



**Centro de Investigación en Alimentos y
Desarrollo, A.C.**

**EFFECTO DEL ETILENO EXÓGENO SOBRE LA MADURACIÓN
Y EL CONTENIDO NUTRACÉUTICO DE TRES CULTIVARES
DE MANGO DIRIGIDOS A LA INDUSTRIA DE CONGELADO
EN FRESCO**

Por:

JESÚS IGNACIO GARCÍA AGUIRRE

TESIS APROBADA POR LA

COORDINACIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE PRODUCTOS AGRÍCOLAS PARA
ZONAS TROPICALES Y SUBTROPICALES

Como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

APROBACIÓN

Los miembros del comité designado para la revisión de tesis del Ing. Jesús Ignacio García Aguirre, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias.



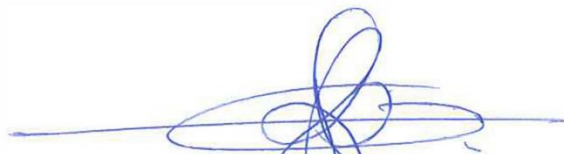
M. C. Manuel Alonzo Báez Sañudo
Director de Tesis



Dra. María Dolores Muy Rangel
Integrante del comité de tesis



Dr. José Basilio Heredia
Integrante del comité de tesis



Dr. José Benigno Valdés Torres
Integrante del comité de tesis

DECLARACIÓN INSTITUCIONAL

La información generada en la tesis “Efecto del Etileno Exógeno Sobre la Maduración y el Contenido Nutraceutico de Tres Cultivares de Mango Dirigidos a la Industria de Congelado en Fresco” es propiedad intelectual del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD). Se permiten y agradecen las citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso especial del autor Jesús Ignacio García Aguirre, siempre y cuando se dé crédito correspondiente. Para la reproducción parcial o total de la tesis con fines académicos, se deberá contar con la autorización escrita de quien ocupe la titularidad de la Dirección General del CIAD.

La publicación en comunicaciones científicas o de divulgación popular de los datos contenidos en esta tesis, deberá dar los créditos al CIAD, previa autorización escrita del director(a) de tesis.



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN
ALIMENTACIÓN Y DESARROLLO, A.C.**
Coordinación de Programas Académicos



Dr. Pablo Wong González
Director General

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco al Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología, por su valioso apoyo económico durante la realización de mis estudios de posgrado.

Al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., Coordinación Regional Culiacán, por permitirme hacer uso de sus instalaciones para la realización y culminación de mi posgrado, por el apoyo y los conocimientos adquiridos durante este periodo.

Este trabajo se logró gracias a un gran número de personas que brindaron su apoyo y a las cuales quiero agradecer.

Al Sr. Carlos Avendaño de “Agrícola El Encanto” en Navolato, Sinaloa por haber proporcionado los frutos de mango de las variedades Tommy Atkins, Kent y Keitt para la correcta realización de este experimento, además de transmitirme su experiencia con este noble cultivo.

A mi director de tesis el M.C. Manuel Alonzo Báez Sañudo, por toda la confianza que puso en mí, el apoyo incondicional, los conocimientos adquiridos, su tranquilidad al explicarme el proceso que se seguiría durante las experimentaciones y por ponerme los pies en la tierra al hacerme ver que, a veces, menos siempre puede ser más.

A mi comité de tesis: Dra. María Dolores Muy Rangel, Dr. José Basilio Heredia y Dr. José Benigno Valdés Torres por el apoyo que me dieron, sus acertados comentarios durante las reuniones de comité y su posterior seguimiento.

A la técnica del laboratorio de Calidad Postcosecha, la ahora M.C. Rosalba Contreras por su gran apoyo durante todo el tiempo que realicé mis experimentaciones, por su paciencia, consejos y hacer el papel de madre en el laboratorio.

A la M.C. Laura Contreras, por su gran apoyo mientras realizaba actividades en su laboratorio y orientarme en todas las dudas que se me presentaban.

A mis tíos, Mary y Manuel, por recibirme con los brazos abiertos, por estar ahí para mí, por recordarme en lo que me debo centrar y volver a encaminarme cuando perdía el rumbo.

A mis padres, Ignacio y Gricelda, que nunca han dudado en poner su confianza en mí, por estar ahí cuando los necesitaba, por servir como pilar cuando la presión de la maestría me agobiaba y por ese “adelante pequeño, tú puedes” que me motivaban a seguir adelante.

Y, sobre todo, a mi novia y futura esposa: Marari. Le doy las gracias por todo su apoyo y amor

incondicional, por darme ánimos, apoyarme incluso cuando a veces no tenía tiempo ni de platicar con ella y por creer en mí cuando ni si quiera yo lo hacía.

DEDICATORIA

A quienes, como yo, son amantes del “Rey de los frutos tropicales”: el mango.

CONTENIDO

APROBACIÓN.....	2
DECLARACIÓN INSTITUCIONAL	3
AGRADECIMIENTOS	4
DEDICATORIA	6
CONTENIDO	7
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE CUADROS.....	12
RESUMEN.....	15
ABSTRACT	16
1. INTRODUCCIÓN.....	17
2. ANTECEDENTES	20
2.1 Generalidades del Cultivo de Mango	20
2.2 Importancia Económica del Mango.....	21
2.2.1. Producción Internacional	21
2.2.2 Exportaciones de Mango Fresco	22
2.2.3 Importaciones de Mango Fresco	23
2.3 Producción Nacional de Mango	24
2.3.1 Producción Estatal de Mango	25
2.4. Principales Variedades Comerciales de Mango	26
2.4.1 Ataulfo	27
2.4.2 Tommy Atkins	28
2.4.3 Kent.....	29
2.4.4 Keitt	30
2.5. Valor Nutricional y Contenido Nutracéutico del Mango	31
2.6. Procesamiento del Mango	33
2.7.1 Características de Calidad de los Frutos para Proceso	36
2.7.1.1. Índice de cosecha	36
2.7.1.2 Firmeza.....	37
2.7.1.3 Color de la pulpa.	37
2.7.1.4 Sólidos solubles totales.	38
2.8. Etileno y su Efecto en la Aceleración de la Maduración.....	38
2.9. Efectos Reportados de las Aplicaciones Exógenas de etileno.....	40
2.9.1 Tratamiento con Etileno.....	40
2.9.2 Procesamiento de los Frutos de Mango	40
2.9.3 Cambios en el Contenido Nutracéutico por Efecto del Etileno	41
3. HIPÓTESIS	42
4. OBJETIVOS	43

CONTENIDO (continuación)

4.1 Objetivo General.....	43
4.2 Objetivos Específicos	43
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	44
5.1 Etapa 1. Tratamiento con Etileno y Evaluación Postcosecha de Frutos Enteros	44
5.1.1 Pérdida de Peso	45
5.1.2 Firmeza de la Pulpa.....	45
5.1.3 Colores de Cáscara y Pulpa	45
5.1.4 pH y Acidez Titulable.....	48
5.1.5 Sólidos Solubles Totales	49
5.1.6 Humedad y Materia Seca (%).....	50
5.2 Etapa 3. Procesamiento Mínimo y Congelamiento IQF (Individual Quick Frozen).....	51
5.3. Etapa 4. Caracterización Química y Nutracéutica.....	52
5.3.1 Capacidad Reductora Total.....	53
5.3.2 Carotenoides Totales por Espectrofotometría.....	54
5.4 Diseño Experimental	55
5.4.1 Evaluación Postcosecha	55
5.4.1.1 Pruebas destructivas.....	55
5.4.1.2 Pruebas no destructivas.....	56
5.4.2 Cuantificaciones Nutracéuticas.....	57
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	59
6.1 Índice de Cosecha.....	59
6.2 Pérdida de Peso.....	60
6.3 Colores de Pulpa y Cáscara de Mango	62
6.3.1 Color de Cáscara.....	63
6.3.1.1 Luminosidad.....	63
6.3.1.2 Croma.....	65
6.3.1.3 Ángulo de matiz de color.....	68
6.3.2 Color de pulpa.....	74
6.3.2.1 Luminosidad.....	74
6.3.2.2 Saturación del color	77
6.3.2.3. Ángulo de matiz del color.....	81
6.4 Firmeza de Pulpa	86
6.5 Sólidos Solubles Totales (SST).....	93
6.6 Acidez y pH	100
6.7 Capacidad Reductora Total	109
6.8 Carotenoides Totales	113
7. CONCLUSIONES.....	116
8. BIBLIOGRAFÍA.....	117

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Diferentes variedades de mango con diferencias en forma, tamaño y color Apariencia de hojas, flor, hueso y semilla.....	21
2. Porcentaje de los principales frutos tropicales exportados en el año 2020.	22
3. Volumen y valor de importación de mango en Estados Unidos del 2005 al 2020.....	23
4. Producción nacional de mango por estado.	24
5. Producción de mango en Sinaloa separada por municipio.	25
6. Principales variedades de mango producidas en Sinaloa.	26
7. Variedades de mango producidas en México.	27
8. Apariencia física de un fruto de mango ‘Ataulfo’ en estado de madurez comestible.	28
9. Fruto de mango ‘Tommy Atkins’ en el árbol y fruto maduro listo para comer.	29
10. Fruto de mango ‘Kent’ en el árbol y en su etapa de maduración comestible.....	30
11. Fruto de mango ‘Keitt’ en el árbol y en estado de madurez comestible.	31
12. Importaciones de mango (toneladas) de Estados Unidos en sus diferentes industrias.....	34
13. Volumen de importaciones de mango congelado en Estados Unidos 2018-2021.....	36
14. Consideraciones para determinar los índices de madurez en frutos de mango Tommy Atkins, Kent y Keitt.	37
15. Diagrama que muestra las coordenadas del color.	47
16. Medición de los colores de pulpa y cáscara. Nótese las marcas donde se realizaron las mediciones repetidas en cada evaluación.	48
17. Medición de pH y acidez titulable en extracto de mango.....	49
18. Medición del contenido de sólidos solubles totales en extracto de mango.	50
19. Trozos de mango deshidratados después de haber sido expuestos al calor para determinar contenido de materia seca.....	51
20. Secuencia del procesamiento para obtener los cubos de mango.	52
21. Cubos de mango congelados obtenidos de las diferentes variedades de mango.	53
22. Efectos principales en la pérdida de peso (%) para los factores Etileno y Tiempo. Letras diferentes indican diferencia significativa.	62

LISTA DE FIGURAS (continuación)

23. Interacciones en la pérdida de peso (%) entre variedades de mango y concentración de etileno.....	62
24. Efectos principales en croma del color de cáscara sobre los factores Etileno y Tiempo en mangos Tommy Atkins (I), Kent (II) y Keitt (III). Letras diferentes son significativamente diferentes.	68
25. Efectos principales en el ángulo de color de cáscara (°Hue) sobre los factores Etileno y Tiempo en mangos Tommy Atkins.	70
26. Efectos principales en el ángulo de color de cáscara (°Hue) sobre los factores Etileno y Tiempo en mangos Kent almacenados 8 días a 20 °C y 80 % de HR después de ser expuestos a 0 y 100 ppm de etileno.	72
27. Efectos principales en la luminosidad de la pulpa para los factores Etileno y Tiempo en mangos Tommy Atkins (I), Kent (II) y Keitt (III). Letras distintas indican diferencias significativas.....	76
28. Efectos principales en la saturación del color de pulpa (croma) para los factores Etileno y Tiempo en mangos Tommy Atkins (I), Kent (II) y Keitt (III). Letras diferentes indican diferencias significativas.	80
29. Efectos principales en el ángulo de color de pulpa (°Hue) para los factores Etileno y Tiempo en mangos Tommy Atkins. Letras distintas indican diferencias significativas.	82
30. Efectos principales en el ángulo de color de pulpa (°Hue) para los factores Etileno y Tiempo en mangos Kent. Letras diferentes indican diferencias significativas.....	84
31. Efectos principales en el ángulo de color de pulpa (°Hue) sobre los factores Etileno y Tiempo en frutos de mango Keitt.	85
32. Efectos principales en la firmeza de la pulpa (N) para los factores Etileno y Tiempo en mangos Tommy Atkins. Letras distintas indican diferencias significativas.	88
33. Efectos principales en los factores Etileno y Tiempo sobre la firmeza (N) en frutos de la variedad Kent. Letras distintas indican diferencias significativas.	90
34. Efectos principales sobre la firmeza (N) para los factores Etileno y Tiempo en mangos Keitt. Letras distintas indican diferencias significativas.	92
35. Gráfico de interacciones en la firmeza (N) de mangos Keitt. Letras diferentes indican diferencias significativas.....	93
36. Efectos principales en los sólidos solubles totales (°Brix) para los factores Etileno y Tiempo en mangos Tommy Atkins. Letras diferentes indican diferencias significativas.	95

LISTA DE FIGURAS (continuación)

37. Efectos principales en los sólidos solubles totales (°Brix) para los factores Etileno y Tiempo en mangos Kent. Letras diferentes indican diferencias significativas.....	97
38. Efectos principales en los sólidos solubles totales para los factores Etileno y Tiempo en mangos Keitt. Letras diferentes indican diferencias significativas.	99
39. Principales efectos en la acidez titulable (%) para los factores Etileno y Tiempo en mangos Tommy. Letras distintas indican diferencias significativas.	102
40. Principales efectos en el pH para los factores Etileno y Tiempo en mangos Tommy Atkins. Letras distintas indican diferencias significativas.	102
41. Principales efectos en la acidez titulable (%) para los factores Etileno y de mangos Kent. Letras diferentes indican diferencias significativas.	105
42. Efectos principales en el pH para los factores Etileno y Tiempo en mangos Kent. Letras distintas indican diferencias significativas.	106
43. Efectos principales en la acidez titulable (%) para los factores Etileno y Tiempo en mangos Keitt. Letras distintas indican diferencias significativas.	109
44. Efectos principales en el pH para los factores Etileno y Tiempo en mangos Keitt. Letras distintas indican diferencias significativas.	109
46. Gráfico de interacciones en la capacidad reductora total (mg eq AG/100g) de mangos Tommy Atkins, Kent y Keitt. Letras diferentes indican diferentes significativas.....	112

LISTA DE CUADROS

Cuadros	Página
1. Composición química general del fruto de mango.....	32
2. Diseño de dos factores, completamente al azar, con 3 réplicas (X); para las pruebas destructivas en mango Tommy Atkins.	55
3. Diseño de dos factores, completamente al azar, con 5 réplicas (X); para las pruebas destructivas en mango Kent y Keitt.	56
4. Diseño de dos factores, completamente al azar, con medidas repetidas en el tiempo; 3 réplicas (X) para las pruebas no destructivas en mango Tommy Atkins.....	56
5. Diseño de dos factores, completamente al azar, con medidas repetidas en el tiempo; 3 réplicas (X) para las pruebas no destructivas en mango Kent y Keitt.	57
6. Diseño de dos factores, completamente al azar, con 3 réplicas (X) para las pruebas nutraceuticas en mango Tommy Atkins, Kent y Keitt.....	57
7. Materia seca, firmeza y °Brix en frutos de mango ‘Tommy Atkins’, ‘Kent’ y Keitt’ al momento de la cosecha..	60
8. Estadísticas de la pérdida de peso acumulada (%).	60
9. Análisis de varianza para la pérdida de peso acumulada (%) en mangos Tommy Atkins, Kent y Keitt.	61
10. Estadísticas de la luminosidad en cáscara de mangos Tommy Atkins, Kent y Keitt. ...	63
11. Análisis de varianza para la luminosidad en color de cáscara.....	65
12. Estadísticos para la saturación del color en cáscara de mangos Tommy Atkins, Kent y Keitt.	65
13. Análisis de varianza para la saturación del color externo en mangos Tommy Atkins, Kent y Keitt.....	67
14. Estadísticos del ángulo de color de cáscara (°Hue) en mangos Tommy Atkins.	68
15. Análisis de varianza para el ángulo del color de cáscara (°Hue) en mangos Tommy Atkins.....	69
16. Ángulo de color (°Hue) de cáscara en mangos Kent.....	71
17. Análisis de varianza en ángulo de color de cáscara en mangos Kent.....	71
18. Estadísticos del ángulo del color (°Hue) en cáscara de mangos Keitt.	73
19. Análisis de varianza en ángulo de matiz (°Hue) del color de cáscara en mangos Keitt.	73
20. Estadísticos de luminosidad en mangos Tommy Atkins, Kent y Keitt.	74

LISTA DE CUADROS (continuación)

21. Análisis de varianza para la luminosidad de la pulpa en frutos de mangos Tommy Atkins, Kent y Keitt.	75
22. Estadísticos para la saturación del color (croma) en mangos Tommy Atkins, Kent y Keitt	78
23. Análisis de varianza para la saturación del color (croma) de la pulpa en mangos Tommy Atkins, Kent y Keitt.	79
24. Estadísticos para el ángulo de color (°Hue) de pulpa en mangos Tommy Atkins.	81
25. Análisis de varianza para el ángulo de color (°Hue) en mangos Tommy Atkins.....	81
26. Estadísticos para el ángulo del color (°Hue) en mangos Kent.	82
27. Análisis de varianza para el ángulo de color (°Hue) en mangos Kent	83
28. Estadísticos para el ángulo de color (°Hue) en mangos Keitt.	84
29. Análisis de varianza para el ángulo del color (°Hue) en mangos.....	85
30. Estadísticos de firmeza de pulpa (N) en mangos Tommy Atkins.	87
31. Análisis de varianza para la firmeza de pulpa (N) en mangos Tommy Atkins.	88
32. Estadísticos para la firmeza de pulpa (N) en mangos Kent.	89
33. Análisis de varianza para la firmeza de pulpa en mangos Kent.	90
34. Estadísticos para firmeza (N) de pulpa en mangos Keitt.....	91
35. Análisis de varianza para la firmeza de pulpa en mangos Keitt.	92
36. Estadísticos para sólidos solubles totales (°Brix) totales en mangos Tommy Atkins...	93
37. Análisis de varianza para sólidos solubles totales en frutos de mango Tommy Atkins.....	94
38. Estadísticos para sólidos solubles totales (°Brix) en mangos Kent.	96
39. Análisis de varianza para sólidos solubles totales (°Brix) en mangos Kent.....	96
40. Estadísticos en sólidos solubles totales (°Brix) en mangos Keitt.....	98
41. Análisis de varianza para sólidos solubles totales en mangos Keitt.....	99
42. Estadísticos para acidez titulable (%) en mangos Tommy Atkins.	100
43. Estadísticos en pH para mangos Tommy Atkins.....	101
44. Análisis de varianza para acidez titulable (%) en mangos Tommy Atkins.	101
45. Análisis de varianza para pH en mangos Tommy Atkins.	101
46. Estadísticos para acidez titulable (%) en mangos Kent.	103
47. Estadísticos para el pH en mangos Kent.	104

LISTA DE CUADROS (continuación)

48. Análisis de varianza para la acidez titulable (%) en frutos de mango Kent.	105
49. Análisis de varianza para el pH en la variedad Kent.	105
50. Estadísticos para acidez titulable (%) en mangos Keitt.	107
51. Estadísticos para el pH en mangos Keitt.	107
52. Análisis de varianza para la acidez titulable (%) en mangos Keitt.	108
53. Análisis de varianza para el pH en mangos Keitt.	109
54. Estadísticos para la capacidad reductora (meq AG/100g) total en mangos Tommy Atkins, Kent y Keitt.	110
55. Análisis de varianza para la capacidad reductora total (meq AG/100g) en frutos de mango Tommy Atkins, Kent y Keitt.	111
56. Carotenoides totales (mg carotenoides/100g) en mangos Tommy Atkins, Kent y Keitt almacenados 8 días a 20 °C y 80 % de HR después de ser expuestos a 0 y 100 ppm de etileno. Valores de media $\pm$ error estándar	114
57. Análisis de varianza para los carotenoides totales en mangos (mg carotenoides/100g) Tommy Atkins, Kent y Keitt.	114

RESUMEN

El mango (*Mangifera indica* L.) es uno de los frutos tropicales más consumidos a nivel mundial, principalmente por su sabor y su gran aporte nutricional, rico en vitaminas A y C, y minerales. A nivel mundial, México es el principal exportador de mango para consumo fresco, del total que se cosecha, un 12 % se destina a la exportación, el 74 % al comercio nacional y el restante se industrializa. En busca de valor agregado, la industrialización como mango congelado está creciendo de forma permanente, principalmente por la estacionalidad en la producción de la fruta y la demanda durante todo el año. La calidad de la pulpa de mango congelado depende principalmente de su estado de madurez previo al proceso; por ello, el uso de etileno exógeno aplicado al fruto permite homogenizar y a la vez acelerar la maduración del mango según el tiempo que demande el proceso. Frutos de los cultivares Tommy Atkins, Kent y Keitt fueron tratados con etileno a 0 y 100 ppm por 24 horas para evaluar su efecto sobre la maduración durante los periodos de 0, 2, 4 y 6 días de almacenamiento a 20 °C y 85 % de humedad relativa. Se evaluó pérdida de peso, firmeza, sólidos solubles totales, colores interno y externo, acidez y pH. Los frutos fueron procesados cuando alcanzaron 12 °Brix, se cortó la pulpa en cubos de 1 pulgada y se congelaron con nitrógeno líquido para almacenarse a -20 °C. Estas fueron liofilizadas y se evaluó capacidad reductora total y contenido de carotenoides totales. Los frutos de las variedades Tommy Atkins y Kent alcanzaron la maduración de proceso (12-18 °Brix y 13-27 N) 2 días antes que los frutos testigo, mientras que en la variedad Keitt el tratamiento con etileno no mostró efecto sobre el tiempo de maduración. El tratamiento tuvo diferentes efectos en cada variedad: 197.2 y 194.06 mg AG/100g para Tommy Atkins, 225.04 y 194 meq AG/100g, para Kent; 203.1 y 238.85 meq AG/100g en Keitt, para frutos a 0 y 100 ppm de etileno, respectivamente. A su vez, el etileno no demostró tener efectos en cuanto al contenido de carotenoides totales, que se mantuvo entre 8 y 12 mg de carotenoides/100g. Sin embargo, más pruebas deben realizarse para comprobar los efectos del etileno en el contenido nutracéutico de los frutos de mango.

Palabras clave: Mango, *Mangifera*, etileno, mango congelado, contenido nutracéutico.

ABSTRACT

Mango (*Mangifera indica* L.) is one of the most consumed tropical fruits worldwide, mainly because of its great flavor and nutritional content, rich in minerals and vitamins A and C. Mexico is the main fresh mango exporter worldwide, however, just 12% is exported, 74 % is for national trade and the remaining is industrialized. Frozen mango industry has grown permanently, mainly because of its seasonality and yearly demand. Pulp quality depends mainly on its ripening stage prior being processed; therefore, ethylene exposure allows to standardize and accelerate mango ripening according to processing times. Mango fruits Tommy Atkins, Kent and Keitt were exposed to 0 and 100 ppm during 24 hours to evaluate ripening changes during 0, 2, 4 and 6 days after treatment at 20 °C and 80% HR. Weight loss, fruit firmness, total soluble solids, internal and external color, pulp acidity and pH were evaluated. Once fruit reached 12 °Brix they were processed forming mango chunks about 1 in and frozen with liquid nitrogen. Tommy Atkins and Kent mango reached those characteristics (12-18 °Brix & 13-27 N) two days before not treated fruits meanwhile Keitt mango treated with ethylene did not affect ripening time. Ethylene treatment shown to have different effects over total reducing capacity: 197 and 194.06 meq AG/100g for Tommy Atkins, 225.04 and 194 meq AG/100g for Kent, 203.1 and 238.85 meq AG/100g for Kett in 0 a 100 ppm exposed fruit, respectively. Total carotenoid content was not affected, being between 8 and 12 mg carotenoids/100 g. Nevertheless, more evaluations need to be done in order to understand ethylene effect in nutraceutical content in mango fruits.

Keywords: mango, mangifera, ethylene, frozen mango, nutraceutical content.

1. INTRODUCCIÓN

El mango (*Mangifera indica* L.) es uno de los frutos tropicales más producidos a nivel mundial, llegando a posicionarse como uno de los cultivos tropicales más comercializados del mundo, después de la piña y el aguacate (FAO, 2019). La demanda de este fruto ha ido en incremento constante en las diferentes regiones importadoras, como Estados Unidos y la Unión Europea, debido a su atractivo sabor y el olor; además, de su aporte nutricional pues es rico en vitamina C y minerales (NMB, 2019). Gracias a los esfuerzos de instituciones como la National Mango Board (NMB), se ha divulgado información tecnológica basada en ciencia para mejorar los cultivos de la fruta, tener mejores rendimientos de cultivo y propuestas de diferentes productos que se pueden realizar con mango para promover su consumo; además, de hacer hincapié en los beneficios que este fruto puede traer a la salud de los consumidores.

México ocupa el sexto lugar en producción con 2.18 millones de toneladas (3.9 % de la producción mundial), sólo superado India, China, Tailandia, Indonesia y Pakistán; pero es líder en la exportación del mismo, aportando un 22% al total de fruta exportada con 370 mil toneladas al año (22 % del total de la fruta exportada), seguido de Tailandia (16%), Brasil (12 %) y Perú (10 %).

La industria del mango genera en México 500 millones de dólares al año, generando alrededor de 23,453 empleos permanentes y 24,253 temporales; 1.5 millones de jornales de trabajo en los cultivos; además de 67 mil jornales adicionales durante las actividades en vivero, cosecha y empacado (SADER, 2020). Los principales estados productores de mango son Chiapas, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Nayarit, Oaxaca y Sinaloa (SIAP, 2021). Este último aportó, en 2020, 22 % de la producción nacional. La exportación del mango se realiza, principalmente, como fruta fresca y sólo un 2 % del total de la producción se destina como pulpa o jugo, siendo las variedades más importantes Ataulfo, Tommy Atkins, Kent y Keitt. México exporta mango a 18 países, siendo el principal importador Estados Unidos con un 86 % de la producción nacional, seguido de Canadá con el 12 % y Japón con un 1 % (EMEX, 2019).

El mercado del mango en México se ha convertido en una actividad primaria muy importante que ha logrado expandirse a una gran cantidad de países debido a la creciente demanda de los clientes por este producto. Sin embargo, es importante mencionar que no toda la fruta que se cosecha se destina al mercado de exportación, sólo entre 12 y 16 % de la producción nacional se destina a este

fin, entre el 69 y 75 % se comercializa dentro del país; y del 13 al 19 % se industrializa y se destina a otros mercados, dándole valor agregado a toda aquella fruta que no cumple con las características de ser comercializado en fresco. Lo anterior ha traído la apertura de industrias como la del mango deshidratado, en conserva y el congelado (SAGARPA, 2015; CIATEJ, 2016).

La industria del mango congelado es una de las opciones de industrialización más atractivas de este fruto, ya que tiene la ventaja de la estacionalidad, lo que permite un mayor margen de tiempo para su comercialización y genera un producto que conserva el color, sabor y textura. El proceso de congelación requiere el uso de mangos maduros, entre 12 y 18 °Brix, y firmes, entre 13 y 27 N, ya que utilizar fruta muy madura reduce la firmeza del producto final y, por tanto, su vida de anaquel, siendo esta menos atractiva para los clientes (Kader, 2008). El mango, como fruto climatérico, se cosecha en madurez fisiológica, es decir, la etapa en la cual continuará su proceso de maduración aún si es cortado del árbol (Ho *et al.*, 2016). Por ello, una práctica común en la industria del mango es cosechar la fruta verde madura, con la finalidad de que esta pueda soportar todo su manejo y manipulación postcosecha, y mantenerla en áreas de maduración hasta que esta se encuentre lista para ser procesada.

El etileno juega un papel muy importante durante el proceso de maduración de la fruta pues esta hormona vegetal actúa desencadenando las reacciones necesarias para que la fruta comience dicho proceso (INTAGRI, 2019). Los mangos producen una baja cantidad de etileno, pero responden a aplicaciones exógenas del mismo (Slaughter, 2008), requiriendo someter la fruta a tratamientos con etileno exógeno para acelerar su maduración a fin de que esta se encuentre lista para procesar en menor tiempo, obteniendo un ahorro económico.

En cultivos como aguacate, plátano, kiwi, peras y otros productos agrícolas se han aplicado técnicas con etileno exógeno, teniendo un impacto positivo en los consumidores quienes desean comprar la fruta lista para comer, aumentando de esta manera las ventas de la fruta madura, pues estas lo hacen de manera más uniforme y atractiva para ellos (National Mango Board, 2021).

Los principales efectos que se observan durante el proceso de maduración de los frutos son: el cambio de color, tanto interno como externo, reducción en el nivel de la acidez, acumulación de sólidos solubles y pérdida de la firmeza. Por otro lado, estudios recientes se ha detectado que el contenido de compuestos bioactivos como los fenólicos totales, conocidos como capacidad reductora total, pueden incrementar o reducir durante la maduración artificial causada por la aplicación del etileno gaseoso (Heredia *et al.*, 2010; Tallapally *et al.*, 2020), por lo que resulta

importante tomar en cuenta este efecto en conjunto con los cambios físico-químicos que ocurren en la fruta.

El propósito de este trabajo fue evaluar los efectos de la aplicación de etileno sobre la velocidad y uniformidad en la maduración de las variedades comerciales de mango: Tommy Atkins, Kent y Keitt, así como sus efectos a nivel físico, químico y nutracéutico.

2. ANTECEDENTES

2.1 Generalidades del Cultivo de Mango

El mango es un fruto originario de la india, perteneciente al género *Mangifera* de la familia Anacardiaceae, cuyos frutos son conocidos como mangos y son pertenecientes a la especie *Mangifera indica*, misma que está emparentada con el marañón y el pistachero. Se trata de un árbol longevo, siempre verde y de hojas simples cuya sombra es densa, foliación perenne y de crecimiento medio, pudiendo alcanzar alturas de entre 15 a 30 m, dependiendo de la variedad, y su tronco puede alcanzar un diámetro de 75 hasta 100 cm. Sus flores son pequeñas y crecen en panículas, poseen un cáliz y corola pentámeros con cinco estambres. Un árbol de mango puede poseer hasta 2 mil flores, sin embargo, menos del 1 % de estas inflorescencias llega a convertirse en un fruto, es decir, menos de un fruto por inflorescencia (Bally *et al.*, 2006; CIATEJ, 2016; Infante *et al.*, 2011; INTAGRI, 2017).

El fruto naciente del árbol de mango se considera una drupa que consta de una delgada piel exterior, una porción carnosa comestible y un hueso central que encierra una pequeña semilla, llamada también fruta de hueso (National Mango Board, 2021). El mesocarpio comestible es jugoso y varía en proporción de acuerdo al cultivar y condiciones a las cuales se somete el cultivo, pudiendo variar su peso desde los 150 g y hasta los 2 kg. La apariencia exterior de los frutos tiende a diferenciarse entre variedades, generalmente tienen una forma ovoide, redondeada en los extremos y pueden medir desde 4 a 25 cm de largo y de 1.5 a 10 cm de grosor. El color exterior, de la cáscara, puede oscilar de los amarillos, verdes, rojos y hasta morados (Figura 1) y frecuentemente presentan lenticelas blancas prominentes (CIATEJ, 2016). El color de la pulpa puede ir desde los colores amarillos blanquecinos, para frutos en madurez fisiológica, amarillos cremosos para frutos en madurez comestible y naranjas en frutos sobre maduros.



Figura 1. Diferentes variedades de mango con diferencias en forma, tamaño y color (izquierda) Apariencia de hojas, flor, hueso y semilla (derecha) (Galvis & Herrera, 1995; Bally *et al.*, 2006).

El mango ha sido adaptado y naturalizado a lo largo de los trópicos y subtrópicos, jugando un papel muy importante en muchas culturas. Existen más de 1000 variedades de mango reconocidas y a pesar de distribuirse por todo el mundo, estos árboles prefieren climas calientes con temporadas de invierno secas y libres de congelamientos. Las flores se desarrollan a mediados o finales de la temporada de invierno pues requieren ser sometidos a temperaturas bajas para promover su crecimiento y desarrollo. A la fecha, los mangos son reconocidos y consumidos en todo el mundo, convirtiéndose en uno de los frutos tropicales más populares (Bally, 2006).

La India es el mayor productor de este fruto, aportando el 68% de la producción mundial, aunque existen otros países productores importantes entre los que destacan: Pakistán, Filipinas, Brasil, Indonesia, Haití y México (Galvis & Herrera, 1995).

2.2 Importancia Económica del Mango

2.2.1. Producción Internacional

El mango es un producto agroindustrial que juega un papel económico muy importante a nivel global, sobre todo en países en vías de desarrollo que destacan por ser productores y exportadores de este fruto. El mango es el tercer fruto tropical más comercializado a nivel mundial, por detrás de cultivares como la piña y el aguacate (Figura 2).

