	0	2	8	2	4	>13
-1	0	2	1	8	2	4	>13
-1	0	2	2	8	2	5	>13
-1	-1	-1	1	8	1	1	>13
-1	-1	-1	2	8	1	1	>13
-1	-1	0	1	8	2	2	>13
-1	-1	0	2	8	2	2	>13
-1	-1	2	1	8	2	1	>13
-1	-1	2	2	8	2	1	>13
-1	1	-1	1	8	1	1	>13
-1	1	-1	2	8	1	1	>13
-1	1	0	1	8	1	1	>13

Continuación de cuadro No. 14

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	Color externo	Color interno	Firmeza ($\pm 0.01\text{kg}$)
-1	1	0	2	8	1	1	>13
-1	1	2	1	8	2	3	>13
-1	1	2	2	8	3	4	>13
0	0	-1	1	8	2	5	>13
0	0	-1	2	8	2	4	>13
0	0	0	1	8	2	5	>13
0	0	0	2	8	2	5	>13
0	0	2	1	8	2	3	>13
0	0	2	2	8	2	3	>13
0	-1	-1	1	8	2	4	>13
0	-1	-1	2	8	2	5	>13
0	-1	0	1	8	2	4	>13
0	-1	0	2	8	3	5	>13
0	-1	2	1	8	3	5	>13
0	-1	2	2	8	2	4	>13
0	1	-1	1	8	1	1	>13
0	1	-1	2	8	1	1	>13
0	1	0	1	8	2	5	>13
0	1	0	2	8	2	5	>13
0	1	2	1	8	2	1	>13
0	1	2	2	8	2	1	>13
2	0	-1	1	8	1	1	>13
2	0	-1	2	8	1	1	>13
2	0	0	1	8	2	2	>13
2	0	0	2	8	2	2	>13
2	0	2	1	8	2	2	>13
2	0	2	2	8	4	3	>13
2	-1	-1	1	8	3	4	>13
2	-1	-1	2	8	3	4	>13
2	-1	0	1	8	2	3	>13
2	-1	0	2	8	2	5	>13
2	-1	2	1	8	1	1	>13
2	-1	2	2	8	1	1	>13

Continuación de cuadro No. 14

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	Color externo	Color interno	Firmeza ($\pm 0.01\text{kg}$)
2	1	-1	1	8	3	5	>13
2	1	-1	2	8	3	4	>13
2	1	0	1	8	2	5	>13
2	1	0	2	8	3	4	>13
2	1	2	1	8	3	5	8.7
2	1	2	2	8	4	5	3
-1	0	-1	1	10	3	2	>13
-1	0	-1	2	10	3	2	>13
-1	0	0	1	10	3	3	>13
-1	0	0	2	10	3	4	>13
-1	0	2	1	10	3	4	>13
-1	0	2	2	10	3	4	>13
-1	-1	-1	1	10	2	1	>13
-1	-1	-1	2	10	2	1	>13
-1	-1	0	1	10	3	2	>13
-1	-1	0	2	10	3	2	>13
-1	-1	2	1	10	3	2	>13
-1	-1	2	2	10	3	2	>13
-1	1	-1	1	10	1	1	>13
-1	1	-1	2	10	2	1	>13
-1	1	0	1	10	2	1	>13
-1	1	0	2	10	1	1	>13
-1	1	2	1	10	2	3	>13
-1	1	2	2	10	2	3	>13
0	0	-1	1	10	2	3	>13
0	0	-1	2	10	2	4	>13
0	0	0	1	10	2	5	>13
0	0	0	2	10	2	5	>13
0	0	2	1	10	2	4	>13
0	0	2	2	10	3	4	>13
0	-1	-1	1	10	3	3	>13
0	-1	-1	2	10	2	4	>13
0	-1	0	1	10	3	4	>13

