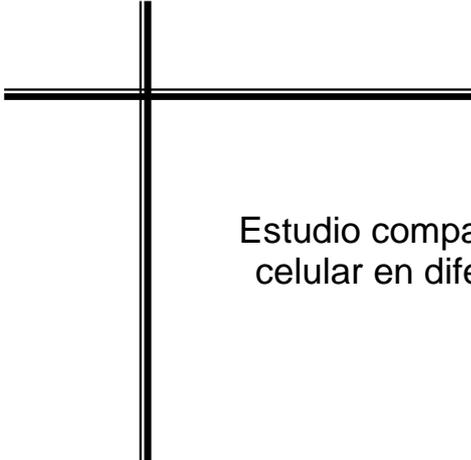




**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN**



Estudio comparativo de enzimas que degradan la pared celular en diferentes variedades de mango durante su maduración

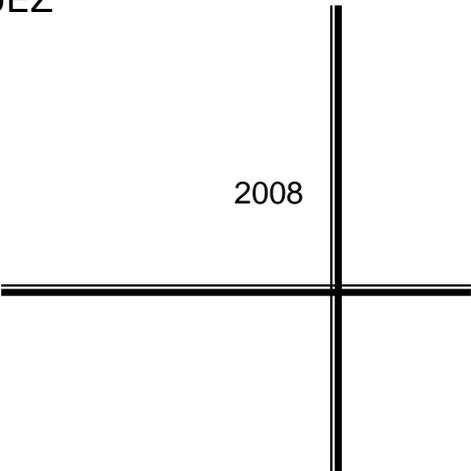
**T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERA EN ALIMENTOS
P R E S E N T A:
LIRA VARGAS ALMA ADELA**

ASESOR DE TESIS:

DRA. MA. ANDREA TREJO MÁRQUEZ

CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO A

2008





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

La asesoría técnica estuvo a cargo de la **M.C. Norma Angelica Camacho de la Rosa** agradeciendo su valiosa cooperación y consejos ya que fueron parte fundamental para la culminación de este trabajo.

Esa tesis se realizó bajo el apoyo financiero del proyecto PAPIIT, clave: IN217807-3 con el nombre: "*La microbiota del mango, componente importante para mantener la inocuidad del fruto*".

*Dedico esta tesis con mucho cariño, respeto, admiración y gratitud a mi madre **Cecilia Vargas** por haberme y seguir dándome su amor, comprensión, apoyo, confianza, cuidados, consejos e infinidad de valores para poder lograr esta meta tanto mía como de ella. Le agradezco el haberme brindado la vida y todo lo que me ha enseñado de ella, le agradezco por ser mi amiga, por que ha caminado junto a mí en muchas situaciones adversas y principalmente por ser mi madre.*

AGRADECIMIENTOS

A la Vida por otorgarme la oportunidad de tener y ser lo que soy y por cumplir una meta más del camino.

A la Dra. Andrea por ser mi asesora, por ser amiga, por abrirme las puertas de su laboratorio, por ser un ejemplo a seguir, por creer en mí y brindarme su apoyo y confianza, por compartir muchas pláticas de su vida personal, por todas las tardes de comida en el laboratorio, por ser mi profesora, por su paciencia y por la oportunidad de trabajar con ella.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por haberme brindado todos y cada uno de los conocimientos para mi formación profesional, por darme la oportunidad de conocer a cada uno de mis profesores a los cuales también les agradezco.

Al apoyo financiero del proyecto PAPIIT, clave: IN217807-3 con el nombre: "La microbiota del mango, componente importante para mantener la inocuidad del fruto".

A mis sinodales (Patricia Miranda, Dora Luz Villagómez, Miriam Álvarez y Araceli Ulloa) por haberme regalado un poco de su tiempo para leer, revisar y darme un consejo para la mejoría de este trabajo.

A Norma Angélica por ser para mí más que una asistente técnica, por brindarme su amistad y darme consejos, por escuchar muchas de mis tonterías, por mostrar ese esfuerzo y dedicación durante la realización de este trabajo para que saliera lo mejor posible, por su trabajo en el laboratorio.

A mis hermanos Cecilia y Adrian por estar conmigo en las buenas y malas, por soportarme, por quererme y sentir que siempre puedo contar con ellos.

A Ernesto por estar con mi madre y ser su apoyo y el mío a pesar de tener muchas diferencias.

A toda mi familia por confiar en mí, por apoyarme y darme ánimos de terminar una meta más.

A mi abuelita Ma. de Jesus y a sus hijas Claudia y Edith por apoyarme en muchas ocasiones de mi vida, por todos los consejos, por estar conmigo en muchos de mis tropiezos, por quererme y permitirme ser una más de su familia.

A Ariadna, Gabys, Selene, Deycy y Esther por brindarme su amistad durante la carrera y después de ella, por sus consejos, por todos los momentos que pasamos juntas, por su apoyo, por tolerarme y por ser quien son.

A todos los del laboratorio de postcosecha: Lupita Pérez, Rocío, Cesar, Maricela, Edna, Hugo, Elizabeth, Lupita PPO, Zaira, Ivonne, Adriana, Isaac, Carlitos, Jessica "Galletas", Anabel, Carmen, Karen, Carlotes, por su amistad, por su apoyo durante toda mi estancia en el laboratorio, por aprender de cada uno y por dejarme compartir este logro con ustedes.

Ni tlakatl tlen nochi ueli
uan nochi kimati
axkemaj asikii
Pampa tonaya itskok
tonaya nemi;
penaya tla chia,
nojia kochtok.

Ese hombre que todo lo puede
y que todo lo sabe,
nunca llegará;
porque vive en nosotros
se encuentra en nosotros,
camina con nosotros,
empieza a querer despertar,
pero aún duerme.

Natalio Hernandez

ÍNDICE GENERAL

Página

RESUMEN

1.- INTRODUCCIÓN

2.- ANTECEDENTE

2.1. Generalidades del mango	9
2.1.1. Clasificación botánica	9
2.1.2. Variedades	10
2.1.3. Producción nacional	15
2.1.4. Composición química y valor nutricional	16
2.1.5. Cambios fisiológicos y bioquímicos durante la maduración	17
2.1.5.1. Respiración y producción de etileno	19
2.1.5.2. Componentes relacionados con el aroma	21
2.1.5.3. Componentes relacionados con el color	22
2.1.5.4. Componentes relacionados con el sabor	23
2.1.5.5. Componentes relacionados con la textura	25
2.2. Pared celular vegetal	26
2.2.1. Estructura y composición de la pared celular vegetal	26
2.2.1.1. Lámina media	27
2.2.1.2. Pared primaria	32
2.2.1.3. Pared secundaria	33
2.2.2. Enzimas que participan en la degradación de la pared celular vegetal	33
2.2.2.1. Enzimas pectinolíticas	35
Pectinesterasa (PE)	35
Exo-poligalactoronasa (Exo-PG)	37
Pectatoliasa (PEL)	38
2.2.2.2. Celulasa (CEL)	39

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general	45
3.2. Objetivos particulares	45

4.- MATERIAL Y MÉTODOS

4.1. Secuencia metodológica	46
4.2. Material biológico	47
4.3. Tratamiento de la muestra	47
4.4. Determinación de parámetros fisiológicos y de calidad	47
4.5. Determinación de parámetros químicos	48
4.6. Determinación de enzimas relacionadas con la degradación de la pared celular	48
4.7. Relación de actividades enzimáticas con parámetros químicos y de calidad	48
4.8. Técnicas analíticas	49



4.8.1. Parámetro fisiológico	49
4.8.1.1. Determinación de la Respiración	49
4.8.2. Parámetros de calidad	49
4.8.2.1. Determinación de Color	49
4.8.2.2. Determinación de Pérdida de Peso	50
4.8.2.3. Determinación de Firmeza	50
4.8.2.4. Determinación de Sólidos Solubles	51
4.8.2.5. Determinación de pH	51
4.8.2.6. Determinación de Acidez	52
4.8.3. Parámetros químicos	52
4.8.3.1. Determinación de humedad	52
4.8.3.2. Determinación de contenido de carbohidratos	52
4.8.3.3. Determinación de proteína	53
4.8.3.4. Determinación de fibra cruda	53
4.8.3.5. Determinación de pectina	53
4.8.4. Ensayo de actividades enzimáticas	54
4.8.4.1. Obtención de extractos crudos	54
4.8.4.2. Ensayo de enzimas pectinolíticas	54
Pectinesterasa (PE)	54
Exo-Poligalacturonasa (Exo-PG)	54
Pectatoliasa (PEL)	55
4.8.4.3. Ensayo de Celulasa (CEL)	55
4.9. Análisis estadísticos	56
5.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
5.1. <i>Evaluación de las características físicas de diferentes variedades de mango ('Manila', 'Ataulfo', 'Tommy Atkins', 'Keitt' y 'Haden')</i>	58
5.2. <i>Evaluación de parámetros fisiológicos, químicos y de calidad de diferentes variedades de mango</i>	59
5.2.1. Parámetro fisiológico	60
5.2.2. Parámetros de calidad	63
5.2.3. Parámetros químicos	78
5.3. <i>Evaluación de enzimas relacionadas con la degradación de la pared celular en diferentes variedades de mango durante su maduración</i>	87
5.4. <i>Correlación de enzimas relacionadas con la degradación de la pared celular con parámetros químicos y de calidad</i>	102
6. CONCLUSIONES	107
7. RECOMENDACIONES	110
8. REFERENCIAS	112
9. ABREVIATURAS	128



ÍNDICE DE FIGURAS

NOMBRE DE LA FIGURA	Página
Figura 1. Fruto de mango.	9
Figura 2. Diferentes variedades de mango.	10
Figura 3. Diferentes variedades de mango que se cultivan en México.	11
Figura 4. Principales variedades de mango cultivadas en México en el año 2007.	11
Figura 5. Distribución de la producción nacional de mango en el año 2007.	15
Figura 6. Principales cambios durante la maduración de frutos.	17
Figura 7. Tasa respiratoria de un fruto climatérico y uno no climatérico durante el desarrollo, maduración y senescencia.	20
Figura 8. Estructura de la pared celular vegetal.	26
Figura 9. Estructura de la fase amorfa de la pared celular vegetal.	27
Figura 10. Estructura de la pectina.	28
Figura 11. Estructura normal del homogalacturonano encontrado en las regiones lisas de la pectina. El número de restos metilados y/o acetilados dependen de la fuente de la cual se obtuvo la pectina.	28
Figura 12. Estructura esquemática del esqueleto de ramnogalacturonano. R1 puede ser H ó grupos acetilo (-CO-CH ₃). R2 puede ser H ó una serie de cadenas de composición y tamaño variable dependiendo de la fuente de la pectina.	29
Figura 13. Estructura de monosacáridos, componentes de la hemicelulosa.	29
Figura 14. Estructura de la lignina.	31
Figura 15. Estructura de la fase fibrilar de la pared celular vegetal.	32
Figura 16. Estructura de la celulosa.	33
Figura 17. Modo de acción de enzimas pecticas sobre sustrato.	35
Figura 18. Fragmento de molécula de pectina y puntos de ataque de enzimas pecticas.	36
Figura 19. Hidrólisis en el enlace metiléster de la pectina para dar ácido péctico y metanol.	37
Figura 20. Hidrólisis de enlace glucosídico α -1,4 entre unidades de anhidrogalacturónico.	38
Figura 21. Reacción de β -eliminación.	39



	Página
Figura 22. Mecanismo hidrolítico de la celulosa.	40
Figura 23. Tratamiento de material de estudio.	47
Figura 24. Analizador de gas.	49
Figura 25. Colorímetro MINOLTA.	50
Figura 26. Balanza semianalítica.	50
Figura 27. Penetrómetro.	51
Figura 28. Refractómetro de mano.	51
Figura 29. pH-metro manual digital.	51
Figura 30. Titulación directa para determinación de acidez en mango.	52
Figura 31. Espectrofotómetro.	53
Figura 32. Cambios en la tasa de respiración de diferentes variedades de mango durante su almacenamiento a 20°C y 95% de HR.	61
Figura 33. Luminosidad de diferentes variedades de mangos almacenados a 20°C, en diferentes estadios de maduración. E ₁ (pre-climaterio), E ₂ (inicio del climaterio), E ₃ (máximo climaterio y E ₄ (post-climaterio).	65
Figura 34. Tono de diferentes variedades de mangos almacenados a 20°C, en diferentes estadios de maduración. E ₁ (pre-climaterio), E ₂ (inicio del climaterio), E ₃ (máximo climaterio y E ₄ (post-climaterio).	66
Figura 35. Diferentes variedades de mangos: a) ‘Manila’, b) ‘Ataulfo’, c) ‘Tommy A.’, d) ‘Keitt’ y e) ‘Haden’; almacenados a 20°C en diferentes estadios de maduración. E ₁ (pre-climaterio) y E ₄ (post-climaterio).	67
Figura 36. Porcentaje de pérdida de peso de diferentes variedades de mango durante su almacenamiento a 20°C y 95% de HR.	69
Figura 37. Firmeza de diferentes variedades de mangos almacenados a 20°C, en diferentes estadios de maduración. E ₁ (pre-climaterio), E ₂ (inicio del climaterio), E ₃ (máximo climaterio y E ₄ (post-climaterio).	71
Figura 38. Sólidos solubles de diferentes variedades de mangos almacenados a 20°C, en diferentes estadios de maduración. E ₁ (pre-climaterio), E ₂ (inicio del climaterio), E ₃ (máximo climaterio y E ₄ (post-climaterio).	73
Figura 39. Cambios en el pH de diferentes variedades de mangos almacenados a 20°C, en diferentes estadios de maduración. E ₁ (pre-climaterio), E ₂ (inicio del climaterio), E ₃ (máximo climaterio y E ₄ (post-climaterio).	75



Figura 40. Cambios en la acidez de diferentes variedades de mangos almacenados a 20°C, en diferentes estadios de maduración. E ₁ (pre-climaterio), E ₂ (inicio del climaterio), E ₃ (máximo climaterio y E ₄ (post-climaterio).	77
Figura 41. Actividad de Pectinesterasa (PE) en pulpa de mango de diferentes variedades almacenados a 20°C, en diferentes estadios de maduración. E ₁ (pre-climaterio), E ₂ (inicio del climaterio), E ₃ (máximo climaterio y E ₄ (post-climaterio).	88
Figura 42. Actividad de Pectinesterasa (PE) en piel de mango de diferentes variedades almacenados a 20°C, en diferentes estadios de maduración. E ₁ (pre-climaterio), E ₂ (inicio del climaterio), E ₃ (máximo climaterio y E ₄ (post-climaterio).	90
Figura 43. Actividad Exo-PG en pulpa de mango de diferentes variedades almacenados a 20°C, en diferentes estadios de maduración. E ₁ (pre-climaterio), E ₂ (inicio del climaterio), E ₃ (máximo climaterio y E ₄ (post-climaterio).	92
Figura 44. Actividad Exo-PG en piel de mango de diferentes variedades almacenados a 20°C, en diferentes estadios de maduración. E ₁ (pre-climaterio), E ₂ (inicio del climaterio), E ₃ (máximo climaterio y E ₄ (post-climaterio).	94
Figura 45. Actividad de PEL en pulpa de mango de diferentes variedades almacenados a 20°C, en diferentes estadios de maduración. E ₁ (pre-climaterio), E ₂ (inicio del climaterio), E ₃ (máximo climaterio y E ₄ (post-climaterio).	96
Figura 46. Actividad de PEL en piel de mango de diferentes variedades almacenados a 20°C, en diferentes estadios de maduración. E ₁ (pre-climaterio), E ₂ (inicio del climaterio), E ₃ (máximo climaterio y E ₄ (post-climaterio).	98
Figura 47. Actividad celulolítica en pulpa de mango de diferentes variedades, almacenados a 20°C, en diferentes estadios de maduración. E ₁ (pre-climaterio), E ₂ (inicio del climaterio), E ₃ (máximo climaterio y E ₄ (post-climaterio).	100
Figura 48. Actividad celulolítica en piel de mango de diferentes variedades almacenados a 20°C, en diferentes estadios de maduración. E ₁ (pre-climaterio), E ₂ (inicio del climaterio), E ₃ (máximo climaterio y E ₄ (post-climaterio).	101



ÍNDICE DE TABLAS

NOMBRE DE LA TABLA	Página
Tabla 1. Características principales de las variedades de mango cultivadas en México.	12
Tabla 2. Composición química y nutricional el mango.	16
Tabla 3. Reacciones asociadas con el proceso de maduración.	18
Tabla 4. Cambios en algunos de los principales componentes químicos durante la maduración de mango.	19
Tabla 5. Cambios en las actividades enzimáticas durante la maduración de mango.	34
Tabla 6. Enzimas responsables de la degradación de la pared celular vegetal en frutos.	41
Tabla 7. Caracterización física de diferentes variedades de mango.	58
Tabla 8. Humedad (g/100g PF) de diferentes variedades de mangos almacenados a 20°C, en diferentes estadios de maduración.	79
Tabla 9. Azúcares totales (g/100g PF) de diferentes variedades de mangos almacenados a 20°C, en diferentes estadios de maduración.	80
Tabla 10. Proteína (g/100g PF) en pulpa de mango de diferentes variedades almacenados a 20°C, en diferentes estadios de maduración. E ₁ (pre-climaterio), E ₂ (inicio del climaterio), E ₃ (máximo climaterio) y E ₄ (post-climaterio).	81
Tabla 11. Proteína (g/100g PF) en piel de mango de diferentes variedades almacenados a 20°C, en diferentes estadios de maduración.	82
Tabla 12. Fibra (g/100g PF) en pulpa de mango de diferentes variedades almacenados a 20°C, en diferentes estadios de maduración.	83
Tabla 13. Fibra (g/100g PF) en piel de mango de diferentes variedades almacenados a 20°C, en diferentes estadios de maduración.	84
Tabla 14. Pectina (g/100g PF) en pulpa de mango de diferentes variedades almacenados a 20°C, en diferentes estadios de maduración.	85
Tabla 15. Pectina (g/100g PF) en piel de mango de diferentes variedades almacenados a 20°C, en diferentes estadios de maduración.	86
Tabla 16. Correlaciones entre firmeza y actividades enzimáticas en los tejidos de diferentes variedades de mango.	103
Tabla 17. Correlaciones entre carbohidratos y actividades enzimáticas en los tejidos de diferentes variedades de mango.	105





RESUMEN





El presente trabajo tiene como objetivo estudiar a las enzimas relacionadas con la degradación de la pared celular como: pectinesterasa (PE), exo-poligalacturonasa (Exo-PG), pectatoliasa (PEL) y celulasas (CEL) en diferentes variedades de mango de mayor comercialización en México ('Manila', 'Ataulfo', 'Haden', 'Tommy Atkins' y 'Keitt') durante su maduración para establecer efecto en la calidad y vida en postcosecha.

Se establecieron diferencias entre las cinco variedades ('Manila', 'Ataulfo', 'Tommy Atkins', 'Keitt' y 'Haden') determinándose las características, físicas (peso, diámetro ecuatorial y polar), fisiológicas (respiración), de calidad (color, pérdida de peso, firmeza, sólidos solubles, pH y acidez) y químicos (humedad, carbohidratos totales, fibra, proteína y pectina) a las diferentes variedades de mango. Estas características fueron evaluadas en diferente estado de madurez del fruto ((E₁ (pre-climaterio), E₂ (inicio del climaterio), E₃ (máximo climaterio) y E₄ (post-climaterio)) a temperatura de almacenamiento de 20°C y 95% de H.R.

El color de la piel y de la pulpa representó un importante criterio de selección postcosecha. La firmeza y acidez disminuyeron, mientras que la pérdida de peso, los sólidos solubles totales y el pH aumentaron en los mangos de todas las variedades conforme avanzó la maduración. La pérdida de firmeza del estadio E₁ al E₄ fue de 69, 61, 58, 38 y 22% para los mangos 'Tommy A.', 'Haden', 'Ataulfo', 'Keitt' y 'Manila', respectivamente.

Los principales componentes químicos del mango para las cinco variedades estudiadas en sus diferentes estadios de madurez reportaron que la humedad disminuyó, los carbohidratos totales y la proteína aumentaron y el contenido de fibra y pectina no presentaron una tendencia definida para todas las variedades.

Se determinaron las actividades enzimáticas relacionadas con la degradación de la pared celular vegetal como la Pectinesterasa (PE), Exo-Poligalacturonasa (Exo-PG), Pectatoliasa (PEL) y Celulasa (CEL), las cuales presentaron un comportamiento de acuerdo al tipo de variedad, estado de madurez y tejido evaluado. La máxima actividad de PE en la pulpa fue presentada por la variedad 'Ataulfo' en el pre-climaterio (E₁) con un valor de 2.97 U/mg de prot.*h y para la piel la presentó la variedad 'Keitt' en el pre-climaterio (E₁) con una valor de 0.13 U/mg de prot.*h. La máxima actividad de Exo-PG la presentaron los mangos 'Tommy A.' en E₄ (post-climaterio) con una valor de 1.19 U/mg de prot.*h para la pulpa y 0.32 U/mg de prot.*h, para la





piel. La actividad PEL mostró su máxima actividad en mangos ‘Tommy A.’, en la pulpa en el post-climaterio (E₄) con un valor de 2.44 U/mg de prot.*h y en la piel en el pre-climaterio (E₁) con un valor de 0.85 U/mg de prot.*h. La actividad CEL mostró su máxima actividad en el máximo climaterio (E₃) para mangos ‘Haden’ con un valor de 5.8 U/mg de prot.*h. para pulpa y de 1.1 U/mg de prot.*h para piel.

Se establecieron las posibles relaciones entre las actividades enzimáticas estudiadas con parámetros químicos y de calidad, para dilucidar la posible influencia de estas en el ablandamiento de los mangos y se obtuvo que no todas las variedades en sus dos tejidos se relacionaron con la firmeza o con los carbohidratos. La actividad de PE fue la que mayores correlaciones presentó con respecto a los parámetros químicos y de calidad, mientras que la PEL, la CEL y por último la Exo-PG mostraron menores correlaciones, de lo que se puede concluir que estas correlaciones obtenidas no son firme evidencia para sugerir ó afirmar que estas enzimas están involucradas con el ablandamiento de frutos.





INTRODUCCIÓN





1. INTRODUCCIÓN

El mango (*Mangifera indica L.*) es un fruto climatérico considerado como uno de los frutos preferido, a causa de su atractivo color, apariencia, delicioso sabor, agradable fragancia y excelentes propiedades nutricionales, que lo hacen ser un producto ampliamente consumido, generalmente de manera fresca (Mitra y Baldwin, 1997).

México es el mayor productor de mango de América con 1 701 447 MT y quinto del mundo, donde la producción nacional se concentra en los estados de Guerrero, Sinaloa, Veracruz, Nayarit y Chiapas. Las principales variedades cultivadas en México son: 'Ataulfo', 'Haden', 'Irwin', 'Keitt', 'Kent', 'Manila', 'Palmer', 'Sensation', 'Tommy Atkins' y 'Van Dyke' (SIAP/SAGARPA, 2007).

La composición química del mango depende en gran medida de la variedad y el grado de maduración. Los principales componentes químicos del mango son: carbohidratos, ácidos orgánicos, proteínas, pigmentos, sustancias pécticas, polifenoles, vitaminas, ácidos grasos y componentes volátiles. Es considerada como una fruta altamente saludable por su alto contenido de vitamina A y C, minerales, fibras y anti-oxidantes; bajos en calorías, grasas y sodio (Tucker, 1987).

En el proceso de maduración del mango se presentan cambios físicos, fisicoquímicos, fisiológicos y químicos que se manifiestan por los cambios en: la respiración, producción de etileno, color, adquisición de un sabor particular, desarrollo de un aroma característico y la modificación de la firmeza que conduce a un ablandamiento de frutos. Estos cambios ocurren dependiendo de la variedad y el estado de madurez a la cosecha, en un lapso de 7 a 13 días a temperatura ambiente.