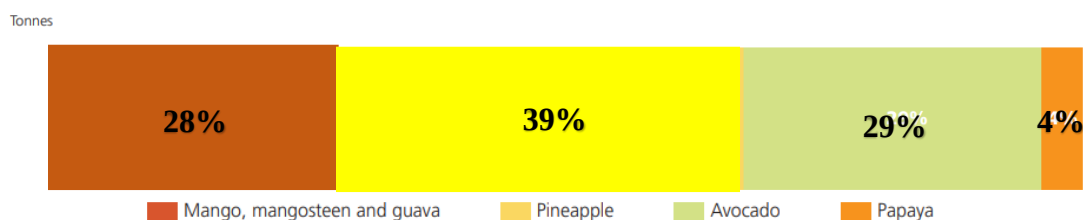


Figura 2. Porcentaje de los principales frutos tropicales exportados en el año 2020 (FAO, 2021).

2.2.2 Exportaciones de Mango Fresco

El mango pertenece al grupo de los mangostanes y las guayabas, mismos que tuvieron un incremento mundial del 2.9 %, equivalente a 60,000 toneladas con respecto al año 2019; convirtiendo a este grupo de frutos tropicales en el segundo con el crecimiento más rápido del año 2020, por detrás de los aguacates y las papayas, dejando de lado a los plátanos (FAO, 2021). Durante los primeros meses de este mismo año, estas tres frutas se mantuvieron como el treceavo con mayor venta en el extranjero, alcanzando un valor de 150 millones de dólares, donde el mango aportó 95 millones de dólares (SADER, 2020).

Separando las cantidades de exportación por tipo de fruto, los mangos se acercan al 90% de envíos globales. Esto es resultado de las condiciones favorables de producción en países latinoamericanos como Brasil y Perú que tuvieron un considerable incremento en la exportación del fruto, alcanzando un 12.7 y 19.2 %, respectivamente. Así mismo, las exportaciones desde México, quien se ha convertido en el principal exportador de mango en el mundo, registraron un incremento del 13.3 % en 2020, alcanzando una exportación de 465,000 toneladas que son equivalentes al 21% de las exportaciones globales. Estos tres países se han convertido en los principales pilares de exportación de este fruto, siendo Estados Unidos el principal país importador (Figura 3), englobando una derrama económica de 407 millones de dólares, siendo la más alta desde el 2016 (FAO, 2021; National Mango Board, 2021).

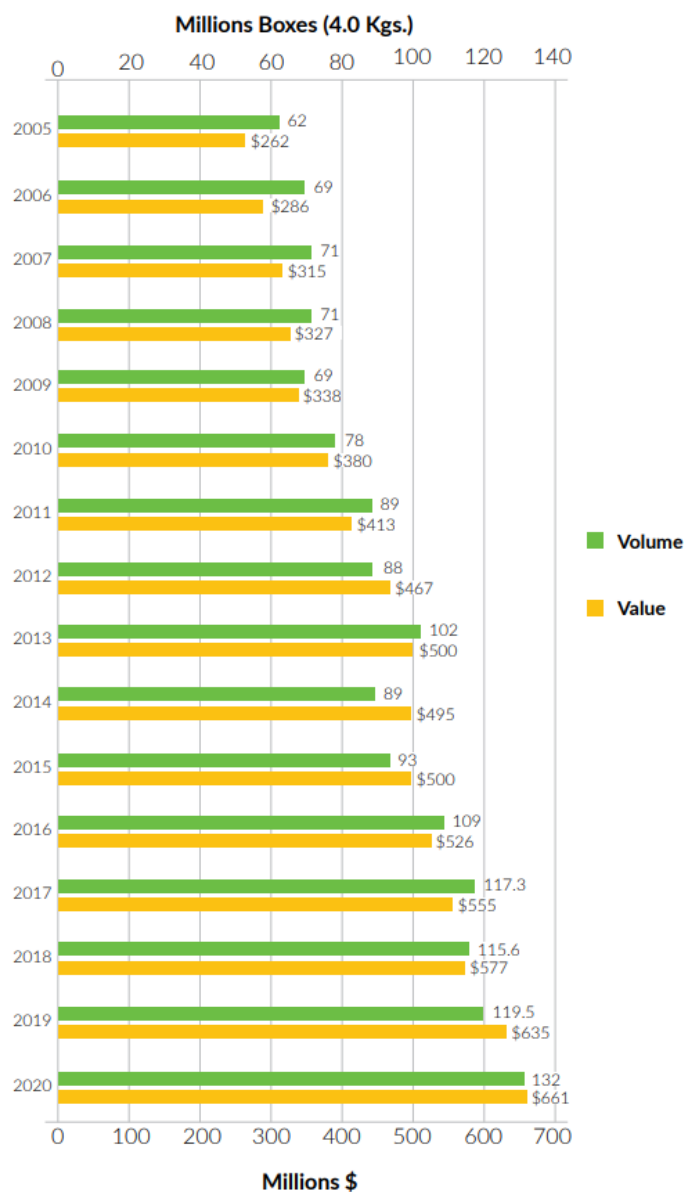


Figura 3. Volumen y valor de importación de mango en Estados Unidos del 2005 al 2020.

2.2.3 Importaciones de Mango Fresco

Según la FAO (2021) la importación de mango fresco fue de 2 millones de toneladas en 2020, correspondiendo a un incremento de 6.5% con respecto a 2019. Lo anterior puede atribuirse a un incremento de 11.2% en la demanda de este producto en Estados Unidos, equivalente a 545,000 toneladas. China, por su parte, es el segundo país importador global de mango con-adquisiciones

cercanas a 84,000 toneladas en 2020, siendo Tailandia y Vietnam sus principales países proveedores.

2.3 Producción Nacional de Mango

En México, el mango es el sector frutícola más rentable, cultivándose en 23, siendo los principales estados productores; Sinaloa, Nayarit, Guerrero, Chiapas y Oaxaca. Conjuntamente, estos estados produjeron 2,085,751.18 toneladas de fruto con un valor de producción estimado en \$10,780,198,000.11 pesos en el año 2020 (SIAP, 2021; Figura 4).

México es el sexto país productor, con un aporte de 2.8 millones de toneladas, representando el 3.9% de la producción global, por detrás de los principales países productores como India, China, Tailandia, Indonesia y Pakistan. Sin embargo, México se ha posicionado como el principal país exportador de mango a nivel mundial, aportando poco más del 20 %, lo que se traduce a cerca de 370 mil toneladas cada año (EMEX, 2019; Infante *et al.*, 2011). Los principales destinos comerciales son Estados Unidos, Canadá, Japón y Europa; que se quedan con 86, 12, 1 y 1 %, respectivamente (SADER, 2020).

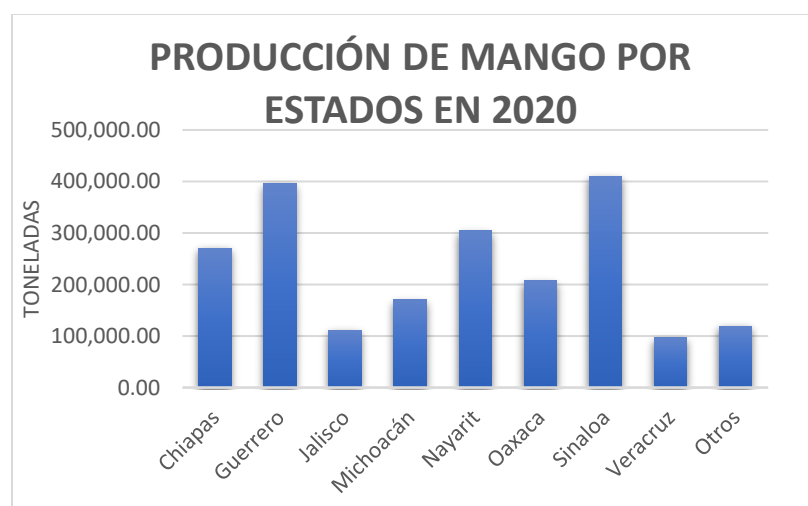


Figura 4. Producción nacional de mango por estado.

De acuerdo al Atlas Agroalimentario (2020), el mango se posiciona en el lugar número 20 de los productos agroalimentarios más exportados en el país, alcanzando un valor de 416 millones de dólares. A su vez, se cuenta con un superávit bastante alto, ya que las exportaciones que se hicieron en la primera mitad del año 2020 alcanzaron las 82,100 ton, mientras que las importaciones se mantuvieron en las 1,250 ton (SADER, 2020).

2.3.1 Producción Estatal de Mango

Sinaloa destaca por ser el segundo estado productor de mango en México con 33,891.97 ha sembradas, sólo por detrás de Chiapas, produciendo un total de 410,147 ton en el año 2020, lo que alcanzó un valor de \$2,524,651 pesos. De estos, los municipios ubicados en el sur del estado son los principales productores de mango, destacando Escuinapa y Rosario con 12,517 y 11,755 ha, respectivamente. Dichos municipios, alcanzan una producción de 151,335 ton para Escuinapa y 123,802 ton para el municipio de El Rosario, convirtiéndose en el principal generador de divisas de esta región. Por su parte, el resto de la producción se divide en los demás municipios (Figura 5), monopolizando el municipio de Ahome la principal producción de mango en la parte norte del estado y quedándose con el tercer lugar de producción en el estado con 80,699 ton (SIAP, 2021).

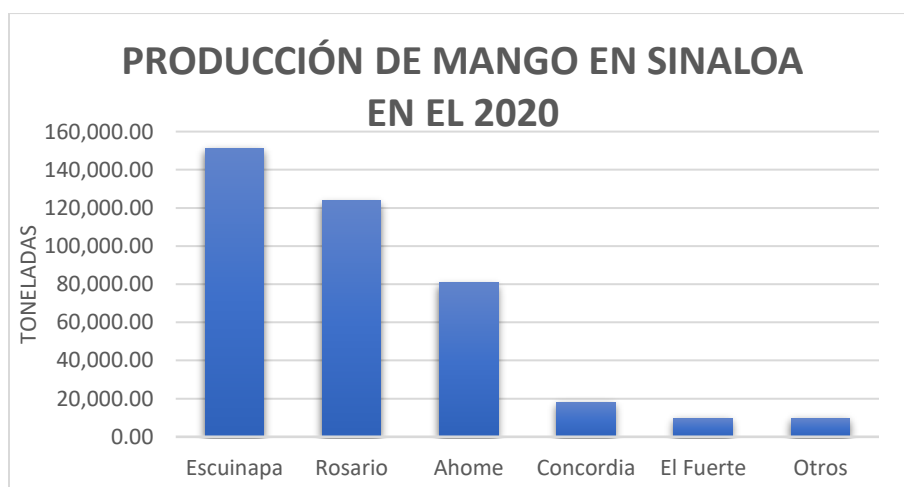


Figura 5. Producción de mango en Sinaloa separada por municipio. Sinaloa destacó por ser el principal estado exportador de este fruto en el año 2021, aportando el 42

% de las cajas empacadas destinadas para este ámbito (Ibarra, 2022). Son siete las variedades de mango que se producen en el estado: Ataulfo, Tommy Atkins, Kent, Keitt, Haden, Manila y Criollo. De estas, las variedades Kent y Keitt son las más producidas, aportando el 56 y 26 % de la producción estatal (Figura 6).

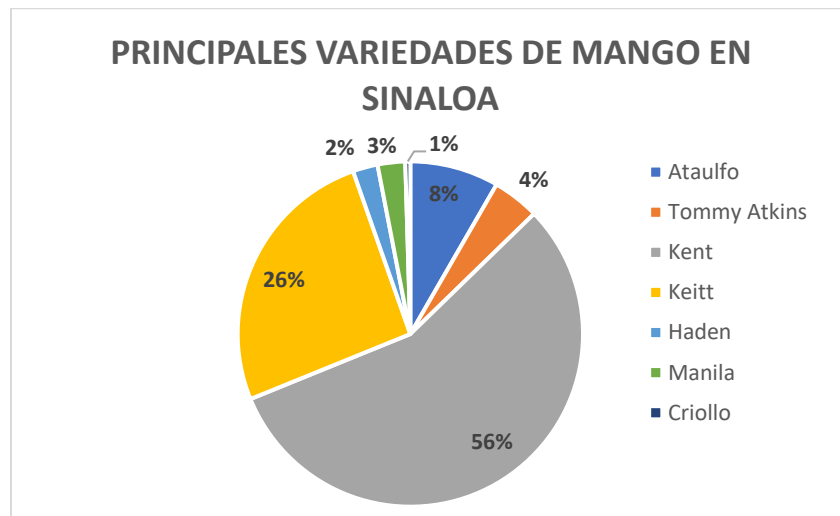


Figura 6. Principales variedades de mango producidas en Sinaloa.

2.4. Principales Variedades Comerciales de Mango

La producción nacional del mango en México se compone por lo menos de siete variedades, lo que permite contar con este fruto durante casi todo el año (Figura 7). De estas, las variedades Ataulfo, Tommy Atkins, Kent y Keitt son las que principalmente se comercializan para exportación (CIATEJ, 2016).

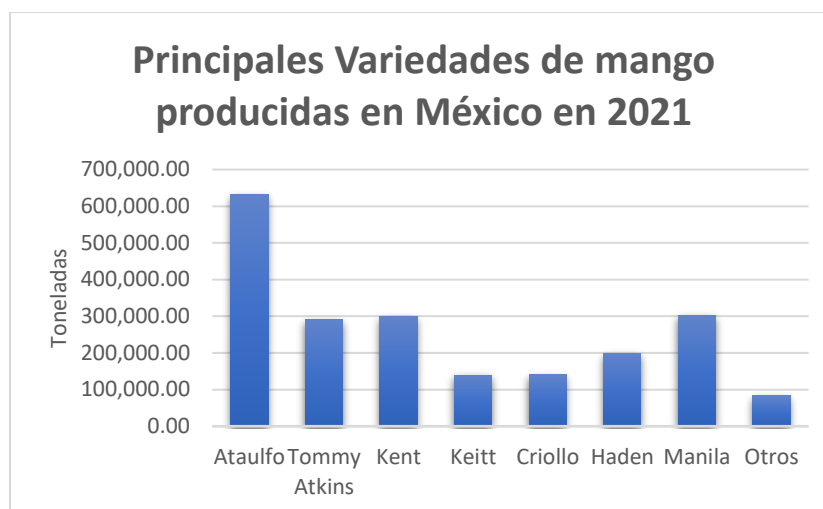


Figura 7. Variedades de mango producidas en México.

2.4.1 Ataulfo

El mango Ataulfo es una variedad mexicana, originaria de Chiapas, que fue descubierta en 1959 y que posee denominación de origen. Es la principal variedad producida en México, ya que en 2019 se cosecharon 514,409 toneladas, equivalentes al 29 % del total nacional, los principales estados productores de esta variedad son Nayarit, Oaxaca, Guerrero, Sinaloa, Michoacán, Veracruz, Jalisco, Colima, Tabasco y Campeche (SADER, 2020; Infante et al, 2011).

Los frutos de esta variedad son los primeros en salir al mercado en México para su venta pues comienzan con su floración en los meses de noviembre a marzo y deben pasar cerca de 100 días desde la floración hasta la maduración fisiológica para ser cosechado. Se trata de un fruto ovoide, con una punta larga y redondeada, que va de tamaño mediano a pequeño pudiendo pesar desde los 200 a 300 g (Figura 8); es bajo en fibra y de alto contenido en azúcar (Infante et al., 2019; Santoyo-Juárez & Martínez-Alvarado, 2011).



Figura 8. Apariencia física de un fruto de mango ‘Ataulfo’ en estado de madurez comestible.

2.4.2 Tommy Atkins

Es una variedad de mango originaria de Florida, descubierta en el año de 1920 pero que no fue comercializable sino hasta el año 1950 como remplazo al cultivar Haden que sufría de daño por enfermedades. Los árboles de esta variedad comienzan sus floraciones en los meses de diciembre hasta marzo y la producción de sus frutos se extiende desde marzo hasta julio, siendo México, Brazil, Ecuador y Guatemala los principales productores (Specialty Produce, 2021; National Mango Board, 2021).

Los frutos de esta variedad se caracterizan por poseer un color de cáscara morada cuando se encuentran en estado inmaduro y adquiere tonalidades rojizas, amarillas y verdes conforme el fruto madura. Tiene una forma ovalada, puede alcanzar tallas medianas hasta grandes que van desde los 12 a los 14.5 cm, pueden pesar desde 250 hasta 550 g (Figura 9). Es un fruto dulce, poco ácido, cuya pulpa cambia de colores amarillos cremosos a amarillos-naranjas intensos cuando este maduro, también es de pulpa firme debido al alto contenido de fibra que posee, son frutos resistentes al daño mecánico y poseen una vida de anaquel larga (CIATEJ, 2016; Santoyo-Juárez & Martínez-Alvarado, 2011; National Mango Board, 2021).



Figura 9. Fruto de mango ‘Tommy Atkins’ en el árbol (izquierda) y fruto maduro listo para comer (derecha).

2.4.3 Kent

Es un fruto originario de Florida, descrito en el año 1940 por Leith D. Kent tras cruzar un fruto de mango Haden con la variedad Brooks. Los árboles de esta variedad comienzan con su floración de enero a abril y su pico de producción se extiende desde los meses de marzo hasta julio, por lo que se considera una variedad medianamente tardía. Los principales países productores son México, Perú y Ecuador (National Mango Board, 2021; Good Fruit Guide, 2022).

Los frutos de esta variedad son los frutos que llegan a ser muy atractivos por su apariencia externa ya que tienden a adquirir tonalidades verdes, que posteriormente cambian a amarillos intensos, y un rojo vivo. Son frutos que poseen forma oval, base redonda, que pueden medir desde 11 a 13 cm y llegan a pesar desde 480 hasta 650 g (Figura 10). Se caracteriza por ser un fruto muy dulce, aunque posee notas ácidas si se consume antes de madurez completa. Su pulpa es jugosa, contiene poca fibra y alto contenido de azúcares (Santoyo-Juárez & Martínez-Alvarado, 2011; CIATEJ, 2016; National Mango Board, 2021).



Figura 10. Fruto de mango ‘Kent’ en el árbol (izquierda) y en su etapa de maduración comestible (derecha).

2.4.4 Keitt

Este fruto es proveniente de una variedad de la India que fue cultivada en Florida en el año de 1939. Los árboles de esta variedad comienzan sus floraciones desde febrero hasta abril y su producción comienza desde junio hasta septiembre, considerándose una variedad tardía. Los principales países productores son México, Brasil, Ecuador y Estados Unidos (National Mango Board, 2021; Specialty Produce, 2021).

Los frutos de este árbol se caracterizan por poseer un color verde intenso en su cáscara – aunque pueden poseer un rubor rosado – posee menos color que variedades como el Tommy Atkins, Kent o el Haden, y puede o no adquirir un color amarillo conforme madura, por lo que puede confundirse como fruto inmaduro cuando ya alcanzó su etapa de consumo (Figura 11). Se caracteriza por poseer una forma ovalada, de base redonda, alcanzando de 13 a 15 cm de longitud y un peso que va desde los 480 a los 820 g. Es de las variedades que alcanzan los mayores tamaños y pesos. Su pulpa es de color amarillo pálido en frutos inmaduros y naranjas intensos en frutos muy maduros, se caracteriza por ser firme, jugosa, dulce y poseer poca fibra. (Santoyo-Juárez & Martínez-Alvarado, 2011; CIATEJ, 2016; National Mango Board, 2021).



Figura 11. Fruto de mango 'Keitt' en el árbol (izquierda) y en estado de madurez comestible (derecha).

2.5. Valor Nutricional y Contenido Nutracéutico del Mango

El fruto de mango ha destacado por ser atractivo, jugoso y gran sabor. Además, este fruto no sólo es delicioso, sino que también tiene un alto contenido nutricional que ha resultado de mucho interés para sus consumidores, ya que es rico en carbohidratos, vitaminas y antioxidantes.

Si bien su composición química depende de factores como la variedad, el estado de madurez, las condiciones ambientales del lugar de cultivo, el manejo postcosecha y las condiciones de almacenamiento, el promedio de la composición química se resume en el cuadro 1 (CIATEJ, 2016; National Mango Board, 2021).

Cuando alcanza su madurez comercial, los azúcares que se encuentran en el fruto corresponden totalmente a azúcares solubles: sacarosa en su mayoría, fructosa y glucosa. A su vez, el contenido de almidón en este punto es mínimo (CIATEJ, 2016).

El contenido nutricional de la pulpa de mango también resulta de mucha importancia. Su color de pulpa se debe a pigmentos conocidos como carotenoides, mismos que tienen importantes características antioxidantes, es decir, compuestos que disminuyen el daño causado por efecto de los radicales libres; a su vez, algunos son precursores de compuestos como la vitamina A que juega un papel fundamental en la salud visual y de la piel. Derivado de esto, una porción de mango (124 g) provee el 8 % de los requerimientos diarios de vitamina A; además, de un 50 % del requerimiento diario de vitamina C, que juega un papel importante en reforzar el sistema inmunológico; y un 8 % del requerimiento diario de vitamina B6, que juega un papel muy importante en el desarrollo del cerebro y en el sistema nervioso (CIATEJ, 2016; National Mango Board, 2021).

Cuadro 1. Composición química general del fruto de mango.

Nutrition Facts	
3/4 cup pieces	
Serving size	(124g)
Amount per serving	
Calories	70
% Daily Value*	
Total Fat 0g	0%
Saturated Fat 0g	0%
Trans Fat 0g	
Cholesterol 0mg	0%
Sodium 0mg	0%
Total Carbohydrate 19g	7%
Dietary Fiber 2g	7%
Total Sugars 17g	
Includes 0g Added Sugars	0%
Protein 1g	2%
Vitamin D 0mcg	0%
Calcium 14mg	2%
Iron 0.2mg	2%
Potassium 208mg	4%
Vitamin A 67mcg RAE	8%
Vitamin C 45mg	50%
Vitamin E 1.11mg	8%
Vitamin K 5.2mcg	4%
Thiamin 0.035mg	2%
Riboflavin 0.047mg	4%
Niacin 0.828mg	6%
Vitamin B6 0.147mg	8%
Folate 53mcg	15%
Vitamin B12 0mcg	0%
Phosphorus 17mg	2%
Magnesium 12mg	2%
Zinc 0.11mg	2%
Copper 0.137 mg	15%
Manganese 0.078 mg	4%
Selenium 0.7 mcg	2%
Pantothenic Acid 0.244 mg	4%
Choline 9.4 mg	2%
*The % Daily Value (DV) tells you how much a nutrient in a serving of food contributes to a daily diet. 2,000 calories a day is used for general nutrition advice.	

Los frutos de mango también son ricos en una gran variedad de compuestos fenólicos que son importantes para la salud de las personas. Estos, al igual que los pigmentos como los carotenoides sirven como antioxidantes que ayudan a mitigar los efectos de los radicales libres en el organismo, mismos que pueden ser responsables del desarrollo de enfermedades como el cáncer, diabetes, enfermedades cardiacas y otras. Algunos de estos compuestos, como la mangiferina, ayudan a mantener fuerte el sistema inmunológico (Perkins-Veazie, 2008).

2.6. Procesamiento del Mango

Como se ha mencionado anteriormente, la producción agrícola del mango es de suma importancia en nuestro país ya que si bien, México no es el principal productor de mango, si cuenta con las herramientas para considerarse el principal exportador de este fruto, principalmente por el posicionamiento geográfico: cerca de Estados Unidos quien es el principal importador de mango, ya que la fruta puede estar en centrales de abastos en menos de 24 h. Sin embargo, es importante destacar que de todo el fruto que se produce en el país, solamente un pequeño porcentaje se destina a la exportación (SAGARPA, 2015).

En México, los mangos que se destinan a la exportación son frutos que poseen características de calidad muy específicas: frutos de buen tamaño, sin daños mecánicos visibles, raspaduras, cicatrices o cualquier otro daño que comprometa la apariencia del fruto, puesto que esto es lo que permite que estos sean atractivos para los consumidores que deciden comprarlos. A todos aquellos frutos que no cumplen con las características propias para ser exportados, se le conoce como rezaga (SAGARPA, 2015). Derivado de esto, se estima que, de la producción nacional, únicamente del 12 al 16% se destina para la exportación en sus diferentes mercados y el restante 88-84% se destina al consumo nacional (CIATEJ, 2016). Según datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2021) en México se produjeron 2,085,751 toneladas de mango, de las cuales solo 333,720 toneladas se destinaron para exportación, el resto fue para el consumo nacional.

Existe un reto importante para la producción que se destina para la venta nacional ya que, durante los meses de mayo a julio, casi todos los estados productores se encuentran cosechando el fruto, lo que provoca una saturación de los mercados, que los precios caigan y exista poca rentabilidad para este cultivo (CIATEJ, 2016). En consecuencia, se desarrollaron nuevas industrias con el objetivo de procesar la pulpa del mango de tal modo que se presenten nuevas alternativas que permitan la comercialización del fruto en diferentes presentaciones que abran puerta a nuevos mercados. La industrialización del fruto de mango se engloba en seis empresas: jugos y néctares, congelado, deshidratado, puré y conservas (USDA, 2022; Figura 12).

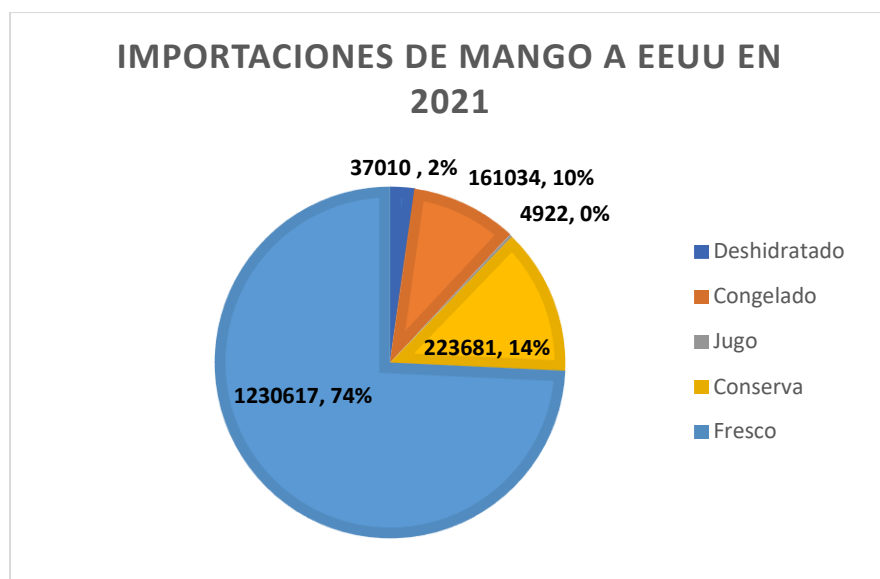


Figura 12. Importaciones de mango (toneladas) de Estados Unidos en sus diferentes industrias.

De acuerdo a datos de la USDA (2022), después del mango fresco (74 %) la presentación de mango en conserva toma el segundo lugar (14 %), seguido del mango congelado (10 %), deshidratado y en jugo (2 %). La gran extensión que se ha logrado para aprovechar de distintas formas los frutos de mango que no se aprovechan para consumo en fresco permite darles un valor agregado a estos productos, ampliando la comercialización en diferentes presentaciones. Por ejemplo, el precio de un mango deshidratado es el más alto de todos, siendo 9.5 veces más que el de un fruto comercializado en fresco, sin embargo, estos tienen los menores rendimientos. Por su parte, un mango congelado tiene un valor de 4.5 veces más que un fruto fresco y puede encontrarse incluso fuera de la temporada de producción del fruto (SAGARPA, 2015), aunque su cadena de transporte es de las más complicadas porque debe mantenerse a temperaturas muy bajas de congelación. Existen importantes retos en México ya que se deben implementar mejores técnicas para aprovechar la gran cantidad de materia prima con la que se cuenta para obtener productos de buena calidad y, sobre todo, a mejores precios evitando la saturación de los mercados.

2.7. Industria del Mango Congelado

La industria del mango congelado se ha convertido en una industria atractiva y creciente en los últimos años, principalmente porque es la mejor forma de mantener las características propias del fruto de una forma casi intacta. Es un hecho que los consumidores prefieren los frutos congelados sobre presentaciones como el enlatado, ya que las propiedades organolépticas, que son agradables para los consumidores como sabor, textura y olor se siguen manteniendo (Plotean, 2017); además, es la forma más versátil para poder preparar una gran cantidad de platillos como los postres (Maya-Ambia *et al.*, 2011).

Los frutos congelados cuentan con una ventaja muy importante en cultivares como el mango, ya que, al tratarse de un fruto que sólo se puede obtener en un intervalo de tiempo limitado, sirven como reguladores del suministro de la fruta ya que puede comercializarse cuando la disponibilidad del fruto fresco haya disminuido (Falquez-Muy & Ubilla-González, 2010). A su vez, si la cadena de comercialización se mantiene de forma adecuada, estos frutos pueden llegar a tener una durabilidad de hasta dos años (South Pacific Logistics, 2022).

De acuerdo a las tendencias del mercado, el volumen del mango que se comercializa como congelado representa casi la mitad del volumen de mangos frescos, siendo que las importaciones de los primeros crezcan de una forma mucho más veloz de acuerdo a las tendencias expansivas de la industria alimentaria, donde se busca tener la pulpa del fruto lista para ser consumida (Maya-Ambia *et al.*, 2011). La aplicación de técnicas como lo es el congelado rápido individual (IQF, por sus siglas en inglés) ha permitido que los frutos congelados tengan una mayor calidad ya que, al tratarse de un congelamiento rápido, no se forman cristales de agua y el producto final adquiere una mayor calidad (Plotean, 2017).

Estados Unidos, que es el principal importador de mango, ha desarrollado un gran interés por el mango congelado, siendo que del 2018 al 2021 (Figura 13) aumentó en casi un 42%, convirtiéndose en el fruto con mayor crecimiento en la categoría de fruto congelado. México destaca por ser el principal exportador, aportando cerca del 57% del total de mango congelado (USDA, 2022; National Mango Board, 2021).

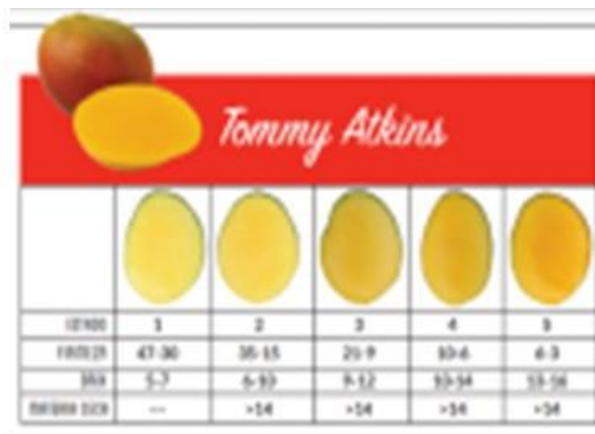


Figura 13. Volumen de importaciones de mango congelado en Estados Unidos 2018-2021.

2.7.1 Características de Calidad de los Frutos para Proceso

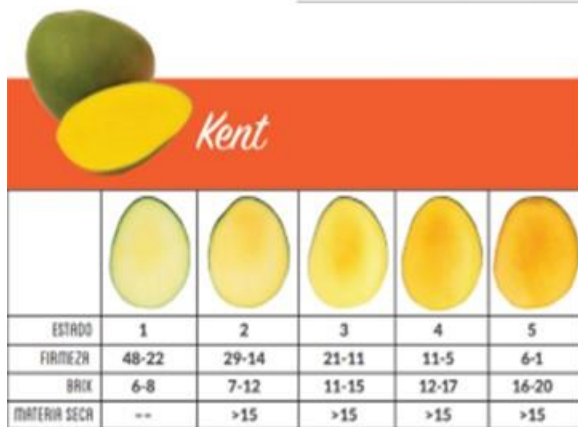
Los frutos de mango que se utilizan en esta industria destacan por ser atractivos visualmente con un color de pulpa amarillo y uniforme, además deben estar maduros y firmes. Esto último permite que los frutos puedan ser manipulados sin dañar la calidad visual de la pulpa ya que esta debe ser atractiva para que los consumidores prefieran adquirirlos (Slaughter, 2009). Las principales variedades de mango que se utilizan para procesamiento son Tommy Atkins, Kent y Keitt, ya que son variedades que van de tamaños medianos a grandes, por lo que su rendimiento es mayor (Kader, 2008). Las características que deben tomarse en cuenta para decidir si los frutos cumplen con la calidad necesaria para ser procesados son: índice de cosecha, firmeza, color de la pulpa y contenido de sólidos solubles totales.