Continuación de cuadro No. 14

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	Color externo	Color interno	Firmeza ($\pm 0.01\text{kg}$)
0	-1	0	2	10	2	4	>13
0	-1	2	1	10	3	5	>13
0	-1	2	2	10	3	4	>13
0	1	-1	1	10	2	1	>13
0	1	-1	2	10	2	1	>13
0	1	0	1	10	3	4	>13
0	1	0	2	10	2	5	>13
0	1	2	1	10	2	2	>13
0	1	2	2	10	2	3	>13
2	0	-1	1	10	2	1	>13
2	0	-1	2	10	2	1	>13
2	0	0	1	10	2	2	>13
2	0	0	2	10	2	2	>13
2	0	2	1	10	4	3	>13
2	0	2	2	10	2	3	>13
2	-1	-1	1	10	3	5	>13
2	-1	-1	2	10	3	4	>13
2	-1	0	1	10	3	4	>13
2	-1	0	2	10	3	5	>13
2	-1	2	1	10	2	1	>13
2	-1	2	2	10	2	1	>13
2	1	-1	1	10	3	4	>13
2	1	-1	2	10	3	3	>13
2	1	0	1	10	4	4	3.2
2	1	0	2	10	3	5	>13
2	1	2	1	10	4	5	0.5
2	1	2	2	10	4	5	0.5
-1	0	-1	1	12	2	2	>13
-1	0	-1	2	12	3	3	>13
-1	0	0	1	12	3	4	>13
-1	0	0	2	12	3	3	>13
-1	0	2	1	12	2	4	>13
-1	0	2	2	12	3	3	>13

Continuación de cuadro No. 14

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	Color externo	Color interno	Firmeza ($\pm 0.01\text{kg}$)
-1	-1	-1	1	12	2	1	>13
-1	-1	-1	2	12	1	1	>13
-1	-1	0	1	12	2	2	>13
-1	-1	0	2	12	3	3	>13
-1	-1	2	1	12	2	2	>13
-1	-1	2	2	12	2	2	>13
-1	1	-1	1	12	1	1	>13
-1	1	-1	2	12	2	1	>13
-1	1	0	1	12	1	1	>13
-1	1	0	2	12	1	1	>13
-1	1	2	1	12	2	3	>13
-1	1	2	2	12	2	4	>13
0	0	-1	1	12	2	4	>13
0	0	-1	2	12	2	5	>13
0	0	0	1	12	3	4	>13
0	0	0	2	12	2	5	>13
0	0	2	1	12	2	3	>13
0	0	2	2	12	2	4	>13
0	-1	-1	1	12	2	4	>13
0	-1	-1	2	12	2	3	>13
0	-1	0	1	12	2	4	>13
0	-1	0	2	12	3	5	>13
0	-1	2	1	12	3	5	>13
0	-1	2	2	12	2	3	>13
0	1	-1	1	12	1	1	>13
0	1	-1	2	12	2	1	>13
0	1	0	1	12	2	5	>13
0	1	0	2	12	2	4	>13
0	1	2	1	12	2	3	>13
0	1	2	2	12	2	3	>13
2	0	-1	1	12	2	1	>13
2	0	-1	2	12	2	1	>13
2	0	0	1	12	4	4	>13

Continuación de cuadro No. 14

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	Color externo	Color interno	Firmeza ($\pm 0.01\text{kg}$)
2	0	0	2	12	4	3	7.5
2	0	2	1	12	4	5	<0.5
2	0	2	2	12	4	5	0.7
2	-1	-1	1	12	3	5	>13
2	-1	-1	2	12	3	5	>13
2	-1	0	1	12	3	5	>13
2	-1	0	2	12	4	5	13
2	-1	2	1	12	2	1	>13
2	-1	2	2	12	2	1	>13
2	1	-1	1	12	3	5	>13
2	1	-1	2	12	4	4	3
2	1	0	1	12	3	5	>13
2	1	0	2	12	4	5	>13
2	1	2	1	12	NA	NA	NA
2	1	2	2	12	NA	NA	NA
-1	0	-1	1	14	2	3	>13
-1	0	-1	2	14	2	3	>13
-1	0	0	1	14	2	3	>13
-1	0	0	2	14	3	2	>13
-1	0	2	1	14	2	2	>13
-1	0	2	2	14	3	1	>13
-1	-1	-1	1	14	2	1	>13
-1	-1	-1	2	14	2	1	>13
-1	-1	0	1	14	3	3	>13
-1	-1	0	2	14	3	2	>13
-1	-1	2	1	14	2	3	>13
-1	-1	2	2	14	3	3	>13
-1	1	-1	1	14	2	1	>13
-1	1	-1	2	14	2	1	>13
-1	1	0	1	14	1	1	>13
-1	1	0	2	14	1	1	>13
-1	1	2	1	14	3	2	>13
-1	1	2	2	14	3	2	>13