Entre las muchas características que contribuyen a la calidad del mango, la apariencia y la firmeza suelen ser dos de los atributos más importantes. La firmeza es una característica compuesta, que es el resultado de una combinación de varios factores, como la turgencia hídrica y los componentes estructurales de los tejidos y células. Es una importante característica de





calidad postcosecha que puede ser utilizada como un índice de maduración (Badui, 1999; Shaw *et al.*, 1998).

La progresiva pérdida de firmeza en los mangos es consecuencia de la maduración normal, desde el pre-climaterio hasta el post-climaterio, se debe a los cambios en la pared celular en polisacáridos como el almidón, pectinas, celulosa y hemicelulosas debido a acciones enzimáticas. También a cambios en la permeabilidad de la membrana y la cantidad de espacios intercelulares. El principal fenómeno relacionado con el ablandamiento es la solubilización progresiva y despolimerización de las sustancias pécticas de la pared celular. Las pectinas solubles son modificadas y despolimerizadas bajo la acción de algunas enzimas pectinolíticas como: pectinesterasas (PE), pectatoliasas (PEL), poligalacturonasas (PG), entre otras (Shaw *et al.*, 1998).

Una disolución aparente de la laminilla media y fibrilla de la pared celular es debido a la actividad celulolítica durante la maduración de frutos (Hulme, 1970; Díaz 2002). La celulasa puede también estar asociada con el ablandamiento de los frutos debido a que se incrementa dramáticamente con la maduración.

En diversos trabajos se ha reportado la actividad de las diferentes enzimas que degradan la pared celular y que están relacionadas con el ablandamiento de frutos en mango. La actividad PE ha sido ampliamente estudiada en mangos de Pakistan (Mattoo y Modi, 1969; Ashraf *et al.*, 1981; Abu-Sarra y Abu-Goukh, 1992). Además la PG y la CEL se han identificado en mangos de variedad no mencionada (Abu-Sarra y Abu-Goukh, 1992; Prasanna *et al.*, 2003; Prasanna *et al.*, 2006). En diversas investigaciones se han estudiado las tres enzimas antes mencionadas en un mismo trabajo para la fruta de mango en las variedades 'Keitt', 'Manila' y 'Africanos' (Roe y Bruemer, 1981; Aina y Oladunjoye, 1993; Sobac *et al.*, 1997 y Ketsa *et al.*, 1998). La actividad PEL no se ha estudiado en mango pero se ha encontrado en pulpa de plátano (Medina *et al.*, 1997; Dominguez *et al.*, 1997; Pua *et al.*, 2001; Marin, 2001 y Marin *et al.*, 2002).

Las pérdidas postcosecha en México se calculan en un rango de 25-45 %, y pueden ser atribuidas a cuatro factores principalmente: ataque de plagas (mosca de la fruta), infecciones (antracnosis), desórdenes fisiológicos (daño por frío) y daño mecánico (mal manejo desde la cosecha hasta que llega al consumidor) (Aguirre y Fernández, 1999). Sin embargo, otro motivo por el que

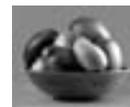




actualmente hay pérdidas postcosecha, se puede deber a la misma maduración y/o aplicación de tratamientos postcosecha que pueden provocar pérdida de firmeza o ablandamiento de los tejidos que inicia en el tejido del mesocarpio cercano a la semilla, y se difunde hacia los tejidos exteriores del mesocarpio (Hulme, 1970).

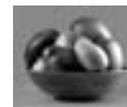
Debido a este problema postcosecha, en el presente trabajo se pretende conocer y caracterizar el perfil de las enzimas que degradan la pared celular como: pectinesterasa, exo-poligalacturonasa, pectatoliasa y celulasas en las variedades de mango de mayor comercialización en nuestro país como son: 'Manila', 'Ataulfo', 'Haden', 'Tommy Atkins' y 'Keitt'; ya que la información disponible con relación a la pared celular y el proceso de pérdida de firmeza de los tejidos del mango durante la maduración es muy poca, además que hay variaciones dependiendo de cada cultivo. Este trabajo pretende contribuir al estudio y caracterización de las enzimas involucradas con la degradación de la pared celular para que sirva de base para el desarrollo e implementación de tratamientos postcosecha que no afecten la firmeza de los frutos.





ANTECEDENTES





2. ANTECEDENTES

2.1. GENERALIDADES DEL MANGO

El mango (*Mangifera indica*, L.) es considerado como uno de los frutos preferido a nivel mundial, a causa de su atractivo color, delicioso sabor, agradable fragancia y excelentes propiedades nutricionales que lo hacen ser un producto ampliamente consumido (Figura 1) (Salunkhe y Desai, 1984; Mitra y Baldwin, 1997).



Figura 1. Fruto de mango.
Fuente: Cornell University (2002).

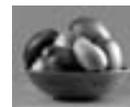
2.1.1. CLASIFICACIÓN BOTÁNICA.

El mango es un fruto climatérico que pertenece a la posición taxonómica siguiente:

Nombre científico:	<i>Mangifera indica</i> Linnaeus
División:	<i>Phanerogamae</i>
Subdivisión:	<i>Angiospermae</i>
Clase:	<i>Dicotyledonae</i>
Subclase:	<i>Rosidae</i>
Orden:	<i>Sapindales</i>
Suborden:	<i>Anacardiineae</i>
Familia:	<i>Anacardiaceae</i>
Género:	<i>Mangifera</i>
Especie:	<i>indica</i>

Fuente: Shaw *et al.* (1998); Galán-Sauco (1999).





2.1.2. VARIEDADES.

Los cultivares en el mundo se clasifican en dos grupos (Morton, 1987; DIR's Hortinfo, 2000; Cornell University, 2002):

- a) **Monoembriónicos** (originarios de la India). La semilla tiene un solo embrión, que contiene los genes de ambos padres y produce un solo semillero. Son altamente coloreados, susceptibles a deterioro interno y tiene un carácter resinoso.
- b) **Poliembriónicos** (originarios de Indochina y Filipinas). Embriones, muchos semilleros que son genéticamente idénticos al árbol, la semilla tiene varias madre. Los frutos carecen de coloración atractiva.

Otra forma de clasificar a los mangos es de acuerdo a su forma (Cruz y Pérez 1998):

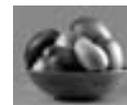
- a) **Índicos:** Formas tortuosas.
- b) **Híbridos:** Americanos, frutos alargada.
- c) **Antillanos:** Forma redonda.
- d) **Indochinos:** Forma alargada levemente tortuosas.

Existen centenares de variedades de mango cultivadas alrededor del mundo, pero solamente algunas de ellas son cultivadas a escala comercial (**Figura 2**) (Shaw *et al.*, 1999).



Figura 2. Diferentes variedades de mango
Fuente: Fairchild Tropical Botanic Garden (2007).





Variedades que se cultivan en México.

Las principales variedades cultivadas en México son (**Figura 3**) (SCFI, 2007):

Familia Indostano: ‘Haden’, ‘Irwin’, ‘Kent’, ‘Keitt’, ‘Palmer’, ‘Sensation’, ‘Tommy Atkins’, ‘Van Dyke’, entre otras.

Familia Mulgova: ‘Manila’, ‘Ataulfo’, ‘Diplomático’, ‘Panameño’ y otras del mismo fenotipo.



Figura 3. Diferentes variedades de mango que se cultivan en México.
Fuente: Jason’s Fruits International (2005).

Sin embargo, las que más se comercializan son: ‘Manila’, ‘Haden’, ‘Ataulfo’, ‘Tommy Atkins’, ‘Kent’, ‘Criollo’ y ‘Keitt’ cuyas características se describen en la **Tabla 1**, entre las cuales se concentró el 70% de la producción total en el 2007 (**Figura 4**) (SIAP/SAGARPA, 2007).

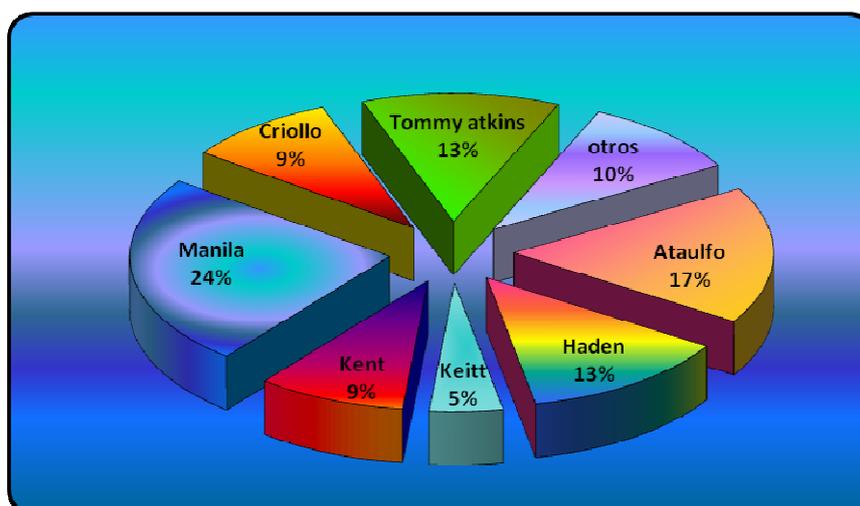


Figura 4. Principales variedades de mango cultivadas en México en el año 2007.
Fuente: SIAP/SAGARPA (2007).



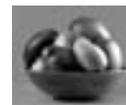


Tabla 1. Características principales de las variedades de mango cultivadas en México.

Variedad	Características	Estacionalidad	Principales estados productores	Otros comentarios
FAMILIA MULGOVA				
 ^a ‘Manila’	<p>Originario de México, forma alargada, plana y pequeño, de color verde-amarillo, con un peso de 180-300 g y de sabor dulce. Lenticelas pequeñas y verdosas. Pulpa con escasa fibra y de semilla pequeña. Calidad gustativa excepcional.</p>	Enero-Junio	Chiapas, Veracruz, Michoacán, Oaxaca, Guerrero, Colima y Sinaloa.	<p>Corta vida comercial.</p> <p>Sensibilidad a aborto de embrión alta.</p>
 ^b ‘Ataulfo’	<p>Forma alargada pequeño y plano, con color amarillo, piel gruesa, firme, resistente al manejo postcosecha. Lenticelas pequeñas y escasas. Pulpa firme y de muy poca fibra. Peso promedio de 150-350 g. Semilla pequeña. Calidad gustativa excepcional.</p>	Enero-Agosto	Chiapas, Michoacán, Guerrero y Nayarit.	<p>Larga vida comercial.</p> <p>Sensibilidad a aborto de embrión baja.</p>
FAMILIA INDOSTANO				
 ^c ‘Haden’	<p>Forma oval regular, grande, con un peso de 400-700 g, color amarillo con tonalidades rojas, de sabor ligero con muy poca fibra. Numerosas lenticelas blancas que le dan una apariencia muy atractiva. Semilla pequeña. Calidad gustativa buena.</p>	Febrero-Agosto	Michoacán, Jalisco, Guerrero, Colima, Nayarit y Sinaloa.	<p>Larga vida comercial.</p> <p>Sensibilidad al aborto de embrión alta.</p>
 ^d ‘Keitt’	<p>Es un fruto grande de forma oval redonda. Su piel es ligeramente gruesa, de color amarillo verdoso con tonos rojo claro y lavanda. Su pulpa es de color amarillo-naranja, firme, libre de fibra y de sabor muy dulce. Lenticelas numerosas, pequeñas. Peso entre 800-1,000 g. Semilla pequeña. Calidad gustativa buena.</p>	Abril-Septiembre	Nayarit, Jalisco, Colima y Sinaloa.	<p>Es la mejor de las variedades tardías.</p> <p>Sensibilidad a aborto de embrión baja.</p>





Tabla 1. Características principales de las variedades de mango cultivadas en México.
(Continuación)

Variedad	Características	Estacionalidad	Principales estados productores	Otros comentarios
 e 'Kent'	Se deriva del semillero Sandersha. Forma ovoide y grande, de 500 a 800 g de peso, su piel es de color amarillo grisáceo, hombros rojos y lenticelas pequeñas y amarillas. Su pulpa esta libre de fibra, es jugosa y rica en azúcares. Semilla pequeña. Calidad gustativa excelente.	Abril-Agosto	Michoacán, Nayarit, Jalisco, Sinaloa y Colima.	Larga vida comercial. Sensibilidad a aborto de embrión baja a media.
 f 'Palmer'	Fruto grande de forma ovalada. Su piel es ligeramente gruesa, de color amarillo-naranja con tonos rojos, lenticelas grandes y numerosas. Su pulpa es amarilla, firme, con una moderada presencia de fibra. Peso entre 700-900 g. Semilla mediana. Calidad gustativa aceptable.	Julio-Agosto y algunas veces Septiembre	Baja California Sur, Sinaloa.	Corta vida comercial. Sensibilidad a aborto de embrión media.
 g 'Sensation'	Desciende de "Edgehill", de forma oval, oblicua y punteagudo, de tamaño mediano-pequeño a mediano. Su piel es delgada, adherente, de color amarillo brillante a amarillo-naranja con tonos rojizos, y con lenticelas abundantes y pequeñas de color amarillo claro. Su pulpa presenta muy poca fibra, muy aromático, con un moderado sabor dulce. Peso entre 250-350 g. Semilla mediana. Calidad gustativa aceptable.	Agosto- Octubre	Guerrero.	Corta vida comercial. Sensibilidad a aborto de embrión variable según años.



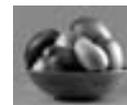


Tabla 1. Características principales de las variedades de mango cultivadas en México.
(Continuación)

Variedad	Características	Estacionalidad	Principales Estados productores	Otros comentarios
 h 'Tommy Atkins'	Desarrollado y cultivado para la exportación. Forma oval regular, de tamaño medio-grande. De 300-700 g de peso. Piel muy gruesa y resistente a daños mecánicos, de color naranja-rojo con tonos oscuros y púrpuras, con lenticelas amarillas verdosas. Su pulpa es jugosa, firme, con algo de fibra. Semilla pequeña. Calidad gustativa aceptable.	Febrero-Agosto	Michoacán, Oaxaca, Guerrero, Campeche, Colima, Jalisco, Nayarit y Veracruz.	Larga vida comercial. Sensibilidad a aborto de embrión baja.
 i 'Van Dyke'	Es un cultivar relativamente nuevo. Fruto de forma oblonga-oval, de tamaño pequeño. De 250-400 g de peso. Su piel es de color rojo-amarillo. Su pulpa contiene ligera presencia de fibra y una excelente calidad. Semilla mediana. Calidad gustativa buena.	Junio-Julio	Oaxaca y Sinaloa.	Sensibilidad a aborto de embrión baja.
 j 'Irwin'	Es grande de forma alargada ovoide. Descendiente "lippens", su piel es de color amarillo-naranja con tonos rojos oscuro, lenticelas pequeñas y blancas. Pulpa sin fibra. Peso entre 300-450 g. Semilla pequeña. Calidad gustativa muy buena.	Mayo-Julio	Nayarit, Guerrero y Michoacán.	Larga vida comercial. Sensibilidad a aborto de embrión media-alta.

Fuente: Samson (1986); Morton (1987); Galán-Sauco (1999); Aguirre y Fernández (1999); EMEX (2005); Páez (2005); Galán-Sauco (1990) y PROEXANT (1993). Figuras recopiladas de: ^a SIAP-SAGARPA (2007); ^{b,c,d,e,h} LFI (2007); ^fDave's Garden (2006); ^gDPIF Queensland Australia (2004) y ^{i,j}Jason's Fruits International (2005).





2.1.3. PRODUCCIÓN NACIONAL.

En México la producción de mango desde el punto de vista económico y social reviste una gran importancia, pues de esta actividad dependen aproximadamente 15 000 productores además nuestro país ocupa el primer lugar como productor de mango de América, con 1 701 447 MT de producción y quinto lugar del mundo, con una superficie cultivada de 182 569 hectáreas (SIAP/SAGARPA, 2007). El período de producción es de enero a octubre, alcanzando su nivel máximo en los meses de mayo a junio (Galán-Saúco, 1999). En enero se inicia la temporada de cosecha en Chiapas y en febrero se suman Guerrero, Oaxaca y Colima, entidades donde la época fuerte de producción se presenta a finales de junio. En estos estados se cultivan principalmente las variedades: 'Manila', 'Manililla', 'Criollo', 'Oro' y 'Ataulfo', de las cuales, a excepción de la 'Ataulfo', prácticamente toda la producción se comercializa en el mercado nacional. La oferta de mango proveniente de los estados de Veracruz, Sinaloa, Nayarit, Jalisco y Michoacán se inicia prácticamente a partir del mes de Mayo, extendiéndose su cosecha hasta Agosto y en Nayarit y Sinaloa hasta Septiembre (**Figura 5**). En estos cuatro estados se producen principalmente las variedades conocidas como "Petacones" ('Kent', 'Keitt', 'Tommy Atkins' y 'Haden'), que son las más aceptadas en el mercado internacional (Allende *et al.*, 2002; SIAP/SAGARPA, 2007; FAO, 2005).

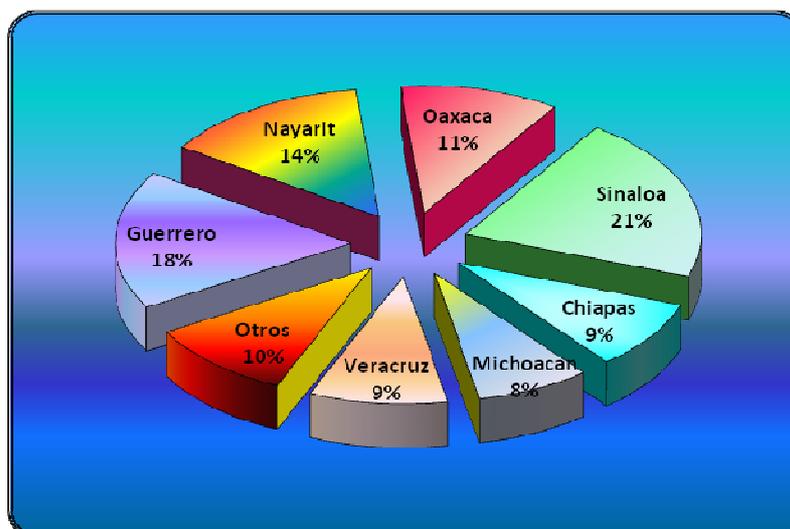
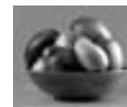


Figura 5. Distribución de la producción nacional de mango en el año 2007.

Fuente: SIAP/SAGARPA (2007).





La producción nacional se concentra en las zonas costeras de los estados ya mencionados que en conjunto, aportan el 89% de la producción nacional. La principales variedades cultivadas en el 2007, fueron: ‘Manila’, ‘Haden’, ‘Ataulfo’, ‘Tommy Atkins’, entre otras (SIAP/SAGARPA, 2007).

2.1.4. COMPOSICIÓN QUÍMICA Y VALOR NUTRITIVO.

La composición física y química del mango varía dependiendo de la variedad, condiciones climáticas y de cultivo, estado de maduración y condiciones de almacenamiento (Shaw *et al.*, 1998). Los principales componentes químicos del mango son carbohidratos, ácidos orgánicos, proteínas y aminoácidos, pigmentos, sustancias pécticas, polifenoles, vitaminas, ácidos grasos y componentes volátiles, con una aportación de 58 Kcal (Tabla 2) (CESNID, 2004).

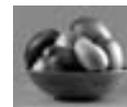
Tabla 2. Composición química y nutricional de mango.

Química (g/100 g)		Nutricional (mg / 100 g)	
Agua	83	Ácido ascórbico	44
Grasa	0.2	Riboflavina	0.05
Cenizas	0.32	Niacina	0.4
Proteína	0.6	Tiamina	0.03
Almidón	0.74	Calcio	20
Azúcar	13.1	Fósforo	22
		Hierro	1.2
		Sodio	2
		Potasio	150
		Caroteno (IU/ 100g)	5 169

Fuente: CESNID (2004).

Gracias a su valor nutritivo, el mango es un fruto que ayuda a la digestión, mejora la cicatrización, alivia los calambres y la acidosis, evita problemas cardiacos por su contenido de polifenoles y ácido gálico, ayuda a la visión, estimula el metabolismo, la memoria y la concentración (Gorinstein *et al.*, 1999; Soule y Harding, 1956).





2.1.5. CAMBIOS FISIOLÓGICOS Y BIOQUÍMICOS DURANTE LA MADURACIÓN DEL MANGO.

El proceso de maduración de los frutos se caracteriza por una secuencia de cambios físicos, químicos, bioquímicos y metabólicos que permiten al fruto alcanzar sus atributos sensoriales (forma, color, sabor, aroma, firmeza) característicos de la especie (Figura 6). Esta evolución es consecuencia de transformaciones bioquímicas que tienen lugar de forma simultánea (Gallegos y Hosnaya 1997; Lamúa, 2000 y Fennema, 2000).

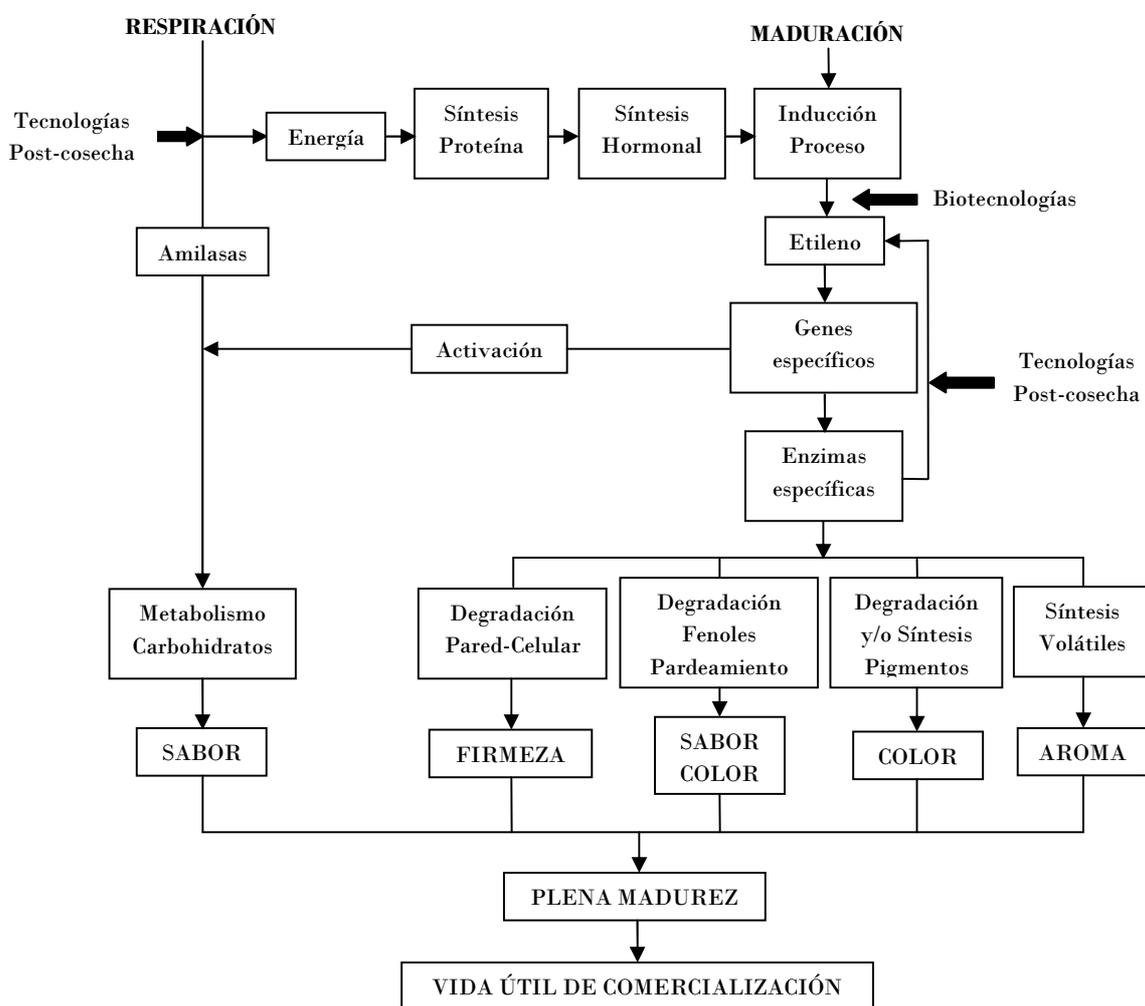
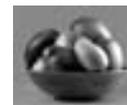


Figura 6. Principales cambios durante la maduración de frutos.