2.7.1.1. Índice de cosecha. Los frutos de mango deben ser cosechados una vez que alcanzan su madurez fisiológica, de lo contrario no madurarán adecuadamente. Para determinar el estado de madurez de los frutos al ser cosechados no puede utilizarse un solo valor de referencia, por lo que deben considerarse en conjunto las variables de materia seca, firmeza y sólidos solubles totales de los frutos recién cosechados (Figura 14). Para decidir si se encuentran en madurez fisiológica deben cumplir con las características del estado de madurez 1 (National Mango Board, 2017;2019).



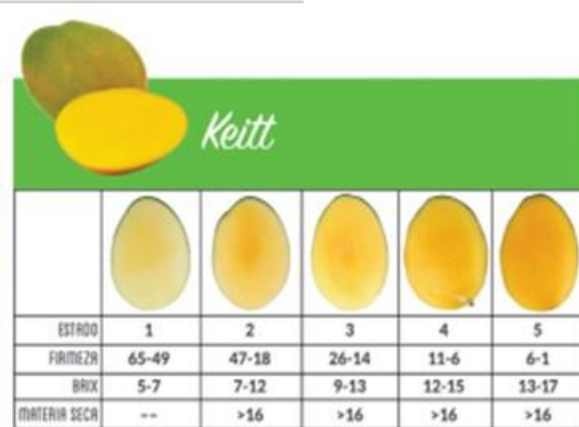
Tommy Atkins

					
ESTADO	1	2	3	4	5
FIRMEZA	47-30	35-15	29-9	23-6	6-3
BRIX	5-7	6-9	8-12	13-14	15-16
MATERIA SECA	--	>14	>14	>14	>14



Kent

					
ESTADO	1	2	3	4	5
FIRMEZA	48-22	29-14	21-11	11-5	6-1
BRIX	6-8	7-12	11-15	12-17	16-20
MATERIA SECA	--	>15	>15	>15	>15



Keitt

					
ESTADO	1	2	3	4	5
FIRMEZA	65-49	47-18	26-14	11-6	6-1
BRIX	5-7	7-12	9-13	12-15	13-17
MATERIA SECA	--	>16	>16	>16	>16

Figura 14. Consideraciones para determinar los índices de madurez en frutos de mango Tommy Atkins, Kent y Keitt.

2.7.1.2 Firmeza. Se refiere a la oposición que tiene la pulpa de un fruto cuando se ejerce una fuerza sobre esta. Conforme un fruto de mango avanza durante su proceso de maduración, este parámetro disminuye, estos cambios se atribuyen a cambios en la pared celular en los tejidos de la pulpa. Para que un fruto de mango pueda ser procesado, se recomienda mantener una firmeza entre 13-27 N para que la pulpa se encuentre lo suficientemente firme y, a su vez, pueda ser manipulada de mejor manera sin que se perjudique su calidad (Bourne, 1982; Allong *et al.*, 2000; Saavedra-Cienfuegos *et al.*, 2013).

2.7.1.3 Color de la Pulpa. El color de la pulpa es el primer acercamiento que tiene el consumidor con el producto, por lo que este debe ser atractivo y uniforme. Mangos inmaduros tendrán colores menos saturados (luminosidad mayor a 30, croma menor a 45 y ángulo de color mayor a 83),

mientras que frutos maduros tendrán colores amarillos más intensos conforme el fruto madura (luminosidad mayor a 75, croma mayor a 49 y ángulo de color mayor a 80 °Hue), hasta alcanzar colores naranjas opacos cuando los frutos se encuentran sobre maduros (National Mango Board, 2010; Báez-Sañudo & Contreras-Martínez, 2010).

2.7.1.4 Sólidos Solubles Totales. Los sólidos solubles totales se usan como indicador para medir el contenido de azúcar que puede contener un fruto. Este contenido aumenta de manera constante conforme el fruto alcanza su máximo nivel de maduración. Para el procesamiento de los frutos de mango, se recomienda utilizar aquellos que hayan alcanzado el nivel de 12 a 16 °Brix, en este punto los frutos se encuentran en un estado de madurez “listo para consumo”, que es lo que buscan los consumidores cuando adquieren frutos congelados (Allong et al., 2000; Rattanapanone et al., 2001; National Mango Board, 2010).

2.8. Etileno y su Efecto en la Aceleración de la Maduración

El etileno está presente en muchos aspectos durante el desarrollo de las plantas, desde la germinación de la semilla, elongación de raíces, desarrollo de frutos, maduración de los frutos, senescencia y abscisión de órganos, incluso, esta hormona vegetal también se produce como respuesta a estrés tanto biótico como abiótico (Chen *et al.*, 2018).

La maduración de las frutas es un proceso que viene acompañado de un gran número de eventos bioquímicos como lo son: cambios en el color, tanto de la cáscara como de la pulpa, aumento en el contenido de azúcares, reducción de la acidez, cambios en la textura como la reducción de la firmeza y la liberación de aromas volátiles, siendo cada una de estas una consideración crucial cuando se habla de los atributos de calidad en los frutos (INTAGRI, 2017).

El etileno es una hormona vegetal que juega un papel muy importante en las actividades biológicas que regulan todo el proceso de maduración de los frutos. Tan importante resulta el efecto de esta hormona, que existe una distinción entre frutos climatéricos y no climatéricos, es decir, aquellos que tras ser cosechados pueden seguir madurando y los que no. La maduración de los frutos

climatéricos viene acompañada de un incremento considerable tanto en la tasa de respiración como en la producción de etileno. La principal ventaja de estos frutos es que pueden ser cosechados una vez que estos alcanzan su madurez fisiológica, antes del incremento en la producción de etileno, y pueden continuar madurando, lo que facilita su almacenamiento a corto plazo y es importante resaltar que algunos frutos pueden responder al etileno del ambiente para poder estimular su maduración, lo que permite desarrollar tecnologías para que estos puedan alcanzar su punto de consumo de una forma más rápida (Zamora-Cienfuegos *et al.*, 2004; INTAGRI, 2017).

Las aplicaciones de etileno exógeno se han vuelto prácticas muy comunes sobre todo en frutos climatéricos con el objetivo de promover su maduración y que estos se encuentren listos para comer o que tengan las características de calidad adecuadas para comercializar, siendo ejemplo de estos los frutos tropicales como plátanos, papayas, mangos y aguacates (Catalytic Generators, 2021).

Los frutos de mango pueden producir cantidades bajas de etileno, pero son muy sensibles a aplicaciones exógenas del mismo, basta una concentración de 0.1 a 1 ppm para desencadenar su proceso de maduración. Esta sensibilidad depende de muchos factores como lo pueden ser variedad del fruto, sensibilidad del tejido, temperatura y tiempo de exposición. Al comprender cómo reaccionan los diferentes frutos a las exposiciones del etileno, se pueden desarrollar metodologías que permitan llevar a cabo la práctica de una maduración controlada que permita tener frutos más uniformes y listos para comer en un menor tiempo (Slaughter, 2008; Saavedra *et al.*, 2013; INTAGRI, 2017).

Se ha encontrado que el etileno puede promover la producción de compuestos bioactivos en algunos frutales, como la producción de antocianinas mediante la activación de las enzimas ácido 1-carboxílico-1-ciclopropano oxidasa y amonio fenilalanina liasa, siendo las responsables en la biosíntesis de fenilpropanoides, que posteriormente pueden modificarse en una amplia gama de compuestos fenólicos. Derivado de esto es importante estudiar las respuestas de cada variedad a los efectos del etileno, ya que su impacto deriva de la concentración utilizada y del tiempo de exposición (Wills *et al.*, 2001), incluidos los posibles cambios en la producción de metabolitos secundarios como los compuestos fenólicos o con propiedades bioactivas.

2.9. Efectos Reportados de las Aplicaciones Exógenas de etileno

2.9.1 Tratamiento con Etileno

Los frutos de mango producen una pequeña cantidad de etileno, pero son sensibles a aplicaciones exógenas del mismo. Por lo que exponer mangos a un tratamiento con etileno a 100 ppm durante un periodo de 1 a 2 días resulta en una maduración más rápida y uniforme, dependiendo del cultivar (Kader, 2008). Por su parte, la temperatura a la cual es madurada la fruta resulta ser un factor importante a tomar en cuenta donde se ha reportado que el rango entre 21 y 24 °C resulta ser la más adecuada, ya que temperaturas mayores a 27 °C provocan sabores más fuertes y la piel moteada (Slaughter, 2008).

Para la variedad Tommy Atkins, madurar frutos a 20 °C bajo una humedad relativa de 85% resultó en una maduración más adecuada del fruto, los principales efectos de la exposición del etileno fueron la pérdida acelerada en la firmeza (Saavedra *et al*, 2013).

Para la variedad Kent, el tratamiento con etileno exógeno estimula la maduración de los frutos y un desarrollo en el color de la cáscara, mejorando su apariencia. Una exposición a 100 y 500 ppm presentaron las mejores respuestas de la fruta, aunque la fruta resultante fue menos dulce y ligeramente más ácida (Zamora-Cienfuegos *et al.*, 2004).

Un tratamiento con etileno en la variedad Keitt puede acelerar la maduración de los frutos en al menos tres días en comparación con frutos no tratados. Las variables más afectadas debido a esto es la pérdida del peso y la firmeza (Peña, 2004).

2.9.2 Procesamiento de los Frutos de Mango

Para el procesamiento de frutos de mango es importante utilizar aquellos que se encuentren maduros (12 a 18 °Brix) ya que la manipulación se complica y la apariencia de la pulpa podría comprometerse. Por esto, los mangos deben encontrarse en un estado de maduración parcialmente

maduro, además que esto asegura mejores sabores en el producto final (Kader, 2008).

Para frutos de mango de las variedades Tommy Atkins y Kent, se recomienda utilizar frutos cuya firmeza se encuentre entre 13 y 27 N para poder obtener una calidad adecuada en el producto procesado (Rattanapanone *et al.*, 2001).

2.9.3 Cambios en el Contenido Nutracéutico por Efecto del Etileno

Las aplicaciones de etileno exógeno para acelerar la maduración en frutos pueden provocar cambios importantes en el contenido químico en comparación con aquellos frutos que no han sido sometidos a este tratamiento (Tallapally *et al.*, 2020).

Frutos de mango madurados de forma artificial puede traer consigo afectaciones en la coloración interna, lo cual puede estar relacionado al metabolismo de carotenoides, ya que el etileno puede inhibir la síntesis de estos compuestos (Zamora-Cienfuegos *et al.*, 2004).

El uso de etileno exógeno para promover la maduración artificial en diferentes frutos puede causar un incremento o un descenso en el contenido de compuestos fenólicos totales o capacidad reductora total (Tallapally *et al.*, 2020).

El etileno juega un papel importante en la síntesis de carotenoides de diferentes frutos climatéricos como los tomates, donde su aplicación puede traer alteraciones en las rutas que llevan a cabo los procesos de caroteno génesis, por lo que aún deben realizarse estudios que demuestren los efectos que esta hormona puede causar (Bertinatto *et al.*, 2018).

3. HIPÓTESIS

- Utilizar etileno exógeno bajo condiciones controladas de 100 ppm de etileno y 90% de humedad relativa durante 24 h, permite una maduración más uniforme y rápida (2 a 3 días) en mangos destinados al procesamiento en comparación con frutos no tratados.
- Los frutos de mango tratados con etileno tienen un mayor contenido de carotenoides y capacidad reductora total que los frutos de mango no tratados.

4. OBJETIVOS

4.1, Objetivo General

Evaluar los cambios sobre la maduración y calidad nutracéutica en mangos “Tommy Atkins”, “Kent” y Keitt” expuestos a un tratamiento con etileno destinado en la industria de congelados en fresco.

4.2. Objetivos Específicos

- Evaluar el efecto del etileno en los parámetros físicos (firmeza, color de pulpa y materia seca) y químicos (pH, sólidos solubles y acidez titulable) que definen la maduración de los frutos de mango ‘Tommy Atkins’, ‘Kent’ y ‘Keitt’.
- Cuantificar el contenido nutracéutico (capacidad reductora total y carotenoides totales) en cubos congelados de pulpa de mango ‘Tommy Atkins’, ‘Kent’ y ‘Keitt’ de frutos tratados con etileno.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

Las actividades experimentales se organizaron en tres etapas:

1. Tratamiento con etileno y caracterización postcosecha de los frutos enteros.
2. Procesamiento mínimo y congelado IQF de los cubos de mango.
3. Caracterización química y nutracéutica de los cubos de mango congelado.

5.1 Etapa 1. Tratamiento con Etileno y Evaluación Postcosecha de Frutos Enteros

Los frutos de mango utilizados para esta actividad experimental se obtuvieron de la unidad de producción conocida como “El Encanto”, ubicada en el municipio de Navolato, Sinaloa. Se recolectaron de forma manual 100 kg de mango de cada una de las variedades: ‘Tommy Atkins’, ‘Kent’ y ‘Keitt’; en las fechas: 2 de Julio, 3 de agosto y 19 de agosto del 2021, respectivamente. Se transportaron a las instalaciones del Laboratorio de Calidad Postcosecha de CIAD, Culiacán; el mismo día de haber sido cosechadas. Para iniciar el estudio, los frutos se lavaron y desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio a 200 ppm y se dejaron secar al ambiente del laboratorio. Los frutos se uniformizaron eliminando aquellos frutos que presentaron daños mecánicos o por efecto de plagas. Se seleccionaron 120 frutos de mango de cada variedad y se separaron en dos grupos de 60 frutos cada uno, los cuales se colocaron en cámaras de refrigeración bajo condiciones de 20 °C y 90% de humedad relativa. En una de las cámaras de refrigeración se colocó un equipo generador de etileno de la marca Catalytic Generators® utilizando etanol al 90% como precursor sometiendo los frutos a una concentración de 100-150 ppm durante 24 h. En la segunda cámara refrigerada únicamente se administró aire. Una vez transcurrido el tiempo, la cámara con etileno se ventiló para eliminar todo el contenido del gas y posteriormente ambas cámaras se mantuvieron bajo condiciones de simulación mercadeo (20 °C y 80% humedad relativa) hasta que finalizó el experimento.

Bajo estas condiciones de almacenamiento, frutos de ambos tratamientos fueron evaluados en sus características físico químicas por efecto de la maduración natural (0 ppm) y provocada (100 ppm).

Los tiempos de muestreo se establecieron en los 0, 2, 4 y 6 días después del tratamiento para la variedad Tommy Atkins y se extendió el tiempo hasta 8 días para las variedades Kent y Keitt. En cada medición se evaluaron 6 mangos, por tratamiento para la variedad Tommy Atkins y 10 mangos para las variedades Kent y Keitt.

En cada fecha de análisis se realizaron dos tipos de pruebas: destructivas y no destructivas, las cuales se listan a continuación.

5.1.1 Pérdida de Peso

La pérdida de peso es una medición no destructiva; en esta etapa se evaluó la deshidratación o pérdida de agua que sufrían los frutos por efecto del almacenamiento hasta el final del experimento, el resultado se expresó como porcentaje de pérdida de peso considerando el peso inicial y el peso en cada evaluación (Muy-Rangel *et al.*, 2004). La masa de los frutos se cuantificó en una balanza Mettler Toledo modelo MS 3002 S d=0.01 g

5.1.2 Firmeza de la Pulpa

Se trata de una prueba destructiva en la cual se cuantificó la resistencia que ejerce la pulpa de la fruta cuando se inserta un punzón metálico de 8 mm de diámetro en lados opuestos de la parte ecuatorial a los cuales, previamente, se les retiró la cáscara en la parte a evaluar (Bourne, 1982). Para esta prueba se utilizó un texturómetro automático de la marca Ametek modelo TA1 conectado a una computadora, mismo que registró los valores de fuerza necesarios para penetrar el tejido en Newtons (N). Estos mismos frutos se utilizaron para realizar los análisis químicos de pH, acidez titulable y °Brix.

5.1.3 Colores de Cáscara y Pulpa

Durante esta prueba se evaluaron tanto el color de la cáscara como el color de la pulpa, para la cual se utilizó un espectrofotómetro Konica Minolta modelo CM700D, el cual registra los valores de luminosidad (L), cromaticidad (Chroma) y °Hue (Figura 15). El primero indica la claridad del color bajo una escala de 0 (oscuro) a 100 (claro); la cromaticidad, hace referencia a la saturación que posee el color tomando de referencia las coordenadas de color a*, que se mueve en valores de verde (-60) hasta rojo (+60), y b*, que aborda valores del azul (-60) al amarillo (+60), bajo la siguiente fórmula:

$$Cromaticidad = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

Los °Hue es un término utilizado para clasificar los colores en los espectros rojos, amarillos, azules y verdes de acuerdo a los ángulos registrados en la circunferencia del color mostrada en la imagen (Minolta, 2007) y se obtiene con la fórmula:

$$^{\circ}Hue = \arctan \frac{b}{a}$$

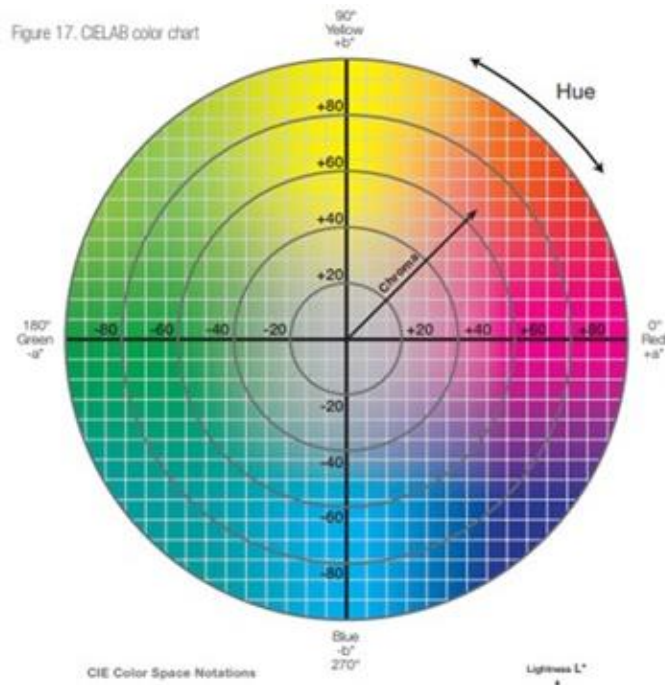


Figura 15. Diagrama que muestra las coordenadas del color.

Para la medición del color externo (Figura 16) se realizaron las mediciones sobre los mismos frutos utilizados para evaluar la pérdida de peso. Los frutos muestreados se marcaron en lados opuestos con el objetivo de realizar cada medición sobre los mismos lugares; mientras que, para el color interno (Figura 16), se utilizaron los frutos muestreados en las pruebas de firmeza, realizándose la prueba directamente sobre la pulpa en dos secciones.



Figura 16. Medición de los colores de pulpa (izquierda) y cáscara (derecha). Nótese las marcas donde se realizaron las mediciones repetidas en cada evaluación.

5.1.4 pH y Acidez Titulable

Los frutos utilizados para este análisis fueron los resultantes de la prueba de firmeza, siguiendo la metodología descrita por la AOAC 942.15 (1998). Se pesaron 10 g de pulpa de cada uno de los frutos evaluados y se homogenizaron en una licuadora comercial con 50 mL de agua destilada neutra ($\text{pH} = 7$) y se filtró el extracto. Las mediciones de pH y acidez titulable se realizaron de manera conjunta con el apoyo de un titulador automático de la marca Mettler Toledo modelo DL-50 equipado con un electrodo de cristal modelo DG-S111 que indicó de manera directa el pH de la solución (Figura 17). Así mismo, este sirvió para llevar a cabo el proceso de titulación de los ácidos en solución. Para esto, se tomó una alícuota de 40 mL del extracto y se llevó a titular con una solución de NaOH al 0.1 N hasta alcanzar un pH de 8.2 que indica el punto de neutralización de un ácido débil como los ácidos orgánicos con una base fuerte como el NaOH. El volumen total gastado de la solución de NaOH utilizado para la neutralización, en conjunto con el volumen de alícuota y los miliequivalentes del ácido predominante en la muestra (ácido cítrico - 0.064), fueron utilizados por el equipo para cuantificar la acidez titulable. Para el caso del mango, el ácido predominante es el ácido cítrico. Los datos obtenidos del equipo fueron de manera directa y se reportaron como porcentaje de ácido cítrico en la muestra.



Figura 17. Medición de pH y acidez titulable en extracto de mango.

5.1.5 Sólidos Solubles Totales

Para la realización de esta prueba, se tomó una porción del extracto filtrado utilizado para la prueba de acidez titulable y se siguió la metodología establecida por la AOAC 932. 14 (1998). Se colocó una gota del extracto en un refractómetro de la marca Mettler Toledo Modelo RE40D (Figura 18), con temperatura compensada, que reflejaba el contenido de sólidos solubles de manera automática. Los resultados se obtuvieron como °Brix y se multiplicaron por el factor de dilución utilizado para preparar el extracto ($10\text{g de muestra} + 50\text{ mL de agua neutra} = 1/6$).



Figura 18. Medición del contenido de sólidos solubles totales en extracto de mango.

5.1.6 Humedad y materia seca (%)

Se pesaron aproximadamente 20 g de pulpa en un contenedor de aluminio y se colocaron en una estufa de calor seco durante 24 h a una temperatura de 65 °C hasta obtener un peso constante (Figura 19). La muestra seca se pasó a un desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente y se pesó de nuevo. El porcentaje de humedad se calculó de acuerdo a la siguiente fórmula.

$$\% \text{ de humedad} = \frac{(\text{peso inicial} - \text{peso final})}{(\text{peso inicial})} \times 100$$

Una vez obtenido el % de humedad, se aplica la siguiente ecuación para obtener el % de materia seca:

$$\% \text{ de materia seca} = 100 - \% \text{ de humedad}$$

Este valor se utilizó para determinar el índice de cosecha el cual es utilizado de manera comercial para asegurar que los mangos maduraran adecuadamente en postcosecha.



Figura 19. Trozos de mango deshidratados después de haber sido expuestos al calor para determinar contenido de materia seca.

5.2 Etapa 3. Procesamiento Mínimo y Congelamiento IQF (Individual Quick Frozen)

Una vez que los frutos de cada variedad, tanto expuestos como no expuestos al etileno alcanzaron las condiciones de 12 °Brix y firmeza entre 18 y 27 N, fueron procesados (Figura 20). Para esto, se tomaron cinco mangos por tratamiento, se les retiró la cáscara y se separaron los “cachetes” del hueso. La pulpa extraída se cortó en cubos de aproximadamente una pulgada, se preparó una solución de ácido peroxiacético (PAA) a 50 ppm como tratamiento contra microorganismos patógenos (Narciso & Plotto, 2008), y se sumergieron durante 1 min. Transcurrido el tiempo se dejaron escurrir para eliminar el exceso de humedad y se colocaron 8 cubos de mango en cada rollo de papel aluminio con el objetivo de facilitar su manipulación. Posteriormente se congelaron individualmente utilizando nitrógeno líquido para simular un congelamiento rápido individual (IQF) comercial y luego se mantuvieron en congelamiento a -20 °C.



Figura 20. Secuencia del procesamiento para obtener los cubos de mango.

5.3. Etapa 4. Caracterización Química y Nutracéutica

Para la cuantificación de los contenidos nutraceuticos, las muestras de mango congelado (Figura 21) se liofilizaron para posteriormente triturarse con el objetivo de que estos pudieran preservarse por mayor tiempo y facilitar su manipulación, por lo que todos los resultados se expresaron como contenido en materia seca del fruto.



Figura 21. Cubos de mango congelados obtenidos de las diferentes variedades de mango.

5.3.1 Capacidad reductora total

Para la realización de esta prueba, se siguió la metodología propuesta por Swain y Hillis (1959). Se analizaron cuatro réplicas de cada tratamiento y variedad para un total de 24 (4x2x3). Primeramente, se realizó un extracto de cada una de las muestras analizadas, para lo cual se pesaron 2.5 g de muestra en un tubo para centrífuga, se adicionaron 10 mL de metanol al 80 % y se dejó trabajar el solvente durante un periodo de 2 h a temperatura ambiente y 200 rpm. Transcurrido el tiempo, se centrifugaron los tubos a 10,000 rpm por 15 min a temperatura de 4 °C. Se recuperó el sobrenadante, se colocó en tubos Eppendorf de 2.5 mL y se desechó el pellet. Obtenido el extracto, se realizó una dilución 1:1 (extracto-metanol). En una microplaca de 96 pocillos, en los primeros 3 pocillos se colocaron 10 μ L de metanol al 80%, que servirían como blanco o control, seguido de 10 μ L de cada uno de los extractos diluidos en los pocillos subsecuentes y 10 μ L de una curva estándar de ácido gálico a concentraciones de 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5 y 4.0 mg/mL. Posteriormente, en cada uno de los pocillos se colocaron 230 μ L de agua destilada y 10 μ L del reactivo Folin-Cicalteu 2N.

La microplaca se dejó incubar por 3 min a temperatura ambiente y se adicionaron 25 μ L de carbonato de calcio 4 N para suspender la reacción generada y revelar el color de la misma. La microplaca se dejó reposar durante 2 h a temperatura ambiente en el laboratorio y se procedió a medir la absorbancia en un Lector de Microplatos Synergy HT (BioTek, Inc, EEUU). Los

resultados obtenidos se determinaron a partir de la curva estándar de ácido gálico y se expresaron como mg eq AG/100 g de muestra seca.

5.3.2 Carotenoides Totales por Espectrofotometría

Para la realización de esta prueba se siguió la metodología descrita por Goodwin (1986). Se analizaron dos réplicas de cada variedad, con y sin exposición al etileno, para un total de 12 muestras. Primeramente, se realizó un extracto pesando 1.25 g de mango liofilizado en un vaso de precipitado de cada una de las muestras a analizar. Se adicionaron 8 mL de hexano y 9 mL de acetona, se mezclaron utilizando un homogenizador de tejidos Ultramax. La mezcla se filtró utilizando un papel Whatman N°1 con apoyo de una bomba de vacío acoplada a un matraz Kitasato para facilitar el proceso. Se regresó el pellet residual del papel filtro al vaso de precipitado y se repitió el proceso de lavado cuatro veces para un total de 5 lavados. Una vez terminados, se pasaron los extractos a un embudo de separación y se adicionaron 10 mL de agua destilada fría, se agitó vigorosamente y se dejó reposar. Esto permitió una separación de fases: la fase de hexano, que contiene los pigmentos de interés, quedando en la parte superior, y la fase de agua-acetona en la parte inferior. Esta última se separó por gravedad y se separó la fase de hexano, de la cual se tomó una alícuota y se depositó en una celda de cuarzo de 1 cm. Se realizó lectura en un espectrofotómetro de la marca Agilent modelo Cary 60 UV-Vis a una longitud de 450 nm, utilizando hexano como blanco. La concentración de carotenoides totales fue calculada a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Contenido de carotenoides } (\mu\text{g de carotenoides} \cdot \text{g}^{-1}) = \frac{A \cdot V \cdot 106}{A_{1\text{cm}1\%} \cdot 100 \cdot G}$$

Donde:

A: Absorbancia a 450 nm

V: Volumen total de fase hexano (mL)

106 y 100: Factores de conversión de unidades

A_{1cm1%}: Absorbancia específica o coeficiente de extinción, la cual indica la absorbancia de una solución 1% (p/v) provocada por el paso de la luz a través de un cm de celda a la longitud de onda apropiada. Para la determinación de carotenoides es equivalente a 2500.

G: Gramos de muestra

5.4 Diseño Experimental

Para la realización de este experimento, se dividieron los diseños experimentales en dos partes: Evaluación postcosecha y Cuantificación nutracéutica. En todos los diseños se aplicó un nivel de significancia del 95% y se evaluaron en el programa Minitab 18.

5.4.1 Evaluación Postcosecha

Se realizaron dos diseños de acuerdo a la naturaleza de las pruebas: destructivas y no destructivas.

5.4.1.1 Pruebas destructivas. Se consideraron cada una de las variedades como experimentos independientes con el objetivo de evaluar únicamente los efectos de la aplicación del etileno sobre ellas. Para las pruebas destructivas, se realizó un diseño completamente al azar de dos factores (Montgomery, 2017) los cuales fueron ‘Concentración de etileno’, con los niveles 0 y 100 ppm; y ‘Días de almacenamiento a 20 °C y 80 % de HR’, con los niveles 0, 2, 4 y 6, para la variedad Tommy Atkins y 0, 2, 4, 6 y 8 para las variedades Kent y Keitt. Se consideró a cada mango analizado como una unidad experimental y se evaluaron 3 réplicas, para la variedad Tommy Atkins (Cuadro 2); y 5 réplicas para las variedades Kent y Keitt (Cuadro 3).

Las variables de respuesta que se evaluaron para las pruebas destructivas fueron: firmeza, acidez titulable, pH, sólidos solubles totales y color de pulpa.

Cuadro 2. Diseño de dos factores, completamente al azar, con 3 réplicas (X); para

las pruebas destructivas en mango Tommy Atkins.					
		Almacenamiento (en días)			
		0	2	4	6
Etileno (ppm)	0 ppm	X	X	X	X
		X	X	X	X
		X	X	X	X
	100 ppm	X	X	X	X
		X	X	X	X
		X	X	X	X

Cuadro 3. Diseño de dos factores, completamente al azar, con 5 réplicas (X); para las pruebas destructivas en mango Kent y Keitt.

		Almacenamiento (en días)				
		0	2	4	6	8
Etileno (ppm)	0 ppm	X	X	X	X	X
		X	X	X	X	X
		X	X	X	X	X
		X	X	X	X	X
		X	X	X	X	X
	100 ppm	X	X	X	X	X
		X	X	X	X	X
		X	X	X	X	X
		X	X	X	X	X
		X	X	X	X	X

5.4.1.2 Pruebas no destructivas. Para el caso de las pruebas no destructivas se realizó un diseño completamente al azar de dos factores con medidas repetidas en el tiempo (Montgomery, 2017) los cuales fueron ‘Concentración de etileno’, con los niveles 0 y 100 ppm; el factor ‘Fruto’ anidado en este, refiriendo al número marcado en cada fruto (1, 2, 3, 4, 5 y 6 para Tommy Atkins, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 para Kent y Keitt); y ‘Días de almacenamiento a 20 °C y 80 % de HR’, con los niveles 0, 2, 4 y 6, para la variedad Tommy Atkins y 0, 2, 4, 6 y 8 para las variedades Kent y Keitt. Se consideró a cada mango analizado como una unidad experimental y se evaluaron 3 réplicas, para la variedad Tommy Atkins; y 5 réplicas para las variedades Kent y Keitt. Este se resume en los cuadros 4 y 5.

Las variables evaluadas en este diseño fueron: pérdida de peso y color externo del fruto.

Cuadro 3. Diseño de dos factores, completamente al azar, con medidas repetidas en el tiempo; 3 réplicas (X) para las

pruebas no destructivas en mango Tommy Atkins.						
		Almacenamiento (en días)				
		Fruto	0	2	4	6
Etileno (ppm)	0 ppm	1	X	X	X	X
		2	X	X	X	X
		3	X	X	X	X
	100 ppm	4	X	X	X	X
		5	X	X	X	X
		6	X	X	X	X

Cuadro 5. Diseño de dos factores, completamente al azar, con medidas repetidas en el tiempo; 3 réplicas (X) para las pruebas no destructivas en mango Kent y Keitt.

Almacenamiento (en días)							
		Fruto	0	2	4	6	8
Etileno (ppm)	0 ppm	1	X	X	X	X	X
		2	X	X	X	X	X
		3	X	X	X	X	X
		4	X	X	X	X	X
		5	X	X	X	X	X
	100 ppm	6	X	X	X	X	X
		7	X	X	X	X	X
		8	X	X	X	X	X
		9	X	X	X	X	X
		10	X	X	X	X	X

5.4.2 Cuantificaciones Nutracéuticas

Se realizó un diseño completamente al azar con dos factores (cuadro 6; Montgomery, 2017) donde se evaluaron los cubos de mango de cada variedad de frutos expuestos a 0 y 100 ppm de etileno exógeno que se almacenaron dentro de cada tubo de aluminio (8 cubos), considerados una unidad experimental. Los factores evaluados fueron ‘Variedad’ con los niveles Tommy Atkins, Kent y Keitt; y ‘Concentración de etileno’ con los niveles 0 y 100 ppm; y se realizaron 3 réplicas. Las variables de respuesta fueron capacidad reductora total y carotenoides totales.