Continuación de cuadro No. 14

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	Color externo	Color interno	Firmeza ($\pm 0.01\text{kg}$)
0	0	-1	1	14	3	4	>13
0	0	-1	2	14	3	4	>13
0	0	0	1	14	3	3	>13
0	0	0	2	14	3	4	>13
0	0	2	1	14	2	3	8.4
0	0	2	2	14	3	3	>13
0	-1	-1	1	14	2	3	>13
0	-1	-1	2	14	3	4	>13
0	-1	0	1	14	3	4	>13
0	-1	0	2	14	3	3	>13
0	-1	2	1	14	3	5	>13
0	-1	2	2	14	3	5	>13
0	1	-1	1	14	2	1	>13
0	1	-1	2	14	2	1	>13
0	1	0	1	14	3	5	>13
0	1	0	2	14	3	5	>13
0	1	2	1	14	3	3	>13
0	1	2	2	14	4	3	>13
2	0	-1	1	14	2	1	>13
2	0	-1	2	14	2	1	>13
2	0	0	1	14	5	5	<0.5
2	0	0	2	14	4	5	2.3
2	0	2	1	14	5	5	0.5
2	0	2	2	14	5	5	1.1
2	-1	-1	1	14	4	5	>13
2	-1	-1	2	14	3	4	1
2	-1	0	1	14	4	5	0.7
2	-1	0	2	14	3	5	>13
2	-1	2	1	14	2	1	>13
2	-1	2	2	14	4	2	<0.5
2	1	-1	1	14	3	4	>13
2	1	-1	2	14	3	3	>13
2	1	0	1	14	4	5	>13

Continuación de cuadro No. 14

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	Color externo	Color interno	Firmeza ($\pm 0.01\text{kg}$)
2	1	0	2	14	3	4	12.3
2	1	2	1	14	NA	NA	NA
2	1	2	2	14	NA	NA	NA
-1	0	-1	1	16	2	2	>13
-1	0	-1	2	16	3	3	>13
-1	0	0	1	16	3	3	>13
-1	0	0	2	16	3	4	>13
-1	0	2	1	16	3	1	>13
-1	0	2	2	16	3	2	>13
-1	-1	-1	1	16	2	1	>13
-1	-1	-1	2	16	2	1	>13
-1	-1	0	1	16	3	2	>13
-1	-1	0	2	16	3	3	>13
-1	-1	2	1	16	3	2	>13
-1	-1	2	2	16	3	3	>13
-1	1	-1	1	16	2	1	>13
-1	1	-1	2	16	2	1	>13
-1	1	0	1	16	2	1	>13
-1	1	0	2	16	2	1	>13
-1	1	2	1	16	3	3	>13
-1	1	2	2	16	3	3	>13
0	0	-1	1	16	3	5	>13
0	0	-1	2	16	2	4	>13
0	0	0	1	16	3	4	>13
0	0	0	2	16	3	5	>13
0	0	2	1	16	3	4	>13
0	0	2	2	16	3	4	>13
0	-1	-1	1	16	3	4	>13
0	-1	-1	2	16	3	4	>13
0	-1	0	1	16	3	4	>13
0	-1	0	2	16	3	5	>13
0	-1	2	1	16	3	4	>13
0	-1	2	2	16	3	5	>13