Fuente: Lamúa (2000).





El desarrollo del proceso de maduración depende de un delicado y complejo equilibrio entre hormonas inductoras (etileno y ácido abscísico) e inhibidoras (auxinas, citoquininas y giberelinas) que regulan los mecanismos bioquímicos (Lamúa, 2000).

Los mecanismos bioquímicos asociados a la maduración son altamente complejos y algunos no parecen depender de la síntesis auto catalítica de etileno. Debido a esta complejidad, se indican únicamente los procesos de mayor relevancia en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Reacciones asociadas al proceso de maduración.

Degradación	Síntesis
Dstrucción de cloroplastos	Mantenimiento de la estructura mitocondrial
Descomposición de clorofilas	Síntesis de carotenoides, antocianos
Hidrólisis de almidón	Interconversión de azúcares
Dstrucción de ácidos	Activación del Ciclo de Krebs
Oxidación de sustratos	Incremento de ATP
Compuestos fenólicos	Síntesis de aromas
Solubilización de Pectinas	Incorporación de aminoácidos
Activación de enzimas hidrolíticas	Aumento de transcripción y traducción de ARN-m
Iniciación de la rotura celular	Mantener selectividad de membranas
Degradación de pared celular	Formación de etileno.

Fuente: Lamúa (2000).

La maduración del mango implica grandes cambios en la fisiología y bioquímica de éste, como aumento en la respiración acompañado de una producción autocatalítica de etileno que provoca, cambios en el sabor, la textura, el aroma y valores nutricionales dando como resultado frutos de calidad aceptable (Ketsa *et al.*, 1999a).

En general los procesos metabólicos relacionados con el proceso de maduración involucran cambios degradativos y de biosíntesis. En la **Tabla 4**, se resumen algunos de los cambios que ocurren en los principales componentes químicos durante la maduración del mango.



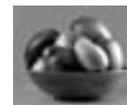


Tabla 4. Cambios en algunos de los principales componentes químicos durante la maduración del mango.

Componente	Inmaduro	Parcialmente maduro	Maduro
^a Almidón (%)	10.7	N.D.	0.43
^c Celulosa (%)	4.92	2.0	1.12
^e Pectina (%)	0.81	0.65	0.35
^b Azúcares Totales (%)	6.66	8.16	10.73
^b Sacarosa (%)	3.8	4.03	7.07
^b Glucosa (%)	1.03	0.41	0.39
^b Fructuosa (%)	1.83	2.97	3.27
^a Acidez (%)	2.71	1.4	0.41
^b Ácido málico (mEq/100g)	0.86	0.76	0.91
^b Ácido cítrico (mEq/100g)	5.51	6.52	0.44
^b Ácido ascórbico (mEq/100g)	1.97	1.25	1.22
^e Lípidos totales (%)	0.2-0.26	N.D.	0.6-0.8
^e Ácidos grasos (%)	0.096-0.14	N.D.	0.432-0.57
^d Carotenos (%)	0.04	0.15	0.31
^e Taninos (%)	11.38	8.64	6.56

N.D. = No determinado

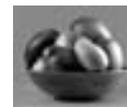
Fuente: Datos recopilados de: ^a Doreyappa y Huddar (2001); ^b Medlicott *et al.* (1985); ^c Selvaraj *et al.* (1989); ^d Ashraf *et al.* (1981); ^e Pantástico (1987).

2.1.5.1. Respiración y Producción de Etileno.

Respiración.

Los productos vegetales, después de la recolección, continúan sus procesos vitales a expensas de sus propias sustancias de reserva. El proceso fisiológico fundamental es la respiración, ya que permite sintetizar compuestos ricos en energía (ATP), esenciales para el desarrollo de los





mecanismos de síntesis en post-cosecha. La respiración y transpiración son procesos comunes a todos los productos vegetales (Lamúa, 2000).

La respiración es el principal factor biológico responsable del deterioro de los productos vegetales. Los frutos se dividen de acuerdo a su patrón respiratorio en climatéricos y no climatéricos lo que ha servido para estimular una investigación considerable para describir el control bioquímico del climaterio (Salunkhe y Desai, 1984; Flores, 2000).

En los frutos climatéricos, la producción de CO₂ es mínima durante la etapa de madurez fisiológica (preclimaterio), posteriormente empieza a aumentar (inicio del climaterio) hasta alcanzar su máximo (máximo climaterio) que generalmente coincide con la madurez de consumo, el descenso final de la respiración (postclimaterio) coincide con la fase de senescencia y muerte celular (Figura 7) (Lamúa, 2000).

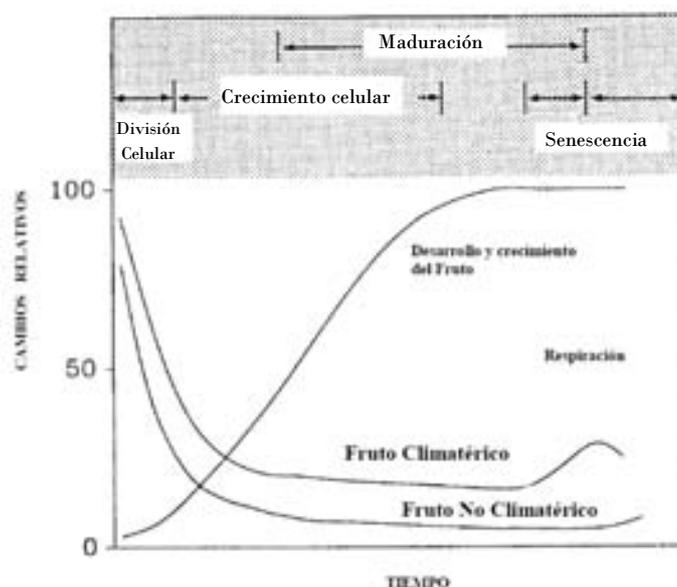
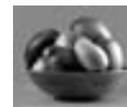


Figura 7. Tasa respiratoria de un fruto climatérico y uno no climatérico durante el desarrollo, maduración y senescencia.

Fuente: Manrique (2007).

El mango es un fruto climatérico y por lo tanto, se caracteriza por un aumento en la respiración a medida que madura y se presenta un máximo de ésta, que coincide con el comienzo de la maduración (Salunkhe y Desai, 1984; Gómez-Lim, 2000).



***Producción de etileno.***

Los principales mecanismos asociados a la maduración son dependientes de la síntesis de etileno como las siguientes reacciones: degradación de clorofilas por la clorofilasa, metabolismo de azúcares y ácidos orgánicos por la invertasa y la malato deshidrogenasa y degradación de la pared celular por las celulosas, poligalacturonasas, entre otras (Lamúa, 2000).

El etileno (C₂H₄) es una fitohormona naturalmente producida por las plantas. Juega un papel muy importante, afecta su crecimiento, desarrollo, maduración y senescencia, a concentraciones tan bajas como 0,01 ppm. En frutos climatéricos de madurez fisiológica, acelera la maduración, ya sea por su producción endógena o adicionado externamente (Flores, 2000; Hulme, 1970).

Se cree que todos los tejidos vegetales siguen una ruta biosintética común para producir etileno el proceso inicia con la conversión de metionina a S-adenosil metionina (SAM) por la acción de la enzima ACC (ácido-1-aminociclopropano-1-carboxílico) sintetasa. Finalmente actúa la enzima ACC oxidasa y se convierte en etileno (McMurchie *et al.*, 1972; Terai y Mizuno, 1985).

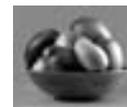
Las enzimas involucradas en la biosíntesis del etileno así como la producción de etileno disminuyen durante la maduración, mientras que el contenido de ACC, que es el precursor del etileno, aumenta en los diferentes tejidos (piel, mesocarpio exterior e interior) (Tucker, 1987).

El mango produce un pequeño pero notable pico de etileno al inicio del climaterio que es suficiente para iniciar la maduración y desarrollan características organolépticas, físicas, químicas y fisicoquímicas que determinan su calidad. Las semillas del mango también producen etileno durante la maduración (Gómez-Lim, 2000).

2.1.5.2. Componentes relacionados con el aroma.***Compuestos volátiles.***

Los compuestos volátiles más comúnmente sintetizados durante la maduración de frutos son los ésteres de alcoholes alifáticos y ácidos grasos de cadena corta. Los compuestos aromáticos son producidos durante la maduración normal del mango (Gómez-Lim, 2000; Ryugo, 1993).





El perfil de compuestos volátiles responsables del aroma en el mango es muy complejo, por lo que definir a un solo compuesto responsable del sabor y aroma es muy difícil, depende de la relación de contenido azúcares y ácidos, de la riqueza de taninos y la presencia de ésteres, alcoholes, aldehídos, cetonas, terpenos, etc. Los diferentes cultivares de mango pueden ser distinguidos en base a su aroma y sabor (Gómez-Lim, 2000).

2.1.5.3. Componentes relacionados con el color.

Pigmentos.

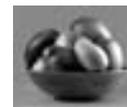
El término pigmento es utilizado para describir una molécula que absorbe luz y presenta un color (Hernández-Ríos *et al.*, 2000). Existe una gran cantidad de pigmentos relacionados con las frutas y vegetales, entre ellos las clorofilas, los carotenoides, las antocianinas, los flavonoides, los taninos, las betalainas, y otros (Badui, 1999).

El cambio más común es la pérdida de color verde, que se debe a la degradación de la estructura de la clorofila. La desaparición de la clorofila está asociada con la síntesis de pigmentos que van de amarillo a rojo y algunos de estos pigmentos son los carotenoides que son compuestos estables y permanecen intactos en el tejido aún cuando haya ocurrido senescencia extensiva (Hernández-Ríos *et al.*, 2000; Flores, 2000). Estos compuestos son solubles en grasas y se encuentran en los cloroplastos o cromoplastos, donde son sintetizados y acumulados (Ryugo, 1993).

Las antocianinas son los pigmentos que les imparten color rojo ó púrpura a las frutas y hortalizas. Estos compuestos son solubles en agua y se encuentran principalmente en la vacuola celular, producen colores fuertes que a menudo enmascaran los carotenoides y clorofila. Asociados con las clorofilas, existen también en los cloroplastos pigmentos amarillos que son las xantofilas (Hernández-Ríos *et al.*, 2000; Raisman y González, 2000; Flores, 2000).

En la maduración del mango la piel muestra un amplio rango y mezcla de colores del verde al verde-amarillo, rojo, violeta y amarillo, lo que depende de la variedad (Gómez-Lim, 2000).





Durante la maduración del mango, los carotenoides son los principalmente responsables del color, siendo el beta-caroteno el principal componente y constituye más de la mitad de los carotenoides en la mayoría de los cultivares de mango (Shaw *et al.*, 1998).

El desarrollo del color está asociado con una pérdida de la textura, incremento del contenido de azúcares, y disminución de la acidez. En las frutas, la coloración verde y amarilla es impartida por lípidos solubles en clorofila y carotenoides presentes en los plástidos, mientras que el color rojo puede ser por los carotenoides o por los antocianos solubles en agua que se encuentran en la vacuola (Medlicott *et al.*, 1986).

2.1.5.4. Componentes relacionados con el sabor.

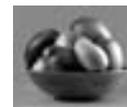
Carbohidratos.

Uno de los mayores cambios cuantitativos asociados a la maduración, son la hidrólisis del almidón con el consecuente incremento en la concentración de los azúcares totales, como glucosa, fructosa y sacarosa que constituyen la mayoría de los monosacáridos. Esto tiene doble efecto: alterar el sabor y textura del fruto, lo que hace que sea más dulce y por consiguiente más aceptable (Lizada, 1993). En mangos maduros, la glucosa, la fructosa y la sacarosa constituyen la mayoría de los monosacáridos y se encuentran distribuidos en concentraciones similares. La hidrólisis de los gránulos del almidón en el cloroplasto continúa hasta la maduración (Shashirekha y Patwardhan, 1976; Medlicott *et al.*, 1986; Selvaraj y Kumar, 1994; Shaw *et al.*, 1998).

Ácidos orgánicos.

En la mayoría de los frutos disminuye el contenido total de ácidos orgánicos durante y después del proceso de maduración, por lo que se produce un descenso de la acidez. Los ácidos orgánicos son sustratos respirables por lo que los cambios de estos están ligados de alguna manera con el funcionamiento de los ciclos respiratorios (Primo, 1998).





Durante la maduración de los mangos hay una considerable disminución de la acidez, cambiando el pH de 2.2 a 5.5. Se ha reportado que los contenidos de ácido cítrico, málico y ascórbico disminuyen en 10, 40 y 2.5 veces, respectivamente (Pantástico, 1987).

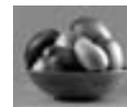
Compuestos fenólicos.

Los compuestos fenólicos también participan en el sabor del fruto: los ácidos fenólicos proporcionan acidez, los flavanos astringencia y las flavonas amargor. Los flavonoides, constituyen el grupo más amplio de los fenoles naturales. Son sustancias de origen vegetal y le dan los colores (rojos, azules, amarillo) a las flores y las hojas de otoño. Los derivados del ácido cinámico son compuestos importantes y están ampliamente distribuidos, forman parte de los fenoles más complejos. Los flavanos están ampliamente distribuidos y se localizan a altas concentraciones en las capas externas de los frutos, descendiendo su contenido con la maduración, los más comunes son la catequina y la epicatequina. Las flavonas son compuestos fenólicos que suelen provocar las sensaciones de astringencia y amargor en la sapidez del fruto inmaduro. El contenido en flavonas suele disminuir durante la maduración y esto provoca una mejora de la sapidez que es una característica normal del proceso de maduración (Pantástico, 1987; Hobson, 1993).

El contenido de polifenoles, puede cambiar durante la maduración del mango dependiendo del cultivar, es alto en la parte temprana del crecimiento (pre-climaterio), decrece durante el inicio de la maduración y esta asociada con la pérdida del contenido fenólico. La piel de la fruta tiene más alto contenido fenólico que la pulpa en todas las etapas del desarrollo (Mabry *et al.*, 1970; Lakshminarayana, 1980; Gómez-Lim, 2000; Hobson, 1993).

Otro tipo de polifenoles encontrados en el mango son los alkenilresorcinoles, los cuales han sido detectados en la piel y la pulpa, predominantemente, de frutos inmaduros y disminuyen en cantidad durante el proceso de la maduración. Estos compuestos parecen ser importantes en la resistencia contra patógenos fúngicos de frutos inmaduros (Lizada, 1993; Gómez-Lim, 2000).





2.1.5.5. Componentes relacionados con la textura.

Las células vegetales contienen una gran variedad de sustancias que están relacionadas con la textura. La firmeza en mango y en otras frutas se debe en parte a la presencia de sustancias pécticas. El ablandamiento de frutos durante su maduración es el resultado de la disrupción de la pared celular y sus cambios estructurales por la degradación de polisacáridos como las sustancias pécticas debido a la actividad de enzimas pécticas (Ashraf *et al.*, 1981; Lefever *et al.*, 2004).

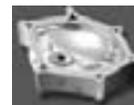
Sustancias Pécticas.

Las sustancias pécticas, son polímeros de ácido galacturónico, mantienen estrechamente unidas las paredes de las células contiguas y aseguran la firmeza de los tejidos. Estos compuestos son hidrolizados progresivamente durante la maduración formando una especie de gelatina cada vez más abundante. Las células se separan más o menos unas de otras por lo que el fruto se transforma en jugoso y acuoso (Primo, 1998).

La degradación de sustancias pécticas y hemicelulosas debilita la pared celular y las fuerzas cohesivas que mantienen las células unidas, acelerándose después de la maduración, el contenido de pectatos y pectinatos solubles aumenta, mientras que disminuye el contenido total de sustancias pécticas. En mango a medida que cambia la pectina, la firmeza de los frutos disminuye. En los estados iniciales del fruto (pre-climaterio), la textura se hace más palpable, pero al final la estructura de fruto se desintegra. La velocidad de degradación de las sustancias pécticas esta directamente correlacionada con la de ablandamiento del fruto (Forney y Breen, 1986; Pantástico *et al.*, 1987; Ali *et al.*, 1995; Flores, 2000).

Uno de los principales problemas en la postcosecha de frutos que tiene especial relevancia en el caso de frutos, es el ablandamiento (Salunkhe y Desai, 1984). Diversos factores influyen en este proceso, incluyendo la morfología y tamaño de la célula, la adhesión célula-célula, el contenido celular y la turgencia. No obstante, uno de los principales aspectos vinculados a la textura es la estructura de la pared celular y las modificaciones que ésta sufre durante la maduración o el almacenamiento (Carpita y Mc Cann, 2000).





2.2. PARED CELULAR VEGETAL

La pared celular vegetal es un órgano complejo que, aparte de dar soporte y estructura a los tejidos vegetales, es capaz de condicionar el desarrollo de las células (Carpita y Mc Cann, 2000).

En las frutas y verduras, la textura se debe primariamente a la estructura y composición de la pared celular que se compone de carbohidratos complejos, sustancias pécticas, celulosa, hemicelulosa, lignina, entre otros componentes (Fenema, 2000).

Algunos cambios ocurridos en la pared celular durante la maduración son el resultado de acción de las enzimas que la degradan (Payasi y Sanwal, 2003).

2.2.1. ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DE LA PARED CELULAR VEGETAL

La estructura y composición de la pared celular vegetal varía en los diferentes tipos celulares y en los diferentes grupos taxonómicos, compuesta por una red de carbohidratos, proteínas y compuestos de naturaleza fenólica (Paniagua, 2003; Raven *et al.*, 1992; Karp, 2005).

La pared celular comprende varias capas que van desarrollándose con la maduración de la célula. Mencionadas desde fuera hacia dentro de la célula, estas capas son: lámina media, pared primaria y pared secundaria (**Figura 8**); está constituida por dos fases: fase fibrilar o esqueleto, y fase amorfa o matriz (Gunning y Steer, 1975; Raven *et al.*, 1992; Celis, 1993; Paniagua, 2003; Karp, 2005).

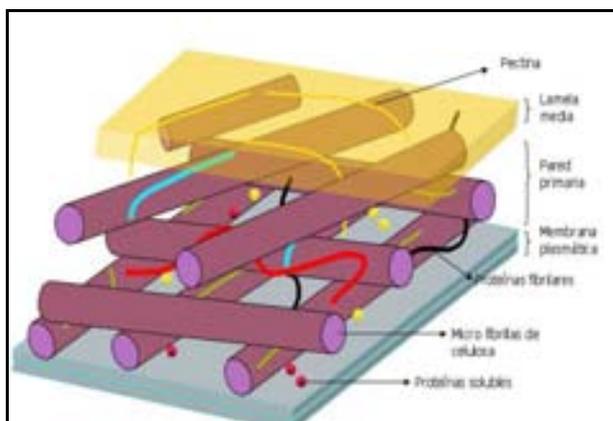


Figura 8. Estructura de pared celular vegetal.

Fuente: Karp (2005).





2.2.1.1. Lámina media.

La lámina media es el lugar en que se unen una célula con otra, está constituida por pectatos y proteínas, por lo que es rica en pectina y otras sustancias adhesivas, tiene como fase predominante a la fase amorfa que representa el 30%, formada por hemicelulosas y polisacáridos no celulósicos (lignina, xilanos, glucanos, galactanos, mananos, fructanos), compuestos pécticos y glucoproteínas (**Figura 9**) (Raven *et al.*, 1992; Celis, 1998; Karp, 2005).

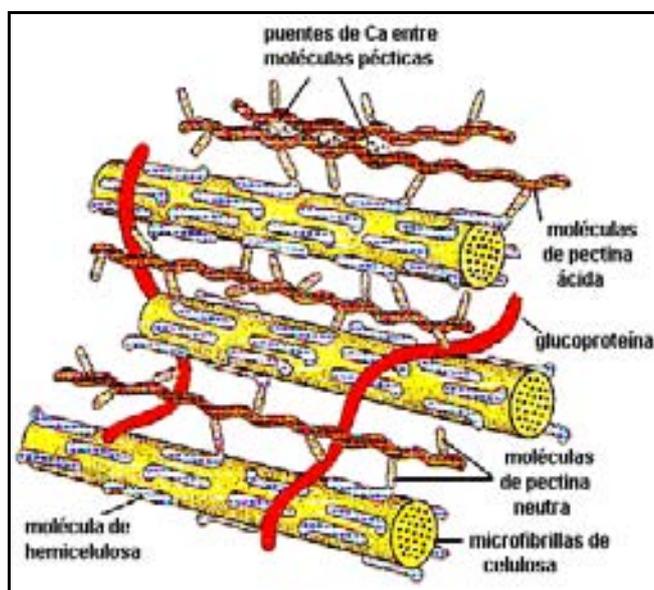


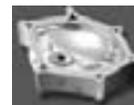
Figura 9. Estructura de fase amorfa de la pared celular vegetal.

Fuente: Karp (2005).

Las pectinas incluyen una mezcla de polisacáridos ramificados no fibrilares, ricos en ácido D-galacturónico, heterogeneamente ramificado y muy hidratado (**Figura 10**), definidas clásicamente como material extraído de las paredes celulares con agua, agentes quelantes o ácidos diluidos (Esau, 1972).

Se cree que tienen muchas funciones, dentro de las que se destacan la determinación de la porosidad de las paredes, la modulación del pH y balance iónico, la participación en la adhesión célula-célula y el reconocimiento de la presencia de ciertos patógenos. Por otra parte, algunas enzimas de pared celular pueden unirse a las redes cargadas de pectinas limitando su acción a ciertas regiones de la pared. Asimismo, al afectar la porosidad, las pectinas pueden regular el





acceso de enzimas de degradación de la pared a sus sustratos (Celis, 1998; Carpita y Mc Cann, 2000; Karp, 2003).

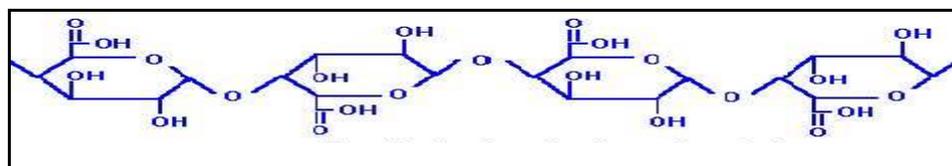


Figura 10. Estructura de la pectina.

Fuente: Celis (1998).

Dos constituyentes fundamentales de las pectinas son el homogalacturonano (HG) y ramnogalacturonano I (RG I) (Celis, 1998; Raven *et al.*, 1992; Strasburger, 1999).

Homogalacturonano: Está formado por unidades de ácido D-galacturónico (GALA) unidas por enlaces β -1,4. Contiene aproximadamente 200 unidades de GALA y una longitud de 200 nm. Dos homogalacturonanos modificados presentes en la pared celular son el xilogalacturonano y el ramnogalacturonano II (RG II). El xilogalacturonano posee una cadena principal de unidades de ácido galacturónico y presenta ramificaciones laterales de xilosa. Por su parte, el RG II posee una elevada diversidad de azúcares incluyendo apiosa, ácido acérico, metil- fucosa, y metil-xilosa (Figura 11).