Cuadro 4. Diseño de dos factores, completamente al azar, con 3 réplicas (X) para las pruebas

nutracéuticas en mango Tommy Atkins, Kent y Keitt.				
Variedad de mango				
		Tommy Atkins	Kent	Keitt
Etileno (ppm)	0 ppm	X	X	X
		X	X	X
		X	X	X
	100 ppm	X	X	X
		X	X	X
		X	X	X

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Índice de Cosecha

Para la determinación de los índices de madurez en los frutos de mango de cada variedad, se tomaron como referencia las guías establecidas por la National Mango Board (2019) y por Báez-Sañudo & Contreras-Martínez (2010). Los resultados obtenidos se resumen en el cuadro 8

El contenido de materia seca de la pulpa para la variedad Tommy fue de 16.2 %, por encima del 14 % reportado por la NMB, como mínimo para poder ser cosechado, e igual que Báez-Sañudo y Contreras-Martínez (16.2 %). De igual manera, la variedad Kent se ubicó en 19.3 %, por encima de los 15 % reportados por la NMB y un poco por debajo de los 23.2 reportados por Báez-Sañudo y Contreras-Martínez, finalmente, la variedad Keitt mostró 17.1 %, por encima del 16 % reportado por la NMB y debajo de los 18.5 % reportados por Báez-Sañudo & Contreras-Martínez. Por lo anterior se determinó que las variedades se cosecharon una vez alcanzado un estado de madurez fisiológico que asegure una maduración normal en postcosecha, reportado de acuerdo al contenido de materia seca.

Para el resultado de firmeza, tanto los reportados por la National Mango Board como por Báez-Sañudo y Contreras-Martínez se expresan en lbf, por lo que para realizar la comparación fue necesario convertir dichos resultados a Newton (N) siendo que: 1 lbf = 4.44822 N. Para la variedad Tommy Atkins, la resistencia de la pulpa fue de 193.86 N (43.38 lbf), ubicándose en la escala de la etapa de maduración 1 en ambas referencias; los frutos de mango Kent de 180 N (40.46 lbf), ubicándose en la etapa de maduración 1; los mangos de la variedad Keitt de 177.23 N (39.84 lbf) lo que lo ubica en el estado de madurez 2. Es importante destacar que la firmeza de la pulpa no debe considerarse como el único método para medir la madurez de los frutos, pero se considera una referencia de valor en conjunto con otros indicadores (National Mango Board, 2017).

El contenido de sólidos solubles totales (°Brix) para los mangos de las variedades Tommy Atkins, Kent y Keitt fueron de 7.3, 8.28 y 7.03 °Brix, respectivamente; ubicándose en un estado de madurez 2 (7-9 °Brix) de acuerdo a lo reportado por la NMB y Báez-Sañudo & Contreras-Martínez.

Se consideró entonces que los frutos de mango analizados en el experimento se encontraban en madurez fisiológica dentro de la escala de madurez 2, de acuerdo a los estándares de calidad

establecidos en ambas referencias.

Cuadro 5. Materia seca, firmeza y °Brix en frutos de mango ‘Tommy Atkins’, ‘Kent’ y Keitt’ al momento de la cosecha. Valores como media $\pm$ error estándar.

Variedad	Materia seca (%)	Firmeza (N)	Sólidos solubles totales (° Brix)
Tommy Atkins	16.2 $\pm$ 1.2	193.86 $\pm$ 21.77	7.33 $\pm$ 0.33
Kent	19.3 $\pm$ 1.16	180 $\pm$ 23.57	8.28 $\pm$ 0.50
Keitt	17.01 $\pm$ 1.5	177.23 $\pm$ 28.86	7.03 $\pm$ 1.0

6.2 Pérdida de Peso

Las características descriptivas de los resultados de la aplicación del etileno sobre las variedades de mango Tommy Atkins, Kent y Keitt se resumen en el cuadro 8. Los frutos tratados con 100 ppm de etileno mostraron un porcentaje promedio de pérdida de peso mayor en comparación que los frutos no tratados al final del experimento (6 días Tommy Atkins y 8 días Kent y Keitt). Esto era de esperarse ya que la aplicación de etileno exógeno acelera el metabolismo y los procesos de maduración de la fruta (Slaughter, 2008), aunque se observaron diferentes porcentajes de pérdida entre frutos por lo que es importante destacar que, incluso entre variedades los efectos causados por el etileno pueden variar. Esto se reflejó en el análisis de varianza (Cuadro 9) donde el factor ‘Variedad’ fue significativo ($p < 0.05$), siendo la variedad Keitt diferente a las variedades Tommy Atkins y Kent. A su vez, las concentraciones de etileno también fueron diferentes.

Cuadro 6. Estadísticas de la pérdida de peso acumulada (%).

Variedad	Etileno	Media $\pm$ Error Estándar	Mínimo	Mediana	Máximo
Tommy	0	2.08 $\pm$ 0.10	1.75	2.16	2.39

Atkins	100	2.83 ± 0.17	2.48	2.71	3.66
	0	1.66 ± 0.03	1.50	1.71	1.77
Kent	100	2.83 ± 0.08	2.54	2.76	3.34
	0	1.86 ± 0.10	1.49	1.75	2.38
Keitt	100	4.03 ± 0.15	3.43	3.92	4.88

Cuadro 7. Análisis de varianza para la pérdida de peso acumulada (%) en mangos Tommy Atkins, Kent y Keitt.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Etileno	1	27.635	65.41%	22.815	22.8153	204.04	0.000
Variedad	2	5.010	11.86%	5.010	2.5051	22.40	0.000
Etileno*Variedad	2	4.460	10.56%	4.460	2.2300	19.94	0.000
Error	46	5.144	12.17%	5.144	0.1118		
Total	51	42.249	100.00%				

Los frutos de mango Keitt fueron los más afectados por el tratamiento, llegando a perder un 216% más de su peso promedio en comparación de los frutos que no fueron expuestos al etileno, seguido de los frutos de la variedad Kent con un 170% y los Tommy Atkins con un 136% comparado con los frutos sin exposición al etileno, posiblemente por un aumento acelerado en la transpiración del fruto por efecto del tratamiento. Esto quiere decir que la exposición al etileno si tuvo un efecto estadísticamente importante en la pérdida de peso de los frutos, efecto que se ve reflejado en el análisis de varianza, donde el factor “Etileno” demostró ser altamente significativo ($p < 0.05$) además de ser el responsable de aportar la mayor contribución a la variabilidad. A su vez, la interacción entre los factores fue significativa ($p < 0.05$), lo que indica que cada variedad responde diferente a las aplicaciones de etileno (Figura 23).

Los frutos, en general, tuvieron un porcentaje de pérdida de peso promedio bajo. Siendo para los frutos de las variedades Tommy Atkins, Kent y Keitt no sometidos al etileno, de 2.07%, 1.67% y 1.86%, respectivamente. Estos resultados son similares a los obtenidos por Siller-Cepeda *et al.* (2009) donde, durante la caracterización postcosecha de las variedades Tommy Atkins, Kent y Keitt, obtuvieron porcentajes de pérdida de 3.8%, 2.5% y 4.4% después de 12 d de almacenamiento a 20 °C y 87% de humedad relativa. Si bien los frutos expuestos al etileno mostraron tener porcentajes de pérdida de peso mayores que los frutos no tratados, esto no impactó directamente sobre la calidad de los frutos ya que el porcentaje de pérdida de peso continuó siendo bajo hasta finalizado el experimento.

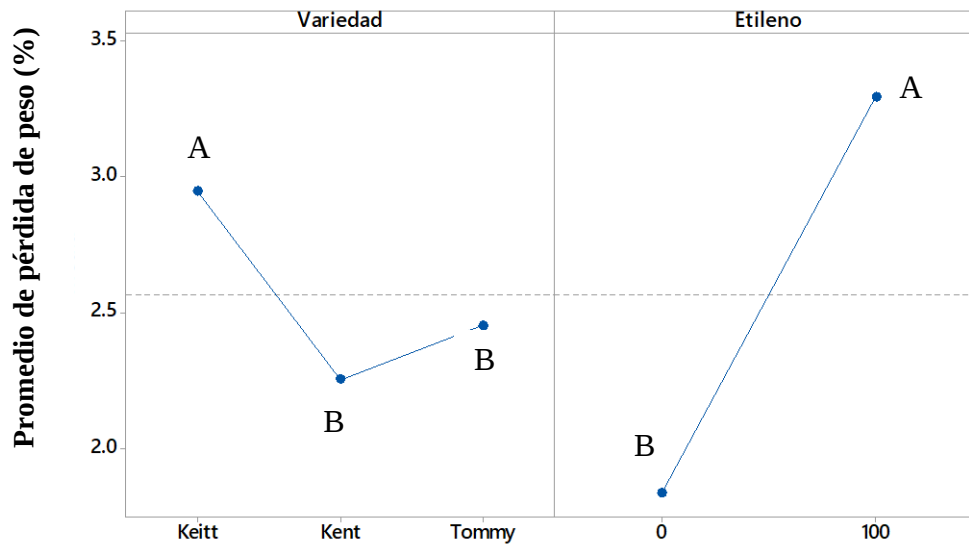


Figura 22. Efectos principales en la pérdida de peso (%) para los factores Etileno y Tiempo. Letras diferentes indican diferencia significativa.

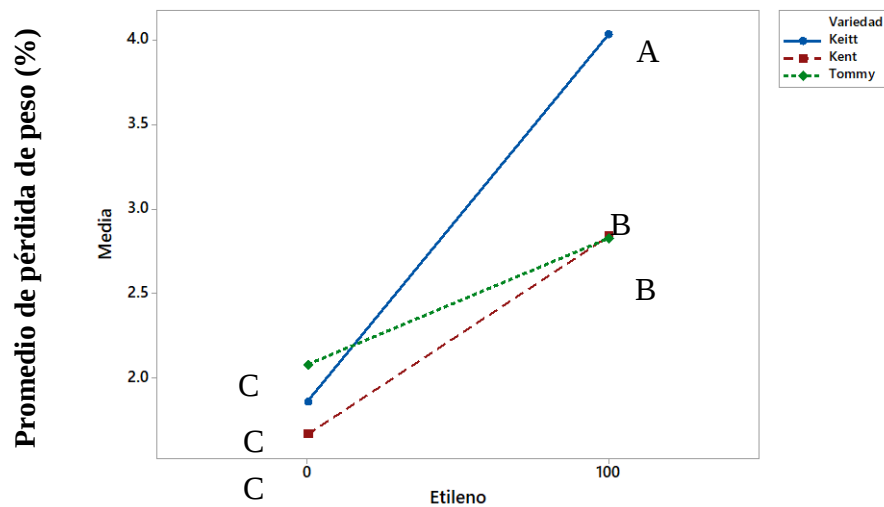


Figura 23. Interacciones en la pérdida de peso (%) entre variedades de mango y concentración de etileno

6.3 Colores de Pulpa y Cáscara de Mango

6.3.1 Color de cáscara

Durante el proceso de maduración de los frutos de mango, su cáscara cambia de un color verde hasta tonalidades amarillas. Este efecto se encontró para los frutos de las variedades Tommy Atkins y Kent, mientras que la variedad Keitt se mantuvo en coloraciones verdes hasta el final del experimento. Los resultados de los parámetros de color externo (luminosidad, croma y °Hue) se resumen en los cuadros 10, 12, 14, 16 y 18.

6.3.1.1 Luminosidad. Para la variable luminosidad (Cuadro 10), los frutos de las variedades Tommy Atkins y Kent tuvieron un comportamiento similar: de una luminosidad promedio baja hacia una más alta, quiere decir que la cáscara del fruto se fue volviendo cada vez más clara conforme avanzó el proceso de maduración, esto tiene sentido ya que los frutos cambian de un color verde opaco hasta un color amarillo intenso. Por su parte, los frutos de la variedad Keitt a 0 ppm no tuvieron cambios durante el almacenamiento, mientras que los frutos a 100 ppm si mostraron una tendencia al alza. A su vez, tanto frutos tratados como no tratados de Tommy Atkins y Kent mantuvieron una tendencia similar, lo que da a entender que, para el caso de la luminosidad, someter los frutos al etileno exógeno no tuvo efecto.

Cuadro 8. Estadísticas de la luminosidad en cáscara de mangos Tommy Atkins, Kent y Keitt.

	Etileno	Tiempo	Media $\pm$ error estándar	Mínimo	Mediana	Máximo
Tommy	0	0	50.26 $\pm$ 0.71	46.25	50.47	55.45

Atkins	100	2	53.62 ± 0.95	49.00	53.45	59.31
		4	55.45 ± 1.24	50.69	54.34	62.71
		6	57.24 ± 1.39	50.02	57.81	63.25
		0	48.67 ± 1.08	44.27	48.13	57.01
		2	51.52 ± 1.41	44.16	51.88	60.99
		4	53.65 ± 1.59	44.89	54.17	63.27
		6	54.19 ± 1.85	43.04	55.58	64.91
	0	0	47.25 ± 0.49	43.59	46.90	52.00
		2	47.96 ± 0.56	43.57	47.90	53.66
		4	50.50 ± 0.98	43.38	49.28	59.84
		6	52.01 ± 1.08	42.80	52.31	60.82
		8	53.43 ± 1.15	43.28	53.42	61.73
		0	47.69 ± 0.65	42.40	47.67	54.58
Kent	100	2	48.70 ± 0.82	40.25	49.26	55.52
		4	53.54 ± 1.15	43.28	53.96	62.45
		6	54.85 ± 1.10	46.50	55.09	62.08
		8	56.31 ± 1.0	47.45	57.41	64.10
		0	51.26 ± 0.87	43.94	51.85	56.11
		2	51.98 ± 0.71	46.02	51.76	57.29
	0	4	51.87 ± 0.82	45.82	51.59	58.78
		6	52.55 ± 0.83	46.61	52.29	59.61
		8	51.70 ± 0.89	45.19	51.39	59.34
		0	51.72 ± 0.70	47.98	50.46	58.97
		2	52.33 ± 0.78	47.60	51.57	60.73
		4	52.37 ± 0.83	46.41	51.82	60.12
Keitt	100	6	54.10 ± 0.98	46.05	53.54	63.06
		8	54.37 ± 1.03	48.06	53.57	64.18

Esto se ve reflejado en el análisis de varianza (Cuadro 11) el cual indica que la mayor contribución es debida al factor tiempo, con un 21.51 y 31.85 %, para las variedades Tommy Atkins y Kent, respectivamente, siendo este factor altamente significativo ($p < 0.05$) lo que quiere decir que los mayores cambios en la luminosidad de la cáscara de las tres variedades se debe más bien a los efectos del paso del tiempo en almacenamiento y no por acción de la exposición al etileno, que tiene un aporte de 4.57, 3.72 y 2.06 % en Tommy Atkins, Kent y Keitt, aunque estadísticamente fue un factor significativo pero la interacción de las variables no fue significativa. Es importante destacar que los ajustes de los modelos son muy pequeños para las tres variedades, con un 20.3, 33.82 y 6.42 %, lo que quiere decir que, para el caso de la luminosidad, existen otros factores que se deben de considerar para explicar estos cambios.

Cuadro 9. Análisis de varianza para la luminosidad en color de cáscara.

	Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tommy Atkins	Etileno	1	109.23	4.37%	109.23	109.23	5.21	0.02
	Tiempo	3	537.98	21.51%	537.98	179.32	8.55	0.00
	Etileno*Tiempo	3	7.43	0.30%	7.43	2.47	0.12	0.94
	Error	88	1846.43	73.83%	1846.43	20.98		
	Total	95	2501.08	100.00%				
Kent	Etileno	1	193.60	3.72%	193.60	193.60	11.18	0.00
	Tiempo	4	1658.19	31.85%	1658.19	414.55	23.94	0.00
	Etileno*Tiempo	4	64.33	1.24%	64.33	16.08	0.93	0.44
	Error	190	3289.39	63.19%	3289.39	17.31		
	Total	199	5205.51	100.00%				
Keitt	Etileno	1	60.97	2.06%	60.97	60.968	4.19	0.04
	Tiempo	4	88.84	3.01%	88.84	22.210	1.53	0.19
	Etileno*Tiempo	4	39.93	1.35%	39.93	9.982	0.69	0.60
	Error	190	2766.69	93.58%	2766.69	14.562		
	Total	199	2956.43	100.00%				

6.3.1.2 Croma. El croma promedio del color externo de los frutos de las tres variedades tuvo una tendencia a incrementar (Cuadro 12), lo que quiere decir que los colores cada vez se volvieron más vivos o saturados conforme avanzó el proceso de maduración. La variedad Keitt fue la excepción ya que la saturación de su color se mantuvo mucha más abajo que las variedades Tommy Atkins y Kent.

Cuadro 10. Estadísticos para la saturación del color en cáscara de mangos Tommy Atkins, Kent y Keitt.

	Etileno	Tiempo	Media	Error estándar	Mínimo	Mediana	Máximo
Tommy	0	0	22.74	1.09	17.20	22.37	31.16

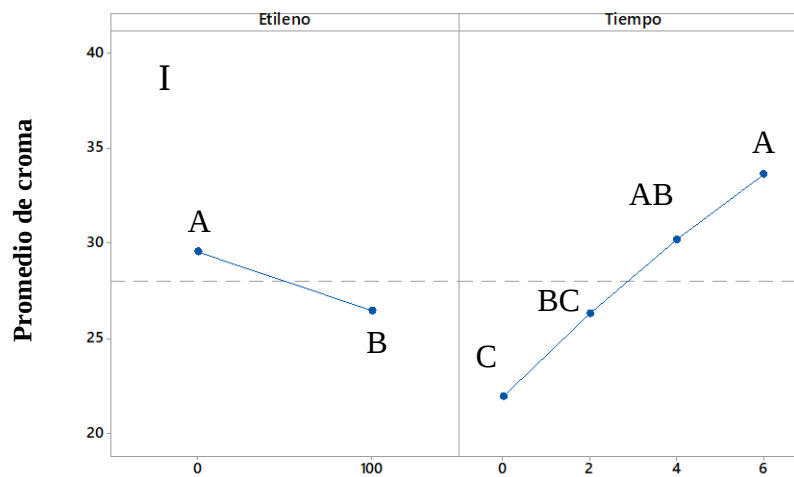
Atkins	100	2	27.92	1.51	21.99	27.45	40.95
		4	31.75	1.87	23.70	30.31	45.93
		6	35.75	2.27	23.25	37.56	50.56
		0	21.09	1.35	15.26	19.86	29.56
		2	24.61	2.19	15.82	21.88	34.51
		4	28.59	2.72	18.29	23.71	42.29
		6	31.47	3.11	18.95	29.06	45.52
		0	21.126	0.673	14.26	21.87	25.46
		2	22.094	0.741	15.84	22.32	26.74
		4	26.25	1.2	18.26	26.53	36.84
		6	28.44	1.74	14.11	30.59	41.81
		8	34.87	2.23	14.89	37.65	48.36
		0	22.78	1.00	12.07	23.15	31.71
		2	24.52	1.08	12.53	24.69	33.61
		4	31.55	1.53	13.19	33.41	42.62
Kent	100	6	35.4	1.85	12.04	37.23	47.07
		8	42.63	1.93	14.48	45.39	52.80
		0	23.18	1.22	15.92	22.26	40.07
		2	27.11	1.11	20.14	26.79	43.33
		4	24.85	1.16	16.93	23.61	40.79
	0	6	28.23	1.27	21.35	27.09	44.86
		8	25.63	1.21	17.95	24.69	41.20
		0	20.99	1.12	12.02	19.70	30.69
		2	24.22	1.29	14.51	22.55	36.21
		4	22.80	1.56	13.26	21.04	36.15
	100	6	27.91	1.82	17.90	25.78	42.17
		8	27.08	2.08	13.70	24.15	43.21

Los análisis de varianza (Cuadro 13) de las tres variedades demostraron que el factor que aporta la mayor contribución al modelo es el ‘Tiempo’ con un porcentaje de 26.81, 42.94 y 9.84 % para las variedades Tommy Atkins, Kent y Keitt, respectivamente, además que este valor resultó ser muy significativo en todos los casos. Esto indica que los cambios en la saturación del color se explican más bien por efecto del tiempo y no por la exposición al etileno que solamente tiene un aporte del 3.39, 6.72 y 0.83 %, aunque es importante destacar que este factor resultó ser significativo para Tommy Atkins y Kent (Figura 24). La interacción entre ambos factores no fue significativa para ninguna de las tres variedades, con un aporte del 0.31, 1.69 y 1.58 %, lo que indica que la exposición del etileno no demuestra efecto a través del tiempo para el caso de la saturación del color. Sin embargo, el aporte del error en los tres casos es muy alto, lo que indica que existen otras

variables que provocan estos cambios.

Cuadro 11. Análisis de varianza para la saturación del color externo en mangos Tommy Atkins, Kent y Keitt.

	Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tommy Atkins	Etileno	1	230.58	3.39%	230.58	230.57	4.29	0.041
	Tiempo	3	1829.83	26.87%	1829.83	609.94	11.35	0.000
	Etileno*Tiempo	3	21.29	0.31%	21.29	7.09	0.13	0.941
	Error	88	4729.20	69.44%	4729.20	53.74		
	Total	95	6810.90	100.00%				
Kent	Etileno	1	1161.60	6.72%	1161.6	1161.65	26.23	0.000
	Tiempo	4	7425.70	42.94%	7425.7	1856.43	41.92	0.000
	Etileno*Tiempo	4	291.80	1.69%	291.8	72.95	1.65	0.164
	Error	190	8414.10	48.66%	8414.1	44.28		
	Total	199	17293.30	100.00%				
Keitt	Etileno	1	72.11	0.83%	72.11	72.11	1.79	0.182
	Tiempo	4	855.34	9.84%	855.34	213.83	5.31	0.000
	Etileno*Tiempo	4	123.49	1.42%	123.49	30.87	0.77	0.548
	Error	190	7644.65	87.91%	7644.65	40.23		
	Total	199	8695.58	100.00%				



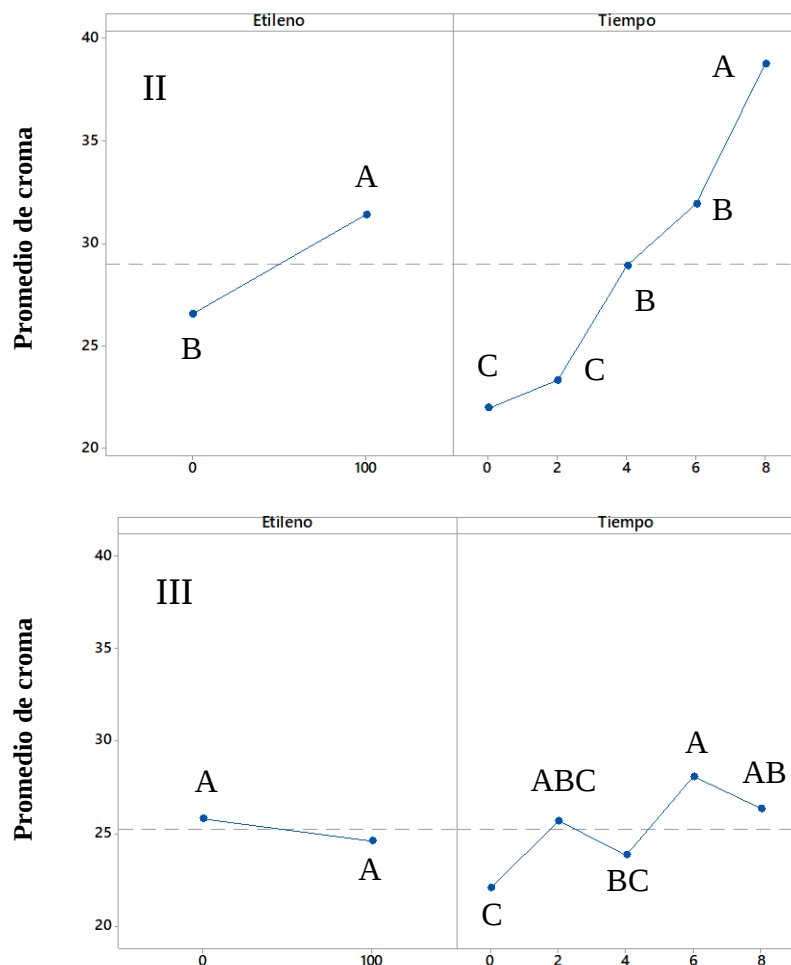


Figura 24. Efectos principales en croma del color de cáscara sobre los factores Etileno y Tiempo en mangos Tommy Atkins (I), Kent (II) y Keitt (III). Letras diferentes son significativamente diferentes.

6.3.1.3 Ángulo de matiz de color. Esta variable, expresado en °Hue, tuvo una tendencia a la baja en todos los casos a lo largo del proceso de almacenamiento a 20 °C y 80 % de HR.

Para la variedad Tommy Atkins (Cuadro 14) los valores iniciales fueron de 110.36 y 106.93 °Hue para frutos tratados y no tratados, respectivamente, y culminaron en 89 y 83.51 °Hue, lo que indica un cambio de color de la gama de verdes a la de amarillos.

Cuadro 12. Estadísticos del ángulo de color de cáscara (°Hue) en mangos Tommy Atkins.

Etileno	Tiempo	Ángulo de	Mínimo	Mediana	Máximo
---------	--------	-----------	--------	---------	--------

		color (°Hue)			
0	0	106.93 ± 1.33	97.08	107.26	115.13
	2	91.44 ± 2.48	73.8	90.78	105.88
	4	87.79 ± 3.11	67.07	91.35	104.29
	6	83.51 ± 3.65	67.13	81.65	105.13
100	0	110.36 ± 1.42	101.17	111.5	117.95
	2	98.76 ± 2.95	75.6	99.59	110.60
	4	93.86 ± 3.68	67.05	97.39	109.19
	6	89.89 ± 3.86	66.89	90.73	108.04

El análisis de varianza (Cuadro 15) demuestra que la mayor contribución está dada por efecto del tiempo después del tratamiento, que tiene un aporte del 39.26 % y no por efecto principal de la concentración de etileno, que tiene un aporte del 4.85 %, aunque ambos factores fueron altamente significativos (Figura 25). Esto se reafirma cuando se observa la interacción entre ambos factores ya que no fue significativa ni tuvo un gran aporte al modelo, siendo sólo del 0.3 %.

Cuadro 13. Análisis de varianza para el ángulo del color de cáscara (°Hue) en mangos Tommy Atkins.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Etileno	1	807.7	4.85%	807.67	807.67	7.69	0.007
Tiempo	3	6531.6	39.26%	6531.60	2177.20	20.72	0.000
Etileno*Tiempo	3	49.8	0.30%	49.81	16.60	0.16	0.924
Error	88	9247.5	55.59%	9247.50	105.09		
Total	95	16636.6	100.00%				

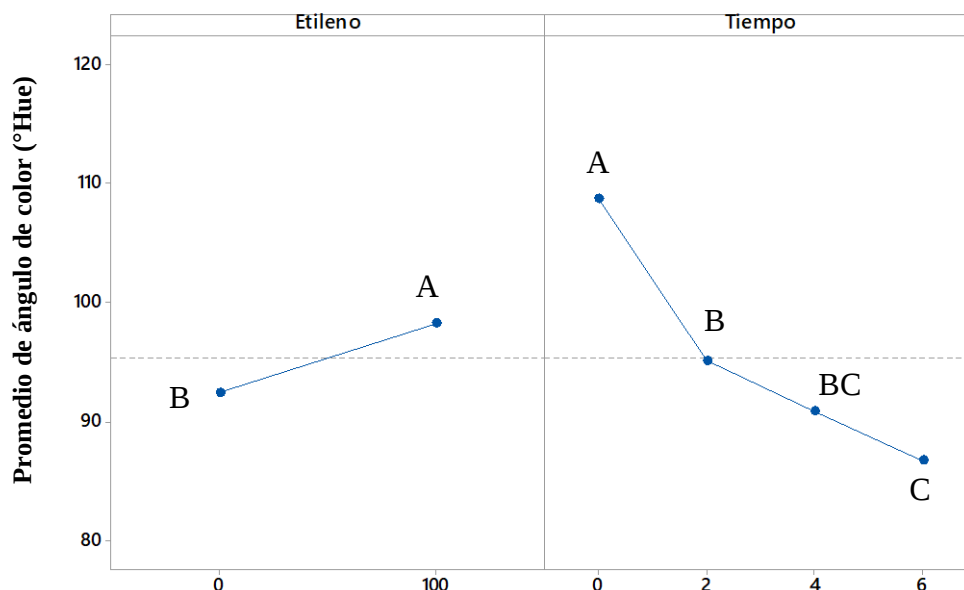


Figura 25. Efectos principales en el ángulo de color de cáscara (°Hue) sobre los factores Etileno y Tiempo en mangos Tommy Atkins.

Los frutos de la variedad Kent (Cuadro 16) iniciaron en valores de 121.88 y 122.51 °Hue, para frutos tratados y no tratados respectivamente, para finalizar en 77.18 y 85.68 °Hue, teniendo los frutos tratados una diferencia menor a los frutos no tratados, quienes visualmente comenzaron a tener un cambio de color en comparación a los frutos no tratados. Estos datos son similares a los obtenidos por Zamora-Cienfuegos *et al.* (2004), quienes al tratar frutos de mango de la variedad Kent a diferentes concentraciones de etileno exógeno, encontró que, para frutos tratados a 100 ppm, hubo un cambio de color externo ligeramente más acelerado que en los frutos no tratados.

Cuadro 14. Ángulo de color (°Hue) de cáscara en mangos Kent.

Etileno	Tiempo	Media $\pm$ error estándar	Mínimo	Mediana	Máximo
0	0	122.52 $\pm$ 1.0	112.6	122.18	134.73
	2	118.96 $\pm$ 1.31	105.33	118.41	130.40
	4	111.54 $\pm$ 2.25	90.99	112.65	124.88
	6	93.87 $\pm$ 2.89	73.77	90.34	116.48
	8	85.68 $\pm$ 3.24	64.87	81.79	114.67
100	0	121.89 $\pm$ 1.06	115.23	121.02	137.18
	2	116.96 $\pm$ 1.23	111.13	115.54	135.16
	4	104.68 $\pm$ 2.07	94.09	100.88	131.90
	6	85.03 $\pm$ 2.55	73.15	82.08	119.64
	8	77.18 $\pm$ 2.36	68.37	73.50	113.40

El análisis de varianza (Cuadro 17) para esta variedad demuestra que los cambios en el ángulo del color del fruto están más bien explicados por el tiempo después del tratamiento que tiene un aporte del 72.32 % a la variabilidad, mientras que la concentración de etileno sólo contribuye en un 2.06 %, siendo que ambos factores demostraron ser altamente significativos (Figura 26). Esto indica que los mayores cambios en el color se dan por efecto del tiempo de almacenamiento y no por efecto del etileno. Esto se corrobora en la relación de ambos factores, ya que no tuvo una contribución importante, siendo sólo del 0.83 % y no fue significativa.

Cuadro 15. Análisis de varianza en ángulo de color de cáscara en mangos Kent.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Etileno	1	1439.1	2.06%	1439.1	1439.1	15.77	0.000
Tiempo	4	50553.1	72.32%	50553.1	12638.3	138.53	0.000
Etileno*Tiempo	4	578.0	0.83%	578.0	144.5	1.58	0.180
Error	190	17334.3	24.80%	17334.3	91.2		
Total	199	69904.6	100.00%				

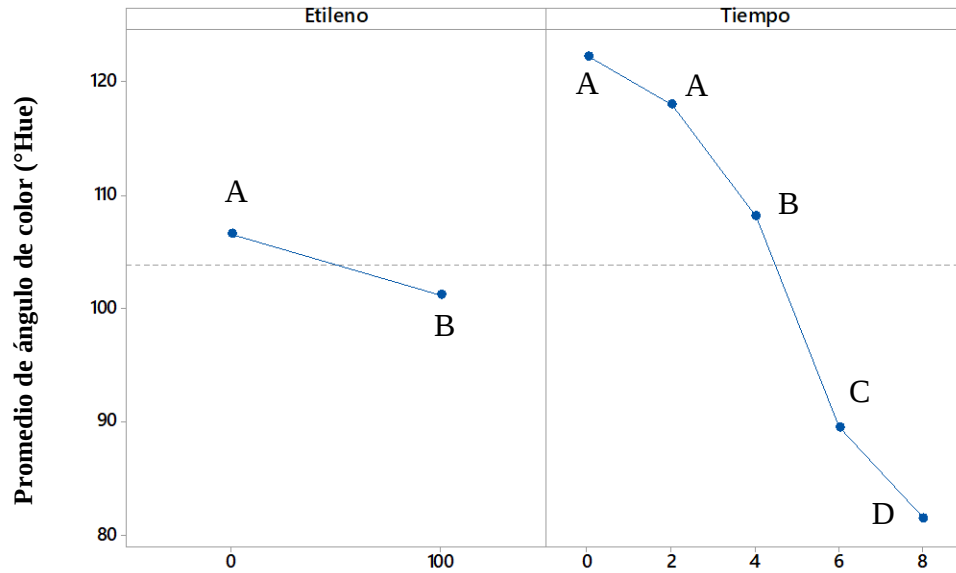


Figura 26. Efectos principales en el ángulo de color de cáscara (°Hue) sobre los factores Etileno y Tiempo en mangos Kent almacenados 8 días a 20 °C y 80 % de HR después de ser expuestos a 0 y 100 ppm de etileno.