Continuación de cuadro No. 14

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	Color externo	Color interno	Firmeza ($\pm 0.01\text{kg}$)
0	1	-1	1	16	2	1	>13
0	1	-1	2	16	2	1	>13
0	1	0	1	16	3	5	>13
0	1	0	2	16	2	5	>13
0	1	2	1	16	4	3	>13
0	1	2	2	16	4	2	>13
2	0	-1	1	16	2	2	>13
2	0	-1	2	16	2	2	>13
2	0	0	1	16	5	5	0.5
2	0	0	2	16	5	5	1.5
2	0	2	1	16	NA	NA	NA
2	0	2	2	16	NA	NA	NA
2	-1	-1	1	16	5	5	0.5
2	-1	-1	2	16	5	5	0.6
2	-1	0	1	16	5	5	8.7
2	-1	0	2	16	4	5	1
2	-1	2	1	16	2	2	0.7
2	-1	2	2	16	4	4	12.8
2	1	-1	1	16	4	5	0.5
2	1	-1	2	16	4	5	2.2
2	1	0	1	16	4	5	0.5
2	1	0	2	16	5	5	10.2
2	1	2	1	16	NA	NA	NA
2	1	2	2	16	NA	NA	NA
-1	0	-1	1	18	3	2	>13
-1	0	-1	2	18	3	3	>13
-1	0	0	1	18	3	4	4.7
-1	0	0	2	18	4	4	>13
-1	0	2	1	18	3	3	>13
-1	0	2	2	18	3	4	>13
-1	-1	-1	1	18	2	1	>13
-1	-1	-1	2	18	2	1	>13
-1	-1	0	1	18	3	2	>13

Continuación de cuadro No. 14

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	Color externo	Color interno	Firmeza ($\pm 0.01\text{kg}$)
-1	-1	0	2	18	3	2	>13
-1	-1	2	1	18	3	2	>13
-1	-1	2	2	18	3	3	>13
-1	1	-1	1	18	2	1	>13
-1	1	-1	2	18	2	1	>13
-1	1	0	1	18	2	2	>13
-1	1	0	2	18	2	2	>13
-1	1	2	1	18	3	3	>13
-1	1	2	2	18	3	4	>13
0	0	-1	1	18	3	4	>13
0	0	-1	2	18	3	5	>13
0	0	0	1	18	3	4	>13
0	0	0	2	18	3	4	>13
0	0	2	1	18	3	3	11.8
0	0	2	2	18	3	4	>13
0	-1	-1	1	18	3	4	>13
0	-1	-1	2	18	3	5	>13
0	-1	0	1	18	3	5	7.2
0	-1	0	2	18	3	5	>13
0	-1	2	1	18	3	5	>13
0	-1	2	2	18	3	5	>13
0	1	-1	1	18	2	2	>13
0	1	-1	2	18	2	2	>13
0	1	0	1	18	3	5	>13
0	1	0	2	18	3	5	>13
0	1	2	1	18	3	2	>13
0	1	2	2	18	3	3	>13
2	0	-1	1	18	2	2	>13
2	0	-1	2	18	2	2	>13
2	0	0	1	18	NA	NA	NA
2	0	0	2	18	NA	NA	NA
2	0	2	1	18	NA	NA	NA
2	0	2	2	18	NA	NA	NA

Continuación de cuadro No. 14

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	Color externo	Color interno	Firmeza ($\pm 0.01\text{kg}$)
2	-1	-1	1	18	NA	NA	NA
2	-1	-1	2	18	NA	NA	NA
2	-1	0	1	18	NA	NA	NA
2	-1	0	2	18	NA	NA	NA
2	-1	2	1	18	4	2	<0.5
2	-1	2	2	18	2	3	>13
2	1	-1	1	18	NA	NA	NA
2	1	-1	2	18	NA	NA	NA
2	1	0	1	18	NA	NA	NA
2	1	0	2	18	NA	NA	NA
2	1	2	1	18	NA	NA	NA
2	1	2	2	18	NA	NA	NA
-1	0	-1	1	20	3	3	>13
-1	0	-1	2	20	3	3	>13
-1	0	0	1	20	3	3	>13
-1	0	0	2	20	3	4	>13
-1	0	2	1	20	4	5	9.1
-1	0	2	2	20	3	2	>13
-1	-1	-1	1	20	2	3	>13
-1	-1	-1	2	20	2	3	>13
-1	-1	0	1	20	3	3	>13
-1	-1	0	2	20	3	3	>13
-1	-1	2	1	20	3	3	>13
-1	-1	2	2	20	3	3	>13
-1	1	-1	1	20	2	3	>13
-1	1	-1	2	20	2	4	>13
-1	1	0	1	20	2	4	>13
-1	1	0	2	20	2	4	>13
-1	1	2	1	20	3	3	>13
-1	1	2	2	20	3	3	>13
0	0	-1	1	20	3	5	>13
0	0	-1	2	20	3	5	>13
0	0	0	1	20	3	4	>13