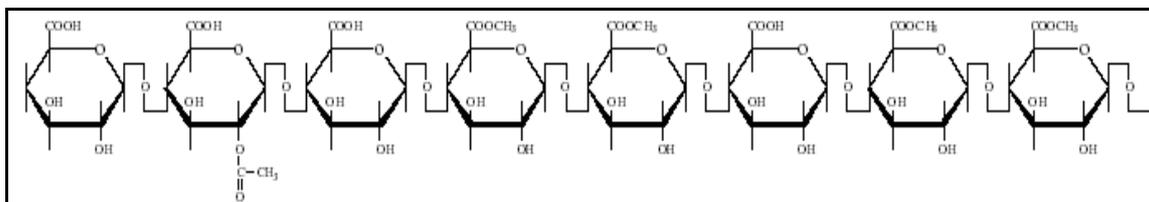


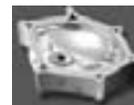
Figura 11. Estructura normal del homogalacturonano encontrado en las regiones lisas de la pectina. El número de restos metilados y/o acetilados depende de la fuente de la cual se obtuvo la pectina.

Fuente: Strasburger (1999).

Su estructura se encuentra altamente conservada entre las plantas superiores, lo que sugiere una importante función a pesar de su relativa poca abundancia. Se han descrito dímeros de RGII producto de la formación de dos uniones di-éster con átomos de boro y unidades de apiosa presentes en las cadenas laterales (Celis, 1998; Raven *et al.*, 1992).

Ramnogalacturonano I: Es un heteropolímero formado por unidades repetitivas del disacárido α -1,2-D-ramnosa- α -1,4-D-GalA (Figura 12). Otros polisacáridos compuestos principalmente de





azúcares neutros, como arabinanos, galactanos y arabinogalactanos, se adicionan a los residuos de ramnosa en la posición 4 para dar lugar a la formación de cadenas laterales.

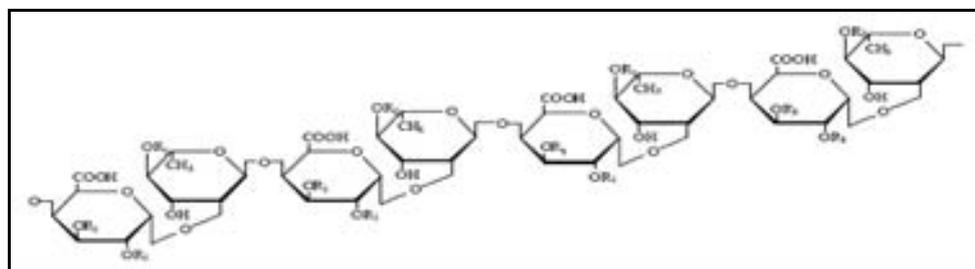


Figura 12. Estructura esquemática del esqueleto de ramnagalacturonano. R1 puede ser H o grupos acetilo (-CO-CH₃). R2 puede ser H o una serie de cadenas de composición y tamaño variable dependiendo de la fuente de la pectina.

Fuente: Strasburger (1999).

Las hemicelulosas, son polisacáridos químicamente heterogéneos, constituidos por diferentes unidades de monosacáridos incluyendo pentosas (xilosa y arabinosa), hexosas (glucosa, manosa y galactosa) y ácidos urónicos, enlazados entre sí por enlaces glucosídicos, formando estructuras ramificadas y en general amorfas (Figura 13). Algunas pueden asociarse mediante puentes de hidrógeno a la celulosa y se encuentran recubriendo las microfibrillas o actuando de puente entre microfibrillas formando una red ya sea con la celulosa ó con la lignina (Celis, 1998).

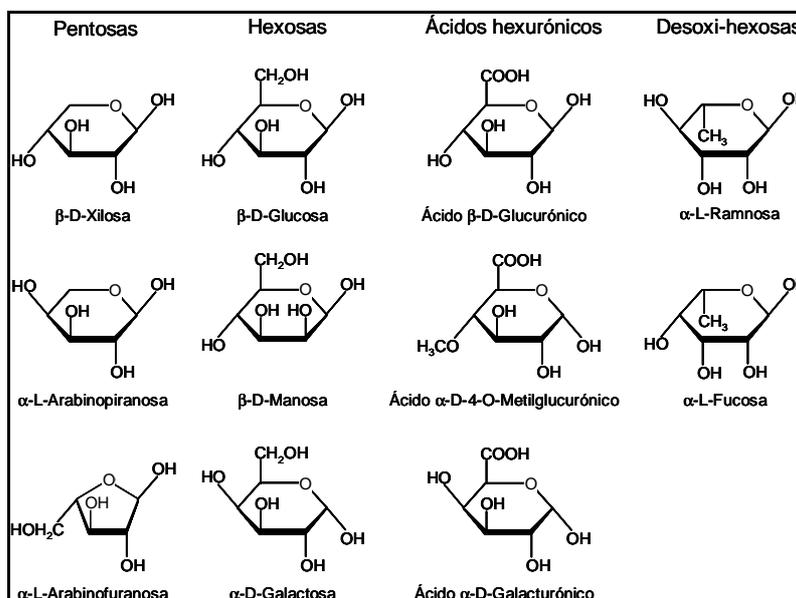
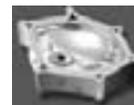


Figura 13. Estructura de monosacáridos componentes de las hemicelulosas.

Fuente: Celis (1998).





Actúan como matriz soporte para las microfibrillas de celulosa en la pared celular, y son de menor masa molecular, más accesibles, más fácilmente degradables y más fáciles de disolver que la celulosa (Celis, 1998; Strasburger, 1999; De Robertis *et al.*, 2003).

En plantas existen dos grupos mayoritarios de hemicelulosas: el xiloglucano (XiG) y el glucuron-arabinoxilano (GAX) (Celis, 1998; Carpita y Mc Cann, 2000).

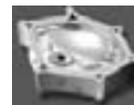
Xiloglucano: El XiG es el polímero de entrecruzamiento más abundante en dicotiledóneas y parte de las monocotiledóneas. Consiste en cadenas lineales de β -1,4-D-glucosa con numerosos residuos de α -xilosa unidos en la posición 6 de las unidades de glucosa, algunos de las cuales pueden a su vez encontrarse sustituidos con β -D-galactosa, α -L-arabinosa o α -L-fucosa (Celis, 1998).

Glucuron-arabinoxilano: Es el polímero de entrecruzamiento más abundante en Gramíneas y Ciperáceas. Todas las Angiospermas poseen además al menos una pequeña cantidad de GAX, el cual posee una cadena principal de β -1,4-D-xilosa con cadenas laterales de α -L-arabinosa y ácido α -D-glucurónico. Otros polisacáridos no celulósicos presentes en menores cantidades incluyen a los glucomananos, mananos y galactoglucomananos. Estos últimos poseen una cadena principal de β -1,4-D-glucano y β -1,4-D-manano aproximadamente en iguales proporciones, con cadenas laterales ocasionales de β -D-galactosa (Celis, 1998; Carpita y Mc Cann, 2000).

A pesar de que los componentes más abundantes de las paredes celulares son los polisacáridos, también se encuentran proteínas que pueden formar parte de la red estructural. Existen cuatro tipos de proteínas estructurales clasificadas de acuerdo al aminoácido en el cual se encuentran enriquecidas o a los tipos de azúcares que se unen a la fracción proteica: proteínas ricas en hidroxiprolina, proteínas ricas en glicina, proteínas ricas en prolina y arabinogalactano-proteínas. Aún no resulta clara la función de estas proteínas aunque se sugiere que podrían participar como sitios de nucleación para el ensamblaje de la pared, o bien uniendo a otros polímeros (De Robertis *et al.*, 2003; Karp, 2005).

Incluidas en la red de polisacáridos y proteínas, se encuentran diversas proteínas solubles, algunas de ellas son enzimas relacionadas con la producción de nutrientes como la glucosidasa,





enzimas relacionadas con el metabolismo de la pared como las xiloglucano-transferasas, peroxidasas y lacasas, proteínas relacionadas con la defensa, proteínas de transporte, entre otras (De Robertis *et al.*, 2003).

Algunos componentes de naturaleza fenólica pueden encontrarse también en las paredes celulares. Una alta proporción de los mismos consiste en ácidos hidroxicinámicos como el ácido ferúlico y el ácido p-cumárico. Estos componentes pueden participar en la formación de uniones di-éster entrecruzando polímeros de la pared, unirse a residuos de arabinosa o galactosa del RG I o bien pueden reducirse para formar los alcoholes precursores de la lignina (Carpita y Mc Cann, 2000; Paniagua, 2003).

La lignina es un polímero aromático formado por la condensación oxidativa de precursores fenólicos, muy ramificado y amorfo (Figura 14) (Bruce, 2004).

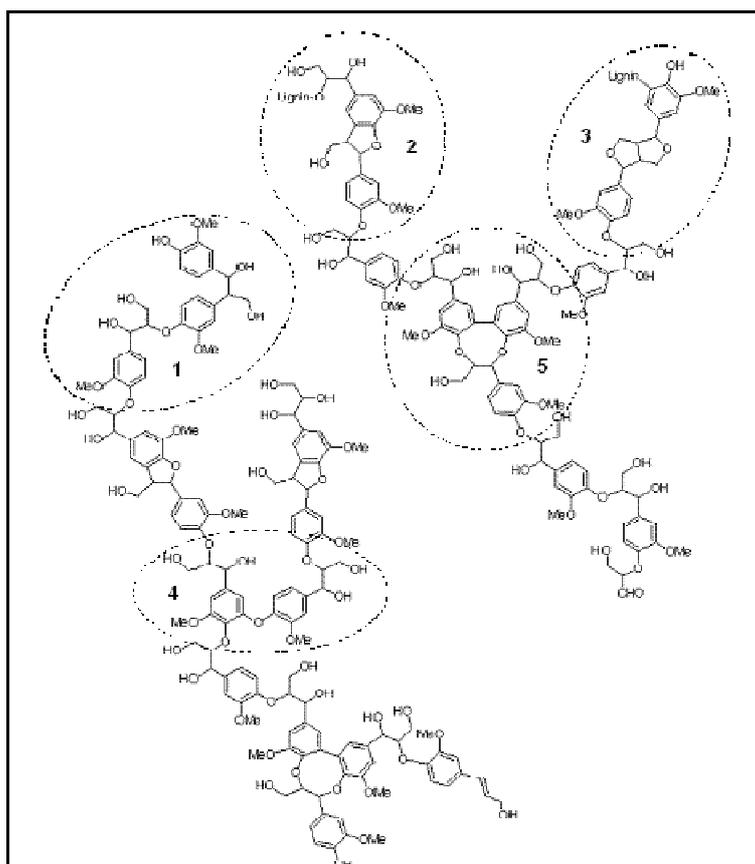
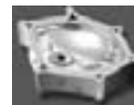


Figura 14. Estructura de la lignina.

Fuente: Carpita y Mc Cann (2000).





Es un componente característico de la pared celular de las plantas vasculares y su función principal es actuar como material incrustante en las paredes de las fibras y como cemento en la lámina media. De esta forma protege a la celulosa del ataque microbiano y confiere estructura, resistencia e impermeabilidad a los materiales lignificados. La molécula de lignina es una molécula, con un elevado peso molecular, que resulta de la unión de varios ácidos y alcoholes fenilpropílicos (cumarílico, coniferílico y sinapílico). El acoplamiento aleatorizado de estos radicales da origen a una estructura tridimensional, polímero amorfo, característico de la lignina (Dyson, 1977; Cartipa y Mc Cann, 2000; Bruce, 2004).

2.2.1.2. Pared primaria.

Está presente en todas las células vegetales, usualmente mide entre 100 y 200 nm de espesor y es producto de la acumulación de 3 ó 4 capas sucesivas de microfibrillas de celulosa, está adaptada al crecimiento celular, se crea en las células una vez que estas terminan su división celular, en ella domina la fase amorfa y la fase fibrilar, formada por aproximadamente el 60% de celulosa (Figura 15) (Gunning y Steer, 1975; Dyson, 1977; Raven *et al.*, 1992; Celis, 1998; Karp, 2005).

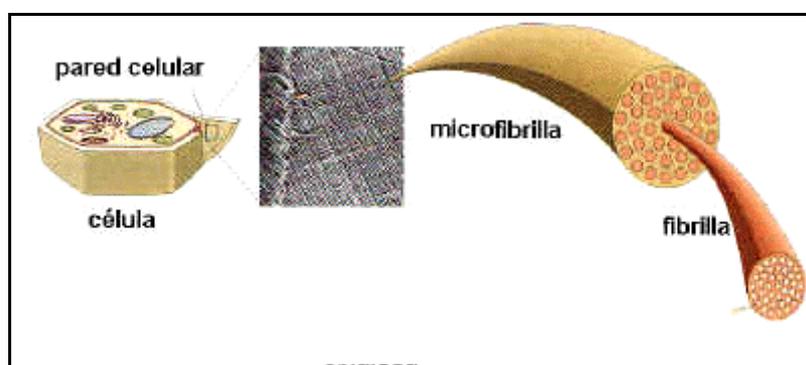
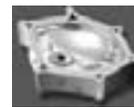


Figura 15. Estructura de la fase fibrilar en la pared celular vegetal.
Fuente: Gerald (2005).

La celulosa es un homopolisacárido (es decir, compuesto de un único tipo de monómero) rígido, insoluble, de estructura lineal o fibrosa, que contiene desde varios cientos hasta varios miles de unidades de glucosa. Es el principal componente de la pared celular vegetal, con un 15-30% del peso seco de la pared (Paniagua, 2003; Bruce, 2004).





Se forma por la unión de moléculas de β -glucosa mediante enlaces β -1,4-D-glucosídico unidas entre sí por puentes de hidrógeno, es una larga cadena polimérica de peso molecular variable, con fórmula empírica $(C_6H_{10}O_5)_n$, con un valor mínimo de $n=200$, es una hexosa que por hidrólisis da glucosa (**Figura 16**). Se encuentra en forma de microfibrillas. En plantas, cada microfibrilla en promedio tiene un espesor de entre 5 y 12 nm e incluye 36 cadenas de glucano (**Carpita y Maureen, 2000**).

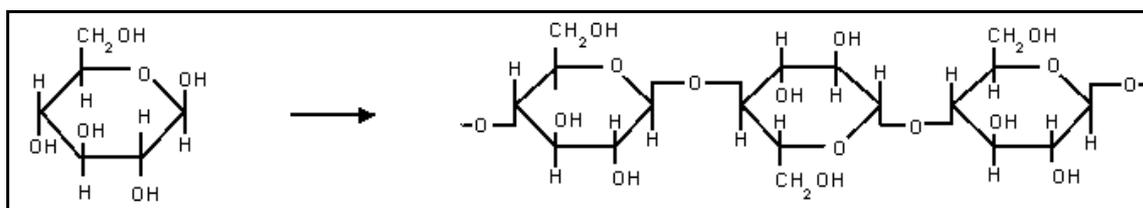


Figura 16. Estructura de la celulosa.

Fuente: **Paniagua (2003)**.

2.2.1.3. Pared secundaria.

Esta pared sólo está presente en algunos tipos de células vegetales, cuando existe, es la capa más adyacente a la membrana plasmática, se forma en algunas células una vez se ha detenido el crecimiento celular y se relaciona con la especialización de cada tipo celular. Comprende tres subcapas: S1, S2, S3, mencionadas de afuera hacia dentro.

A diferencia de la pared primaria, contiene una alta proporción de celulosa, lignina y/o suberina, sin embargo en ella también domina la fase amorfa y la fase fibrilar (**Carpita y Maureen, 2000**).

2.2.2. ENZIMAS QUE PARTICIPAN EN LA DEGRADACIÓN DE PARED CELULAR.

La mayor parte de los cambios químicos que se producen en los frutos son provocados por las enzimas. Muchos de los efectos químicos y físicos que se observan durante la maduración de los frutos son atribuidos a acciones enzimáticas (**Pantástico, 1987**).

Las enzimas que se encuentran de manera natural, pueden ser la causa de la pérdida del sabor o desarrollo de colores indeseables, hasta la pérdida de calidad del mango (**Wills et al., 1989**).





La maduración del mango se caracteriza por el ablandamiento de la pulpa. El climaterio se asocia con la pérdida de firmeza en el fruto y el proceso de ablandamiento que puede obedecer a procesos enzimáticos y no enzimáticos (Hulme, 1970; Díaz, 2002).

Uno de los cambios más notorios que experimentan los frutos al madurar consiste en su ablandamiento, que va asociado con la solubilización progresiva y despolimerización de las sustancias pécticas (Roe y Bruemmer, 1981; Mitcham y McDonald, 1992).

Las pectinas solubles son modificadas y despolimerizadas bajo la acción de algunas enzimas pectinolíticas (enzimas que utilizan como sustrato la pectina) como: Pectinesterasas (PE), Poligalacturonasas (PG), Pectato liasa (PEL) y Pectin liasa y por la acción de otras que no utilizan a la pectina como sustrato pero que participan en la pérdida de firmeza de los frutos como la celulasas (CEL) (Tabla 5 y Figura 17), entre otras que muestra un claro incremento durante el proceso de maduración (Sakai *et al.*, 1993; Wong, 1995; Chauchan *et al.*, 2001).

Tabla 5. Cambios en las actividades enzimáticas durante la maduración del mango.

Enzima ensayada	Actividad enzimática (U/ mg proteína)		
	Inmaduro	Parcialmente Maduro	Muy Maduro
^b Pectinesterasa	0.239	0.273	0.222
^a Polygalacturonasa	0.0125	0.0139	0.0068
^b Celulasa	0.144	0.378	0.126
^b Amilasa(x10 ²)	0.12	0.18	0.46

N.D. = No determinado

Fuente: Datos recopilados de ^a Selvaraj y Kumar (1989); ^b Pantástico (1987).



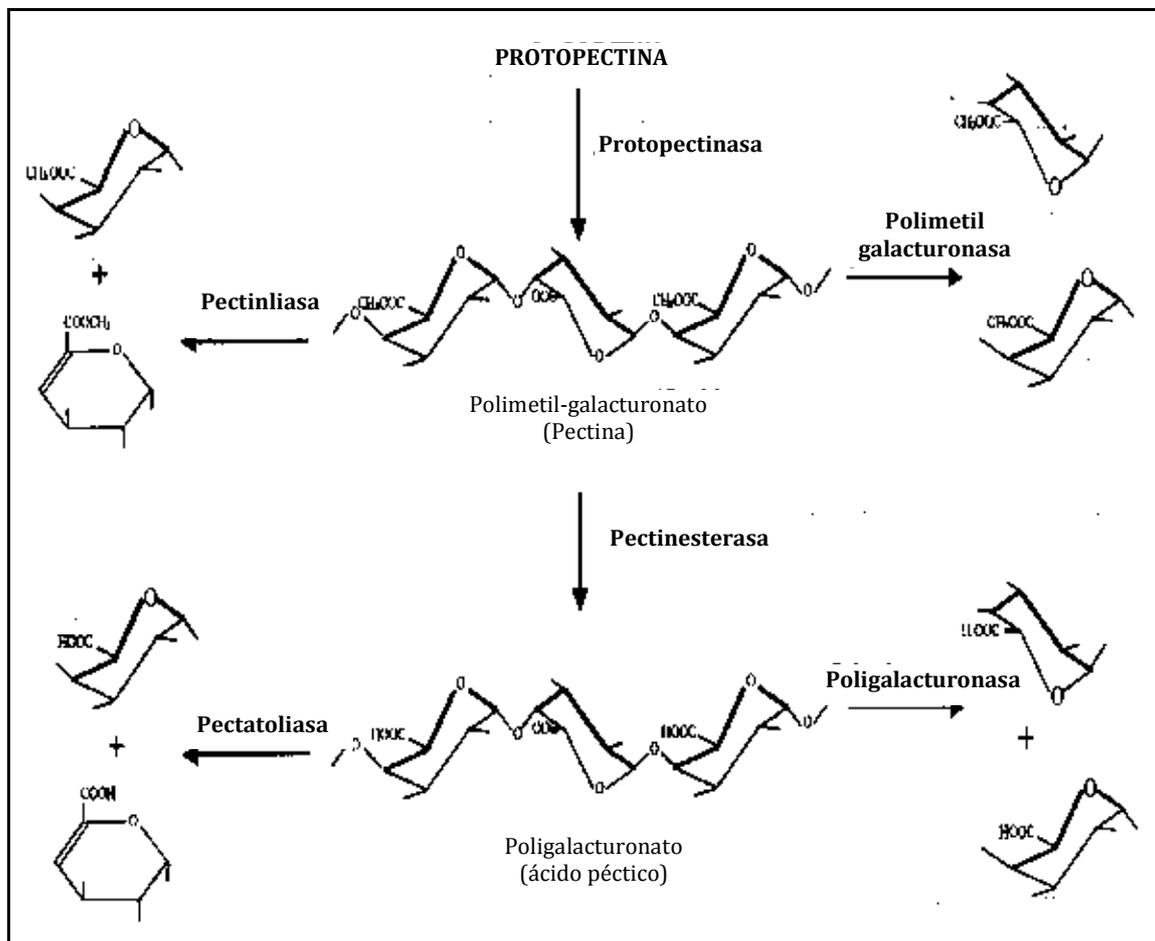
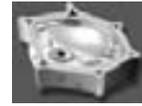


Figura 17. Modo de acción de enzimas sobre el sustrato.

Fuente: *Prasanna et al. (2007)*.

2.2.2.1. Enzimas pectinolíticas.

Pectinesterasa (PE).

La Pectinesterasa (PE), al igual que otras enzimas en conjunto son hidrolasa pectinolíticas, ya que desmetilan y esterifican la pectina (Figura 18).



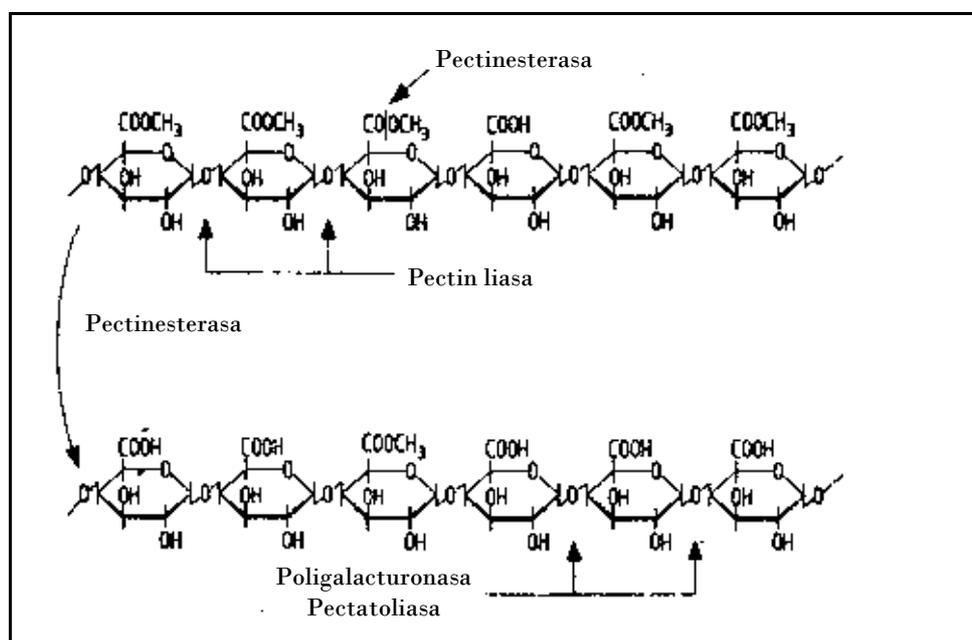
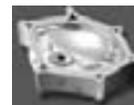


Figura 18. Fragmento de molécula de pectina y puntos de ataque de enzimas pécticas.

Fuente: Fox (1991).

Esta enzima ha estado referida por algunos autores como [Jonh \(1972\)](#) y [Fenema \(2000\)](#) con el nombre de Pectin metilesterasa (PME), pectasa, pectín demetoxilasa y pectolipasa, pero en trabajos se ha demostrado que a pesar de que actué de la misma manera todas estas isoformas de PE su determinación será diferente ([Hagerman y Austin, 1986](#); [Lefever et al., 2004](#)).