Los frutos de la variedad Keitt (Cuadro 18), comenzaron en valores de 115.54 y 113.01 °Hue, para frutos tratados y no tratados respectivamente, y culminando en valores de 104.19 y 107.6 °Hue. Para el caso de esta variedad, los colores verdes se mantuvieron sin cambio a las tonalidades amarillas características del fruto de mango hasta la finalización del experimento, sino que adquirieron sólo una coloración verde más clara. Esto es similar a lo reportado por Peña (2004), quien en frutos de la variedad Keitt tratados con etileno no encontró cambios en las tonalidades de color de la cáscara sino hasta pasados los 14 días.

Cuadro 16. Estadísticos del ángulo del color (°Hue) en cáscara de mangos Keitt

Etileno (ppm)	Tiempo	Medía $\pm$ error estándar	Mínimo	Mediana	Máximo
0	0	113.01 $\pm$ 0.76	104.72	113.08	119.17
	2	120.14 $\pm$ 0.72	112.07	120.24	124.72
	4	110.18 $\pm$ 0.82	102.33	110.1	115.21
	6	118.09 $\pm$ 1.0	107.47	119.1	124.44
	8	107.6 $\pm$ 1.2	93.49	109.25	114.49
100	0	115.54 $\pm$ 1.03	107.48	115.66	126.91
	2	123.17 $\pm$ 1.14	114.1	123.50	134.68
	4	111.58 $\pm$ 1.48	99.92	112.12	122.88
	6	116.92 $\pm$ 1.97	98.95	118.97	129.29
	8	104.19 $\pm$ 2.54	84.48	103.00	121.50

El análisis de varianza (cuadro 19) demostró que la mayor aportación al modelo se debe al tiempo de almacenamiento, con un aporte del 43.64 %, mientras que la concentración de etileno únicamente aporta un 0.09 %, siendo sólo el primero significativo, lo que indica que los mayores cambios en esta variedad se deben al tiempo del almacenamiento y no por efecto del etileno. Esto se corrobora con la interacción entre ambos factores ya que no fue significativa ni tuvo un aporte importante a la variabilidad, ya que sólo contribuyó en un 2.19 %.

Cuadro 17. Análisis de varianza en ángulo de matiz (°Hue) del color de cáscara en mangos Keitt.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Etileno	1	11.6	0.09%	11.57	11.57	0.30	0.583
Tiempo	4	5855.3	43.64%	5855.26	1463.81	38.32	0.000
Etileno*Tiempo	4	294.4	2.19%	294.39	73.60	1.93	0.108
Error	190	7257.4	54.08%	7257.42	38.20		
Total	199	13418.6	100.00%				

6.3.2 Color de Pulpa

Durante el proceso de maduración de los frutos de mango, estos cambian de coloración desde los amarillos pálidos y brillantes hasta llegar a tonalidades naranjas. Este efecto se encontró en los frutos de las tres variedades evaluadas y se resume en los cuadros 20, 22, 24, 26 y 28.

6.3.2.1 Luminosidad. En las tres variedades hubo una tendencia a la baja (desde 70 hasta 60; Cuadro 20), esto es congruente ya que la coloración de la pulpa de los frutos va desde los colores amarillos claros en las etapas tempranas de la maduración hasta los colores naranjas oscuros en maduración completa (National Mango Board, 2017).

Cuadro 18. Estadísticos de luminosidad en mangos Tommy Atkins, Kent y Keitt.

	Etileno	Tiempo	Media $\pm$ error estándar	Mínimo	Mediana	Máximo
Tommy Atkins	0	0	72.34 $\pm$ 0.65	69.19	71.47	76.52
		2	72.42 $\pm$ 0.6	68.83	72.17	76.43
		4	68.08 $\pm$ 0.92	63.57	68.19	73.09
		6	63.27 $\pm$ 1.26	54.71	63.89	69.03
	100	0	72.32 $\pm$ 0.45	70.83	71.66	76.09
		2	73.40 $\pm$ 0.61	70.20	73.58	77.49
		4	69.39 $\pm$ 1.24	60.71	70.69	74.30
		6	64.41 $\pm$ 1.39	54.82	66.09	68.88
Kent	0	0	73.02 $\pm$ 0.54	69.27	72.87	78.14
		2	72.26 $\pm$ 0.39	68.95	72.87	74.97
		4	69.11 $\pm$ 0.87	63.17	68.61	75.56
		6	65.18 $\pm$ 0.91	56.70	64.52	71.74
		8	62.76 $\pm$ 0.599	58.03	63.04	66.65
	100	0	73.99 $\pm$ 0.33	70.59	73.92	76.44
		2	72.57 $\pm$ 0.58	66.59	73.20	75.42
		4	66.1 $\pm$ 1.22	49.36	67.70	72.11
Keitt	0	6	64.82 $\pm$ 0.71	59.67	64.40	71.48
		8	61.58 $\pm$ 0.56	57.64	61.64	67.08
	100	0	71.75 $\pm$ 0.61	65.26	72.02	75.55
		2	72.63 $\pm$ 0.56	69.09	72.77	77.41
		4	68.74 $\pm$ 0.55	63.89	68.09	73.07
		6	70.55 $\pm$ 0.84	65.35	70.22	79.04

	8	66.29 ± 0.6	62.47	66.86	71.26
	0	72.75 ± 0.5	68.77	72.14	77.06
	2	70.22 ± 0.33	67.46	70.24	73.18
100	4	67.93 ± 1.01	59.38	69.20	74.79
	6	69.09 ± 0.69	63.65	68.61	76.36
	8	66.33 ± 1.0	58.76	65.71	73.86

Para el caso de las tres variedades, el análisis de varianza (Cuadro 21) mostró que al factor ‘Tiempo’ aporta la mayor contribución al modelo, siendo 56, 64.01 y 31.58 %, para las variedades Tommy Atkins, Kent y Keitt, respectivamente, y posicionándose como un factor altamente significativo. Esto quiere decir que los mayores cambios en la luminosidad interna del fruto se explican por los días de almacenamiento durante la maduración de los frutos y no por efecto directo de la exposición al etileno (Figura 27), que sólo aporta al modelo 0.77, 0.37 y 0.92 % y resultó ser un factor no significativo. Esto se reafirma al observar la interacción de los factores, ya que tampoco tuvo un aporte importante al modelo, siendo de sólo 0.29, 1.64 y 2.4 % para las variedades Tommy Atkins, Kent y Keitt, respectivamente, y también demostró ser no significativo. Además, es importante aclarar es que los tres modelos son muy pobres, lo que indica que puede haber otros factores que explican los cambios en la luminosidad de la pulpa.

Cuadro 19. Análisis de varianza para la luminosidad de la pulpa en frutos de mangos Tommy Atkins, Kent y Keitt.

	Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tommy Atkins	Etileno	1	17.31	0.77%	17.31	17.312	1.58	0.212
	Tiempo	3	1255.02	56.00%	1255.02	418.341	38.26	0.000
	Etileno*Tiempo	3	6.44	0.29%	6.44	2.147	0.20	0.899
	Error	88	962.20	42.94%	962.20	10.934		
	Total	95	2240.98	100.00%				
Kent	Etileno	1	21.46	0.37%	21.46	21.46	2.07	0.152
	Tiempo	4	3715.17	64.01%	3715.17	928.79	89.46	0.000
	Etileno*Tiempo	4	94.96	1.64%	94.96	23.74	2.29	0.062
	Error	190	1972.58	33.99%	1972.58	10.38		
	Total	199	5804.17	100.00%				
Keitt	Etileno	1	26.74	0.92%	26.74	26.741	2.70	0.102
	Tiempo	4	913.55	31.58%	913.55	228.386	23.04	0.000
	Etileno*Tiempo	4	69.38	2.40%	69.38	17.344	1.75	0.141
	Error	190	1883.45	65.10%	1883.45	9.913		
	Total	199	2893.12	100.00%				

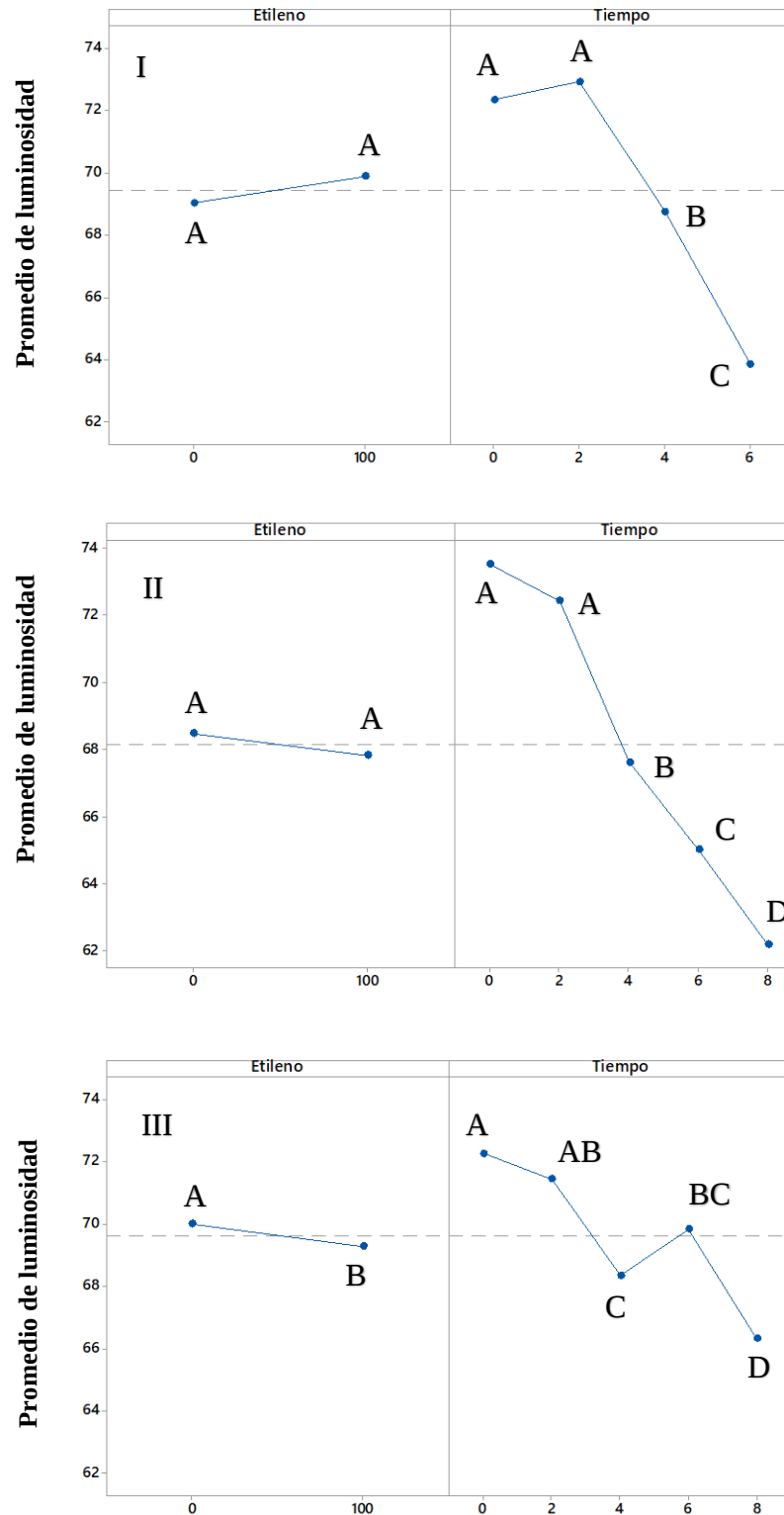


Figura 27. Efectos principales en la luminosidad de la pulpa para los factores Etileno y Tiempo en mangos Tommy Atkins (I), Kent (II) y Keitt (III). Letras distintas indican diferencias significativas.

6.3.2.2 Saturación del color. Se encontraron diferentes comportamientos en cada una de las variedades (cuadro 22). Para la variedad Tommy Atkins se encontró un comportamiento a la baja, comenzando en 56.14 y 55.55, para frutos a 100 y 0 ppm, y terminando en 51.53 y 52.9 para los mismos frutos, no encontrándose un cambio muy grande a lo largo de los días de almacenamiento. Esto mismo se encontró para los frutos de la variedad Kent, que inició en valores de 56.54 y 55.6, para frutos a 100 y 0 ppm, y terminando en 55.2 y 56.29 para los mismos tipos de frutos, por lo que los cambios se mantuvieron mínimos a lo largo del almacenamiento para estas dos variedades y no se aprecian diferencias entre los frutos expuestos y no expuestos al etileno ya que todos los valores registrados se mantuvieron cercanos. Por su parte, en la variedad Keitt se encontró una tendencia al alta, lo que quiere decir que los colores se volvieron más vivos a lo largo del almacenamiento, comenzando en valores 46.29 y 50.2, para frutos a 100 y 0 ppm respectivamente, finalizando en 53.18 y 54.26 para los mismos tipos de frutos, valores muy similares en ambos tipos de frutos por lo que no se encontraron diferencias en frutos expuestos y no expuestos al etileno a lo largo del almacenamiento.

Cuadro 20. Estadísticos para la saturación del color (croma) en mangos Tommy Atkins, Kent y Keitt

	Etileno	Tiempo	Media $\pm$ error estándar	Mínimo	Mediana	Máximo
Tommy Atkins	0	0	55.55 $\pm$ 1.41	47.10	55.47	62.42
		2	53.03 $\pm$ 0.75	48.04	52.77	58.65
		4	52.15 $\pm$ 1.48	45.86	51.06	60.71
		6	52.90 $\pm$ 0.89	46.08	53.45	57.60
	100	0	56.14 $\pm$ 0.81	53.30	55.24	62.79
		2	49.34 $\pm$ 0.96	42.32	50.14	52.99
		4	52.82 $\pm$ 0.97	48.62	51.46	60.27
		6	51.53 $\pm$ 1.26	41.25	51.95	58.26
Kent	0	0	55.60 $\pm$ 0.45	52.83	56.07	59.88
		2	55.53 $\pm$ 0.41	53.30	55.30	61.57
		4	52.39 $\pm$ 1.01	45.34	51.87	62.80
		6	55.93 $\pm$ 0.75	49.46	56.42	61.50
		8	56.29 $\pm$ 0.86	49.20	56.86	62.38
	100	0	56.54 $\pm$ 0.43	52.77	56.93	60.07
		2	53.24 $\pm$ 0.42	49.87	52.72	58.36
		4	51.02 $\pm$ 1.18	42.73	49.87	61.82
		6	52.89 $\pm$ 1.03	45.67	51.89	61.85
		8	55.2 $\pm$ 1.17	48.35	53.81	62.53
Keitt	0	0	50.20 $\pm$ 0.70	45.10	50.90	55.30
		2	51.99 $\pm$ 0.65	47.62	51.94	59.09
		4	53.63 $\pm$ 0.98	47.94	53.00	63.53
		6	53.93 $\pm$ 1.17	47.52	52.41	69.52
		8	54.26 $\pm$ 1.46	39.41	54.49	65.95
	100	0	46.29 $\pm$ 0.82	39.07	47.59	52.11
		2	51.15 $\pm$ 0.82	40.80	51.32	57.77
		4	52.66 $\pm$ 1.13	43.51	53.09	61.96
		6	53.6 $\pm$ 1.26	44.28	52.10	64.19
		8	53.18 $\pm$ 1.01	45.33	54.11	59.28

El análisis de varianza (Cuadro 23) detectó que la mayor contribución al modelo se atribuye al tiempo después del tratamiento, teniendo un 17.57, 14.48 y 16.93 % para las variedades Tommy Atkins, Kent y Keitt, respectivamente, y resultó ser un factor significativo. Esto indica que los mayores cambios se dan a través del tiempo durante la maduración del fruto y no a causa de la exposición al etileno, mismo que aporta sólo 1.29, 2.87 y 2 %, siendo únicamente significativo para las variedades Kent y Keitt (Figura 28). Esto se corrobora con la interacción entre ambos factores ya que demostró ser no significativa y su aporte fue sólo del 4.56, 2.76 y 1.58 %.

Cuadro 21. Análisis de varianza para la saturación del color (croma) de la pulpa en mangos Tommy Atkins, Kent y Keitt.

	Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tommy Atkins	Etileno	1	21.58	1.29%	21.58	21.58	1.48	0.227
	Tiempo	3	293.80	17.57%	293.80	97.93	6.73	0.000
	Etileno*Tiempo	3	76.34	4.56%	76.34	25.45	1.75	0.163
	Error	88	1280.79	76.58%	1280.79	14.55		
	Total	95	1672.51	100.00%				
Kent	Etileno	1	94.12	2.87%	94.12	94.12	6.82	0.010
	Tiempo	4	475.39	14.48%	475.39	118.85	8.61	0.000
	Etileno*Tiempo	4	90.47	2.76%	90.47	22.62	1.64	0.166
	Error	190	2623.72	79.90%	2623.72	13.81		
	Total	199	3283.71	100.00%				
Keitt	Etileno	1	102.02	2.00%	102.02	102.02	4.78	0.030
	Tiempo	4	863.37	16.93%	863.37	215.84	10.12	0.000
	Etileno*Tiempo	4	80.37	1.58%	80.37	20.09	0.94	0.441
	Error	190	4053.47	79.49%	4053.47	21.33		
	Total	199	5099.23	100.00%				

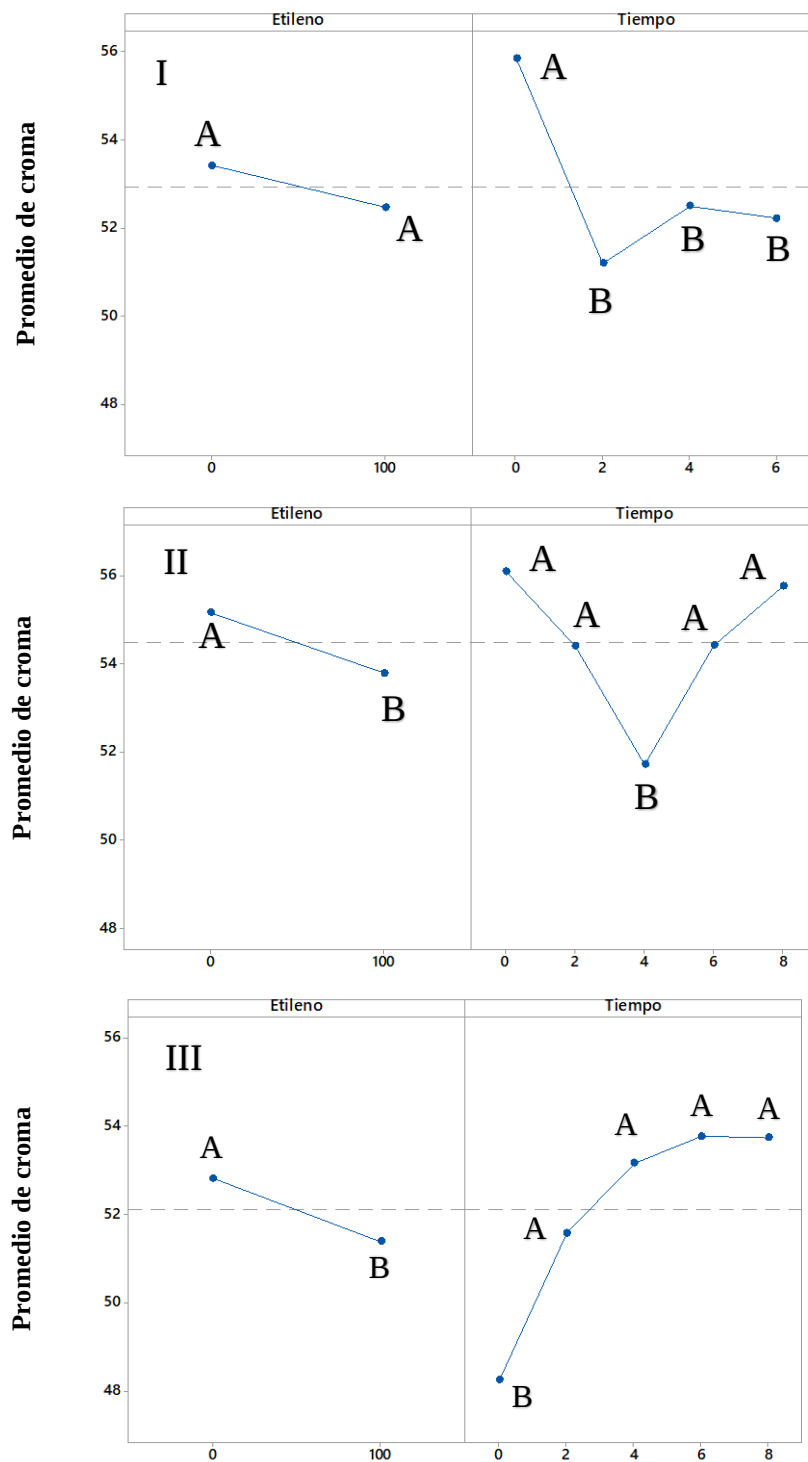


Figura 28. Efectos principales en la saturación del color de pulpa (croma) para los factores Etileno y Tiempo en mangos Tommy Atkins (I), Kent (II) y Keitt (III). Letras diferentes indican diferencias significativas.

6.3.2.3. Ángulo de matiz del color. Esta variable mostró una tendencia a la baja en todos los casos (Cuadro 24), disminuyendo los valores en el cambio del color amarillo hasta los colores naranjas. En la variedad Tommy Atkins, la tonalidad de la pulpa comenzó en valores muy similares: 77.46 y 78.63 °Hue, para frutos a 0 y 100 ppm de etileno respectivamente, y culminando después del almacenamiento en 72.46 y 73.16 °Hue en ambos tratamientos lo cual es un comportamiento normal durante el proceso de maduración.

Cuadro 22. Estadísticos para el ángulo de color (°Hue) de pulpa en mangos Tommy Atkins.

Etileno	Tiempo	Media $\pm$ error estándar	Mínimo	Mediana	Máximo
0	0	78.63 $\pm$ 0.8	76.13	77.94	84.32
	2	77.82 $\pm$ 0.66	74.42	77.07	81.77
	4	74.64 $\pm$ 0.64	71.20	74.33	78.62
	6	73.16 $\pm$ 0.62	69.05	73.04	76.04
100	0	77.46 $\pm$ 0.35	75.76	77.69	79.13
	2	77.70 $\pm$ 0.88	74.30	76.69	84.75
	4	76.97 $\pm$ 0.67	71.76	77.20	80.22
	6	72.46 $\pm$ 0.56	69.38	72.33	76.01

El análisis de varianza (Cuadro 25) demostró que la mayor contribución al modelo es debida al factor tiempo después del tratamiento y resultó ser significativo ($p < 0.05$). Esto quiere decir que los cambios en el color de la pulpa son más bien debido al proceso de maduración del fruto durante el almacenamiento y no por efecto del etileno, mismo que tiene una contribución sólo del 0.2 % y resultó ser un factor no significativo (Figura 29). A su vez, es importante destacar que la interacción entre los tratamientos demostró ser significativo, aunque su aporte al modelo fue de sólo 4.68 %.

Cuadro 23. Análisis de varianza para el ángulo de color (°Hue) en mangos Tommy Atkins.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Etileno	1	0.168	0.02%	0.168	0.168	0.03	0.859
Tiempo	3	417.918	44.85%	417.918	139.306	26.07	0.000
Etileno*Tiempo	3	43.586	4.68%	43.586	14.529	2.72	0.049
Error	88	470.193	50.46%	470.193	5.343		
Total	95	931.865	100.00%				

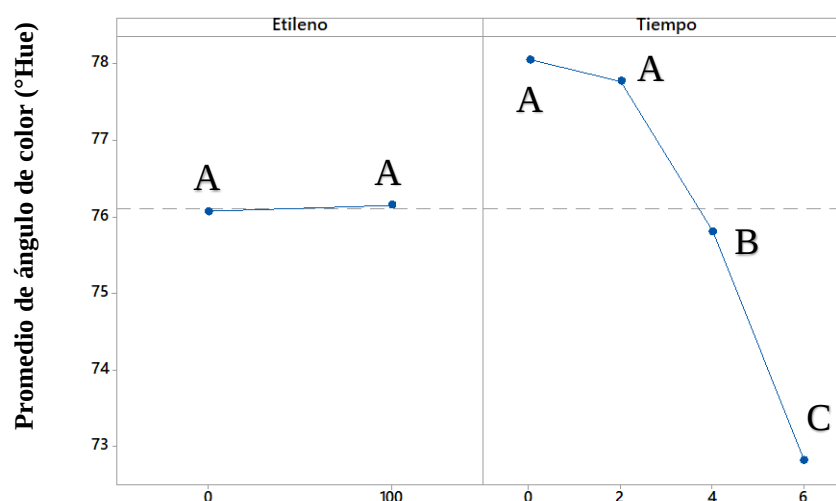


Figura 29. Efectos principales en el ángulo de color de pulpa (°Hue) para los factores Etileno y Tiempo en mangos Tommy Atkins. Letras distintas indican diferencias significativas.

Para el caso de los frutos de la variedad Kent (Cuadro 26), las mediciones realizadas durante el almacenamiento siguieron la misma tendencia en ambos tratamientos. La pulpa de los frutos mostró valores de 79.69 y 78.67 °Hue al inicio del experimento para frutos expuestos y no expuestos al etileno respectivamente, para finalizar en 64.73 y 67.17 °Hue, indicando un cambio de color desde los colores amarillos hacia los naranjas.

Cuadro 24. Estadísticos para el ángulo del color (°Hue) en mangos Kent.

Etileno	Tiempo	Media $\pm$ error estándar	Mínimo	Mediana	Máximo
0	0	78.67 $\pm$ 0.54	75.8	78.35	84.50
	2	76.12 $\pm$ 0.47	72.74	75.91	79.94
	4	75.19 $\pm$ 0.93	70.06	73.77	83.69
	6	69.70 $\pm$ 0.68	65.11	69.56	74.80
	8	67.17 $\pm$ 0.53	61.04	67.14	70.59
100	0	79.69 $\pm$ 0.43	75.60	79.38	83.07
	2	76.90 $\pm$ 0.77	69.48	76.37	83.29
	4	73.09 $\pm$ 0.79	66.04	73.18	78.32
	6	67.84 $\pm$ 0.61	61.43	67.33	72.52
	8	64.73 $\pm$ 0.60	60.80	64.04	70.27

El análisis de varianza (Cuadro 27) demostró que el factor que aporta la mayor contribución a la variabilidad es el ‘Tiempo’ con un 14.48 %, siendo que los mayores cambios son debido al proceso de maduración natural del fruto durante el almacenamiento y no por acción del etileno, que aporta al modelo un 2.87 %, aunque resultó ser significativo (Figura 30). Por su parte, la interacción entre ambos factores tiene un aporte del 2.76 %, el cual mostró ser no significativo.

Cuadro 25. Análisis de varianza para el ángulo de color ($^{\circ}$ Hue) en mangos Kent

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Etileno	1	42.33	0.64%	42.33	42.33	4.92	0.028
Tiempo	4	4773.57	72.71%	4773.57	1193.39	138.59	0.000
Etileno*Tiempo	4	113.13	1.72%	113.13	28.28	3.28	0.012
Error	190	1636.08	24.92%	1636.08	8.61		
Total	199	6565.11	100.00%				

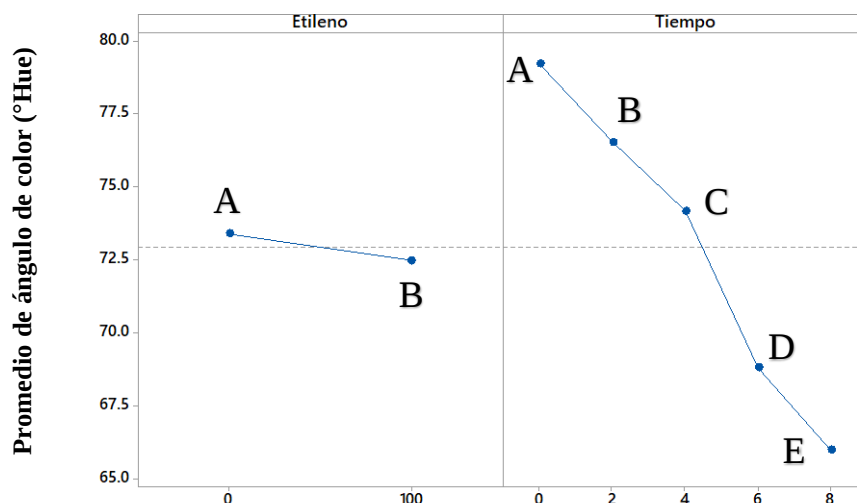


Figura 30. Efectos principales en el ángulo de color de pulpa (°Hue) para los factores Etileno y Tiempo en mangos Kent. Letras diferentes indican diferencias significativas.

Los frutos de la variedad Keitt (Cuadro 28) tuvieron una media en los valores de ángulo de matiz de la pulpa al inicio del experimento de 80.96 y 80.64 °Hue para frutos tratados con 0 y 100 ppm de etileno, respectivamente. El comportamiento de ambos tratamientos fue muy similar a lo largo del experimento y culminaron en un valor de 74.52 y 74.87 °Hue, manteniéndose en los tonos de los colores amarillos-naranjas.

Cuadro 26. Estadísticos para el ángulo de color (°Hue) en mangos Keitt.

Etileno	Tiempo	Media ± error estándar	Mínimo	Mediana	Máximo
0	0	80.64 ± 0.49	76.14	81.56	84.16
	2	81.54 ± 0.58	76.07	81.33	86.07
	4	74.40 ± 0.45	70.98	74.52	77.66
	6	81.19 ± 0.63	76.95	80.48	87.38
	8	74.87 ± 0.56	70.49	74.91	79.77
100	0	80.96 ± 0.45	76.37	81.30	83.24
	2	78.33 ± 0.41	75.13	78.30	82.69
	4	73.12 ± 0.74	67.40	72.18	79.84
	6	78.89 ± 0.89	73.34	77.75	87.08
	8	74.52 ± 0.66	67.93	74.34	79.27

El análisis de varianza (Cuadro 27) para esta variedad determinó que el mayor aporte a la variabilidad es debido al tiempo después del tratamiento con 53.12 %, lo que indica que los mayores cambios se ven a través del tiempo por efecto de la maduración del fruto durante el almacenamiento y no por acción del etileno, que tiene un aporte del 2.77 %. Ambos factores resultaron ser significativos (Figura 31). La interacción entre ambos factores tiene un aporte del 1.58 % y resultó ser un factor no significativo. Es importante destacar que el ajuste que tiene este modelo es sólo del 20.51 %, siendo este muy pequeño, por lo que pueden existir otros factores que expliquen los cambios en el ángulo de matiz o tono de la pulpa para esta variedad.

Cuadro 28. Análisis de varianza para el ángulo del color ($^{\circ}$ Hue) en mangos

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Etileno	1	93.00	2.77%	93.00	93.003	12.64	0.000
Tiempo	4	1781.26	53.12%	1781.26	445.315	60.55	0.000
Etileno*Tiempo	4	81.56	2.43%	81.56	20.390	2.77	0.028
Error	190	1397.46	41.67%	1397.46	7.355		
Total	199	3353.29	100.00%				

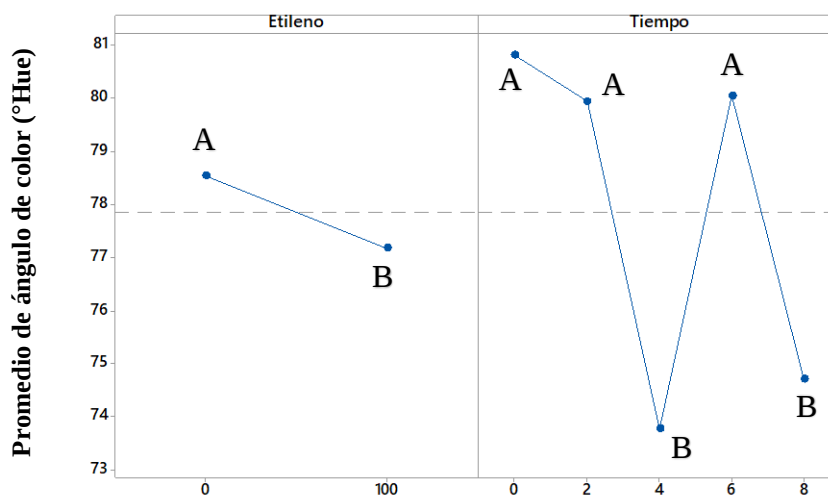


Figura 31. Efectos principales en el ángulo de color de pulpa ($^{\circ}$ Hue) sobre los factores Etileno y Tiempo en frutos de mango Keitt.