Continuación de cuadro No. 14

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	Color externo	Color interno	Firmeza ($\pm 0.01\text{kg}$)
0	0	0	2	20	3	5	>13
0	0	2	1	20	5	5	0.5
0	0	2	2	20	4	4	>13
0	-1	-1	1	20	3	5	>13
0	-1	-1	2	20	3	5	>13
0	-1	0	1	20	3	5	>13
0	-1	0	2	20	4	5	4.1
0	-1	2	1	20	4	5	2.1
0	-1	2	2	20	3	5	10.76
0	1	-1	1	20	2	4	>13
0	1	-1	2	20	2	5	>13
0	1	0	1	20	3	5	>13
0	1	0	2	20	3	5	>13
0	1	2	1	20	3	3	>13
0	1	2	2	20	3	4	>13
2	0	-1	1	20	3	5	1.5
2	0	-1	2	20	4	5	3.4
2	0	0	1	20	NA	NA	NA
2	0	0	2	20	NA	NA	NA
2	0	2	1	20	NA	NA	NA
2	0	2	2	20	NA	NA	NA
2	-1	-1	1	20	NA	NA	NA
2	-1	-1	2	20	NA	NA	NA
2	-1	0	1	20	NA	NA	NA
2	-1	0	2	20	NA	NA	NA
2	-1	2	1	20	3	5	3.5
2	-1	2	2	20	5	5	6.1
2	1	-1	1	20	NA	NA	NA
2	1	-1	2	20	NA	NA	NA
2	1	0	1	20	NA	NA	NA
2	1	0	2	20	NA	NA	NA
2	1	2	1	20	NA	NA	NA
2	1	2	2	20	NA	NA	NA

Continuación de cuadro No. 14

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	Color externo	Color interno	Firmeza ($\pm 0.01\text{kg}$)
-1	0	-1	1	22	3	2	>13
-1	0	-1	2	22	3	3	>13
-1	0	0	1	22	3	4	5.83
-1	0	0	2	22	3	5	12.7
-1	0	2	1	22	4	3	7.57
-1	0	2	2	22	3	2	11.67
-1	-1	-1	1	22	2	3	>13
-1	-1	-1	2	22	2	3	>13
-1	-1	0	1	22	3	2	>13
-1	-1	0	2	22	3	2	>13
-1	-1	2	1	22	3	2	>13
-1	-1	2	2	22	3	2	>13
-1	1	-1	1	22	2	3	>13
-1	1	-1	2	22	2	4	>13
-1	1	0	1	22	2	4	>13
-1	1	0	2	22	2	3	>13
-1	1	2	1	22	3	4	9.83
-1	1	2	2	22	3	3	>13
0	0	-1	1	22	3	5	>13
0	0	-1	2	22	3	5	>13
0	0	0	1	22	3	5	>13
0	0	0	2	22	3	5	>13
0	0	2	1	22	4	5	>13
0	0	2	2	22	3	4	>13
0	-1	-1	1	22	3	3	>13
0	-1	-1	2	22	3	3	>13
0	-1	0	1	22	3	4	>13
0	-1	0	2	22	4	3	>13
0	-1	2	1	22	4	5	0.5
0	-1	2	2	22	4	4	4.7
0	1	-1	1	22	2	4	>13
0	1	-1	2	22	2	5	>13
0	1	0	1	22	3	5	>13