Los poligalacturonanos son secretados en la pared celular altamente metil-esterificados y son desesterificados durante el desarrollo celular. Durante la maduración, el grado de metilesterificación de las paredes celulares disminuye ([Fox, 1991](#); [Shahina, 2002](#)).

La PME (Pectinhidrolasa, EC. 3.1.1.11) hidroliza el enlace metiléster de la pectina para dar ácido péctico y metanol, elimina los grupos metilo de la posición C6 de los residuos de ácido galacturónico de las pectinas ([Figura 19](#)). Esto provoca la liberación de grupos carboxilos, cambiando el pH y la carga de la pared celular, permitiendo la unión de poliurónidos por puentes de calcio ([Carpita y Gibeaut, 1993](#)). Su rol en el ablandamiento no es claro ya que por un lado al desmetilar las pectinas favorece la acción de PG y con ello la depolimerización de pectinas, mientras que por otra parte la liberación de grupos carboxilo promueve la formación de enlaces iónicos en la pared celular ([John, 1972](#)).





Al igual que en el caso de PG, la información obtenida sugiere que la enzima se encuentra involucrada en la degradación de pared celular pero que su supresión no es suficiente para modificar la firmeza de frutos (Lamikanra, 2002).

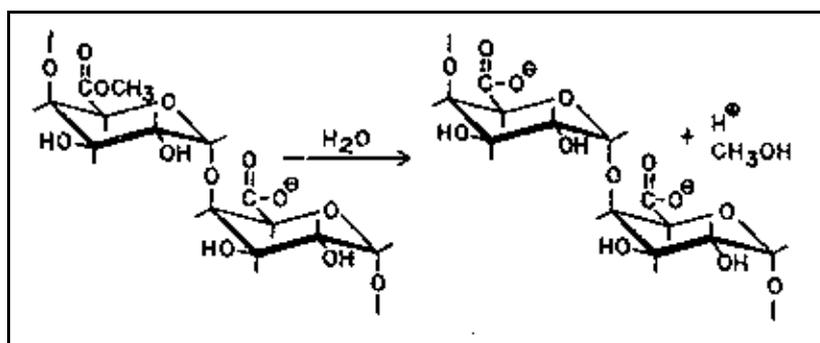


Figura 19. Hidrólisis en el enlace metiléster de la pectina para dar ácido péctico y metanol.

Fuente: John (1972).

Sin embargo, otros autores consideran que al igual que la PG, la PME también es una de las enzimas mayoritarias que afectan la firmeza de las frutas durante la maduración.

Poligalacturonasa (PG)

Esta enzima actúa específicamente sobre ácidos pécticos o pectatos, cataliza la hidrólisis de enlaces glucosídicos α -1,4 del ácido galacturónico de las pectinas y da fragmentos más pequeños, actuando tanto como endo o exo-enzima (Figura 20). Las de tipo Exo (exo-PG 1,4- α -D-galacturónico) galacturonohidrolasas (EC 3.2.1.67) remueven las unidades de ácido galacturónico a partir del extremo no-reductor de los poliuronidos, mientras que las de tipo Endo (endo-PG 1,4- α -D-galacturónico) glicanohidrolasas (E.C. 3.2.1.15) clavan estos polímeros en diferentes posiciones internas.

El sustrato de PG en la pared celular es principalmente el homogalacturonano, el cual es secretado en la pared altamente metil-esterificado y debe ser desesterificado para ser sustrato de PG (Carpita y Gibeaut, 1993).



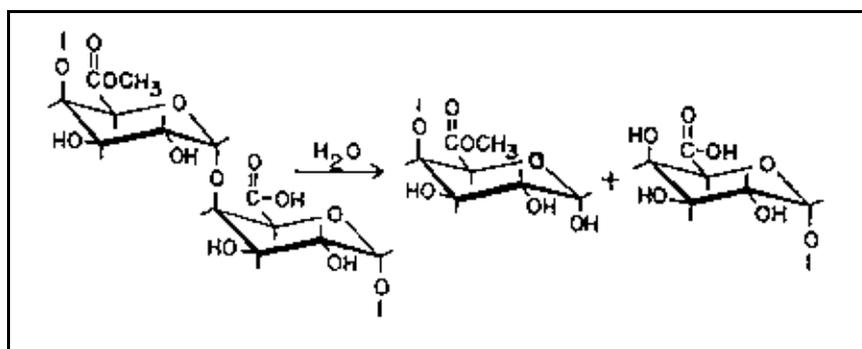
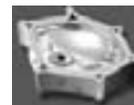


Figura 20. Hidrólisis de enlace glucosídico α -1-4 entre unidades de ácido anhidrogalacturónico.

Fuente: John (1972).

El pH óptimo para esta enzima está en un rango de 4.5 a 6.0. Su actividad (grado y velocidad de hidrólisis) disminuyen con el incremento del grado de esterificación. La actividad, tal como se mencionó previamente, también depende marcadamente del grado de polimerización del sustrato. A medida que la cadena de sustrato se acorta, disminuye la afinidad de la enzima por el mismo (Jonh, 1972).

Pectato liasa (PEL)

La degradación de las pectinas por acción de la PEL ocurre por β -eliminación a diferencia del mecanismo hidrolítico de las Poligalacturonasas (**Figura 21**). Al igual que las enzimas PG las PEL también actúan tanto Exo (exo-PEL 1,4- α -D galacturónico liasa, EC. 4.2.2.9) como Endo (endo-PEL 1,4- α -D-galacturónico liasa, EC. 4.2.2.2). Pectato y pectina de bajo metoxilo son sus preferentes sustratos de esta enzima. Los estudios de la degradación de compuestos de naturaleza péctica en frutos han puesto mucho énfasis en la acción de Poligalacturonasas, mientras que el rol de las Pectato liasas ha comenzado a analizarse más recientemente. En el caso de frutillas, la supresión de PEL permitió obtener frutos más firmes que los controles, indicando que esta enzima podría poseer un rol importante en el proceso de ablandamiento (Colin, 1990; Fox, 1991; Lamikanra, 2002).



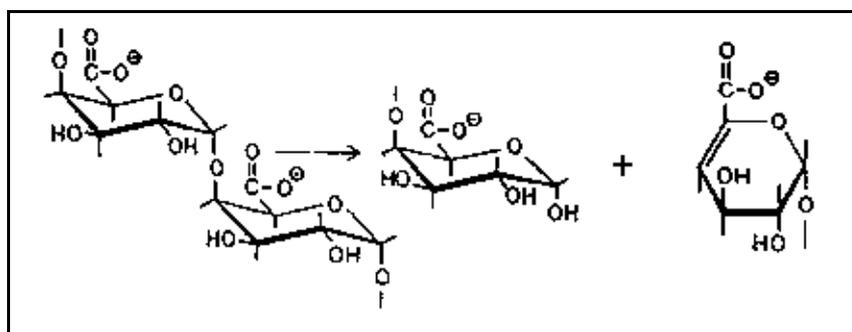


Figura 21. Reacción de β -eliminación.

Fuente: John (1972).

2.2.2.2. Celulasa (CEL).

Las celulasas son enzimas hidrolíticas que participan en el rompimiento de los enlaces glucosídicos β -1,4 presentes en los polisacáridos de celulosa y hemicelulosa, respectivamente (Colin, 1990).

La celulosa constituye la fracción mayor en la pared celular en conjunto y consta de cadenas lineales (no ramificadas) de glucosa en uniones β -1-4. Las cadenas de celulosa están ordenadas en fibras y son las responsables de mantener la rigidez de la pared celular. Además de celulosa, la pared posee pectina, xiloglucanos, xilanos, arabinoxilanos, arabinanos, arabinogalactanos, galactanos, glucanos, glicoproteínas, (galacto)-glucomananos y lignina (Fox, 1991; Paul, 1998).

La acción enzimática para llevar a cabo la hidrólisis de la celulosa implica la operación secuencial y la acción sinérgica de un grupo de celulasas, que presentan diferentes sitios de enlace, debido a la naturaleza compleja de la molécula de celulosa (Shahina, 2002).

El sistema de celulasa típico incluye tres tipos de enzimas: la endo- β -1,4-glucanasa (C_x) (1,4- β -D-glucan glucanohidrolasa, E.C.3.2.1.4), la exo- β -1,4-glucanasa (C_1) (1-4- β -D-glucan celobiohidrolasa E.C.3.2.1.91) y la β -1,4-glucosidasa (celobiasa) (C_b) (β -D-glucósido glucohidrolasa E.C.3.2.1.21) (Figura 22) (Colin, 1990; Fox, 1991).



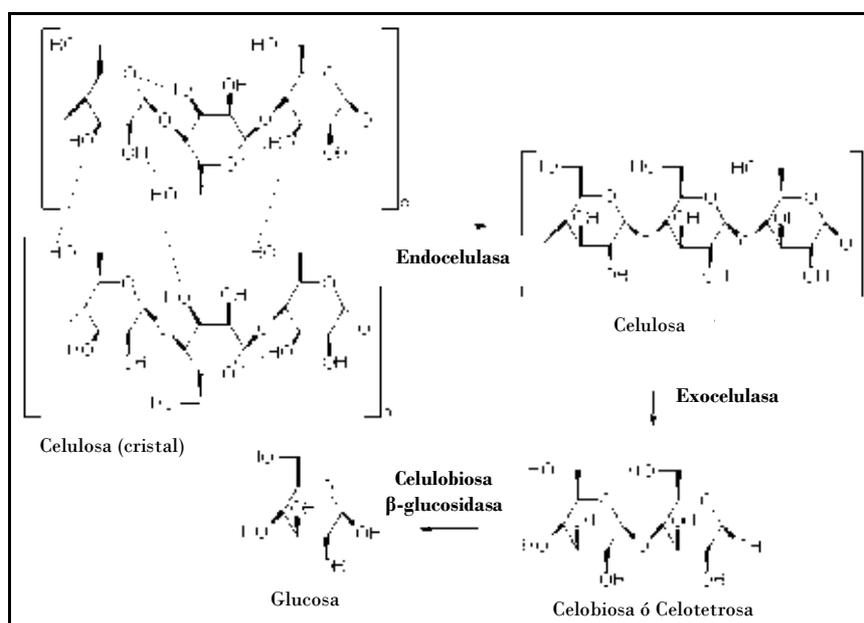
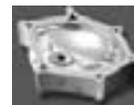


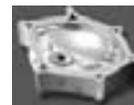
Figura 22. Mecanismo hidrolítico de la celulosa.

Fuente: [Wikipedia \(2007\)](#).

El mecanismo propuesto en la literatura para la degradación de la celulosa puede resumirse en tres etapas:

Primero la endo β -1,4-glucanasa actúa al azar sobre los enlaces β -1,4 glucosídicos internos presentes entre las unidades de glucosa que forman la molécula de la celulosa, y convierte las cadenas largas a oligosacáridos, los cuales mantienen la configuración β de su estructura. La acción de esta enzima es sobre las regiones amorfas de la molécula de celulosa o sobre la superficie de las microfibrillas, y tiene como resultado la disminución de la longitud de la cadena de celulosa y la creación de nuevos extremos reactivos que sirven de sustrato para la posterior acción de C_1 . En la segunda etapa actúa la exo β -1,4- glucanasa, la cual es una enzima que corta la cadena 1,4 β -D-glucano a partir del extremo no reductor de la molécula de celulosa y de las celodextrinas, lo que provoca la remoción de unidades de celobiosa ó glucosa. Ambas enzimas endoglucanasa y exoglucanasa son inhibidas por uno de los productos de la hidrólisis enzimática, la celobiosa, lo que disminuye la eficiencia de la hidrólisis. Una vez degradada las zonas amorfas de la celulosa, tiene lugar la tercera etapa de la hidrólisis, en donde la región cristalina comienza a ser hidrolizada, como resultado de la acción sinérgica de la endoglucanasa y la exoglucanasa. Finalmente, una etapa que limita la degradación de la





celulosa es la hidrólisis de la celobiosa a glucosa mediante la acción de la β -1,4- glucosidasa (C_b), porque las glucanasas son inhibidas por la celobiosa (John, 1972; Colin, 1990; Fox, 1991 Shahina, 2002).

Las enzimas que generalmente se encuentran en el mango son: polifenol oxidasa, catalasa, pectinmetilesterasa, peroxidasa, amilasa, invertasa y L-malato-NADP-oxidoreductasa. Las enzimas relacionadas con los cambios en la pared celular vegetal se muestran en la **Tabla 6**.

Tabla 6. Enzimas responsables de la degradación de la pared celular vegetal en frutos.

Enzima	Fruto	Condiciones de extracción y ensayo	Referencia
Pectinesterasa (PE)	Tomate	El ensayo consistió en titulación con NaOH 0.01 N por 10 min a 25°C para mantener el pH a 6.5 de una mezcla de reacción que contenía 15 ml de pectina cítrica 0.5%, 15 ml de NaCl 0.1 M y 1 ml de extracto enzimático.	Lee y MacMillan (1968)
	Tomate	La extracción fue obteniendo material insoluble, el cual fue suspendido en NaCl y sobresaturado con 75% de $(NH_4)_2SO_4$, el precipitado fue disuelto en NaCl y dializado durante una noche. El ensayo consistió en titulación con NaOH 0.02 N por 10 min a 25°C para mantener el pH a 8 de una mezcla de reacción que contenía 25 ml de pectina cítrica 0.5% con 25 ml de NaCl 0.1 M.	Pressey y Avants (1972)
	Durazno	El extracto se obtuvo homogenizando muestra con NaCl 0.5 M y PVP 1%, la mezcla fue centrifugada y el filtro se utilizó para la determinación de enzimas. El ensayo consistió en titulación con NaOH 0.05 N a una mezcla de reacción que contenía pectina cítrica 1%, buffer acetato de Na 0.1 M pH 5 y 1 ml de extracto enzimático.	Buesher y Furmanski (1978)
	Mango	La extracción con acetona para obtener polvo seco de pulpa de mango en diferentes estadios de maduración, su ensayo fue de 12 h a 4°C con buffer Tris acetatos 0.2 M pH 4.5, NaCl 0.1 M pH 7; acetato de sodio 0.1 M pH 5 y buffer fosfatos 0.1 M pH 6.6.	Prasanna <i>et al.</i> (2003)





Tabla 6. Enzimas responsables de la degradación de la pared celular vegetal en frutos
(Continuación)

Enzima	Fruto	Condiciones de extracción y ensayo	Referencia
Poligalacturonasa (PG)	Dátil	La extracción fue mezclando muestra en NaCl 4% y PVP 0.5%, la mezcla se centrifugó, el sobrenadante fue dializado durante una noche. En el ensayo la actividad fue medida por la producción de azúcares. La mezcla de reacción contenía 10 ml de ácido péctico 0.125%, buffer acetatos 0.1 M pH 5, 2.5 a 5 ml de extracto enzimático. La mezcla se incubó a 29°C.	<i>Hasegawa et al. (1969)</i>
	Zanahoria y durazno	La actividad se determinó por el incremento de azúcares reductores durante la reacción de 0.5 ml de ácido péctico 1%, 0.1 ml de extracto en NaCl 0.15 M, 0.1 ml de CaCl ₂ 0.01 M. La mezcla se incubó a 37°C por 1h. El extracto se obtuvo de la mezcla de muestra con NaCl 1 M centrifugada, saturada con (NH ₄) ₂ SO ₄ al 75% y dializada durante una noche en NaCl 0.15 M y purificado en una columna de Sephadex.	<i>Pressey et al. (1971)</i>
	Mango	Para el extracto se homogenizó muestra con Polietilenglicol 12% y bisulfato de sodio 0.2%, la suspensión fue centrifugada y el residuo fue suspendido en NaCl 0.5 M y eso se utilizó para el estudio de PG que fue determinada en una mezcla de 2 ml de extracto, 0.8 ml de buffer acetato de Na 0.2 M pH 4, 2 ml de poligalacturonato 1% pH 4, cloranfenicol y ciclohexamida, incubada a 30°C por 17 h. La mezcla fue analizada por formación de grupos reductores.	<i>Roe y Brummer (1981)</i>
	Papaya	El extracto se obtuvo de la combinación de muestra en NaCl 7.5% más EDTA (10:1), el sobrenadante se utilizó como extracto y el ensayo consistió en una mezcla de ácido poligalacturónico 0.45%, buffer acetato de Na 0.04 M pH 5 y extracto enzimático que se incubó por 4 h a 37°C.	<i>Paull y Chen (1983)</i>
	Pimiento morrón	El extracto resultó de la centrifugación de una mezcla de muestra con NaCl 0.25 M, el ensayo contenía 0.2 ml de extracto, 0.2ml de buffer tris-acetat 0.2 M pH 4.5, 0.1 ml de CaCl ₂ y 0.5 ml de poligalacturonato 1%. La mezcla se incubó 1 h a 37°C y se analizaron la formación de azúcares reductores.	<i>Priya et al. (1996)</i>



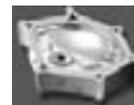


Tabla 6. Enzimas responsables de la degradación de la pared celular vegetal en frutos
(Continuación)

Enzima	Fruto	Condiciones de extracción y ensayo	Referencia
Pectato liasa (PEL)	-----	El sistema de ensayo consistió de 0.6ml de ácido poligalacturónico 0.5%, buffer Tris-HCl 0.05 M pH 8, 0.15ml de NaCl 0.15 M, 0.15ml de CaCl ₂ y 0.1ml de extracto enzimático. La mezcla se incubó por 3 h a 35°C.	<i>Collmer et al. (1988)</i>
Celulasa (CEL)	Durazno	El extracto fue obtenido por la mezcla de muestra con carbowax 12% y bisulfato de Na 0.2%. La mezcla fue centrifugada y el residuo fue suspendido en NaCl 6% con bisulfito de Na 0.2 M. La mezcla de reacción contenía 1ml de extracto, 3 ml de CMC 0.5% y 1 ml de buffer fosfato-citrato de Na 0.1 M pH 6, el ensayo se incubó 37°C por 16 h.	<i>Hinton y Pressey (1974)</i>
	Mango	El extracto fue obtenido por el método de sólidos insoluble en alcohol. El ensayo contenía 1ml de extracto, 3 ml de CMC 0.5% y 1 ml de buffer fosfato-citrato de Na 0.1 M pH 6. La mezcla se incubó a 30°C por 17 h.	<i>Roe y Brummer (1981)</i>
	Chirimoya	La actividad se determinó por la generación de azúcares reductores en una mezcla que contenía 0.15 ml de extracto, 0.35 ml de buffer acetato de Na 0.1 M pH 5.5, CMC 1% y NaCl 0.1 M. La reacción se incubó por 6 h a 35°C.	<i>Sánchez et al. (1997)</i>
	Mango	El sistema de ensayo contenía 0.25 ml de extracto, 0.5 ml de CMC 1%, 0.25 ml de buffer acetatos 0.01 M pH 5, 0.2 ml de NaCl 0.15 M. Esta mezcla se incubó a 37°C por 6 h.	<i>Sobac et al. (1997)</i>





OBJETIVOS





3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL:

Estudiar a las enzimas relacionadas con la degradación de la pared celular en diferentes variedades de mango comercializadas en México ('Manila', 'Ataulfo', 'Haden', 'Keitt' y 'Tommy Atkins') durante su maduración para establecer el efecto en su calidad y vida en postcosecha.

3.2. OBJETIVOS PARTICULARES:

PARTICULAR 1.

Determinar los parámetros fisiológicos (respiración), de calidad (color, pérdida de peso, firmeza, sólidos solubles, pH y acidez) y químicos (humedad, carbohidratos totales, fibra, proteína y pectina) en diferentes variedades de mango que permita establecer las diferencias en el comportamiento durante su vida en postcosecha.

PARTICULAR 2.

Evaluar las actividades de enzimas relacionadas con la degradación de la pared celular: Pectinesterasa (PE), Exo-poligalacturonasa (Exo-PG), Pectatoliasa (PEL) y Celulasa (CEL) en tejidos de piel y pulpa de diferentes variedades de mango durante su maduración.

PARTICULAR 3.

Establecer la posible relación entre las actividades de las enzimas relacionadas con la degradación de la pared celular con los parámetros químicos y de calidad en diferentes variedades de mango durante su maduración.





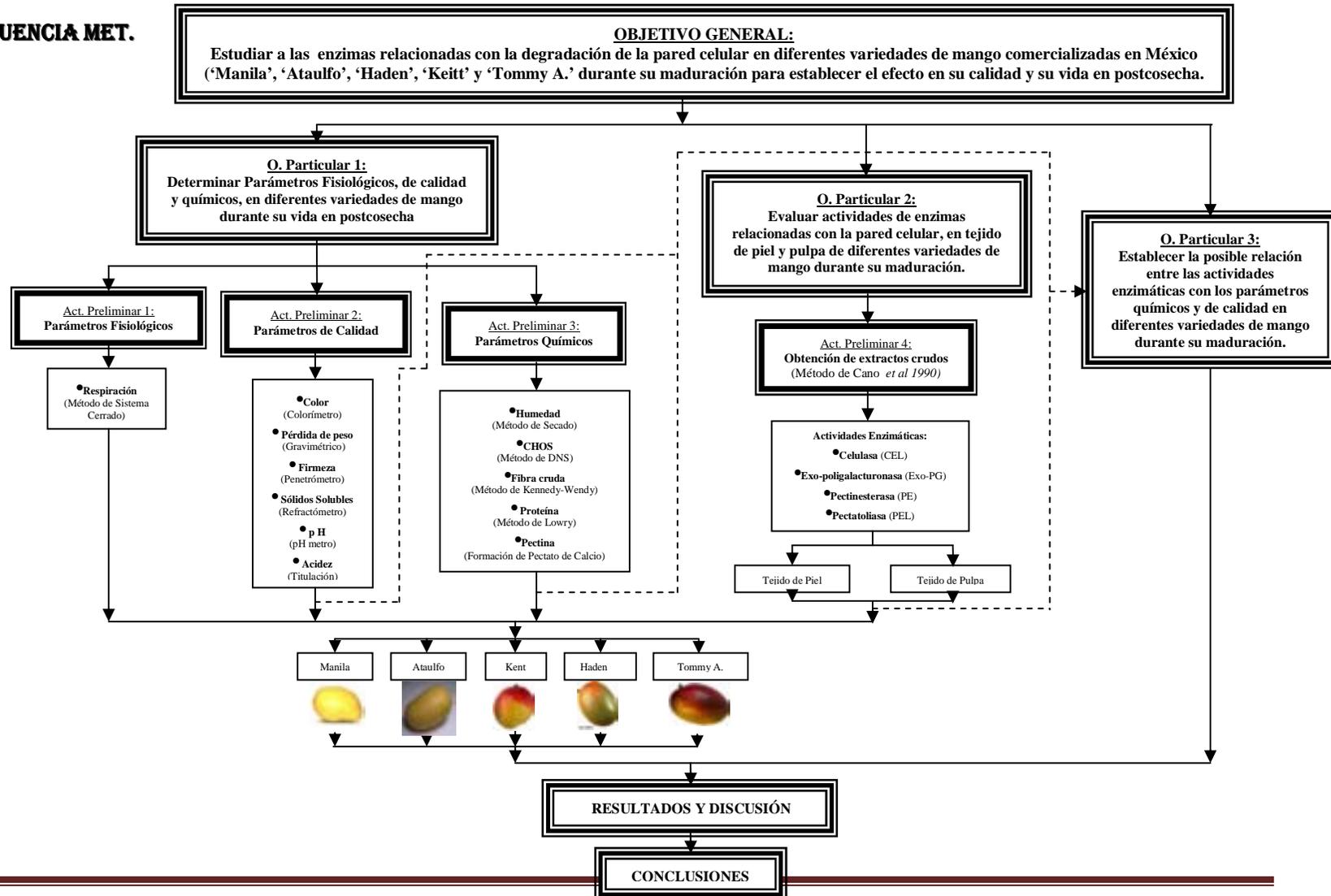
MATERIAL Y MÉTODOS





4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1. SECUENCIA MET.