A lo largo del experimento no se encontraron diferencias importantes en la coloración interna de los frutos de cada variedad por efecto del tratamiento con etileno. De acuerdo a lo estipulado por Zamora-Cienfuegos *et al.* (2004), el etileno tiene el efecto de disminuir la síntesis de carotenoides (pigmentos responsables de dar al fruto su característico color amarillo), por lo que los frutos tratados con etileno deberían mantener por mayor tiempo sus coloraciones amarillas en comparación con los frutos no tratados, dicho efecto no se observó en esta experimentación.

6.4 Firmeza de Pulpa

Los frutos de mango de las tres variedades mostraron valores grandes de firmeza de pulpa el día de la cosecha (170-190 N), misma que progresivamente disminuyó con el transcurso de los días de almacenamiento. El comportamiento en la firmeza se resume en los cuadros 30, 32 y 34.

Los frutos de la variedad Tommy Atkins (cuadro 30), expuestos a 100 y 0 ppm de etileno comenzaron con un valor de firmeza de 185.1 N y 193.87 N, respectivamente. En el intervalo del día 0 al 2 de estar expuestos a 20 °C, se vio la caída más drástica en ambos tratamientos, llegando a 64.1 y 64.9 N en ambos tratamientos, lo cual representa una reducción en la firmeza de más del 70 %. Hasta ese punto no se observó avance en la maduración en los frutos tratados con etileno ya que el comportamiento se mantuvo en descenso, sin embargo, en el intervalo del día 2 al 4, el valor de la firmeza de los frutos tratados con etileno disminuyó hasta los 19.85 N, mientras que los frutos no tratados tuvieron una firmeza mayor de 46.5 N. Este fue el mayor efecto observado en los frutos tratados con etileno puesto que para el último día de muestreo, la firmeza de ambos tratamientos alcanzó valores similares de 16.7 N y 18.88 N, para frutos a 0 y 100 ppm de etileno. Estos resultados son congruentes con los reportados por Saavedra *et al.* (2013) quienes trataron con etileno frutos de mango Tommy Atkins a concentraciones de 0, 10, 20, 40, 60, 80 y 100 ppm, encontrando en todos los tratamientos una pérdida en la firmeza mayor que en los frutos que no fueron tratados con etileno, específicamente los frutos expuestos a 100 ppm de etileno en el transcurso de 7 d tras ser tratados, perdieron un 78% de firmeza.

Cuadro 29. Estadísticos de firmeza de pulpa (N) en mangos Tommy Atkins.

Etileno	Tiempo	Firmeza (N)	Mínimo	Mediana	Máximo
0	0	193.87 ± 6.29	140.6	195.36	225.89
	2	64.9 ± 11.00	21.30	58.20	121.40
	4	46.5 ± 10.3	11.90	40.20	109.00
	6	16.7 ± 3.58	7.33	11.79	51.74
100	0	185.1 ± 10.3	124.70	189.9	243.60
	2	64.1 ± 10.5	30.90	53.20	157.60
	4	19.85 ± 3.37	10.15	16.45	47.38
	6	18.88 ± 2.95	9.81	16.58	35.99

El análisis de varianza para la variedad Tommy Atkins (Cuadro 31) demostró que el factor ‘Etileno’ no fue significativo ($p>0.05$), además de tener una contribución a la variabilidad de sólo el 0.11 %, por su parte, el factor ‘Tiempo’ tuvo el mayor aporte con un 85.78 % y fue altamente significativo ($p<0.05$), esto indica que los cambios observados en la firmeza son explicados por el paso del tiempo durante el almacenamiento y no por efecto directo de la concentración de etileno (figura 32). A su vez, la interacción entre ambos factores tampoco fue significativa y su aporte fue de sólo el 0.58 %. El etileno no parece tener un efecto directo en los cambios en la firmeza, sin embargo, la diferencia es clara una vez alcanzado el día 4 de muestreo, donde la diferencia entre frutos expuestos a 0 y 100 ppm fue de casi 30 N. Esta pérdida en la firmeza puede atribuirse al ablandamiento de los tejidos de la pared celular como la pectina y celulosa, puesto que las aplicaciones de etileno exógeno aumentan la actividad de enzimas hidrolíticas como las poligalacturonasas y celulasas, acelerando la pérdida en la firmeza de la pulpa (Sane *et al.*, 2005; Goncalves *et al.*, 2006; Saavedra *et al.*, 2013). Por lo anterior, y de acuerdo a lo descrito por Rattanapanone *et al.* (2001), los frutos de la variedad Tommy Atkins pueden ser procesados una vez alcanzado el intervalo de los 13 a los 27 N en la firmeza de la pulpa. En nuestro estudio, los frutos expuestos a 100 ppm de etileno fueron procesados a los 4 días mientras que los no expuestos esperaron hasta el día 6 del muestreo.

Cuadro 30. Análisis de varianza para la firmeza de pulpa (N) en mangos Tommy Atkins.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Etileno	1	574	0.11%	1668	1668	2.10	0.151
Tiempo	3	428592	85.78%	425369	141790	178.34	0.000
Etileno*Tiempo	3	2920	0.58%	2920	973	1.22	0.306
Error	85	67578	13.52%	67578	795		
Total	92	499664	100.00%				

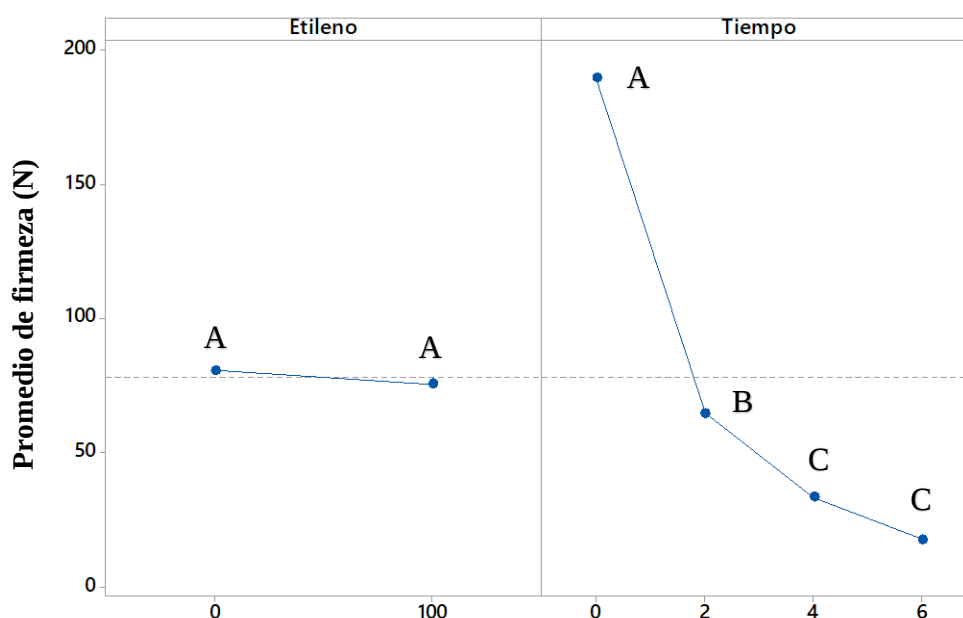


Figura 32. Efectos principales en la firmeza de la pulpa (N) para los factores Etileno y Tiempo en mangos Tommy Atkins. Letras distintas indican diferencias significativas.

Los frutos de la variedad Kent (Cuadro 32), al inicio del experimento comenzaron con una firmeza de 174.23 y 180.37 N, para frutos expuestos a 100 y 0 ppm de etileno respectivamente. Durante el intervalo del día 0 al 2 de almacenamiento a 20 °C, se muestra un decremento en ambos tratamientos, reduciéndose la firmeza a 98.27 y 98.57 N, respectivamente, lo cual significa una reducción de casi un 50 % en 2 d. En el intervalo del día 2 al 4, los frutos tratados con etileno alcanzaron una firmeza de pulpa de 22.33 N, una caída del 70 % en comparación al muestreo anterior, mientras que los frutos no tratados bajaron a 49.81 N, un 50 % menos que el muestreo

anterior, siendo este día donde se encontró el efecto más importante en los frutos expuestos al etileno. En el intervalo del día 4 al 6, la firmeza de los frutos de ambos tratamientos se muestra muy similar, con promedios de 15.67 N y 25.1 N y en el periodo del día 6 al 8 no se encontraron cambios significativos, llegando a los 8.42 y 13.62 N en frutos tratados y no tratados respectivamente. A partir del día 4 la firmeza en los frutos tratados con etileno se mantuvo siempre menor que en los frutos no tratados. Zamora-Cienfuegos *et al.* (2004) quienes trataron frutos de mango de la variedad Kent, tras 4 días de refrigeración, a concentraciones de 100, 500 y 1000 ppm, obtuvieron reducciones importantes en la firmeza en comparación con frutos no expuestos al etileno. Específicamente, los frutos tratados a 100 ppm redujeron su firmeza en un 70 % en comparación al día inicial de observación.

Cuadro 31. Estadísticos para la firmeza de pulpa (N) en mangos Kent.

Etileno	Días de almacenamiento	Media $\pm$ error estándar	Mínimo	Mediana	Máximo
0	0	180.37 $\pm$ 5.27	130.10	185.38	218.01
	2	98.57 $\pm$ 7.63	37.50	104.92	153.75
	4	49.81 $\pm$ 7.42	15.34	38.68	123.09
	6	25.1 $\pm$ 3.27	8.31	22.77	74.27
	8	13.62 $\pm$ 1.5	5.51	11.81	28.08
100	0	174.23 $\pm$ 4.3	130.48	176.02	210.32
	2	98.27 $\pm$ 6.96	43.06	101.91	154.65
	4	22.33 $\pm$ 2.38	4.95	21.52	51.39
	6	15.67 $\pm$ 1.48	6.51	14.60	27.35
	8	8.42 $\pm$ 0.59	4.423	7.642	14.554

El análisis de varianza (Cuadro 33) muestra al factor ‘Etileno’ como significativo, pero su aporte al modelo fue muy pequeño, de sólo 0.54 %; por su parte, el factor ‘Tiempo’ tiene el mayor aporte al modelo con 88.98 % y resultó ser muy significativo, por lo que los mayores cambios se ven a lo largo de los días de almacenamiento y no por la acción directa del etileno (Figura 33). Por su parte, la interacción entre ambos factores tiene sólo un aporte del 0.5 % y no fue significativa ($p=0.053$). Esto explica que los cambios en la firmeza de la fruta durante el almacenamiento, son debidas al etileno que tiene un efecto en el transcurso de los días. Esto fue claro cuando se alcanzó el día 4, donde la diferencia entre los frutos expuestos a 100 ppm de etileno y no expuestos fue de más de

25 N, caso similar al encontrado en los frutos de la variedad Tommy Atkins, siendo que para este punto los frutos tratados fueron procesados ya que se había alcanzado el intervalo adecuado de firmeza (13-27 N) para tal fin, mientras que los frutos no tratados esperaron hasta el sexto día de muestreo.

Cuadro 32. Análisis de varianza para la firmeza de pulpa en mangos Kent.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Etileno	1	4714	0.54%	4714	4714	10.29	0.002
Tiempo	4	776100	88.98%	776100	194025	423.39	0.000
Etileno*Tiempo	4	4375	0.50%	4375	1094	2.39	0.053
Error	190	87071	9.98%	87071	458		
Total	199	872259	100.00%				

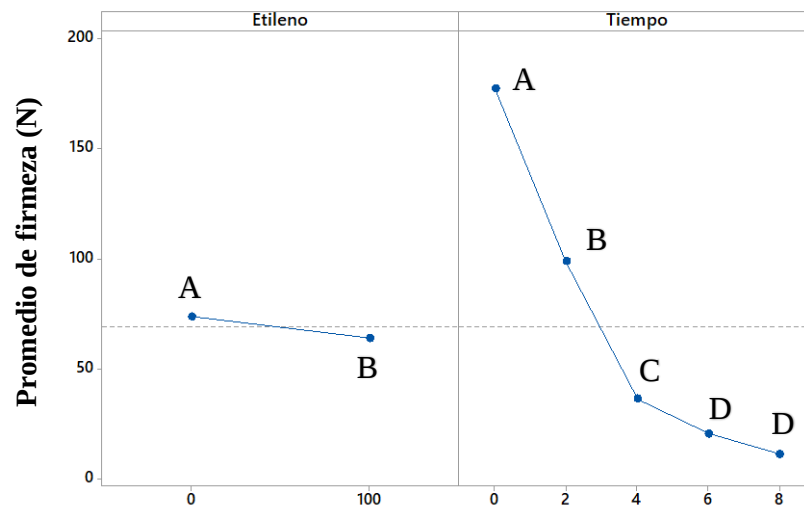


Figura 33. Efectos principales en los factores Etileno y Tiempo sobre la firmeza (N) en frutos de la variedad Kent. Letras distintas indican diferencias significativas.

Los frutos de la variedad Keitt (Cuadro 34), tratados (100 ppm) y no tratados (0 ppm) con etileno, presentaron una firmeza al inicio del experimento de 185.69 y 177.23 N, respectivamente. En el intervalo del día 0 al 2, los frutos tratados con etileno mostraron una drástica caída en la firmeza,

llegando a los 101.2 N; mientras que los frutos sin tratamiento se mantuvieron en los 148.8 N. Sin embargo, en el intervalo del día 2 al 4 la firmeza de los frutos de ambos tratamientos fue similar con valores de 52.7 y 48.86 N. A partir del día 4 y hasta el día 8 de almacenamiento a 20 °C hubo un decremento constante, terminando con 19.72 y 22.73 N los frutos tratados y no tratados respectivamente. En esta variedad el etileno demostró tener menor efecto sobre la firmeza. Resultados similares fueron observados por Peña (2004), quien trató frutos de mango de la variedad Keitt con 1000 ppm de Ethrel®, que es un liberador de etileno, observando que estos reducían considerablemente su firmeza, siendo que, para el tercer día de observación, los frutos redujeron su firmeza en un 88 % en comparación con los frutos que no fueron expuestos a dicho reactivo.

Cuadro 33. Estadísticos para firmeza (N) de pulpa en mangos Keitt.

	Tiempo	Media $\pm$ error estándar	Mínimo	Mediana	Máximo
0	0	177.23 $\pm$ 6.45	135.11	177.72	232.24
	2	148.8 $\pm$ 14.1	41.60	137.40	282.10
	4	48.9 $\pm$ 10.6	8.90	23.80	146.60
	6	37.55 $\pm$ 8.78	7.72	20.94	137.65
	8	22.73 $\pm$ 8.38	5.81	10.65	166.82
100	0	185.69 $\pm$ 7.89	144.41	179.12	282.66
	2	101.2 $\pm$ 11.2	21.20	97.30	208.10
	4	52.7 $\pm$ 7.16	5.97	56.68	121.40
	6	37.61 $\pm$ 7.8	6.88	18.40	113.75
	8	19.72 $\pm$ 3.9	6.89	14.12	67.52

El análisis de varianza (Cuadro 35) muestra que el factor ‘Etileno’ aporta un porcentaje muy pequeño a la variabilidad, de sólo el 0.27 % y no demostró ser significativo ($p>0.05$); mientras que el factor ‘Tiempo’ aporta el mayor porcentaje a la variabilidad siendo del 68.76 %, lo que indica que los mayores cambios en la firmeza se deben al efecto de la maduración del fruto durante el almacenamiento y no por efecto del etileno (Figura 34). Sin embargo, a pesar de que la interacción entre ambos factores no mostró una contribución importante al modelo (1.94 %), si demostró ser significativo, encontrándose interacciones los días y 6, por lo que el etileno puede tener un efecto en la reducción de la firmeza conforme avanza el proceso de maduración (Figura 35). Este efecto es claro cuando se observa lo registrado en el segundo día del muestreo, donde la firmeza de los

frutos tratados tuvo una caída mayor que los frutos no tratados, con una diferencia de casi 50 N. Sin embargo, en el siguiente punto de análisis, las medias de los valores de firmeza se muestran similares, continuando con la misma tendencia hasta el octavo día de almacenamiento. Tomando en consideración los intervalos de firmeza necesarios para procesar los frutos (13-27 N) tanto frutos expuestos al etileno como los no expuestos fueron procesados hasta el día 8.

Cuadro 34. Análisis de varianza para la firmeza de pulpa en mangos Keitt.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Etileno	1	2936	0.27%	2936	2936	1.80	0.182
Tiempo	4	735091	68.76%	735091	183773	112.53	0.000
Etileno*Tiempo	4	20725	1.94%	20725	5181	3.17	0.015
Error	190	310296	29.03%	310296	1633		
Total	199	1069049	100.00%				

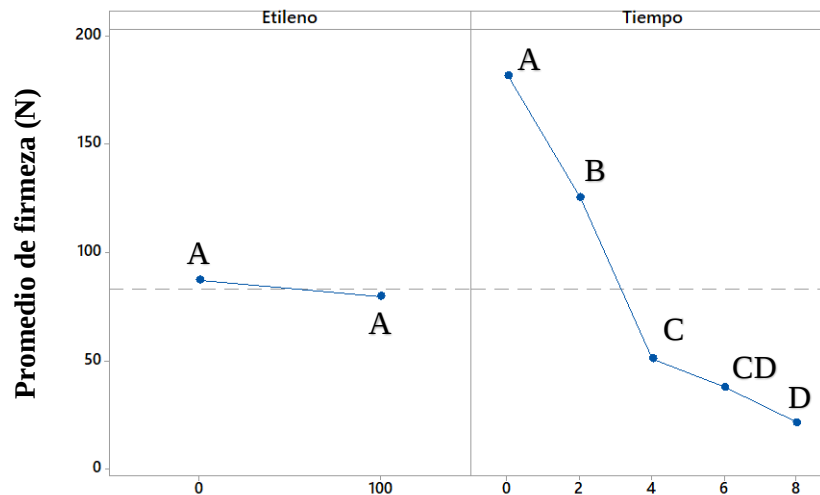


Figura 34. Efectos principales sobre la firmeza (N) para los factores Etileno y Tiempo en mangos Keitt. Letras distintas indican diferencias significativas.

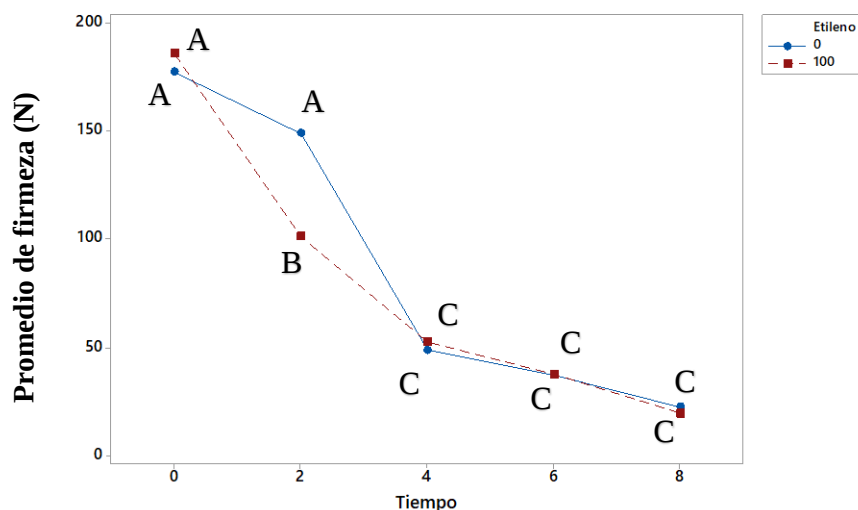


Figura 35. Gráfico de interacciones en la firmeza (N) de mangos Keitt. Letras diferentes indican diferencias significativas.

Para establecer adecuadamente el tiempo de procesamiento se consideró no sólo la firmeza de los frutos, sino también el contenido de sólidos solubles totales, por lo que el resultado del procesamiento se aclarará en el siguiente apartado.

6.5 Sólidos Solubles Totales (SST)

Los frutos de mango al momento de la cosecha tuvieron un contenido bajo de sólidos solubles totales el cual aumentó a lo largo del tiempo de almacenamiento durante la maduración. Los cambios en el contenido de sólidos solubles totales se resumen en los cuadros 36, 38 y 40.

Los frutos de la variedad Tommy Atkins (Cuadro 36) tratados con 100 y 0 ppm de etileno, comenzaron el período de almacenamiento a 20°C con un contenido de sólidos solubles totales de 7.23 y 7.3 °Brix, respectivamente. En el intervalo del día 0 al 2, las medias de los frutos no tratados se mantuvieron por encima de los frutos tratados con 10.83 y 9.93 °Brix respectivamente, sin embargo, a partir del día 2 y hasta el día 6, el contenido de sólidos solubles se mantuvo similar en ambos tratamientos, finalizando en 13.86 y 13.59 °Brix, en ambos tratamientos.

Cuadro 35. Estadísticos para sólidos solubles totales (°Brix) totales en mangos Tommy Atkins.

Etileno	Tiempo	Media ± error	Mínimo	Mediana	Máximo
---------	--------	---------------	--------	---------	--------

estándar					
0	0	7.30 ± 0.13	6.74	7.371	7.57
	2	10.83 ± 0.19	10.07	10.90	11.31
	4	12.14 ± 0.74	8.82	12.35	13.80
	6	13.59 ± 0.49	12.55	13.38	15.85
100	0	7.23 ± 0.25	6.33	7.37	7.99
	2	9.93 ± 0.23	9.24	10.07	10.48
	4	12.14 ± 0.23	11.31	12.14	12.97
	6	13.86 ± 0.24	12.97	14.00	14.62

A pesar de la exposición al etileno, no se observaron diferencias en los frutos de mango tratados con etileno. Esto se ve en el análisis de varianza (Cuadro 37), donde el factor ‘Etileno’ no fue significativo ($p > 0.05$) y su aporte al modelo fue únicamente del 0.11 %. El factor ‘Tiempo’ aportó la mayor contribución y también resultó ser muy significativo ($p < 0.05$), esto indica que los mayores cambios en el contenido de sólidos solubles sucedieron durante el almacenamiento por efecto de la maduración del fruto (Figura 36), característico de un fruto climatérico como el mango, donde aumenta el contenido de sólidos solubles por la hidrólisis de las reservas de almidón del fruto (Wills *et al.*, 2001). Esto se corrobora al observar la interacción entre ambos factores ‘Etileno*Tiempo’, que no demostró ser significativo y su aporte al modelo fue sólo del 0.74 %.

Cuadro 36. Análisis de varianza para sólidos solubles totales en frutos de mango Tommy Atkins.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Etileno	1	0.357	0.11%	0.357	0.3571	0.43	0.515
Tiempo	3	276.159	88.56%	276.159	92.0531	111.50	0.000
Etileno*Tiempo	3	2.298	0.74%	2.298	0.7660	0.93	0.436
Error	40	33.023	10.59%	33.023	0.8256		
Total	47	311.837	100.00%				

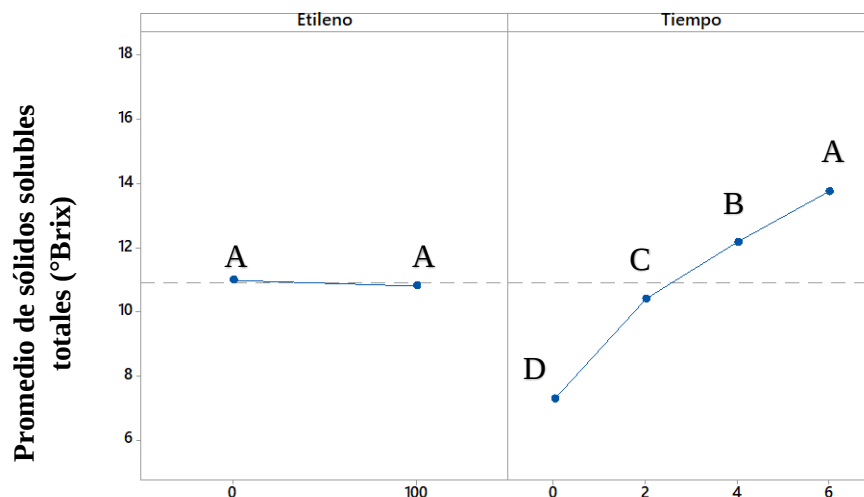


Figura 36. Efectos principales en los sólidos solubles totales (°Brix) para los factores Etileno y Tiempo en mangos Tommy Atkins. Letras diferentes indican diferencias significativas.

Resultados similares fueron obtenidos por Saavedra *et al.* (2013) al tratar frutos de mango Tommy Atkins a concentraciones de 0, 10, 20, 40, 60, 80 y 100 ppm donde, después de una semana, no observó diferencias marcadas en el contenido de sólidos solubles totales por efecto del etileno, comparándolos con los frutos no tratados. Además, de acuerdo a lo descrito por Allong *et al.* (2000), recomiendan que utilizar mangos medianamente maduros (12-16 °Brix) son ideales para ser procesados, por lo que ambos tipos de frutos pudieron ser procesados al día 4, sin embargo, considerando también la firmeza de la pulpa (Cuadro 30), sólo los frutos expuestos a 100 ppm fueron procesados, el resto esperó hasta el sexto día del almacenamiento a 20 °C.

Para los frutos de la variedad Kent (Cuadro 38), expuestos a 100 y 0 ppm etileno, se comenzó el almacenamiento con una media de 8.07 y 8.28 °Brix, respectivamente. En el intervalo del día 0 al 2 se observa un ligero decremento encontrándose en 6.97 y 7.2 °Brix para frutos tratados con 0 y 100 ppm, respectivamente. Este decremento indica la variabilidad que existió en la maduración de los frutos al momento de la cosecha, por lo que se pudieron haber muestreado frutos en distintas etapas de maduración ya que este decremento ocurrió en ambos tratamientos. En el intervalo del día 2 al 4, se observa un aumento considerable en las medias, posicionándose en 11.19 y 12.22 °Brix para frutos tratados con 0 y 100 ppm de etileno. En el posterior intervalo, del día 4 al 6 del almacenamiento, el contenido de °Brix se mantuvo en 15.73 y 15.07, para frutos tratados y no tratados respectivamente. Para este punto, los sólidos solubles totales de ambos tratamientos se

mantuvieron muy cercanos y, finalmente, en el intervalo del día 6 al 8, el contenido de sólidos solubles totales culminó en 17.17 y 17.01 °Brix para frutos tratados y no tratados, respectivamente.

Cuadro 37. Estadísticos para sólidos solubles totales (°Brix) en mangos Kent.					
Etileno	Tiempo	Sólidos solubles totales (°Brix)	Mínimo	Mediana	Máximo
0	0	8.28 ± 0.16	7.16	8.52	8.82
	2	6.97 ± 0.34	5.49	6.86	8.82
	4	11.19 ± 0.26	9.66	10.90	12.55
	6	15.07 ± 0.322	13.38	15.03	16.68
	8	17.01 ± 0.25	15.44	17.09	17.91
100	0	8.07 ± 0.22	7.16	8.20	9.24
	2	7.20 ± 0.20	5.91	7.37	7.99
	4	12.22 ± 0.50	10.07	12.14	15.44
	6	15.73 ± 0.38	14.20	15.85	17.91
	8	17.17 ± 0.44	14.20	17.09	19.14

No se observó un efecto importante derivado de la aplicación del etileno en los frutos de la variedad Kent. Esto se corrobora al observar el análisis de varianza (Cuadro 39), donde el factor ‘Etileno’ tiene sólo una contribución del 0.22 % y no fue significativo ($p>0.05$), por su parte, la mayor aportación se atribuye al factor ‘Tiempo’ que contribuye con el 93.57 %, lo que indica que los mayores cambios se dan por efecto de la maduración del fruto durante el almacenamiento (Figura 37), característico de un fruto climatérico como lo es el mango. Esto se reafirma al observar la interacción entre ambos factores ‘Etileno*Tiempo’ que no resultó ser significativo y su aporte al modelo fue sólo del 0.28 %.

Cuadro 38. Análisis de varianza para sólidos solubles totales (°Brix) en mangos Kent.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
--------	----	---------	--------------	-----------	-----------	---------	---------

Etileno	1	3.51	0.22%	3.51	3.509	3.27	0.074
Tiempo	4	1524.20	93.57%	1524.20	381.051	354.82	0.000
Etileno*Tiempo	4	4.62	0.28%	4.62	1.154	1.07	0.374
Error	90	96.65	5.93%	96.65	1.074		
Total	99	1628.98	100.00%				

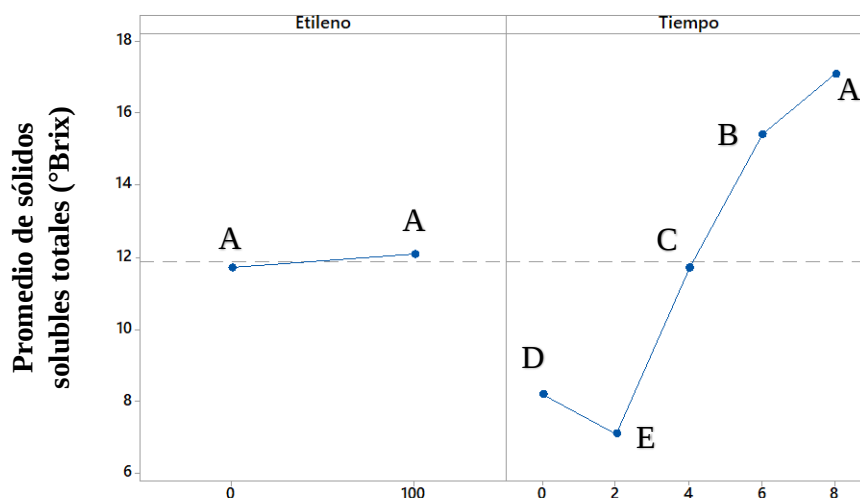


Figura 37. Efectos principales en los sólidos solubles totales (°Brix) para los factores Etileno y Tiempo en mangos Kent. Letras diferentes indican diferencias significativas.

Zamora-Cienfuegos *et al.* (2004) experimentaron con frutos de mango de la variedad Kent que sometió a un tratamiento con etileno a 100, 500 y 1000 ppm después de 4 d de almacenarse a temperatura de 13 °C. Tras ese tiempo, los mantuvo a temperatura de 27 °C y encontró diferencias significativas en los frutos que habían sido tratados con etileno con respecto a aquellos frutos refrigerados pero que no habían sido tratados, siendo mayor el contenido de sólidos solubles totales en los frutos tratados con etileno. Contrario a nuestra experimentación, donde aparentemente no hubo efectos importantes por la aplicación del etileno, los frutos de mango fueron tratados con etileno el día de corte y, tras el tratamiento, se mantuvieron a 20 °C, existiendo una diferencia de 7 °C menos en relación con las reportadas en la investigación anterior. Por lo que es importante destacar que la temperatura a la cual los frutos de mango se almacenaron y dejaron madurar juegan un papel importante durante la maduración de los frutos (Slaughter, 2009), aunque también es importante suponer que el momento en el cual se realizó la aplicación de etileno puede afectar en

la aceleración de la madurez en los frutos. A su vez, de acuerdo a lo descrito por Allong *et al.* (2000) los frutos de esta variedad alcanzaron el intervalo de 12-16 °Brix el día 4 del muestreo. Sin embargo, considerando la firmeza (Cuadro 32), sólo los frutos que se expusieron a 100 ppm de etileno fueron procesados ese día y el resto se procesó hasta el día 6 del almacenamiento a 20°C. Los frutos de mango de la variedad Keitt (Cuadro 40) tratados (100 ppm) y no tratados (0 ppm) con etileno, comenzaron con una media de contenido de sólidos solubles totales de 6.99 y 7.03 °Brix, respectivamente. El aumento en la concentración se mantuvo durante el almacenamiento a 20 °C en ambos tratamientos, observándose los cambios más importantes durante los intervalos del día 2 al 4, donde los frutos no tratados subieron de 7.28 a 9.82 °Brix; mientras que frutos tratados escalaron de 7.32 a 10.15 °Brix. También, del día 6 al 8 se observó un segundo incremento importante en el contenido de sólidos solubles, siendo para frutos no tratados de 10.98 a 13.83 °Brix y de 11.23 a 14.12 °Brix en frutos tratados con el etileno.

Cuadro 39. Estadísticos en sólidos solubles totales (°Brix) en mangos Keitt.