Continuación de cuadro No. 14

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	Color externo	Color interno	Firmeza ($\pm 0.01\text{kg}$)
0	1	0	2	22	3	5	>13
0	1	2	1	22	3	3	9.6
0	1	2	2	22	4	3	<13
2	0	-1	1	22	4	4	0.7
2	0	-1	2	22	5	4	0.7
2	0	0	1	22	NA	NA	NA
2	0	0	2	22	NA	NA	NA
2	0	2	1	22	NA	NA	NA
2	0	2	2	22	NA	NA	NA
2	-1	-1	1	22	NA	NA	NA
2	-1	-1	2	22	NA	NA	NA
2	-1	0	1	22	NA	NA	NA
2	-1	0	2	22	NA	NA	NA
2	-1	2	1	22	NA	NA	NA
2	-1	2	2	22	NA	NA	NA
2	1	-1	1	22	NA	NA	NA
2	1	-1	2	22	NA	NA	NA
2	1	0	1	22	NA	NA	NA
2	1	0	2	22	NA	NA	NA
2	1	2	1	22	NA	NA	NA
2	1	2	2	22	NA	NA	NA
-1	0	-1	1	24	3	3	>13
-1	0	-1	2	24	3	4	>13
-1	0	0	1	24	4	5	6.5
-1	0	0	2	24	4	5	4.1
-1	0	2	1	24	4	4	5
-1	0	2	2	24	4	5	2.3
-1	-1	-1	1	24	2	3	>13
-1	-1	-1	2	24	2	4	>13
-1	-1	0	1	24	3	3	>13
-1	-1	0	2	24	3	3	>13
-1	-1	2	1	24	3	3	>13
-1	-1	2	2	24	3	3	>13

Continuación de cuadro No. 14

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	Color externo	Color interno	Firmeza ($\pm 0.01\text{kg}$)
-1	1	-1	1	24	2	3	>13
-1	1	-1	2	24	2	4	>13
-1	1	0	1	24	2	4	>13
-1	1	0	2	24	2	4	>13
-1	1	2	1	24	3	3	10
-1	1	2	2	24	3	4	>13
0	0	-1	1	24	3	5	>13
0	0	-1	2	24	3	5	>13
0	0	0	1	24	3	4	>13
0	0	0	2	24	3	5	>13
0	0	2	1	24	5	5	1.5
0	0	2	2	24	4	5	4.5
0	-1	-1	1	24	3	5	8.8
0	-1	-1	2	24	4	5	5.2
0	-1	0	1	24	4	5	13
0	-1	0	2	24	4	5	>13
0	-1	2	1	24	NA	NA	NA
0	-1	2	2	24	NA	NA	NA
0	1	-1	1	24	2	3	>13
0	1	-1	2	24	2	3	>13
0	1	0	1	24	3	5	>13
0	1	0	2	24	4	4	2
0	1	2	1	24	3	5	3.9
0	1	2	2	24	3	3	11.7
2	0	-1	1	24	NA	NA	NA
2	0	-1	2	24	NA	NA	NA
2	0	0	1	24	NA	NA	NA
2	0	0	2	24	NA	NA	NA
2	0	2	1	24	NA	NA	NA
2	0	2	2	24	NA	NA	NA
2	-1	-1	1	24	NA	NA	NA
2	-1	-1	2	24	NA	NA	NA
2	-1	0	1	24	NA	NA	NA

Continuación de cuadro No. 14

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	Color externo	Color interno	Firmeza ($\pm 0.01\text{kg}$)
2	-1	0	2	24	NA	NA	NA
2	-1	2	1	24	NA	NA	NA
2	-1	2	2	24	NA	NA	NA
2	1	-1	1	24	NA	NA	NA
2	1	-1	2	24	NA	NA	NA
2	1	0	1	24	NA	NA	NA
2	1	0	2	24	NA	NA	NA
2	1	2	1	24	NA	NA	NA
2	1	2	2	24	NA	NA	NA
-1	0	-1	1	26	3	4	>13
-1	0	-1	2	26	4	3	3.6
-1	0	0	1	26	NA	NA	NA
-1	0	0	2	26	NA	NA	NA
-1	0	2	1	26	NA	NA	NA
-1	0	2	2	26	NA	NA	NA
-1	-1	-1	1	26	3	2	13
-1	-1	-1	2	26	3	3	13
-1	-1	0	1	26	NA	NA	NA
-1	-1	0	2	26	NA	NA	NA
-1	-1	2	1	26	3	3	12.6
-1	-1	2	2	26	3	3	11.7
-1	1	-1	1	26	3	3	13
-1	1	-1	2	26	3	4	13
-1	1	0	1	26	3	3	13
-1	1	0	2	26	3	3	13
-1	1	2	1	26	4	5	6.4
-1	1	2	2	26	3	5	4.8
0	0	-1	1	26	3	3	13
0	0	-1	2	26	3	4	13
0	0	0	1	26	3	5	13
0	0	0	2	26	4	4	12.5
0	0	2	1	26	NA	NA	NA
0	0	2	2	26	NA	NA	NA