4.2. MATERIAL BIOLÓGICO.

Se emplearon mangos de la variedad ‘Manila’, ‘Ataulfo’, ‘Haden’, ‘Keitt’ y ‘Tommy Atkins’ procedentes de los estados de Chiapas y Guerrero durante los meses de Febrero-Julio, se adquirieron en la Central de Abastos de la Ciudad de México en su etapa pre-climatérica (E₁) y se transportaron por vía terrestre en cajas de madera y envueltos con papel al Laboratorio Postcosecha de Productos Vegetales del Centro de Asimilación Tecnológica de la UNAM para su estudio posterior.

4.3. TRATAMIENTO DE MUESTRA.

Los mangos fueron seleccionados por tamaño, peso, diámetro ecuatorial y polar para contar con lotes homogéneos y se eliminaron los que presentaron daños físicos. Posteriormente, los frutos se enjuagaron frotándolos con las manos y con agua corriente para eliminarles la tierra y otras impurezas. Se colocaron sobre una mesa y se secaron utilizando corrientes de aire (**Figura 23**). Los frutos se distribuyeron en lotes de 36 frutos por cada variedad (‘Manila’, ‘Ataulfo’, ‘Haden’, ‘Keitt’ y ‘Tommy Atkins’): 12 frutos para respiración y 24 para evaluar parámetros de calidad, y se enumeraron para facilitar su manipulación. Por último, se almacenaron a 20°C y 95% de humedad relativa (H.R).



Figura 23. Tratamiento de material de estudio.

4.4. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FISIOLÓGICOS Y DE CALIDAD.

Para determinar el estado de madurez de los mangos, se evaluó diariamente el parámetro fisiológico de respiración en un lote de 12 frutos (Ver apartado 4.8.1). Además en un lote de 24





frutos por variedad se evaluaron los parámetros de calidad en cada estadio de maduración, establecidos de acuerdo a los cambios de la respiración: E₁= pre-climaterio, E₂= inicio del climaterio, E₃= máximo climaterio y E₄= post-climaterio, seleccionándose 6 mangos por cada estadio. Los parámetros de calidad evaluados fueron: color, pérdida de peso, firmeza, sólidos solubles, pH, acidez, de acuerdo a los métodos descritos en el apartado de técnicas analíticas 4.8.2. Los frutos fueron pelados y a cada uno se les separó la piel y la pulpa, ambos tejidos se trocearon, para posteriormente congelar y guardar a -20°C para su análisis posterior.

4.5. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS QUÍMICOS.

Para evaluar los componentes químicos mayoritarios de cada variedad de mango se tomaron las muestras congeladas de las diferentes variedades en los cuatro estadios. Los componentes evaluados fueron: humedad, carbohidratos, fibra, proteína y pectina de acuerdo a los métodos analíticos descritos en el apartado 4.8.3.

4.6. DETERMINACIÓN DE ENZIMAS RELACIONADAS CON LA DEGRADACIÓN DE LA PARED CELULAR.

Las actividades relacionadas con la degradación de la pared celular que se determinaron fueron: Pectinesterasa (PE), Exo-poligalacturonasa (Exo-PG), Pectatoliasa (PEL) y Celulasa (CEL). Estas actividades se evaluaron en las diferentes variedades de mango, tanto en piel como en pulpa y en los cuatro estadios de maduración de acuerdo al apartado 4.8.4, con el fin de establecer las diferencias en los cambios que se presentan los frutos a lo largo de la maduración.

4.7. RELACIÓN DE ACTIVIDADES ENZIMÁTICAS CON PARÁMETROS QUÍMICOS Y DE CALIDAD.

Una vez determinados los parámetros de calidad, químicos y actividades enzimáticas se estableció la relación entre cada parámetro, mediante el cálculo de una regresión lineal para de





esta manera establecer la posible relación entre las actividades enzimáticas y los parámetros de calidad en las diferentes variedades de mango.

4.8. TÉCNICAS ANALÍTICAS.

4.8.1. PARÁMETROS FISIOLÓGICOS.

4.8.1.1. Determinación de la Respiración.

La respiración de los frutos se determinó tomando en cuenta la producción de CO₂ generado por los frutos, por el método de sistema cerrado. Los frutos se colocaron en un contenedor sellado herméticamente, después de un periodo de tiempo no mayor a 1 hora, para evitar dañar el fruto por agotamiento de O₂ y acumulación de CO₂ en la atmósfera que lo rodea, se midió la acumulación de CO₂ en la atmósfera del contenedor sellado. El registro de la producción de CO₂ se realizó al conectar a la salida de ventilación del contenedor un analizador de gas (ANALYZER marca Nitec, LLC) (**Figura 24**). Los resultados de la producción de CO₂ fueron expresados en mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹.



Figura 24. Analizador de gas.

4.8.2. PARÁMETROS DE CALIDAD.

4.8.2.1. Determinación del Color.

Los cambios de color en la piel del mango se registraron en un colorímetro (MINOLTA, modelo CR300) (**Figura 25**) por el sistema Hunter Lab que representa la cromaticidad en coordenadas rectangulares donde L* indica la luminosidad o reflectancia, los valores de a* representan la gama del color desde el color verde para valores negativos y para valores positivos el color rojo,





los valores de b^* representan la gama del color desde el azul para valores negativos y el amarillo para valores positivos, a^* y b^* son las coordenadas de la cromaticidad (Croma) o de la saturación de color, y éstas son utilizadas para evaluar el tono al calcular el ángulo Hue el cual va de valores de $0 =$ rojo-púrpura, $90 =$ amarillo, $180 =$ azul-verde y $270 =$ azul, y se calcula a partir de la ecuación $h^\circ = \arctan [b^*/a^*]$ y la cromaticidad por la ecuación $C = [a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$ (McGuire, 1992).



Figura 25. Colorímetro MINOLTA.

4.8.2.2. Determinación de Pérdida de Peso.

La pérdida de peso se determinó utilizando una balanza semianalítica (marca OHAUS, modelo Adventurer Pro AV812) (**Figura 26**) en la cual se obtuvo la variación del peso inicial del mango a su llegada al centro de estudio y el peso del mango en cada estadio de maduración. La diferencia entre el peso inicial y el peso final de los frutos fue expresada como el porcentaje de pérdida de peso de los frutos.



Figura 26. Balanza semianalítica.

4.8.2.3. Determinación de firmeza.

La firmeza del mango se determinó con un penetrómetro manual (marca Tr, modelo FT327) (**Figura 27**) con una sonda cilíndrica de 8mm de diámetro que mide la fuerza necesaria para





ocasionar la ruptura de la piel y la penetración del fruto, los resultados se expresando los resultados en Kg/cm^2 .



Figura 27. Penetrómetro manual.

4.8.2.4. Determinación de Sólidos Solubles.

El contenido de sólidos solubles se determinó por medición directa del jugo del fruto con un refractómetro de mano (marca ATAGO, modelo 2111) (**Figura 28**), previamente calibrado y ajustado a temperatura ambiente, los resultados se expresaron como °Brix.



Figura 28. Refractómetro de mano.

4.8.2.5. Determinación de pH.

Se tomaron 10 g de muestra y se homogenizaron con 90 ml de agua destilada, la solución se filtró y en esta solución se sumergió el pH-metro manual digital (marca HANNA instruments, modelo pHep1) (**Figura 29**), se tomó la lectura de pH a temperatura ambiente.



Figura 29. pH-metro manual digital.





4.8.2.6. Determinación de Acidez Total.

La acidez se determinó por titulación directa de acuerdo al método descrito por el AOAC, 1990 (Figura 30). Se tomaron 20 ml de la solución que se obtuvo en el apartado anterior, se le adicionaron 3 gotas de fenolftaleína y se tituló con hidróxido de sodio (NaOH) 0.1N. Se calculó la cantidad de ácido cítrico presente en el mango y se expresó como el porcentaje de ácido cítrico.



Figura 30. Titulación directa para determinación de acidez en mango.

4.8.3. PARÁMETROS QUÍMICOS.

4.8.3.1. Determinación de humedad.

El contenido de humedad se determinó por el método de secado, en el cual el agua se elimina por el efecto del calor aplicado a la muestra en una estufa de aire. El contenido de agua en la muestra se calculó por pérdida de peso debido a la evaporación del agua por calentamiento a 70°C (Pearson, 1998). El resultado se expresó como porcentaje de humedad.

4.8.3.2. Determinación del contenido de carbohidratos.

Se utilizó el método colorimétrico de DNS modificado (Miller, 1959), el cual se basa en la propiedad de los azúcares reductores para reducir el ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) bajo determinadas condiciones. La determinación se llevó a cabo utilizando una solución de sacarosa hidrolizada como estándar, para obtener la curva patrón en un espectro (marca TERMO SPECTRONIC, modelo Génesis 10 UV) (Figura 31). Los valores de concentración de carbohidratos se determinaron por interpolación gráfica en una curva patrón obtenida a 575nm.





Figura 31. Espectrofotómetro.

4.8.3.3. Determinación de proteína.

La cantidad de proteína fue determinada por el método de Lowry *et al.* (1951), que se basa en la reacción de las proteínas en donde estas reaccionan con Cobre en solución alcalina y mediante reducción del reactivo de Folin-Ciocalteu, a heteromolibdeno azul por la oxidación de aminoácidos aromáticos. Se utilizó como estándar albúmina sérica bovina. Los valores de concentración de proteína se determinaron por interpolación gráfica en una curva patrón obtenida a 720 nm.

4.8.3.4. Determinación de fibra cruda.

El contenido de fibra cruda se determinó de acuerdo al método de Kennedy-Wendy (Pearson, 1998), el cual se basa en la determinación de fibra cruda sobre una muestra desengrasada, para la determinación de materiales insolubles (lignina, celulosas y hemicelulosas) presentes en el fruto, mediante hidrólisis en medio ácido y en medio alcalino. El contenido de fibra se tomó a partir del residuo obtenido del filtrado de estas hidrólisis menos el contenido de cenizas presentes en la muestra, expresándose los resultados en g / 100g de muestra.

4.8.3.5. Determinación de pectina.

La determinación de pectina se llevó a cabo por medio de la precipitación con cloruro de calcio y la posterior formación de pectato de calcio. Los resultados se expresaron en g/100g de muestra (Less, 1980).





4.8.4. ENSAYOS DE ACTIVIDADES ENZIMÁTICAS.

4.8.4.1. Obtención del extracto.

La preparación del extracto se realizó de acuerdo al método propuesto por **Buesher y Furmanski (1978)** y **Priya, et al. (1996)**, con algunas modificaciones. La obtención del extracto se llevó a cabo a una temperatura de 4 °C, donde se pesaron 2 g de piel y/o pulpa del fruto, los cuales se maceraron en mortero con nitrógeno líquido. Se colocó en un vaso de precipitado de 50 ml y se agregaron 2 ml de Buffer acetatos frío 0.1 M, pH 5 con 10 mg/ml de Polivinylpirrolidona (PVP) y 2 ml de NaCl 0.15 M, la mezcla se agitó durante 30 min en un agitador (marca DAIGGER, modelo HOIplate/Stirrer), posteriormente la mezcla se centrifugó a 12 000 rpm durante 15 minutos en microcentrífuga (marca Daigger 4350). El sobrenadante se colectó y se congeló a -20°C, hasta la determinación de los ensayos de las diferentes actividades enzimáticas (PE, Exo-PG, PEL, CEL) y contenido de proteína.

4.8.4.2. Ensayo de enzimas pectinolíticas.

Pectinesterasa (PE):

La actividad PE se determinó usando el método descrito por **Lee y MacMillan (1968)** con ligeras modificaciones. El ensayo consistió en titulación con NaOH 0.02 M por 10min a 25°C para mantener el pH a 7 de una mezcla de reacción que contenía 7.5ml de pectina cítrica 1% que se utilizó como sustrato en solución de NaCl 0.15 M, 2.2ml de Buffer Acetatos 0.2 M pH 5 y 0.3ml de extracto enzimático. Una unidad de actividad PE representó 1.0 µeq de grupos carboxilos libres producidos por actividad hidrolítica de PE sobre el sustrato por minuto y cantidad de proteína a 25°C (U/mg de prot.*h).

Exo-Poligalacturonasa (Exo-PG):

La actividad Exo-PG se evaluó con el método de **Pressey et al. (1971)** con algunas modificaciones. En el ensayo la actividad fue medida por la producción de azúcares reductores, los cuales se cuantificaron por el método espectrofotométrico del ácido 3,5-dinitrosalicílico





(DNS) descrito por [Miller \(1959\)](#). La mezcla de reacción contenía 0.7 ml de ácido poligalacturónico (GALA) al 0.5% como sustrato en solución amortiguadora de acetatos 0.1 M, pH 5, 0.2 ml de NaCl 0.15 M. Esta mezcla se pre incubó a 35°C por 5 minutos inmediatamente después se agregó 0.1 ml de extracto enzimático y se incubó por 14 horas. Para detener la reacción de la mezcla se agregó 1 ml de DNS y se colocó en un baño a ebullición por 5 minutos. Posteriormente se agregaron 5 ml de agua destilada, y se leyó a una absorbancia de 575nm. Al blanco se le adicionó el filtrado enzimático después de haber agregado el DNS. Una unidad de actividad Exo-PG se definió como la cantidad de enzima que cataliza la formación de 1.0 μ mol de ácido poligalacturónico en el tiempo de incubación bajo las condiciones del ensayo entre la cantidad de proteína (U/mg de prot.*h).

Pectatoliasa (PEL):

La actividad PEL fue cuantificada por el método espectrofotométrico acordado por [Collmer et al. \(1988\)](#), donde se utilizó como sustrato una solución de ácido poligalacturónico al 0.5%. El sistema de ensayo consistió de 0.6ml de sustrato en solución amortiguadora de Tris-HCl 0.05 M, pH 8, 0.15 ml de NaCl 0.15 M, 0.15 ml de CaCl₂. Esta mezcla se pre incubó a 35°C por 5 minutos inmediatamente después se agregó 0.1 ml de extracto enzimático y se incubó por 3 horas. La reacción se paró agregándole 0.5 ml de HCl 0.1 M y se determinó la absorbancia a 575 nm; al blanco se le fue adicionado el filtrado enzimático después de haber agregado el HCl. Una unidad de actividad PEL se definió como la cantidad de enzima que causa un cambio de 0.01 de absorbancia en el tiempo de incubación bajo las condiciones del ensayo entre la cantidad de proteína (U/mg de prot.*h).

4.8.4.3. Ensayo de CMC-Celulasa.

La actividad celulolítica fue determinada mediante la producción de azúcares reductores por el método descrito por [Sánchez et al. \(1997\)](#) con pequeñas modificaciones de [Barrett y Gonzales \(1994\)](#). Donde se utilizó como sustrato una solución de carboximetilcelulosa (CMC) al 1%. El sistema de ensayo contenía 0.7ml de sustrato en solución amortiguadora de acetatos 0.05 M, pH 5, 0.2 ml de NaCl 0.15 M. Esta mezcla se pre incubó a 35°C por 5 minutos inmediatamente





después se le agregó 0.1ml de extracto enzimático y se incubó por 6 horas. La reacción se paró agregándole 1ml de ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) y se llevó a ebullición en baño por 5min. Los azúcares reductores producidos en la reacción se cuantificaron por el método espectrofotométrico de DNS acordado por **Miller (1959)**, en donde a la mezcla de reacción se le agregaron 5 ml de agua destilada, los cuales se mezclaron para posteriormente leer a una absorbancia de 575 nm. Cabe aclarar que al blanco se le adicionó el filtrado enzimático después de haber agregado el DNS. Una unidad de actividad celulolítica se definió como la actividad de enzima que cataliza la formación de 1 μ mol de glucosa en el tiempo de incubación bajo las condiciones del ensayo por la cantidad de proteína (U/mg de prot.*h).

4.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.

Los experimentos se realizaron por triplicado para realizar un análisis estadístico confiable y representativo. A los datos obtenidos se les aplicó el análisis estadístico de varianza (ANOVA) el cual es una colección de modelos estadísticos y sus procedimientos asociados. El análisis de varianza sirve para comparar si los valores de un conjunto de datos numéricos son significativamente distintos a los valores de otro o más conjuntos de datos. El procedimiento para comparar estos valores se basa en la varianza global observada en los grupos de datos numéricos a comparar. Típicamente, el análisis de varianza se utiliza para asociar una probabilidad a la conclusión de que la media de un grupo de puntuaciones es distinta de la media de otro grupo de puntuaciones. Para establecer diferencias significativas entre las diferentes variedades de mango se aplicaron pruebas de Duncan, éste análisis se llevó a cabo por medio del programa estadístico SPSS 12.0 for Windows Student Versión.

Para establecer posibles relaciones entre las actividades enzimáticas y los parámetros de calidad y químicos se realizaron correlaciones las cuales se definieron como el cambio sistemático que da una variable con respecto a otra, a las cuales se les aplicó un análisis estadístico de significancia (prueba *t* para el coeficiente de correlación *r* de Pearson), utilizando la fórmula $t_r = r(\sqrt{n-2/1-r^2})$ para probar la existencia de una relación entre dos variables (**Ritchey, 2005**).





RESULTADOS Y DISCUSIÓN





5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE DIFERENTES VARIEDADES DE MANGO ('MANILA', 'ATAULFO', 'TOMMY ATKINS', 'KEITT' Y 'HADEN').

Una caracterización física de los frutos se llevó a cabo para conocer al material en estudio y obtener lotes similares por variedad. Se midió el peso, las longitudes ecuatorial y polar que proporcionaron una idea del estado fisiológico, siendo el tamaño y la forma una de las características típicas de cada variedad que se alcanzan durante el desarrollo del fruto.

El tamaño del mango es un importante criterio de calidad, que puede ser fácilmente medido, ya que mediante este parámetro son clasificadas. Los mangos ya redondeados por relleno de los lados y que además presenta hinchamiento de "hombros", es una fruta que ya está en madurez fisiológica y que por lo tanto aunque externamente está verde, va a madurar después de ser cosechada (EMEX, 2005).

En la **Tabla 7**, se muestran las características de los mangos con los cuales se trabajó durante el presente trabajo. Los frutos sometidos a este estudio cumplieron con las especificaciones mínimas por variedad, para ser clasificados de primera categoría de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-058-SCFI-2006, ya que el tamaño mínimo para mangos en todas sus variedades fue de 120 gramos (SCFI, 2007).

Tabla 7. Caracterización física de diferentes variedades de mango.

Variedad	Características físicas		
	Peso (g)	Diámetro ecuatorial (cm)	Diámetro polar (cm)
'Manila'	164.17 ± 17.23 ^a	17.38 ± 0.72 ^a	12.15 ± 0.48 ^a
'Ataulfo'	204.05 ± 14.11 ^b	19.57 ± 0.43 ^b	12.32 ± 0.48 ^a
'Haden'	313.40 ± 40.11 ^c	24.04 ± 1.11 ^c	13.10 ± 0.71 ^b
'Keitt'	287.16 ± 26.12 ^c	23.58 ± 0.79 ^c	13.12 ± 0.83 ^b
'Tommy Atkins'	358.87 ± 70.73 ^d	26.31 ± 1.60 ^d	13.93 ± 0.96 ^c

Los datos presentados son la media de 24 frutos por variedad, ± desviación estándar. Diferentes letras en la misma fila indican diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Duncan ($P \geq 0.05$).





RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características físicas

Con base en la Norma del Codex para el Mango Stan 184-1993, el calibre se determina por el peso de la fruta, en donde el mango 'Manila' es la única variedad que no cumple con las especificaciones, ya que para esta norma el calibre mínimo requerido para poder aprobar el fruto debe pasar por el calibre A en el que establece que por mínimo el mango debe pesar 200 g los mangos del estudio sólo alcanzaron valores de 181 g, no siendo así para las variedades 'Ataulfo', 'Keitt' y 'Haden' que cumplieron con el calibre A (200-350 g) y 'Tommy Atkins' al calibre B (350-550 g) (CODEX, 2005).

La variedad 'Manila' fue la que presentó menor tamaño y peso comparada con las variedades restantes, seguida de la 'Ataulfo', posteriormente las variedades 'Keitt' y 'Haden' en donde no se encontraron diferencias significativas ($P \geq 0.05$) entre ellas mismas, por último la variedad 'Tommy Atkins' que presentó un tamaño mayor a dos veces el tamaño del mango 'Manila', presentando diferencias significativas ($P \geq 0.05$) con las otras variedades.

Con respecto a la familia a la que pertenecen los resultados obtenidos indican que los mangos Indostano se caracterizaron por ser pequeños en sus hombros con pesos desde 150 a 300 g, no siendo así para familia Mulgova, mejor conocido como mangos "petacones" ya que se caracterizaron por pesar casi el doble que los de la familia Indostano, además de que su peso fue menor al que presentaron la familia Indostano, presentando un rango de 300 a 900 g.

5.2. EVALUACIÓN DE PARÁMETROS FISIOLÓGICOS, QUÍMICOS Y DE CALIDAD DE DIFERENTES VARIEDADES DE MANGO.

Con el propósito de establecer las diferencias entre las cinco variedades de mango 'Manila', 'Ataulfo', 'Tommy Atkins', 'Keitt' y 'Haden', se determinaron las características químicas, fisiológicas y de calidad de los frutos. Estas características fueron evaluadas en diferente estado de madurez del fruto (E_1 (pre-climaterio), E_2 (inicio del climaterio), E_3 (máximo climaterio) y E_4 (post-climaterio)) a temperatura de almacenamiento de 20°C y 95% de H.R.

El periodo de maduración del mango es caracterizado por una serie de cambios bioquímicos iniciados por la producción de etileno y un incremento en la respiración que provocan los cambios en color, aroma y sabor (Salunke y Desai, 1984).





5.2.1. PARÁMETROS FISIOLÓGICOS.

La actividad fisiológica en frutas recolectadas puede ser esencial para el logro de la madurez o puede concluir a un deterioro de la calidad. La senescencia implica la desorganización progresiva de los procesos metabólicos de la célula. El mantenimiento de la integridad de las células y de su metabolismo requiere un suministro constante de energía procedente de la respiración (Lakshminarayana, 1973).

La respiración de los frutos es un proceso bioquímico en el cual las células de los frutos consumen oxígeno para transformar los azúcares simples y obtener energía, liberando bióxido de carbono y agua. La respiración en los frutos climatéricos desempeña un papel importante después de que son cosechados; esto es debido a que posterior a la cosecha, sobreviene una alta tasa de respiración que es un buen índice de la longevidad del fruto, seguida por una disminución de la misma, sucediendo la degradación de los compuestos fenólicos y otros procesos para llegar a la madurez de consumo (Flores, 2000).

Una tasa elevada de respiración va asociada con una corta vida en almacenamiento. La tasa de respiración también es indicadora de la tasa a la cual el fruto se está deteriorando en calidad y valor alimenticio (Pantástico, 1987; Lizada, 1993).

Los patrones de respiración durante la maduración a 20°C de las cinco variedades de mango se muestran en la **Figura 32**. Las cinco variedades presentaron el típico comportamiento de un fruto climatérico, como el mango. Este comportamiento se caracterizó por la aparición de 4 etapas durante la maduración del fruto; pre-climaterio cuando el fruto alcanzó su tamaño máximo y se registró una producción de CO₂ mínima (madurez fisiológica), posteriormente aumentó la cantidad de CO₂ y es cuando comenzó a madurar (inicio del climaterio), posteriormente alcanzó su valor máximo al final de la maduración en el cual se presentó un pico de producción de CO₂ (máximo climaterio), para después disminuir rápidamente en el transcurso de la senescencia (post-climaterio).