Etileno	Tiempo	Sólidos solubles totales (°Brix)	Mínimo	Mediana	Máximo
0	0	7.03 ± 0.31	6.33	6.74	9.66
	2	7.28 ± 0.21	6.33	7.16	7.99
	4	9.82 ± 0.47	7.99	9.66	12.97
	6	10.98 ± 0.69	8.82	10.69	14.62
	8	13.83 ± 0.55	10.48	14.41	15.85
100	0	6.99 ± 0.30	4.65	7.37	7.99
	2	7.32 ± 0.23	5.91	7.37	8.41
	4	10.15 ± 0.65	7.99	9.24	14.62
	6	11.23 ± 0.56	8.82	11.10	14.20
	8	14.12 ± 0.41	11.73	14.00	16.27

La exposición al etileno no tuvo efecto sobre el contenido de sólidos solubles totales para esta variedad. Esto se corrobora al observar el análisis de varianza (cuadro 41), donde el factor ‘Etileno’ no fue significativo y su aporte al modelo fue sólo del 0.09%. La mayor contribución se debe al factor ‘Tiempo’ que contribuyó en 76.48 % y resultó ser muy significativo ($p < 0.05$), por lo que los mayores cambios en el contenido de sólidos solubles para esta variedad se deben al proceso de maduración de la fruta durante el almacenamiento (Figura 38), recordando que el mango es un

fruto climatérico cuyo contenido de azúcares aumenta conforme avanza su maduración. Esto se reafirma al observar la interacción entre los factores ‘Etileno*Tiempo’, que solamente tiene un aporte del 0.06 % y no resultó ser significativo.

Cuadro 40. Análisis de varianza para sólidos solubles totales en mangos Keitt.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Etileno	1	0.753	0.09%	0.753	0.753	0.33	0.565
Tiempo	4	663.170	76.48%	663.170	165.792	73.64	0.000
Etileno*Tiempo	4	0.540	0.06%	0.540	0.135	0.06	0.993
Error	90	202.625	23.37%	202.625	2.251		
Total	99	867.087	100.00%				

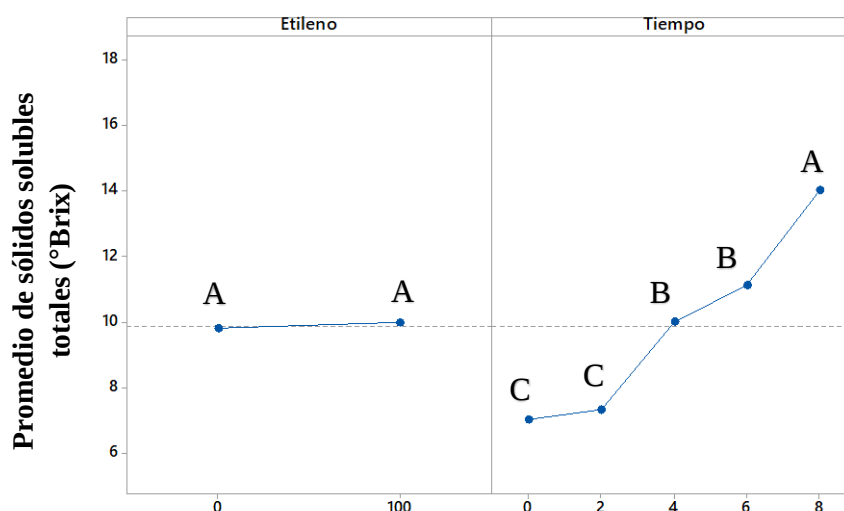


Figura 38. Efectos principales en los sólidos solubles totales para los factores Etileno y Tiempo en mangos Keitt. Letras diferentes indican diferencias significativas.

Peña (2004) experimentó con frutos de mango Keitt sometidos a tratamientos de inducción de maduración con el liberador de etileno Ethrel® a 1000 ppm y con un inhibidor de la acción del etileno el 1-Metilciclopropeno (1-MCP) a 180 ppb, obteniendo que el efecto del etileno sobre el contenido de sólidos solubles totales fue altamente significativo, siendo las medias de los frutos tratados mayores que los no tratados con etileno. Es importante destacar que realizó el análisis de varianza comparando los efectos tanto del etileno como del 1-MCP, es decir, un acelerador de la

madurez y un retardante de la maduración, por lo que posiblemente a esto se debió que el resultado fuese significativo. Por su parte no encontró diferencia significativa entre frutos tratados y no tratados. A su vez, de acuerdo a los descrito por Allong y colaboradores (2000) los frutos, tanto tratados como no tratados, alcanzaron el intervalo de los 12-16 °Brix hasta el día 8 y, considerando su firmeza (Cuadro 34), los frutos de nuestro estudio se procesaron hasta ese día.

6.6 Acidez y pH

Los frutos de mango de las tres variedades al momento de la cosecha tuvieron un porcentaje de acidez alto y un pH bajo, mismos que se fueron reduciendo y aumentando, respectivamente conforme avanzaba el proceso de maduración de los frutos.

Para frutos de la variedad Tommy Atkins, se comenzó el experimento con una acidez titulable de 0.68 y 0.84 %, para frutos a 0 y 100 ppm de etileno, respectivamente (Cuadro 42). Durante la maduración, los frutos expuestos con etileno siguieron la tendencia a disminuir conforme transcurría el tiempo de almacenamiento, al igual que los frutos no tratados. En el intervalo del día 2 al 4 las medias de valores de acidez casi fueron iguales en ambos tratamientos, aunque los valores de acidez fueron ligeramente mayores en los frutos tratados con etileno durante todo el experimento. Al final, el porcentaje de acidez fue de 0.47 y 0.35 % en frutos tratados y no tratados, es decir una reducción en la acidez del 46 y 49 %, respectivamente. Contrariamente, las medias en el nivel de pH (Cuadro 43) se mantuvieron al alza durante el transcurso del experimento, lo cual fue congruente con la pérdida en la acidez conforme avanzó el proceso de maduración, ya que algunos ácidos orgánicos participan en el metabolismo secundario de los frutos y se degradan con el aumento de azúcares solubles (Kays, 2004). Para frutos no tratados con etileno se comenzó con valores de 3.53 y se finalizó en 4.06; mientras que frutos tratados con etileno comenzaron en 3.52 y finalizaron en 4.04. No se observó un efecto importante provocado por el etileno.

Cuadro 41. Estadísticos para acidez titulable (%) en mangos Tommy Atkins.

Etileno	Tiempo	Media ± error estándar	Mínimo	Mediana	Máximo
0	0	0.68 ± 0.06	0.48	0.72	0.83
	2	0.60 ± 0.04	0.505	0.58	0.78

100	4	0.62 ± 0.03	0.472	0.64	0.72
	6	0.35 ± 0.02	0.267	0.36	0.46
	0	0.84 ± 0.08	0.64	0.77	1.17
	2	0.70 ± 0.04	0.567	0.70	0.81
	4	0.61 ± 0.05	0.431	0.65	0.74
	6	0.47 ± 0.10	0.147	0.49	0.90

Cuadro 42. Estadísticos en pH para mangos Tommy Atkins.

Etileno	Tiempo	pH	Mínimo	Mediana	Máximo
0	0	3.53 ± 0.03	3.43	3.51	3.70
	2	3.61 ± 0.03	3.53	3.60	3.71
	4	3.66 ± 0.04	3.56	3.64	3.87
	6	4.06 ± 0.03	3.93	4.06	4.16
100	0	3.52 ± 0.03	3.45	3.50	3.68
	2	3.66 ± 0.04	3.53	3.66	3.84
	4	3.78 ± 0.03	3.69	3.79	3.88
	6	4.04 ± 0.10	3.86	3.96	4.53

Los análisis de varianza, tanto para la acidez (Cuadro 44) como para el pH (Cuadro 45), el factor ‘Etileno’ sólo tuvo un aporte del 5.83 % y 0.52 %, respectivamente, aunque para el primero resultó ser ligeramente significativo ($p < 0.05$). Por su parte, el factor ‘Tiempo’ es el que tiene la mayor contribución en ambos factores, siendo de 41.4 % para la acidez y 73.7 % para el pH, por lo que los efectos encontrados en ambas variables son principalmente debidos a la maduración del fruto durante el almacenamiento (figuras 39 y 40).

Cuadro 43. Análisis de varianza para acidez titulable (%) en mangos Tommy Atkins.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Etileno	1	0.10631	5.83%	0.10631	0.10631	4.65	0.037
Tiempo	3	0.75525	41.40%	0.75525	0.25175	11.01	0.000
Etileno*Tiempo	3	0.04819	2.64%	0.04819	0.01606	0.70	0.556
Error	40	0.91436	50.13%	0.91436	0.02286		
Total	47	1.82411	100.00%				

Cuadro 44. Análisis de varianza para pH en mangos Tommy Atkins.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Etileno	1	0.01287	0.52%	0.01287	0.01287	0.85	0.362
Tiempo	3	1.83817	73.70%	1.83817	0.61272	40.42	0.000
Etileno*Tiempo	3	0.03682	1.48%	0.03682	0.01227	0.81	0.496

Error	40	0.60636	24.31%	0.60636	0.01516
Total	47	2.49422	100.00%		

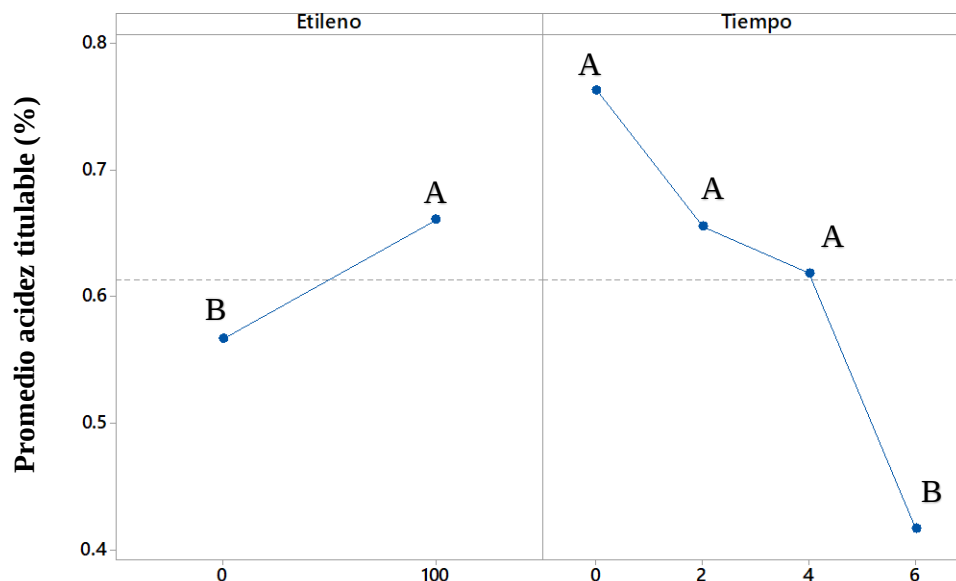


Figura 39. Principales efectos en la acidez titulable (%) para los factores Etileno y Tiempo en mangos Tommy. Letras distintas indican diferencias significativas.

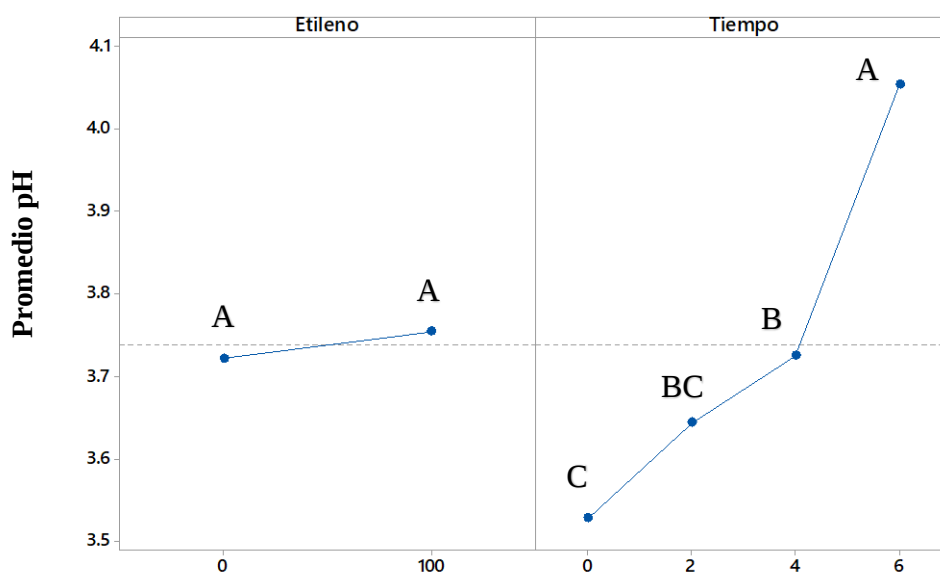


Figura 40. Principales efectos en el pH para los factores Etileno y Tiempo en mangos Tommy Atkins. Letras distintas indican diferencias significativas.

Datos similares fueron reportados por Siller *et al.* (2009), quienes realizaron caracterizaciones fisicoquímicas de frutos de mango de distintas variedades después de 12 días de almacenamiento a 20 °C, encontrando en frutos de la variedad Tommy Atkins valores de pH de 3.2 y 4.3, al inicio y final del experimento. Para el porcentaje de acidez, reportaron valores que van desde el 0.3 % al 0.2 % al inicio y final del experimento, siendo estos valores muy bajos desde el principio del análisis, conteniendo nuestros frutos un mayor porcentaje de acidez desde el inicio del experimento. Por su parte, la guía de calidad en frutos de mango reportada para la National Mango Board (Báez-Sañudo & Contreras-Martínez, 2010) reportaron valores de 0.6849 % de acidez para frutos de mango de la variedad Tommy Atkins en etapa de madurez 2 (madurez en la cual se comenzó este experimento), más similares a los obtenidos en esta experimentación.

Los frutos de la variedad Kent comenzaron con una media en el porcentaje de acidez de 0.54 y 0.47 % para frutos tratados y no tratados respectivamente (Cuadro 46). Una vez transcurridos los 8 días del experimento, estos valores terminaron en una media de 0.42 y 0.28 % en ambos tratamientos. No se observaron efectos importantes en los frutos que fueron expuestos a 100 ppm de etileno, más bien parecen seguir el mismo comportamiento que los frutos no tratados, salvo al final del experimento donde la acidez en los frutos tratados fue mucho menor que en los no tratados. En el intervalo del día 2 al 4 se observa un ligero aumento en el porcentaje de acidez, creciendo de 0.56 % a 0.72 % para frutos tratados, y de 0.56 a 0.68 % para frutos no tratados. Por su parte, el pH (Cuadro 47) comenzó con una media de 3.9 y 3.86, para frutos tratados y no tratados, culminando después de 8 días con valores de 4.16 y 3.95. A lo largo del experimento se observó un comportamiento similar tanto en frutos tratados con etileno como los no tratados salvo al último día del experimento, donde los frutos tratados con etileno demostraron tener una media de pH mucho más elevada que los frutos no tratados.

Cuadro 45. Estadísticos para acidez titulable (%) en mangos Kent.

Etileno	Tiempo	Acidez titulable (%)	Mínimo	Mediana	Máximo
0	0	0.54 ± 0.4	0.40	0.52	0.84
	2	0.56 ± 0.2	0.45	0.55	0.71
	4	0.72 ± 0.03	0.48	0.77	0.81
	6	0.44 ± 0.04	0.19	0.43	0.74

100	8	0.28 ± 0.03	0.15	0.26	0.52
	0	0.47 ± 0.02	0.34	0.47	0.66
	2	0.56 ± 0.04	0.38	0.52	0.82
	4	0.68 ± 0.04	0.51	0.69	0.86
	6	0.48 ± 0.02	0.39	0.46	0.63
	8	0.42 ± 0.01	0.32	0.43	0.49

Cuadro 46. Estadísticos para el pH en mangos Kent.

Etileno	Tiempo	pH	Mínimo	Mediana	Máximo
0	0	3.90 ± 0.02	3.73	3.90	4.03
	2	3.95 ± 0.01	3.81	3.97	4.04
	4	3.82 ± 0.09	3.08	3.86	4.27
	6	3.98 ± 0.04	3.88	3.94	4.32
	8	4.16 ± 0.06	3.73	4.19	4.35
100	0	3.86 ± 0.03	3.62	3.87	3.98
	2	3.96 ± 0.02	3.81	3.99	4.06
	4	3.88 ± 0.03	3.69	3.92	4.04
	6	3.92 ± 0.02	3.82	3.92	4.11
	8	3.95 ± 0.03	3.77	3.97	4.10

De acuerdo con el análisis de varianza tanto para la acidez (Cuadro 48) como para el pH (Cuadro 49) el factor ‘Etileno’ tuvo un aporte muy pequeño de sólo 0.15 y 2.25 %, respectivamente, y no fue significativo en ningún caso. Por su parte, el factor ‘Tiempo’ es el que más aporte tiene en ambos casos, siendo de 52.44 % (acidez) y 18.19 % (pH), esto indica que los mayores cambios se dan a través del tiempo por efecto de la maduración natural del fruto durante el almacenamiento (Figura 41 y 42), esto es congruente recordando que se trata de un fruto climatérico cuyo contenido de acidez disminuye conforme avanza el proceso de maduración, mientras que el de pH aumenta. Esto se reafirma al observar la interacción entre los factores ‘Etileno*Tiempo’ cuyo aporte es del 5.04 % para el contenido de acidez y, aunque fue significativo, su aporte es pequeño. Por su parte, para el caso del pH también resultó ser un factor significativo y su aporte al modelo es del 8.19 %, lo que indica que en este último el etileno si pudo tener un efecto, como se observó en el último muestreo donde para frutos expuestos a 100 ppm este fue más elevado que en frutos no tratados, sin embargo, el ajuste del modelo es menor al 30 %, por lo que puede haber otros factores que expliquen estos cambios.

Cuadro 47. Análisis de varianza para la acidez titulable (%) en frutos de mango Kent.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Etileno	1	0.00393	0.15%	0.00393	0.003931	0.33	0.569
Tiempo	4	1.34072	52.44%	1.34072	0.335179	27.85	0.000
Etileno*Tiempo	4	0.12889	5.04%	0.12889	0.032224	2.68	0.037
Error	90	1.08315	42.37%	1.08315	0.012035		
Total	99	2.55669	100.00%				

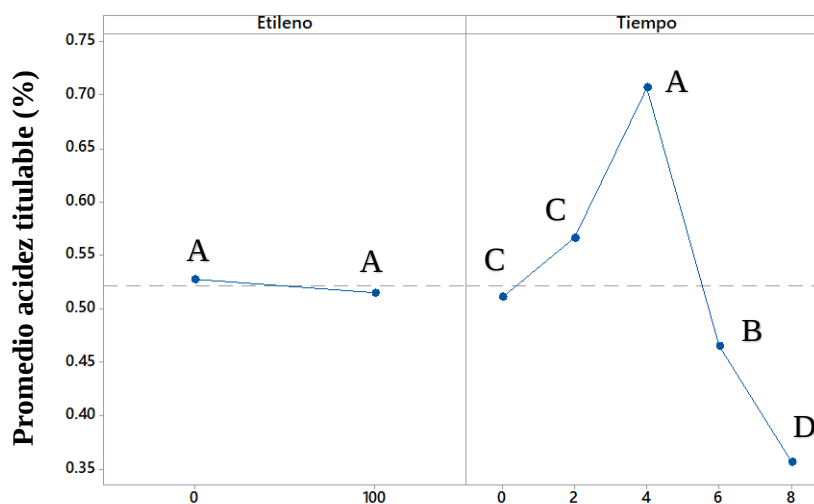


Figura 41. Principales efectos en la acidez titulable (%) para los factores Etileno y de mangos Kent. Letras diferentes indican diferencias significativas.

Cuadro 48. Análisis de varianza para el pH en la variedad Kent.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Etileno	1	0.05929	2.25%	0.05929	0.05929	2.84	0.095
Tiempo	4	0.47851	18.19%	0.47851	0.11963	5.73	0.000
Etileno*Tiempo	4	0.21547	8.19%	0.21547	0.05387	2.58	0.042
Error	90	1.87807	71.37%	1.87807	0.02087		
Total	99	2.63135	100.00%				

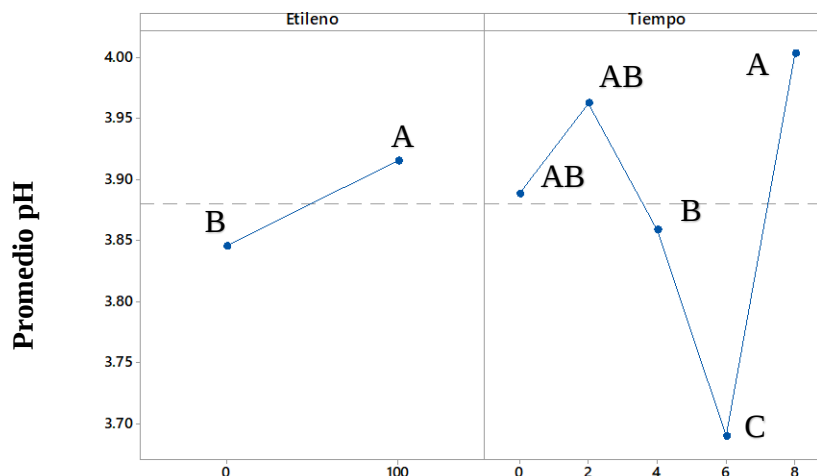


Figura 42 Efectos principales en el pH para los factores Etileno y Tiempo en mangos Kent. Letras distintas indican diferencias significativas.

Zamora-Cienfuegos *et al.* (2004), reportaron que frutos de mango Kent tratados con etileno a 100 y 500 ppm tienden a mantener sabores ácidos y menos dulces como efecto de la aplicación de etileno exógena; sin embargo, en este experimento también los frutos que no fueron tratados con etileno demostraron ese aumento en el porcentaje de acidez, por lo que más que tratarse de un efecto derivado de la aplicación de etileno exógena, ese salto en la acidez durante el día 4 del almacenamiento habla de la variabilidad en la madurez de los frutos seleccionados, puesto que en el sexto día de almacenamiento se observa una caída en la acidez y un respectivo aumento en el pH, derivado de la degradación de los ácidos orgánicos durante el climaterio del fruto. A su vez, el último día del muestreo se encontró que los valores en las medias del porcentaje de acidez fueron menores en los frutos tratados con etileno que en los frutos no tratados, valores similares a los reportados por Zamora-Cienfuegos *et al.* (2004), cuyos frutos tratados con etileno a 100 y 500 ppm también mostraron una mayor reducción en el porcentaje de acidez en comparación con frutos no tratados. De igual manera, los datos obtenidos en pH son congruentes con los reportados por Zamora-Cienfuegos *et al.* (2004), donde los frutos de mango de la variedad Kent tratados con etileno a 100 y 500 ppm demostraron tener un nivel de pH más alto que los frutos no tratados. Los frutos de mango de la variedad Keitt tuvieron un porcentaje de acidez titulable elevado desde el inicio del experimento, siendo estos de 0.96 y 1.09 % para frutos no tratados y tratados con etileno, respectivamente (Cuadro 50). En el transcurso del tiempo de almacenamiento se observó una tendencia a la baja, culminando al octavo día de almacenamiento a 20 °C con 0.54 y 0.44 %

para frutos tratados con 0 y 100 ppm de etileno, una reducción del 44 y 60 %, respectivamente. A lo largo de la experimentación, ambos tratamientos mostraron el mismo comportamiento, aunque los frutos tratados con etileno se mantuvieron ligeramente por encima de los frutos sin tratamiento (0 ppm). Estos resultados son similares a los reportados por Peña (2004) cuyos frutos de mango de la variedad Keitt tratados con Ethrel® no tuvieron cambios importantes en el porcentaje de acidez durante los primeros 7 días de las evaluaciones realizadas con respecto a los frutos que no fueron tratados con etileno. Por su parte, el nivel de pH (Cuadro 51) se mantuvo muy estable a lo largo de la experimentación, comenzando en valores de 3.95 y 3.97, para frutos tratados y no tratados con etileno, respectivamente, y culminando después de ocho días en valores de 3.90 y 3.86. Tanto los valores de los frutos tratados como los no tratados mostraron el mismo comportamiento, por lo que el etileno tampoco tuvo un efecto importante en esta variable.

Cuadro 49. Estadísticos para acidez titulable (%) en mangos Keitt.

Etileno	Tiempo	Acidez titulable (%)	Mínimo	Mediana	Máximo
0	0	0.96 ± 0.11	0.16	0.97	1.69
	2	0.85 ± 0.07	0.40	0.93	1.09
	4	0.92 ± 0.10	0.26	0.96	1.38
	6	0.88 ± 0.06	0.29	0.95	1.05
	8	0.33 ± 0.02	0.23	0.32	0.42
100	0	1.09 ± 0.09	0.91	1.02	1.90
	2	0.99 ± 0.07	0.40	1.01	1.24
	4	0.98 ± 0.07	0.42	1.02	1.21
	6	1.04 ± 0.12	0.57	0.98	1.99
	8	0.38 ± 0.03	0.26	0.37	0.64

Cuadro 50. Estadísticos para el pH en mangos Keitt.

Etileno	Tiempo	Media ± error estándar	Mínimo	Mediana	Máximo
0	0	3.97 ± 0.03	3.84	3.95	4.22
	2	4.10 ± 0.03	3.90	4.10	4.25
	4	3.96 ± 0.02	3.86	3.97	4.08
	6	3.86 ± 0.03	3.63	3.86	4.03
	8	3.86 ± 0.02	3.71	3.88	3.99
100	0	3.95 ± 0.03	3.77	3.94	4.08
	2	4.02 ± 0.04	3.84	4.00	4.24
	4	3.91 ± 0.03	3.66	3.95	4.03
	6	3.75 ± 0.02	3.61	3.78	3.89

8	3.90 ± 0.03	3.75	3.88	4.12
---	-------------	------	------	------

Los análisis de varianza para la acidez (Cuadro 52) y para el pH (Cuadro 53) mostraron ser significativos ($p < 0.05$) sin embargo, su aporte al modelo es muy pequeño, siendo de sólo 2.22 y 2.65 %, respectivamente. El factor que más contribuye es ‘Tiempo’ con 46.67 % para la acidez y 38.41 % para el pH, además de ser significativo en ambos casos, por lo que los cambios en ambas variables se pueden atribuir al proceso de maduración del fruto durante el almacenamiento (Figuras 43 y 44). Esto se refleja en la interacción ‘Etileno*Tiempo’ que no fue significativo en ningún caso y su aporte al modelo es pequeño, de sólo 0.34 % (acidez) y 3.86 % (pH). Cabe destacar que los ajustes de cada modelo resultaron ser muy bajos, contribuyendo el error en más de un 50 %, por lo que pueden existir otros factores que expliquen los cambios asociados a estas variables.

Cuadro 51. Análisis de varianza para la acidez titulable (%) en mangos Keitt.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Etileno	1	0.2876	2.22%	0.28762	0.28762	3.93	0.050
Tiempo	4	6.0518	46.67%	6.05181	1.51295	20.69	0.000
Etileno*Tiempo	4	0.0444	0.34%	0.04438	0.01109	0.15	0.962
Error	90	6.5826	50.77%	6.58258	0.07314		
Total	99	12.9664	100.00%				

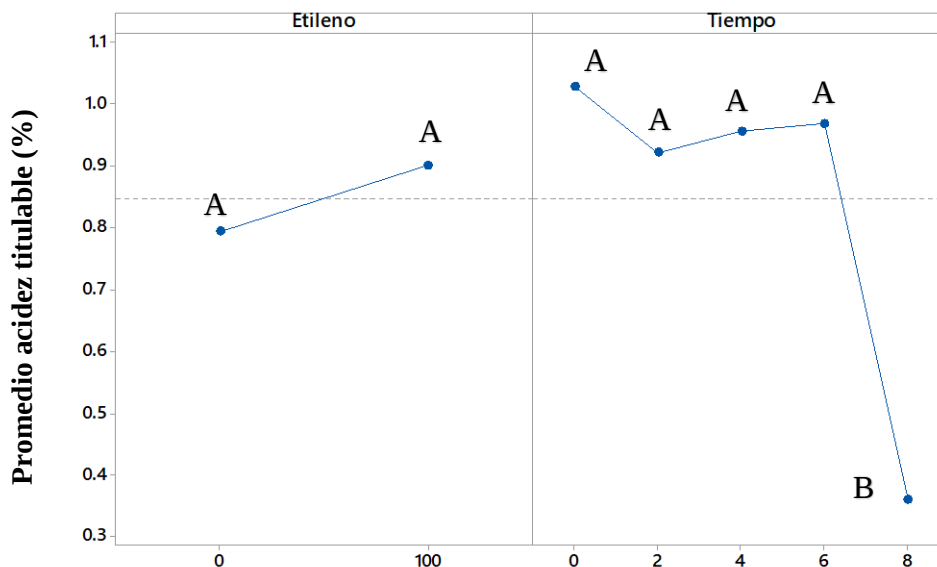


Figura 43. Efectos principales en la acidez titulable (%) para los factores Etileno y Tiempo en mangos Keitt. Letras distintas indican diferencias significativas.

Cuadro 52. Análisis de varianza para el pH en mangos Keitt.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Etileno	1	0.04964	2.65%	0.04964	0.04964	4.32	0.040
Tiempo	4	0.72024	38.41%	0.72024	0.18006	15.69	0.000
Etileno*Tiempo	4	0.07242	3.86%	0.07242	0.01810	1.58	0.187
Error	90	1.03307	55.09%	1.03307	0.01148		
Total	99	1.87536	100.00%				

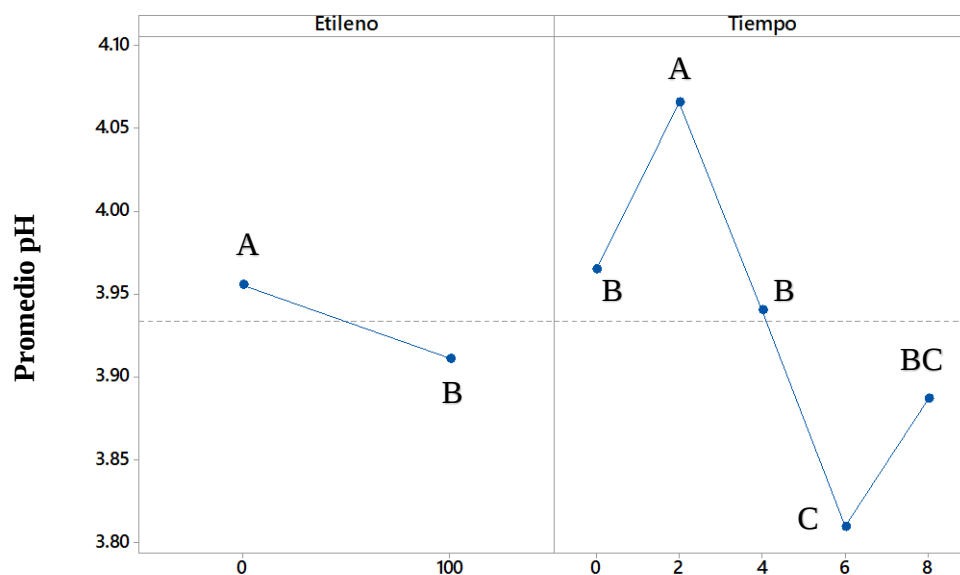


Figura 44. Efectos principales en el pH para los factores Etileno y Tiempo en mangos Keitt. Letras distintas indican diferencias significativas.

Peña (2004) en trabajos realizados con mango de la variedad Keitt encontró que los frutos tampoco mostraron cambios importantes en el nivel del pH en el transcurso de los primeros 7 días sino hasta los 14 días después del tratamiento con etileno.

6.7 Capacidad Reductora Total

La cuantificación de la capacidad reductora total en los cubos de mango procesados y liofilizados se realizó comparando los efectos del etileno en los frutos expuestos (100 ppm) y no expuestos (0 ppm) de cada variedad (Cuadro 54). Los valores se reportan como miliequivalentes de ácido gálico (meq AG) por 100 g de peso seco (DW). Para la variedad Tommy Atkins se encontró una capacidad reductora equivalente a los 197 meq AG/100g DW para los frutos no tratados y 194.05 meq AG/100g DW para los frutos tratados. El tratamiento con etileno no demostró tener efecto en esta variedad como si es más notorio en las variedades Kent y Keitt. Para los primeros, los frutos no tratados con etileno mostraron una capacidad de 225.03 meq AG/100g DW y los tratados de 193.95 meq AG/100g DW, lo que significa una reducción del 14 % en la capacidad reductora total de los frutos tratados con etileno. Por su parte, los frutos de la variedad Keitt no tratados con etileno mostraron una capacidad reductora de 203.1 meq AG/100g DW y los frutos tratados de 238.85 meq AG/100g DW, mostrando un 18 % más de capacidad reductora los frutos tratados con etileno en comparación con los frutos que no fueron tratados.