Continuación de cuadro No. 14

Temperatura	Humedad relativa	Daño mecánico	Réplica	Día	Color externo	Color interno	Firmeza ($\pm 0.01\text{kg}$)
0	-1	-1	1	26	NA	NA	NA
0	-1	-1	2	26	NA	NA	NA
0	-1	0	1	26	4	3	2.3
0	-1	0	2	26	4	4	0.9
0	-1	2	1	26	NA	NA	NA
0	-1	2	2	26	NA	NA	NA
0	1	-1	1	26	3	3	13
0	1	-1	2	26	3	2	13
0	1	0	1	26	3	3	13
0	1	0	2	26	4	4	13
0	1	2	1	26	4	5	5.6
0	1	2	2	26	4	4	2
2	0	-1	1	26	NA	NA	NA
2	0	-1	2	26	NA	NA	NA
2	0	0	1	26	3	5	13
2	0	0	2	26	4	4	12.5
2	0	2	1	26	NA	NA	NA
2	0	2	2	26	NA	NA	NA
2	-1	-1	1	26	NA	NA	NA
2	-1	-1	2	26	NA	NA	NA
2	-1	0	1	26	4	3	2.3
2	-1	0	2	26	4	4	0.9
2	-1	2	1	26	NA	NA	NA
2	-1	2	2	26	NA	NA	NA
2	1	-1	1	26	3	3	13
2	1	-1	2	26	3	2	13
2	1	0	1	26	3	3	13
2	1	0	2	26	4	4	13
2	1	2	1	26	4	5	5.6
2	1	2	2	26	4	4	2

12. Glosario

Aguacate Hass (*Persa Americans "Hass"*): es una dicotiledónea perteneciente al orden de las Ranales y de la familia lauráceas. Su árbol es originario de Guatemala, parte de Centro América y de México. El fruto se caracteriza por tener forma ovalada similar a una pera y con una semilla pequeñas de forma esférica.

Atmósferas modificadas: se clasifican como un método de conservación se productos alimenticios, donde se modifica el ambiente gaseoso para aumentar la vida útil del producto de interés.

Dióxido de carbono (CO₂): es una molécula que existe principalmente de forma gaseosa y es incoloro e inodoro. Se encuentra en el aire y puede ser producto de la fermentación y respiración.

Daño mecánico: es el daño causado a un fruto por uno o más tipos de carga, compresión, impacto, fricción, abrasión y/o vibración.

Endocarpio: es la capa más interna del pericarpio del fruto que rodea a las semillas.

Etileno: es una fitohormona vegetal responsable de los procesos de maduración en las plantas. Este compuesto es producido por las plantas durante sus procesos metabólicos.

Flavor: es el resultados de combinar todas las sensaciones percibidas de forma bucal y nasal.

Frutas climatéricas: son la frutas que pueden seguir con sus procesos de maduración después de ser cosechadas, hasta que llegan a un punto de madurez ideal para consumo.

Hematomas: se forma en respuesta a un golpe, magulladura o algún tipo de daño mecánico.

Humedad relativa: es la relación entre la presión parcial del vapor de agua y la presión de vapor de equilibrio del agua cierta temperatura.

Inocuidad: hace referencia que un producto alimenticio no causara daño al consumidor, es decir que no representan un riesgo para su salud.

Mesocarpio: se define como la capa intermedia del pericarpio, ubicada entre el endocarpio y el epicarpio.

Pedúnculo: es el tallo de una hoja, fruto o flor donde permite la unión del tallo a la planta.

Perecedero: un alimento con duración limitada, de poca vida útil.

Vida útil: es el período en el que el fruto debe mantener un nivel predeterminado de calidad en las condiciones de almacenamiento específicas.