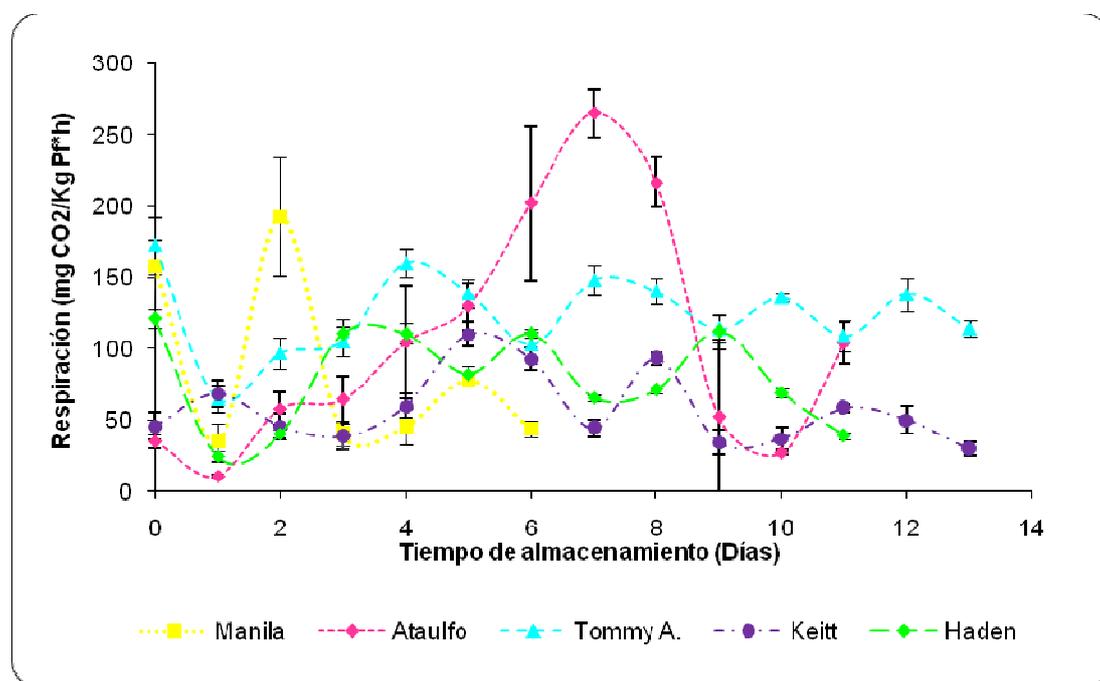


Figura 32. Cambios en la tasa de respiración de diferentes variedades de mango durante su almacenamiento a 20°C y 95% de HR. Las barras verticales representan \pm SD.

Los mangos variedad 'Manila' exhiben el menor tiempo de vida de anaquel, ya que a los 6 días de su llegada al lugar de estudio, estos presentaron su completa maduración, en comparación con las restantes variedades que presentaron su máxima maduración de los 11 a 13 días. Esta variedad muestra una tasa de respiración corta en donde su máximo climaterio fue a los 2 días después de su llegada con una producción de 193 mg CO₂/Kg PF*h, sin embargo en datos reportados por Díaz *et al.* (2000) mangos variedad 'Manila' presentaron su máximo climaterio 8 días después de la cosecha con una producción de CO₂ de 73 mg CO₂/Kg PF*h. La diferencia en el comportamiento fue por el estado fisiológico inicial de los frutos, ya que al ser un fruto de temporada los frutos son cosechados de diferentes momentos de acuerdo a la oferta y demanda en el mercado.

Con respecto a las otras variedades, la variedad 'Ataulfo' fue la que mayor producción de CO₂ presentó en comparación a las otras variedades, con una producción máxima de CO₂ de 266 mg CO₂/Kg PF*h a los 7 días. Se sabe que una alta velocidad de respiración puede traer como consecuencia un descenso en la vida útil del fruto (Mitcham y McDonald, 1992). Sin embargo,





comparándola con respecto al tiempo de vida útil con las otras variedades, la variedad 'Ataulfo' presentó similitud con la variedad 'Haden' presentando una vida potencial a los 11 días después de su cosecha, indicando que el valor tan alto de CO₂ producido no representó un efecto en el tiempo de vida útil.

A pesar de que la variedad 'Ataulfo' y 'Haden' presentaron el mismo tiempo de vida útil, se pudo observar que la variedad 'Haden' tiene similitud con el comportamiento en cuanto a la tasa respiratoria con respecto a las variedades 'Tommy Atkins' y 'Keitt', dando producción máxima de 111 mg CO₂/Kg PF* h a los 6 días para la variedad 'Haden'; de 160 mg CO₂/Kg PF* h a los 4 días para la variedad 'Tommy Atkins' y de 110 mg CO₂/Kg PF* h a los 5 días para la variedad 'Keitt', siendo para estas dos últimas variedades su completa maduración se prolongó hasta los 13 días después de su cosecha.

Con respecto a la producción de CO₂ en el máximo climaterio según lo reportado en [Braverman \(1967\)](#), para frutos de mango generalmente se aproxima a 126 mg CO₂/Kg PF*h. Al comparar los datos que se obtuvieron para las cinco variedades, la variedad 'Ataulfo', seguida de la 'Manila', quedaron muy por arriba de lo reportado, sin embargo la producción de las tres restantes variedades en el máximo climaterio se aproxima a este valor.

Otras variedades como mangos 'Alfonso' presentaron su máximo climaterio normalmente 5 días después de la cosecha, con una producción de 126 mg de CO₂/Kg PF*h ([Mitra y Baldwin, 1997](#)); en mangos 'Pairi' su máximo climaterio se presentó 8 días después de la cosecha con una producción de 240 mg CO₂/Kg PF*h ([Krishnamurthy y Subramanyam, 1970](#); [Lakshminarayana, 1973](#)); en mangos 'Nam Dokmai' y 'Tongdum' su máximo climaterio se observó 4 días después de la cosecha con una producción de 180 y 80 mg CO₂/Kg PF*h, respectivamente ([Ketsa et al., 1991](#)), para mangos africanos su máximo climaterio fue reportado a los 5 días con una producción de 99.3 ml CO₂/Kg PF*h ([Aina y Oladunjoye, 1993](#)).

De acuerdo a estos resultados, los patrones respiratorios de los frutos cambian dependiendo de la variedad y del momento en que fueron cosechados. Sin embargo, hay que tener en cuenta otros factores que pueden influir en la velocidad de respiración de los frutos como la temperatura de almacenamiento, y condiciones de cultivo del fruto.





Se puede concluir que los mangos presentaron un comportamiento climatérico, ya que aumentaron los niveles de CO₂ en la medida que transcurrió el tiempo, presentando un incremento paulatino de la respiración. Los patrones respiratorios, la producción de etileno y el comportamiento postcosecha de los frutos varía ampliamente de acuerdo con la variedad, las condiciones climáticas, el lugar de cultivo, la temperatura de almacenamiento y estado de madurez (Lakshimnarayana, 1973, 1975; Lizada, 1993). La tasa de respiración fue un atributo que ayudó a conocer el grado de madurez del fruto y de esta manera seleccionar lotes completamente homogéneos con el mismo estado fisiológico.

En los frutos climatéricos el aumento en la tasa respiratoria va acompañado de la producción auto catalítica de etileno, lo cual acelera las reacciones metabólicas del fruto favoreciéndose una serie de actividades bioquímicas que conducen a la maduración y/o senescencia de los productos, manifestándose a través de cambios de calidad y químicos como el color, pérdida de firmeza, pérdida de peso, cambios en el aroma, degradación de azúcares, entre otros. En el presente trabajo no se realizó la determinación de la producción de etileno, pero bibliográficamente se reporta la presencia de pequeñas cantidades de esta fitohormona cuando se alcanza el máximo climaterio respiratorio.

5.2.2. PARÁMETROS DE CALIDAD.

La calidad de un fruto se define como una combinación de características, atributos y propiedades que le darán un valor como alimento. La calidad se asocia con una buena apariencia, firmeza, sabor, valor nutritivo y la seguridad que ofrece al consumidor (Flores, 2000). Sin embargo, durante la maduración, la mayoría de los frutos sufren muchos cambios físicos y químicos, los cuales determinan la calidad de estos.

La fisiología de la maduración involucra numerosos aspectos como: pérdida de peso y volumen en el fruto, cambios en gravedad específica, color de la piel y la pulpa, disminución en la firmeza, seguido por una serie de cambios en la composición química, tal como la disminución en acidez, almidón y sólidos insolubles en alcohol y un incremento en sólidos solubles totales, pH, azúcares, carotenoides y compuestos que forman el aroma (Doreyappa y Huddar, 2001).





Por lo que, la evaluación de los parámetros de calidad durante la postcosecha es importante para conocer las características y vida útil de los frutos. Además, los parámetros de calidad son los más importantes para evaluar la aceptación del fruto durante su comercialización y procesamiento (Medlicott y Thompson, 1985). Las características de las variedades de frutos de mango se distinguen y varían ampliamente en su forma, tamaño, color, sabor, textura, contenido de fibra y composición (Jagtiani *et al.*, 1988).

Color:

El color de los frutos es probablemente el factor más importante, por el cual el consumidor evalúa la calidad. El color de la piel y de la pulpa representa un importante criterio de selección postcosecha. También podría indicar el estado de deterioro, infestación por enfermedades y/o contaminación. El color de la piel a menudo es el principal criterio postcosecha utilizado por los investigadores, productores y consumidores para determinar si la fruta es madura o verde (Flores, 2000), es un parámetro que puede ser distintivo entre las diferentes variedades de mango. Durante la maduración del fruto se desarrollan o degradan diferentes pigmentos que proporcionan la característica final del color.

El color puede considerarse bajo tres aspectos: matiz, brillo y saturación. El matiz o clase de color se relaciona con la longitud de onda de la radiación que produce la estimulación óptica; el brillo es la medida del grado de dilución del matiz con el negro; y la saturación es la pureza del color o bien puede considerarse alternativamente como el grado de dilución con el blanco (Lees, 1980).

Luminosidad:

En la Figura 33, se puede observar que la luminosidad de los frutos, se incrementó conforme avanzó la maduración en todas las variedades a partir del pre-climaterio (E₁), ya que en este estado de madurez todas las variedades arrojan valores aproximados de 52, sin presentar diferencia significativa ($P \geq 0.05$).



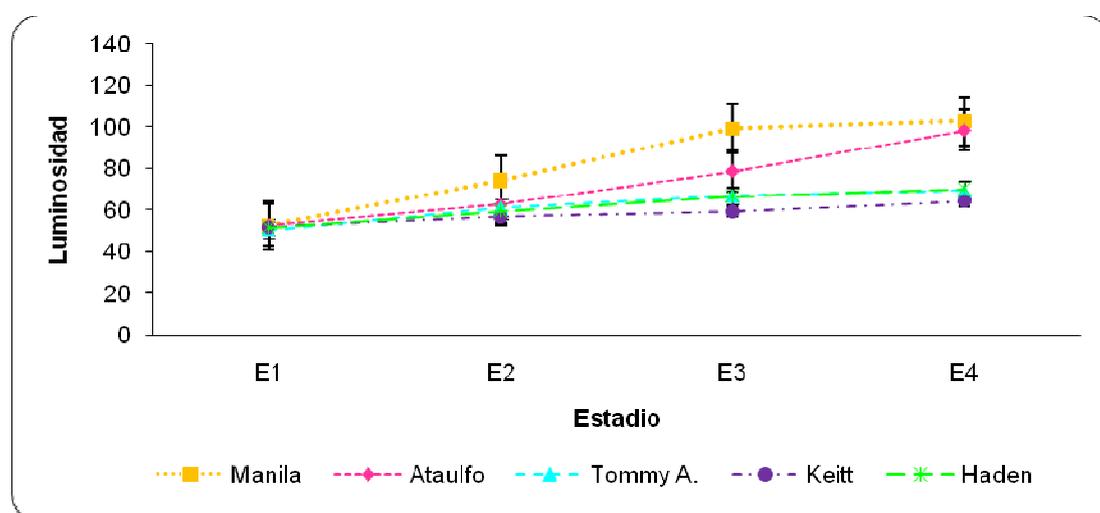


Figura 33. Luminosidad de diferentes variedades de mangos almacenados a 20°C en diferentes estadios de maduración: E₁ (pre-climaterio), E₂ (inicio del climaterio), E₃ (máximo climaterio) y E₄ (post-climaterio). Las barras verticales representan \pm SD.

Para el inicio del climaterio (E₂), la variedad que mayor luminosidad presentó fue ‘Manila’ con un valor de 74 es decir, 24% más de luminosidad comparada con los mangos ‘Tommy Atkins’, que fueron los que presentaron un menor valor (L=57). Con respecto a las otras variedades, los mangos ‘Keitt’ fueron los siguientes en orden descendiente en cuanto al valor de luminosidad (L=66) presentando diferencia significativa ($P \geq 0.05$) con las otras dos variedades, ‘Ataulfo’ y ‘Haden’, que mostraron similitud en el cambio de luminosidad para este estadio.

En el máximo climaterio (E₃) se observó que los mangos ‘Manila’ nuevamente fueron los que presentaron el mayor valor de luminosidad (L= 99), seguido de los mangos ‘Ataulfo’, ‘Keitt’ y ‘Haden’ que no presentaron diferencia significativa ($P \geq 0.05$) entre sí. Al igual que la variedad ‘Manila’, la variedad ‘Tommy Atkins’ mostró nuevamente ser la variedad con el menor valor de luminosidad, presentando un valor 40% menos con respecto a la variedad ‘Manila’.

En el post-climaterio (E₄), los mangos ‘Manila’ y ‘Ataulfo’ fueron las variedades que presentaron una luminosidad cercana a L=100, no encontrándose diferencia significativa ($P \geq 0.05$) entre éstas, pero sí con las otras tres variedades, ya que el valor de luminosidad fue menor en un 30%. En este estadio se observó que la variedad ‘Tommy Atkins’, fue la variedad que presentó un menor valor de luminosidad (L=54), este comportamiento se debe a que esta





variedad presentó un mayor porcentaje de pigmentos rojos, a diferencia de las otras tres variedades en el que la mayor parte del color predominante fue el amarillo.

En general se observó un incremento en la luminosidad conforme avanzó la maduración, el cual fue mayor en los mangos de familia Mulgova ('Manila' y 'Ataulfo') lo que da lugar a que exista diferencia significativa ($P \geq 0.05$), con respecto a las otras variedades, ya que estas dos variedades muestran un 50% más en valor de luminosidad en comparación con las otras variedades de la familia Indostano ('Tommy', 'Keitt' y 'Haden'), del pre-climaterio al post-climaterio.

Tono:

El valor del tono indica la tonalidad de matiz que tiene la muestra, dándonos una idea más clara del color en sí, es decir la impresión visible del color del fruto. El tono al igual que la luminosidad, presentó un aumento gradual a lo largo de la maduración del fruto como se puede apreciar en la **Figura 34**, indicando que el tono de la coloración de la piel del mango fue una mezcla entre el color rojo y amarillo, predominando el amarillo para todas las variedades.

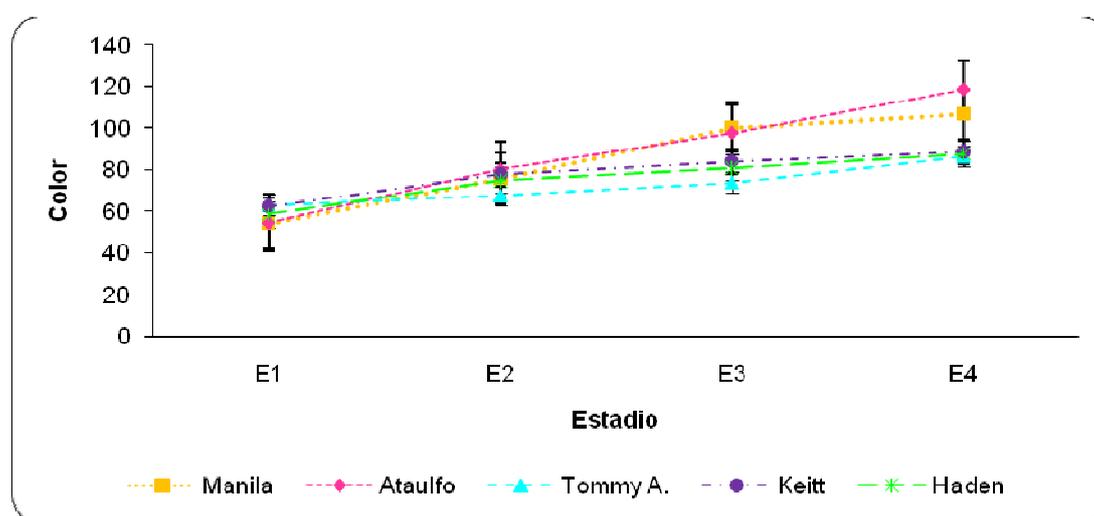


Figura 34. Tono de diferentes variedades de mangos almacenados a 20°C en diferentes estadios de maduración: E₁ (pre-climaterio), E₂ (inicio del climaterio), E₃ (máximo climaterio) y E₄ (post-climaterio). Las barras verticales representan \pm SD.





Los mangos de cada variedad conforme avanzó la madurez se observó una similitud entre sí de acuerdo a la familia en la que pertenecían, ya que los mangos de la familia Mulgova presentaron los mayores valores en color seguidos de los mangos de la familia de los Indostano que debido a sus tintes rojos que tienen como seña característica hace que sus valores sean menores que los Mulgova, siendo más notorio en los mangos ‘Tommy Atkins’ que fueron la variedad con más tonalidades rojas.

Respecto a los cambios de coloración que presentaron las diferentes variedades de mangos, diversos autores han reportado que el color cambia de verde oscuro tomándose ligeramente amarillo a amarillo-anaranjado, además de que algunos presentaron un chapeo rojo debido a la degradación de la clorofila, que conlleva a la desaparición del color verde. Además, se presentó un incremento gradual en el contenido de carotenoides a medida que aparece una coloración profundamente amarilla (Doreyappa y Huddar, 2001; Medlicott *et al.*, 1986).

En la **Figura 35** se observa que los mangos ‘Manila’ y ‘Ataulfo’ presentaron un color verde en estado inmaduro y cambiaron a un color amarillo en estado de madurez comercial. Sin embargo, las otras variedades en estado inmaduro fueron similares a las de la familia Mulgova, pero al ir madurando estas presentaron tonos verdes-amarillo con tintes rojizos, las cuales las hace totalmente diferentes.

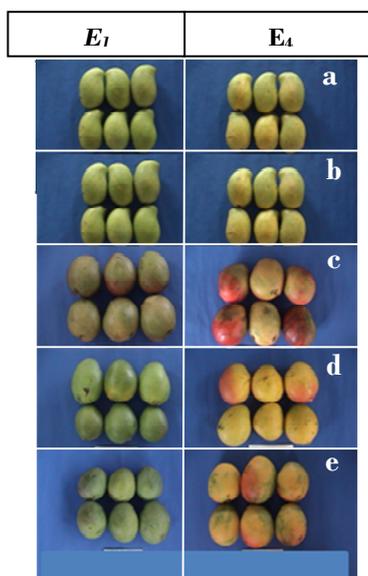


Figura 35. Diferentes variedades de mangos: a) ‘Manila’, b) ‘Ataulfo’, c) ‘Tommy A.’, d) ‘Keitt’ y e) ‘Haden’; almacenados a 20°C en diferentes estadios de maduración: E_1 (pre-climaterio) y E_4 (post-climaterio).





La variedad 'Manila y 'Ataulfo', como se puede observar en la figura 35, son mangos que no presentaron tintes rojizos en comparación a las otras variedades de la familia Indostano. Los mangos 'Haden' presentaron un color amarillo con pequeñas regiones de color rojos, en la variedad 'Keitt' predominaron las tonalidades verdes, verdes-amarillas y muy poco las tonalidades naranjas o rojas, en comparación con la variedad 'Tommy Atkins', que presentó una piel casi roja.

Para concluir, el cambio de color que sufren los mangos durante la maduración le da las características principales de aceptabilidad en el mercado, sin embargo también es un parámetro difícil de correlacionar con la madurez ya que muchas variedades muestran diferentes grados de verde en la piel cuando están en madurez de consumo (Medlicott y Thompson, 1985).

Pérdida de peso:

La pérdida de peso es una característica que afecta la calidad de los frutos debido a que está generalmente asociada con la deshidratación, que se atribuye a la pérdida de líquidos, principalmente de agua, la cual se pierde principalmente en estado de vapor (y no en estado líquido), a través de rutas primarias tales como heridas, estomas y cutícula, causando importantes pérdidas económicas, además de que modifica la apariencia de los frutos y contribuye también a la pérdida de su firmeza (Lamúa, 2000).

La evaluación del porcentaje de pérdida de peso es esencial debido a que la alta tasa de respiración, acompañada por una pérdida de agua, puede ser una de las principales causas de deterioro de productos durante la maduración, particularmente durante la fase climatérica, ya que causa una reducción neta en el peso de los frutos (Doreyappa y Huddar, 2001).

Como se puede apreciar en la Figura 36, la pérdida de peso aumentó conforme avanzó la maduración, los mangos de la variedad 'Ataulfo' presentaron una pérdida de 7.1% para el inicio del climaterio (E₂) y 18.4% para el post-climaterio (E₄), siendo la variedad que mayor pérdida de peso presentó, mientras que la menor pérdida la mostró la variedad 'Manila' con un 2.9% en E₂ y el 7.9% para E₄. Al final del almacenamiento los mangos de la familia Indostano





presentaron pérdidas de 12.7% para las variedades ‘Tommy A.’ y ‘Keitt’ y de 10.1% para ‘Haden’.

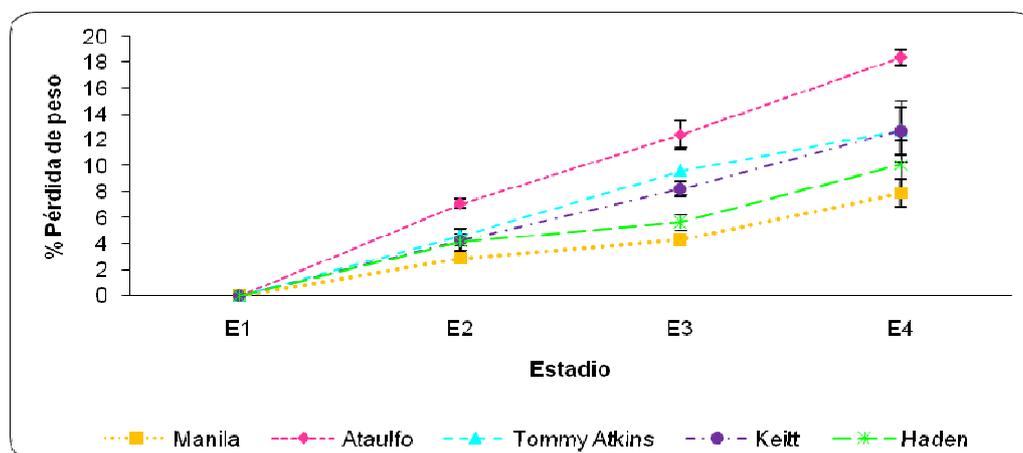


Figura 36. Porcentaje de pérdida de peso de diferentes variedades de mango durante su almacenamiento a 20°C y 95% de HR. Las barras verticales representan \pm SD.

De acuerdo al análisis estadístico al inicio del climaterio (E₂) los mangos ‘Manila’ y ‘Ataulfo’ presentaron diferencia significativa ($P \geq 0.05$) con el resto de las variedades (‘Tommy A.’, ‘Keitt’ y ‘Haden’) ya que entre ellas presentaron similitud. Para E₃ (máximo climaterio) todas las variedades presentaron diferencia con cada una de ellas. En el post-climaterio (E₄) las variedades ‘Tommy A.’ y ‘Keitt’ mostraron similitud entre ellas y diferencia significativa ($P \geq 0.05$) con el resto de las variedades.