Cuadro 53. Estadísticos para la capacidad reductora (meq AG/100g) total en mangos Tommy Atkins, Kent y Keitt.

	Etileno	Media $\pm$ error estándar	Mínimo	Mediana	Máximo
Tommy Atkins	0	197.2 $\pm$ 13.10	175.00	189.40	235.10
	100	194.06 $\pm$ 4.37	186.04	191.88	206.44
Kent	0	225.04 $\pm$ 8.90	200.22	228.77	242.40
	100	194 $\pm$ 10.50	167.90	195.10	217.60
Keitt	0	203.1 $\pm$ 4.88	189.96	204.87	212.71
	100	238.85 $\pm$ 5.22	229.82	237.14	251.33

El análisis de varianza (Cuadro 55) no muestra al factor ‘Etileno’ como significativo ($p > 0.05$) ni tiene un aporte importante a la variabilidad, por lo que, según el ANOVA, la exposición de los frutos al etileno no tuvo efecto en la capacidad reductora total. Por su parte, el factor ‘Variedad’ fue significativo ($p < 0.05$) y su aporte al modelo es del 21.02 %, por lo que el contenido en la capacidad reductora total está influenciado por la variedad de los frutos (Figura 45). La relación

entre las variables ‘Variedad*Etileno’ fue muy significativa ($p < 0.05$) y su contribución al modelo fue la más alta: 36.75% (Figura 46). Si bien, la concentración de etileno no es considerada un factor importante, al relacionarlo con el factor ‘Variedad’ indica que cada una de estas responde de manera diferente al etileno (Figura 45). Esto concuerda con lo reportado por Tallapally *et al.* (2020), quienes explican que la capacidad reductora total de ciertos cultivares puede aumentar o disminuir durante la maduración por efecto de las aplicaciones de etileno exógeno, pudiéndose deber a que el etileno afecta la actividad de la enzima fenilalanina amonio liasa (PAL, por sus siglas en inglés), responsable de la ruta de los fenilpropanoides precursores del metabolismo de los compuestos fenólicos (Heredia & Cisneros-Zevallos, 2009).

Cuadro 54. Análisis de varianza para la capacidad reductora total (meq AG/100g) en frutos de mango Tommy Atkins, Kent y Keitt.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Variedad	2	2577.7	21.02%	2577.72	1288.86	4.48	0.026
Etileno	1	1.5	0.01%	1.55	1.55	0.01	0.942
Variedad*Etileno	2	4506.8	36.75%	4506.76	2253.38	7.83	0.004
Error	18	5177.1	42.22%	5177.08	287.62		
Total	23	12263.1	100.00%				

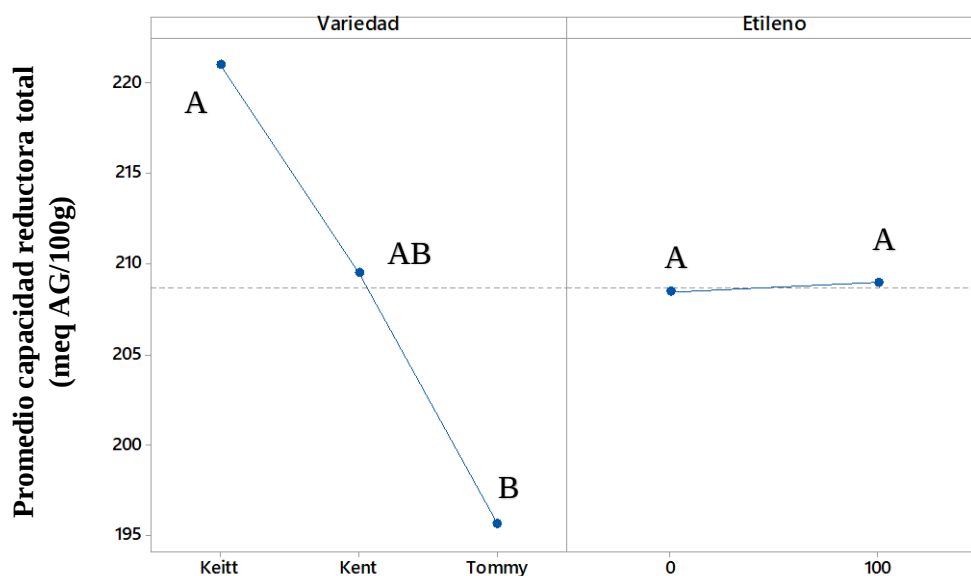


Figura 45. Efectos principales en la capacidad reductora total (meq AG/100 g) para los factores

Etileno y Tiempo de mangos Tommy Atkins, Kent y Keitt. Letras diferentes indican diferencias significativas.

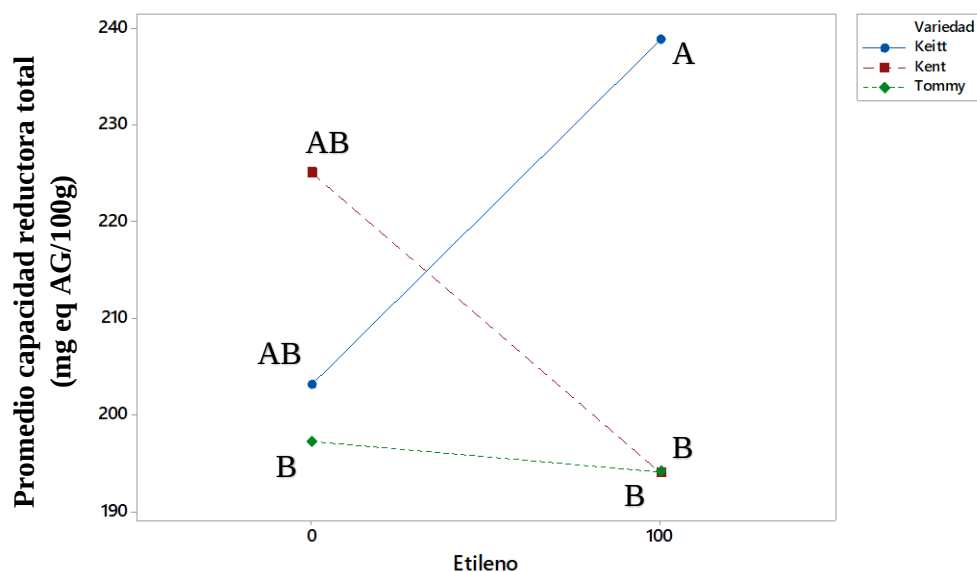


Figura 46. Gráfico de interacciones en la capacidad reductora total (mg eq AG/100g) de mangos Tommy Atkins, Kent y Keitt. Letras diferentes indican diferentes significativas.

Para frutos de la variedad Tommy Atkins, Sogi *et al.* (2012), reportan una capacidad reductora total de 1725.2 meq AG/100g DM, un contenido muchísimo mayor al obtenido en este experimento. Por su parte, Hung *et al.* (2010), reportan, para la misma variedad, una capacidad reductora total de 532 meq AG/100g DM, una cantidad menor a lo reportado por Sogi y colaboradores, pero aún mayor a la obtenida en esta experimentación. A su vez, Medeiros (2019) reporta una cantidad de 274 mg AGE/100g DM. Esto se comprende de mejor manera por lo establecido por Perkins-Veazie (2008) en un estudio realizado para la National Mango Board, donde explica que la capacidad reductora total puede variar de acuerdo al país de origen donde fue producida la fruta, también pudiéndose involucrar factores como el estado de madurez y las condiciones ambientales y de producción de cada huerta.

Para frutos de la variedad Keitt, Fratianni *et al.* (2020), reportan diferentes contenidos en la capacidad reductora total ya que experimentaron el efecto de la temperatura en el contenido nutraceutico de frutos de esta variedad. Sus valores oscilaron entre 150 meq AG/100g para los frutos deshidratados y aproximadamente 250 meq AG/100g en los frutos frescos. Por su parte, Liu *et al.* (2013), reportan un contenido de 32.06 meq AG/100g en fruto fresco. Es importante destacar

lo abordado por Perkins sobre la diferencia en la capacidad reductora total de acuerdo al origen de los frutos.

6.8 Carotenoides Totales

El contenido de carotenoides totales se realizó una vez que los frutos de cada variedad y tratamiento alcanzaron los requerimientos para ser procesados (firmeza de pulpa de 13 a 27 N; °Brix de 12-16). Se realizó la comparación por variedad y tratamiento de etileno aplicado (Cuadro 57), obteniendo para la variedad Tommy Atkins sin exposición a etileno un contenido de 12.27 mg carotenoides/100 g, mientras que para frutos tratados se alcanzó un contenido de 10.87 mg carotenoides/100g, una cantidad ligeramente menor en los frutos que fueron expuestos al etileno. Sogi *et al.* (2012), reportan un contenido de carotenoides de 5.17 mg carotenoides/100 g de fruto liofilizado, cantidad menor a la obtenida durante este estudio. A su vez, Medeiros *et al.* (2019), reportan un contenido de 4.1 mg carotenoides/100 g de fruto seco, esto indica que, al igual que ocurre con la capacidad reductora, factores como las condiciones del cultivo, manejo postcosecha y procesamiento de los frutos puede influir en el contenido de estos pigmentos (Ordoñez & Esquivel, 2013).

Para la variedad Kent, se encontró un contenido de 10.58 y 10.5 mg carotenoides/100g para frutos no tratados y tratados con etileno, respectivamente, cantidades similares para ambos tratamientos. Sumaya *et al.* (2019), cuantificaron en frutos de mango de esta variedad, un contenido de 25 mg carotenoides/100g, cantidades mayores a las encontradas en esta experimentación.

Para la variedad Keitt, se encontró un contenido de 9.75 y 8.32 mg carotenoides/100 g para frutos no tratados y tratados con etileno, respectivamente. En este caso, se encontró una cantidad ligeramente menor en los frutos que fueron expuestos a 100 ppm de etileno. Sumaya *et al.* (2019), reportan un contenido de 20 mg carotenoides/100 g de fruto seco en frutos de mango en etapa de maduración para consumo, una cantidad mayor a la encontrada en este trabajo. Por su parte, Fratianni *et al.* (2020), reportaron un contenido de 12 mg carotenoides/100 g de fruto seco, resultados más similares a los obtenidos en esta experimentación. El análisis de varianza (Cuadro 26) no mostró ningún factor como significativo ($p > 0.05$). El factor 'Etileno' no tiene un aporte importante a la variabilidad, con sólo 6.98 %, lo que indica que la exposición a una concentración de etileno no parece tener efectos importantes en el contenido de carotenoides totales ni la relación entre los factores 'Etileno*Variedad'. Por su parte, el factor que tiene la mayor contribución a la

variabilidad es el factor ‘Variedad’, lo que quiere decir que entre cultivares los contenidos de carotenoides pueden variar y no precisamente por efecto de la exposición al etileno.

Cuadro 55. Carotenoides totales (mg carotenoides/100g) en mangos Tommy Atkins, Kent y Keitt almacenados 8 días a 20 °C y 80 % de HR después de ser expuestos a 0 y 100 ppm de etileno.

Valores de media $\pm$ error estándar					
	Etileno	Carotenoides totales (mg carotenoides/100 g)	Mínimo	Mediana	Máximo
Tommy Atkins	0	12.27 $\pm$ 1.15	11.12	12.27	13.42
	100	10.87 $\pm$ 0.16	10.70	10.87	11.04
Kent	0	10.58 $\pm$ 1.56	9.02	10.58	12.14
	100	10.5 $\pm$ 2.78	7.72	10.50	13.28
Keitt	0	9.75 $\pm$ 0.28	9.47	9.75	10.03
	100	8.329 $\pm$ 0.22	8.10	8.32	8.55

Cuadro 56. Análisis de varianza para los carotenoides totales en mangos (mg carotenoides/100g) Tommy Atkins, Kent y Keitt.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Variedad	2	12.984	32.25%	12.984	6.4919	1.67	0.265
Etileno	1	2.811	6.98%	2.811	2.8110	0.72	0.427
Variedad*Etileno	2	1.181	2.93%	1.181	0.5906	0.15	0.862
Error	6	23.287	57.84%	23.287	3.8812		
Total	11	40.263	100.00%				

Es importante destacar que la etapa de maduración en la cual se realizó la cuantificación de carotenoides juega un papel importante en su contenido, puesto que conforme avanza el proceso de madurez en los frutos de mango, la pigmentación amarilla de la pulpa se torna hacia un color naranja intenso, probablemente por una acumulación en el contenido de carotenoides en una madurez avanzada, por lo que este factor podría ser relevante a ser tomado en cuenta.

El resultado obtenido de este trabajo sobre el efecto del etileno en el contenido de carotenoides totales es similar a lo reportado por Marty *et al.* (2005), quienes trataron frutos de albaricoque con etileno para observar su efecto en dicho contenido, obteniendo que este no tuvo efecto importante en la acumulación de β -caroteno. Por otra parte, Bertinatto *et al.* (2018), quienes evaluaron los efectos del etileno en frutos de tomate, mencionan que, aunque los mecanismos de respuesta a las hormonas de la fruta aún no son claras, hay evidencia de que el etileno puede jugar un papel

importante en el proceso de carotenogénesis en frutos de tomate. Finalmente, Zamora-Cienfuegos *et al.* (2004), reportaron que, para el caso de frutos de mango tratados con etileno, este tiene el efecto de reducir la síntesis de carotenoides, a través de la enzima fitoeno sintasa (Psy, por sus siglas en inglés), precursora de la formación de fitoeno que posteriormente se transforma en carotenoides pigmentados como los alfa, beta y licopeno (Barreto *et al.*, 2011; Su *et al.*, 2015). Por lo anterior, los frutos no tratados alcanzarán pigmentaciones más naranjas antes que los frutos tratados, efecto que no se encontró en esta experimentación.

7. CONCLUSIONES

Las variedades de mango que demostraron ser afectadas por la exposición al etileno fueron Tommy Atkins y Kent, mismos que alcanzaron las características para ser procesadas dos días antes que los frutos de mango no tratados. Los frutos de mango de la variedad Keitt no demostraron una aceleración en su maduración para proceso por la exposición al etileno exógeno a 100 ppm.

La principal variable que se vio afectada por la aplicación exógena de etileno fue la firmeza, la cual se redujo afectando a los frutos de mango Tommy Atkins, Kent y Keitt.

Los cambios en el contenido de sólidos solubles totales, porcentaje de acidez, pH y color interno de la pulpa se debieron al proceso de madurez del fruto durante el período de almacenamiento y no por efecto de la aplicación exógena de etileno.

Para el caso de los frutos de mango de la variedad Kent, el etileno demostró tener un efecto en la coloración externa del fruto, cambiando su coloración de forma más rápida en comparación con los frutos no tratados.

La capacidad reductora total fue afectada por la acción del etileno, existiendo diferencia en cuanto a la reacción de cada variedad. Tommy Atkins demostró no verse afectada, los frutos tratados de la variedad Kent tuvieron un contenido ligeramente menor que los frutos tratados, mientras que los frutos tratados de la variedad Keitt mostraron un mayor contenido que los frutos no tratados.

Los frutos de las tres variedades de mango no mostraron efectos importantes en cuanto al contenido de carotenoides totales, por lo que no se relaciona un cambio en su contenido con la aplicación exógena de etileno.

Este estudio orienta el camino a la realización de más experimentaciones para evaluar los efectos del etileno sobre la cinética de maduración en los frutos de mango de las variedades Tommy Atkins, Kent y Keitt si se pretende escalar esta metodología. A su vez, resulta importante evaluar sus efectos sobre el contenido nutracéutico ya que este si demostró tener efectos como aumentar la capacidad reductora total, para el caso de la variedad Keitt y disminuyéndolo en la variedad Kent.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Allong R. D., Wickman L. D. y Mohammed, M. 2000. The effect of cultivar, fruit ripeness, storage temperature and duration on quality of fresh-cut mango. *Acta Horticulturae*. 509:487-494.
- AOAC. 1998. Official Methods of Analysis. 16th Edition, Association of Official Analytical Chemists, Arlington.
- Báez-Sañudo M. A. y Contreras-Martínez R. 2010. Informe de maduración de frutos de mango para la National Mango Board. Florida, EEUU. Pp 1-24.
- Bally I. 2006. *Mangifera indica* (Mango). Permanent Agricultural Resources (PAR). Tercera edición. Holualoa, Hawai. 1-7 pp.
- Barreto P. M., Fabi J. P., Cordenunsi B. R., Lajolo F. M., do Nascimento R. O y Mercadante A. Z. 2011. Influence of ethylene on carotenoid biosynthesis during papaya postharvesting ripening. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24 (4-5). 620-624.
- Bourne M. C. 1982. Food Texture and viscosity. Academic Press. Massachusetts, EUA. pp. 325.
- Catalytic Generators. 2021. Ethylene application. Visitado el día 27 de noviembre del 2011 en: <https://www.catalyticgenerators.com/ethylene-application/>
- Chacon-Ordoñez T. y Esquivel P. 2013. Frutos tropicales como fuente de carotenoides: biosíntesis, composición, biodisponibilidad y efectos del procesamiento. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología*. 4 (1). 1-23.
- Chen Y., Grimplet J., David K, Castellarin S. D., Terol J., Wong D. J., Luo Z., Schaffer R., Celton J. M., Talon M., Gambetta G. A. y Chervin C. 2018. Ethylene receptors and related proteins in climacteric and non-climacteric fruits. *Plant Science*. 276. 63-72. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2018.07.012>
- CIATEJ. 2016. Introducción a la tecnología del mango. Jalisco, México. Centro de Investigación y Asistencia Tecnológica del Estado de Jalisco. Recuperado de: https://www.google.com/search?q=ciatej&rlz=1C1CHBF_esMX914MX914&oq=ciatej&aqs=chrome..69i57j46i175i199i512l2j0i512l3j69i60l2.874j0j4&sourceid=chrome&ie=UTF-8
- Costa D.V., Pintado M. y Almeida D. P. 2014. Postharvest Ethylene Application Affects Anthocyanin Content and Antioxidant Activity of Blueberry Cultivars. *International Symposium on Vaccinium and Other Superfruits*. 1017, 525-530.
- Cruz, A. B., Bianchetti R. E., Rodriguez-Alves F. D., Purgatto E., Pereira-Pérez L. E., Rossi M. y Freschi L. 2018. Light, Ethylene and Auxin Signaling Interaction Regulates Carotenoid Biosynthesis During Tomato Fruit Ripening. *Frontiers in Plant Science*. 9. 1370.
- EMEX. 2019. México, el primer exportador de mango fresco a nivel internacional. Jalisco, México. Empaques de Mango Mexicanos. Recuperado de: <https://www.mangoemex.com/temporadas-tipos-de-mango-mexico/>
- Falquez-Muy S. L. y Ubilla-González J. D. 2010. Proyecto de factibilidad de Empresa Comercializadora de pulpa de mango. Santiago de Guayaquil, Ecuador. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Recuperado de:

<http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/6168/1/T-UCSG-PRE-ECO-CECO-111.pdf>

- FAO. 2019. Major tropical fruits market review 2018. Rome, FAO. Recuperado de: <https://www.fao.org/3/ca5692en/CA5692EN.pdf>
- FAO. 2021. Major tropical fruits: Market review 2020. Rome, FAO. Recuperado de: <https://www.fao.org/3/cb6897en/cb6897en.pdf>
- Fратиanni A., Adiletta G., Di Matteo M., Panfili G., Niro S., Gentile C., Farina V., Cinquanta L. y Corona O. 2020. Evolution of Carotenoid Content, Antioxidant Activity and Volatiles Compounds in Dried Mango Fruits (*Mangifera indica* L.). *Foods*. 9 (10): 1424.
- Goncalves C. A., Lima L. C., Lopes P. S. y Prado M. E. 2006. Caracterizacão física, físico-química, enzimática e de parede celular em diferentes estágios de desenvolvimento da fruta de figueira. *Ciencia e Tecnologia de Alimentos*. 26 (1). 220-229.
- González, B & González, M. 2017. Plan de exportación de mango Ataulfo mexicano de la mediana empresa SABB, Sol y Mangos a Alemania (tesis de licenciatura). Centro Universitario Nezahualcoyotl, Estado de México, México.
- Good Guide Fruit. 2022. Kent Magoes. Inglaterra, Reino Unido. Good Fruit Guide. Recuperado de: <https://goodfruitguide.co.uk/product/kent-2/#:~:text=Origin%3A%20The%20Kent%20mango%20was,of%20the%20Haden%20mango%20variety.>
- Goodwin, T.W. (1986). Metabolism, nutrition and function of carotenoids. *Annual Review of Nutrition*, 6: 273-297.
- Heredia J. B. & Cisneros-Zevallos L. 2010. The effect of exogenous ethylene and methyl jasmonate on pal activity, phenolic profiles and antioxidant capacity of carrots (*Daucus carota*) under different wounding intensities. *Post-Harvest Biology and Technology*, 51 (2). Pp 242-249.
- Ho B. T., Hofman P. J., Joyce D. C. y Bhandari B. R. 2016. Uses of an innovative ethylene- α -cyclodextrin inclusion complex powder for ripening of mango fruit. *Postharvest biology and technology*. 117. 77-86.
- Hung L. M., Mason S. y Bickerstaffe R. 2010. Total phenolic content of Tommy Atkins mangoes imported to New Zealand. *Proceeding of the Nutrition society of New Zealand*. 34. 34-39.
- Ibarra, M. 2022. Sinaloa, líder en producción y exportación de mango a nivel nacional. Sinaloa, México. Debate. Recuperado de: <https://www.debate.com.mx/agro/Sinaloa-lider-en-la-produccion-y-exportacion-de-mango-a-nivel-nacional-20220209-0270.html>
- Infante F., Quilantán J. Rocha F. H y Esquinca H. 2011. Mango Ataulfo: orgullo chiapaneco. CONABIO. *Biodiversitas*, 96: 1-5.
- INTAGRI. 2017. Frutos Climatéricos y No Climatéricos. Serie Postcosecha y Comercialización. Núm. 14. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 4 p.
- INTAGRI. 2017. La bioestimulación del amarre de frutos en cultivos hortofrutícolas. Jalisco, México. Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura. Recuperado de: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/la-bioestimulacion-del-amarre-de-frutos-en-cultivos-hortofruticolas#:~:text=El%20amarre%20o%20cuajado%20de,inicia%20su%20formaci%C3%B3n%20y%20desarrollo.>

- Kader A. 2008. Fresh-Cut Mangos as A Value-Added Product (Literature Review and Interviews). Orlando, Florida. National Mango Board Sitio. Recuperado de: <https://ucanr.edu/datastoreFiles/608-653.pdf>
- Kays S. J. Postharvest biology. Athens: Exon Press, 2004. 568 p.
- Liu F, Fu S., Bi X., Chen F., Liao X., Hu X. y Wu J. 2013. Physico-chemical and antioxidant properties of four mango (*Mangifera indica* L.) cultivars in China. Food Chemistry. 138. 396-405.
- Marty I., Bureau S., Sarkissian G., Audergon J. M y Albagnac G. 2005. Ethylene regulation of carotenoid accumulation and carotenogenic gene expression in colour-contrasted apricot varieties (*Prunus armeniaca*). Journal of Experimental Botany. 56 (417). 1877-1886.
- Maya-Ambia C. J., Sakamoto K. y Retes-Camacho L. A. 2011. Diversificación de los mercados frutícolas externos de México ante los desafíos de la globalización: el caso de las exportaciones de mango a Japón. México y la Cuenca del Pacífico, 42: 67-73.
- Medeiros R. A. B., Barros Z. M. P., Carvalho C. B. O y Duarte A. C. 2019. Dual-stage sugar substitution in Tommy Atkins mango. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 23 (1). 60-64
- Minolta. 2007. Precise Color Communication. Konica Minolta Inc. Tokio, Japón. pp 65
- Montgomery D. 2017. Design and analysis of experiments. Wiley. Ninth edition. Arizona, EUA. pp 733.
- Muy-Rangel M. D., Siller-Cepeda J., Díaz-Pérez J., y Valdez-Torres J. B. 2004. Las condiciones de almacenamiento y el encerado afectan el estado hídrico y la calidad del mango. Revista Fitotecnica Mexicana. 27 (2): 201-209.
- Narciso J. y Plotto A. 2005. A comparison of sanitation systems for fresh-cut mango. HortTechnology. 15 (4). 837-842.
- National Mango Board. 2021. 2020 annual report. Orlando, EUA. National Mango Board. Recuperado de: <https://www.mango.org/wp-content/uploads/2021/07/2020-NMB-Annual-Report-English-FINAL.pdf>
- National Mango Board. 2021. Datos del mango. Orlando, Florida. National Mango Board. Recuperado de: <https://www.mango.org/es/hechos-del-mango/>
- National Mango Board. 2021. Los mangos maduros y listos para comer podrían aumentar las ventas minoristas. Orlando, Florida. Recuperado de: <https://www.mango.org/es/profesionales/industria-del-mango/mejorando-la-calidad-del-mango/los-mangos-maduros-y-listos-para-comer-pueden-aumentar-las-ventas-minoristas/>
- National Mango Board. 2021. Mango Varieties & availability. Orlando, Florida. National Mango Board. Recuperado de: <https://www.mango.org/professionals/industry/varieties-availability/>
- National Mango Board. 2021. Nutrición del mango. Orlando, Florida. National Mango Board. Recuperado de: <https://www.mango.org/es/nutrition-del-mango/>
- National Mango Board. 2021. The ABC of mangos in supporting the immune function. Orlando, Florida. National Mango Board. Recuperado de: <https://www.mango.org/blog-the-abc-of-mangos-in-supporting-immune-function/>
- Peña, B. 2004. Velocidad de maduración de frutos de mango cv Keitt tratados con 1-MCP y etileno

- (tesis de maestría). Universidad de Sonora, Sonora, México.
- Perkins-Veazie P. 2008. Executive summary: Phytochemicals study. Orlando, Florida. National Mango Board. Recuperado de: https://www.mango.org/wp-content/uploads/2017/10/Phytochemicals_Imported_Mangos_Exec_Summary_Eng.pdf
- Plotean S. 2017. Columna: una guía para la perfección de mangos IQF. Las Condes, Chile. Portal Frutícola. Recuperado de: <https://www.portalfruticola.com/noticias/2017/01/23/columna-una-guia-la-perfeccion-mangos-iqf/>
- Rattanapanone N., Lee Y. W., Wu T. y Watada A. E. 2001. Quality and microbial changes of fresh-cut mango cubes held in controlled atmosphere. HortScience, 36: 1091-1095.
- Saavedra J., Vaz de Lima F., Esmael-Gazzola, A., Ortega E. M. M., Sichman L. y Kluge R. A. 2013. Determination of optimal ethylene concentration applied in postharvest mango fruit. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha. 14 (2): 109-114.
- SAGARPA. 2020. El rey de las frutas tropicales: mango. Ciudad de México, México. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Recuperado de: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/el-rey-de-las-frutas-tropicales-mango?idiom=es>
- Sane V. A., Chourasia A. y Nath P. 2005. Softening in mango (*Mangifera indica* cv. Dashehari) is correlated with expression of an early ethylene responsive, ripening related expansin gene, MiExpA1. Postharvest Biology and Technology. 38. 223-230
- Santoyo-Juárez J. A. y Martínez-Alvarado C. O. 2011. Nuevas variedades de mango con potencial para el sur de Sinaloa. Sinaloa, México. Fundación Produce Sinaloa. Recuperado de: <https://www.fps.org.mx/portal/index.php/publicaciones/100-frutales/1093-nuevas-variedades-de-mango-con-potencial-para-el-sur-de-sinaloa>
- SAGARPA. 2015. Estudio para la determinación de alternativas de aprovechamiento tecnológico y productivo para la rezaga de mango de las variedades Kent, Keitt y Haden. Zacatecas, Zacatecas. SAGARPA. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/346787/Mango_Kent_Ejecutivo.pdf
- SADER. 2015. Estudio para la determinación de alternativas de aprovechamiento tecnológico y productivo para la rezaga de mango de las variedades Kent, Keitt y Haden. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Zacatecas, México. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/346784/Mango_Kent_Detallado.pdf
- SIAP. 2020. Panorama Agroalimentario 2020. Ciudad de México, México. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Recuperado de: <https://www.inforural.com.mx/wp-content/uploads/2020/11/Atlas-Agroalimentario-2020.pdf>
- SIAP. 2021. Anuario estadístico de la producción agrícola. Ciudad de México, México. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Recuperado de: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Siller-Cepeda J, Muy-Rangel M. D., Báez-Sañudo M. A., Araiza-Lizarde E. y Ireta-Ojeda A. 2009. Calidad poscosecha de cultivares de mango de maduración temprana, intermedia y tardía. Revista de Fitotecnia Mexicana. 32 (1). 45-52.
- Slaughter D. 2009. Métodos para el manejo de la maduración en mango: una revisión bibliográfica. California, Davis. University of California. Recuperado de: [https://www.mango.org/wp-](https://www.mango.org/wp-content/uploads/2017/10/Phytochemicals_Imported_Mangos_Exec_Summary_Eng.pdf)

content/uploads/2018/03/Methods_for_Management_of_Ripening_Spn.pdf

- Sogi D. S., Siddiq M., Greiby I. y Dolan K. D. 2012. Total phenolics, carotenoids, ascorbic acid, and antioxidant properties of fresh-cut mango (*Mangifera indica* L., cv. Tommy Atkin) as affected by infrared heat treatment. *Journal of Food Science*. 77 (11). 197-202.
- South Pacific Logistics. 2022. Exportación de mango congelado peruano. Lima, Perú. South Pacific Logistics. Recuperado de: <https://web.splogistics.com/es/logistica-peru/exportacion-de-mango-congelado-peruano>
- Specialty Produce. 2021. Keitt Mangoes. San Diego, California. Specialty Produce. Recuperado de: https://specialtyproduce.com/produce/Keitt_Mangoes_9350.php
- Specialty Produce. 2021. Tommy Atkins Mangoes. San Diego, California. Specialty Produce. Recuperado de: https://specialtyproduce.com/produce/Tommy_Atkins_Mangoes_15056.php
- Su L., Diletto G., Purgatto E., Danoun S., Zouine M., Li Z., Roustan J., Bouzayen R., Giuliano G. y Chervin C. 2015. Carotenoid accumulation during tomato fruit ripening is modulated by the auxin-ethylene balance. *BMC Plant Biology*, 15. Pp 1-12
- Sumaya-Martínez M. T., Medina-Carrillo R. E., González-Ocueda E., Jiménez-Ruiz E. I., Balois-Morales R., Sánchez-Herrera L. M. y López-Nahuatt, G. 2019. Mango (*Mangifera indica* L.) pulping byproducts: Antioxidant activity and bioactive compounds of three mango cultivars. *Revista bio ciencias*. 6. e560.
- Swain, T. y Hillis, W.E. 1959. The phenolics constituents of *Prunus domestica* I. The quantitative analysis of phenolics constituents. *Journal of Science of Food and Agriculture*. 10:63-68.
- Tallapally M. Sadiq A. S., Mehtab V., Chilakala S., Vemula M., Chenna S. y Upadhyayula V. 2020. GC-MS based targeted metabolomics approach for studying the variations of phenolic metabolites in artificially ripened banana fruits. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*. 130 (24): 1-17.
- USDA. 2022. Data by commodity – Import and exports: Mangoes. Washington, EUA. Economic Research Service. Recuperado de: https://data.ers.usda.gov/reports.aspx?programArea=fruit&top=5&HardCopy=True&RowsPerPage=25&groupName=Noncitrus&commodityName=Mangoes&ID=17851#Paf0766383d3d4bb19a289ce1d5e896f2_5_292
- Varahonda. 2022. Mango Keitt (*Mangifera indica* L.). Bella, Colombia. Productora y Comercializadora Agrícola Varahonda S.A. Recuperado de: http://www.varahonda.com/mango_keitt.php#:~:text=Familia%3A%20Mangifera%20indica%20L.,Origen%3A%20Noroeste%20de%20la%20India.
- Wills R., Warton M. A., Mussa D. M. D. N. y Chew L. P. 2001. Ripening of climacteric fruits initiated at low ethylene levels. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 41, 89-92.
- Wills, R., McGlasson B., Graham D. y Daryl J. 1998. Postharvest: an introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals. CAB International, Nueva York. 262.
- Zamora-Cienfuegos. E., García H. S., Mata Montes-de Oca M. y Tovar-Gómez B. 2004. Aceleración en la maduración de mango Kent refrigerado. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 27 (4). 359-366.