Al comparar los resultados del presente trabajo con los reportados para otras variedades de mango se encontró un comportamiento similar, ya que los mangos completamente maduros tuvieron la mayor pérdida de masa fresca (Mohammed y Brecht, 2002), esto ocurre también en frutos como la cereza en la que la pérdida de peso aumentó con forme avanzó la maduración (Barrett y González, 1994).

Firmeza:

Entre algunos de los atributos que contribuyen a la calidad del mango, la apariencia y firmeza pueden ser de los más importantes (Lizada, 1993).





La firmeza es una característica compuesta, que es el resultado de una combinación de tres factores: la pérdida de turgencia que sigue a la erosión de las paredes y al descenso del contenido de azúcares neutros, la ruptura de las conexiones intracelulares que incluyen la disolución de la lamina media y a los ajustes en la composición y anatomía del fruto (Gross y Sams, 1984).

Es una importante característica de calidad postcosecha que puede ser utilizada como un índice de maduración. También es importante en la evaluación de la susceptibilidad de los frutos a daños físicos, mecánicos o manejo postcosecha, ya que esta varía de acuerdo a la madurez y variedad (Ketsa *et al.*, 1999a).

La pérdida de la firmeza o el ablandamiento de los frutos de mango es una consecuencia de la maduración normal que resulta de la desintegración de la pared celular, en parte, por el resultado de los cambios degradativos (solubilización) de las sustancias pécticas y que envuelve un número de enzimas (Lazan *et al.*, 1993; Ketsa *et al.*, 1999a).

En otros frutos el ablandamiento ha sido primeramente atribuido a la despolimerización y solubilización de poliuronidos por acción de hidrolasas de la pared celular (poligalacturonasa y celulasa) (Huber, 1983; Ashraf *et al.*, 1981; Roe y Bruemmer, 1981; Brinson *et al.*, 1988).

Como se puede apreciar en la **Figura 37**, la firmeza decrece progresivamente en el periodo de maduración. El descenso de la pérdida de firmeza en los mangos de todas las variedades a lo largo de la maduración, desde el pre-climaterio (E₁) hasta el post-climaterio (E₄), se debió a los cambios en el grosor de la pared celular, permeabilidad de la membrana y la cantidad de espacios intercelulares que contribuyen el ablandamiento de los tejidos (Pantástico, 1987; Van *et al.*, 2005), por esta razón el ablandamiento de la pulpa puede ser atribuido a diferentes factores concernientes a la alteración de las propiedades de muchos constituyentes de la pared celular y al incremento de los polisacáridos solubles durante la maduración del fruto (Lizada, 1993; Roe y Bruemmer, 1981).



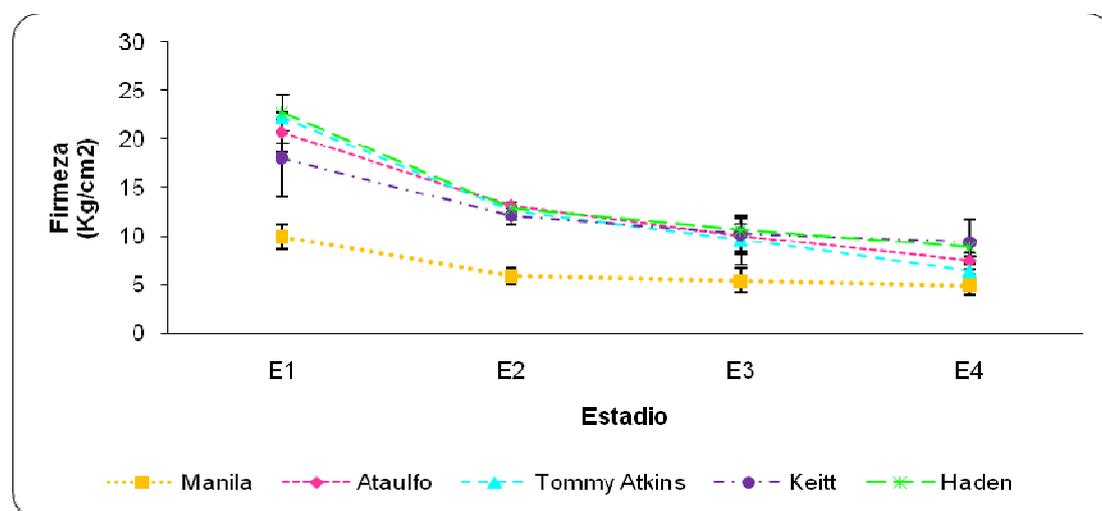


Figura 37. Firmeza de diferentes variedades de mangos almacenados a 20°C en diferentes estadios de maduración: E₁ (pre-climaterio), E₂ (inicio del climaterio), E₃ (máximo climaterio) y E₄ (post-climaterio). Las barras verticales representan \pm SD.

Cuando inició la maduración, es decir en el pre-climaterio (E₁) las variedades ‘Ataulfo’, ‘Tommy A.’ y ‘Haden’, presentaron una textura firme y similar, no siendo así para las variedades ‘Manila’ y ‘Keitt’ que presentaron una menor firmeza con respecto a las demás variedades, presentándose desde el inicio diferencia significativa ($P \geq 0.05$) entre éstas variedades. Los mangos ‘Manila’ fueron los que menor firmeza presentaron (10 Kg/cm²), haciendo que por esta razón no se aceptaran dentro de la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-058-SCFI-2006, ya que la firmeza mínima aceptable, es de 11 Kg/cm² en mangos ‘Keitt’ (SCFI, 2007).

Posteriormente en el inicio del climaterio (E₂), todas las variedades mostraron una pronunciada pérdida de la firmeza, presentándose un descenso del 25% menos de su valor inicial. Los mangos de variedad ‘Manila’ fueron los que menor firmeza presentaron con tan sólo el 45% de la firmeza que presentaron las demás variedades (‘Ataulfo’, ‘Tommy Atkins’, ‘Keitt’ y ‘Haden’).

La firmeza descendió de manera gradual para el máximo climaterio (E₃) con un 19% con respecto al inicio del climaterio (E₂), mostrando repetidamente que la variedad con menor firmeza presentada fue la ‘Manila’ con un valor de 5 Kg/cm², en comparación a las demás variedades que mostraron valores aproximados de 10 Kg/cm².





Para el final de la maduración, la firmeza únicamente disminuyó alrededor del 2.1% para cada una de las variedades comparándolas con E₃, presentando valores en forma descendiente de 9 Kg/cm² para mangos ‘Keitt’ y ‘Haden’ de 7, 6 y 5 Kg/cm² para las variedades ‘Ataulfo’, ‘TommyA.’ y ‘Manila’, respectivamente.

Las variedades que mayor pérdida de firmeza fueron los mangos ‘Tommy A.’ ya que tuvieron una pérdida del 69% de pérdida del E₁ hasta E₄, seguidos de los mangos ‘Haden’ con una pérdida del 61%, ‘Ataulfo’ del 58%, ‘Keitt’ del 38% y ‘Manila’ del 22%. A pesar de que los mangos ‘Haden’ y ‘Keitt’ resultaran ser unas de las variedades más afectadas en este parámetro durante el post-climaterio (E₄) mostraron ser las variedades más firmes en comparación con las otras variedades, haciéndolas más resistentes a daños mecánicos durante el manejo postcosecha.

Para concluir se puede decir que la firmeza descendió a lo largo de la maduración, al igual que en otros trabajos para diversos frutos como: durazno (Pressey *et al.*, 1971), manzana (Bartley, 1974), pera (Bartley *et al.*, 1982), mango (Aina y Oladunjoye, 1993; Ali *et al.*, 1995 ; Sobac *et al.*, 1997), cereza (Barrett y González, 1994), papaya (Lazan *et al.*, 1995), tomate (Marangoni *et al.*, 1995), frutos tropicales (Ali *et al.*, 2004).

Sólidos solubles:

El contenido de azúcares de mangos ha sido usualmente evaluado en términos de contenido de sólidos solubles, o de azúcares reductores y no reductores (Medlicott y Thompson, 1985). La glucosa, fructosa y sacarosa se encuentran presentes en concentraciones similares en mangos maduros y la sacarosa ha mostrado ser la predominante durante toda la maduración.

Los sólidos solubles totales, medidos como °Brix, son una medida de densidad, esto es que sólo son un índice comercial aproximado de la concentración de sólidos disueltos que se acepta comercialmente, como si todos los sólidos disueltos fueran sacarosa, por consiguiente un grado Brix es entonces la densidad que tiene a 20°C una solución de sacarosa al 1% (Primo, 1998).

Los °Brix, fueron incrementándose desde el pre-climaterio (E₁) con valores de 6.8 para la variedad ‘Manila’ hasta 16.8 °Brix para el post-climaterio (E₄) en la variedad ‘Ataulfo’ (Figura





38). Esto puede ser atribuido a la degradación de polisacáridos, particularmente almidón y pectinas, durante la maduración en sacarosa, glucosa y fructosa, principalmente (Zambrano *et al.*, 1997; Doreyappa y Huddar, 2001). Como consecuencia de esta hidrólisis de polisacáridos, el contenido de azúcares reductores, al igual que de sólidos solubles presentaron el mismo comportamiento, incrementando sus valores durante la maduración del fruto (Selvaraj *et al.*, 1989).

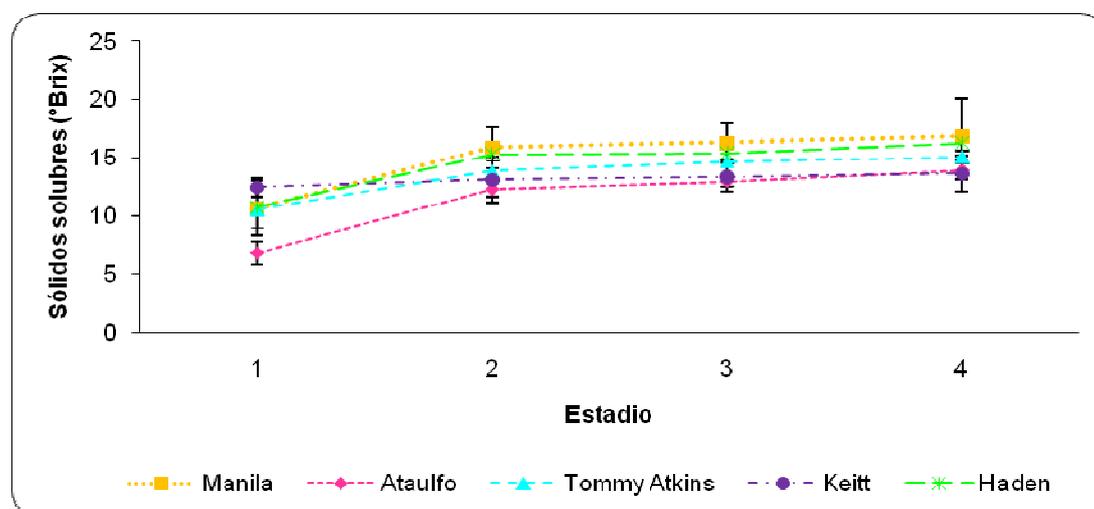


Figura 38. Sólidos solubles de diferentes variedades de mangos almacenados a 20°C en diferentes estadios de maduración. E₁ (pre-climaterio), E₂ (inicio del climaterio), E₃ (máximo climaterio) y E₄ (post-climaterio). Las barras verticales representan \pm SD.

La variedad que menor °Brix presentó a lo largo de la maduración, fue la variedad ‘Ataulfo’, con el valor de 6.8 °Brix en el pre-climaterio. Sin embargo, a pesar de su valor bajo y de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-058-SCFI-2006, ésta variedad se encuentra dentro de la cantidad mínima de °Brix (2.9) indicados para la variedad ‘Ataulfo’ (SCFI, 2007).

Los sólidos solubles expresados como °Brix mostraron una tendencia general a aumentar conforme avanzó la maduración de los frutos a 20°C para las diferentes variedades. Para el inicio del climaterio (E₂) las variedad ‘Manila’ y ‘Haden’ no mostraron diferencia significativa ($P \geq 0.05$) entre sí, pero si con las demás variedades (‘Ataulfo’, ‘Tommy Atkins’ y ‘Keitt’) en más de un 18%.





En el máximo climaterio (E_3), al igual que el post-climaterio (E_4), los °Brix siguieron aumentando gradualmente para todas las variedades en un 2.3% con respecto a E_2 , encontrando diferencia significativa ($P \geq 0.05$) entre dos grupos: ‘Manila’, ‘Tommy Atkins’ y ‘Haden’ (1^{er} grupo) con valores aproximados de 15°Brix y ‘Ataulfo’ y ‘Keitt’ (2^{do} grupo) con valores de 13°Brix.

De acuerdo a [Doreyappa y Huddar \(2001\)](#) el incremento de los sólidos solubles en la pulpa de mango puede atribuirse mayormente a la hidrólisis del almidón en azúcares hidrosolubles, además la hidrólisis completa del almidón en sacarosa y glucosa a lo largo de la maduración es proporcional con el incremento de los sólidos solubles. Se ha reportado para otras variedades como la 'Alphonso' y 'Raspuri' que el contenido de sólidos solubles aumentó gradualmente con la maduración ([Ashraf et al., 1981](#); [Medlicott et al., 1990](#); [Doreyappa y Huddar, 2001](#); [Kudachikar et al., 2003](#)), al igual que en dátiles ([Hasegawa et al., 1969](#)) y cerezas ([Barrett y González, 1994](#)).

pH:

El pH de un alimento es uno de los principales factores que determinan la supervivencia y el crecimiento de los microorganismos durante el procesado, el almacenaje y la distribución. Los cambios en el pH se ven acompañados de una disminución de la acidez en el mango, ambos parámetros de calidad afectarán el sabor del fruto ([Von der Becker, 1999](#)).

Los cambios en el pH durante las 4 etapas de maduración a 20°C se muestran en la **Figura 39**, donde la tendencia principal en los mangos de las variedades en estudio, fue similar a los reportados para la mayoría de los frutos climatéricos.

El valor de pH fluctuó entre 2.7 para el pre-climaterio (E_1) hasta valores de 5.5 en el post-climaterio (E_4), además de que aumentó conforme avanzó la maduración en todas las variedades sin llegar a valores alcalinos, como en trabajos de [Doreyappa y Huddar \(2001\)](#), que reportaron que el valor del pH se incrementó considerablemente durante la maduración del fruto, lo cual puede estar relacionado con la disminución de la acidez, lo que a su vez atribuye la reducción en el contenido de ácidos orgánicos a la conversión de estos en azúcares y su utilización en procesos metabólicos.



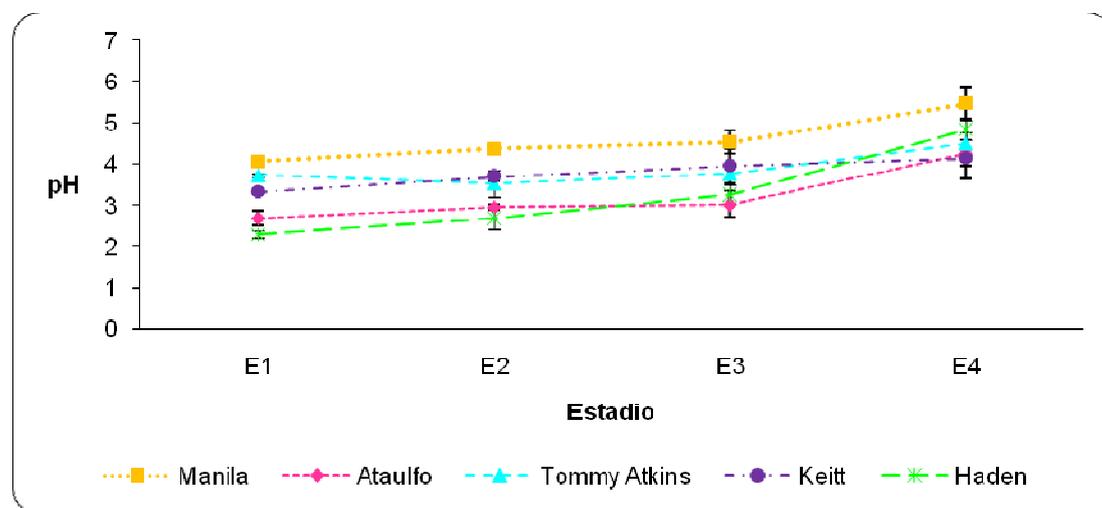


Figura 39. Cambios en el pH de diferentes variedades de mangos almacenados a 20°C en diferentes estadios de maduración. E₁ (pre-climaterio), E₂ (inicio del climaterio), E₃ (máximo climaterio) y E₄ (post-climaterio). Las barras verticales representan \pm SD.

Para este parámetro, se encontraron diferencia significativa ($P \geq 0.05$) entre las cinco variedades en el estadio pre-climaterio (E₁). Sin embargo, para el inicio de climaterio (E₂) se observó que los mangos ‘Manila’ presentaron valores de pH mayores a las otras variedades.

Los valores de pH para el máximo climaterio (E₃), de acuerdo al análisis estadístico, muestra que los frutos de la variedad ‘Ataulfo’ y ‘Haden’ no presentaron diferencia significativa ($P \geq 0.05$) al igual que las variedades ‘Tommy A.’ y ‘Keitt’ con respecto a los frutos ‘Manila’, que sí presentaron diferencias en 14% más con respecto a las primeras dos variedades y en un 33% más en comparación con las dos últimas variedades.

La variedad ‘Manila’ en el post-climaterio (E₄) nuevamente resultó ser la variedad con mayor diferencia en valores de pH y presentó diferencia significativa ($P \geq 0.05$) con respecto a los demás frutos.

Acidez:

La naturaleza de los ácidos orgánicos en el mango ha sido poco investigada señalando que los principales ácidos que contribuyen a la acidez del fruto son los ácidos cítrico y málico. Se ha





demostrado que los ácidos predominantes en mango son el ácido cítrico con pequeñas cantidades de ácido succínico, málico y tartárico (Sarker y Muhsi, 1981). La presencia de estos ácidos y los azúcares simples representan a los componentes más importantes en el desarrollo del sabor del fruto, por lo que aumentos en los sólidos solubles durante la maduración se verán acompañados con una disminución en la acidez del fruto, ya que los niveles de ácidos orgánicos desciende debido a su utilización como sustrato respiratorio (Selvaraj *et al.*, 1989).

Los valores de pH brindan la medida de la acidez o alcalinidad de un producto. Mientras que, la acidez titulable brinda una medida de la cantidad de ácido presente. La evaluación del pH y de la acidez titulable se utilizan para estimar la calidad para el consumo y características ocultas, debido a que son parámetros bastante objetivos de la percepción detectada por los consumidores, pueden ser considerados como indicadores de madurez de los frutos (Hobson, 1993). Los ácidos contribuyen enormemente a la calidad postcosecha de los frutos, ya que el sabor de los frutos esta fundamentado en el balance que existe entre azúcares y los ácidos orgánicos. Durante la maduración los mangos muestran una disminución en la acidez y un aumento en el contenido de azúcares por lo tanto, la estimación postcosecha de acidez es importante en la evaluación del sabor del fruto (Medlicott y Thompson, 1985).

En el presente trabajo, los cambios en la acidez a 20°C, para todas las variedades presentaron la tendencia esperada, es decir esta disminuyó conforme avanzó la maduración debido a que los ácidos orgánicos responsables de la acidez de los frutos son utilizados como sustratos respirables (Wills *et al.*, 1989).

En mango, la acidez titulable medida mediante el porcentaje de ácido cítrico presentó un descenso gradual de su concentración inicial al madurar el fruto teniendo concentraciones de acidez del 0.12%, en el pre-climaterio (E₁), hasta casi ser nula en el post-climaterio (E₄) para todas las variedades estudiadas, esta reducción en el contenido de acidez fue atribuida a su conversión en azúcares y el fomento de su utilización en los procesos metabólicos (Figura 40) (Doreyappa y Huddar, 2001).



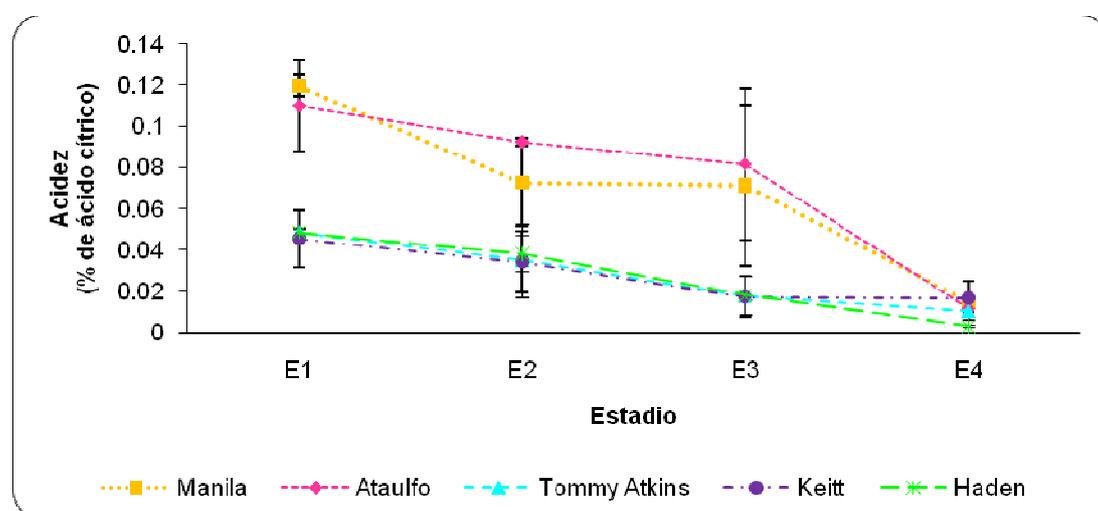


Figura 40. Cambios en la acidez de diferentes variedades de mangos, almacenados a 20°C en diferentes estadios de maduración. E₁ (pre-climaterio), E₂ (inicio del climaterio), E₃ (máximo climaterio y E₄ (post-climaterio). Las barras verticales representan \pm SD.

Como se puede observar en la figura anterior los mangos de la familia Indostano ('Tommy Atkins', 'Keitt' y 'Haden'), mostraron un contenido de acidez titulable similar en los tres primeros estadios (E₁, E₂ y E₃), no mostrando diferencia significativa ($P \geq 0.05$) entre ellos, hasta el post-climaterio (E₄) donde se mostró que los mangos 'Haden' presentaron un 70% menos de acidez que los demás frutos, haciéndolos diferentes de las otras variedades. Sin embargo, en otros trabajos se ha encontrado que durante la maduración de mangos 'Keitt' la acidez disminuyó 5 veces en el noveno día después de la cosecha (Medlicott y Thompson, 1985).

Los mangos de la familia Mulgova ('Manila' y 'Ataulfo'), al contrario de los mangos de la familia Indostano, presentaron un valor más alto de acidez durante los tres primeros estadios, descendiendo drásticamente en el post-climaterio con valores de 0.12% de ácido cítrico en el pre-climaterio hasta 0.017% en el post-climaterio, para la variedad 'Manila' y de 0.11% en E₁ a 0.012 en E₄, para 'Ataulfo'. Se han reportado resultados similares para otras variedades; mangos 'Alphonso' y 'Raspuri' durante los primeros estadios son más ácidos y altamente astringentes debido a que presentan una máxima acidez (Kudachikar *et al.*, 2003).

En conclusión la acidez disminuyó a lo largo de la maduración al igual que en trabajos de Ashraf *et al.* (1981) y Medlicott y Thompson (1985).





Cabe señalar, que de acuerdo al tipo de mango se ha encontrado la presencia de diferentes ácidos orgánicos como lo demuestran los trabajos en mango 'Keitt', 'Badami', 'Alphonso' y 'Tommy Atkins', sin embargo para este estudio sólo interesaba los cambios en lo acidez titulable y por lo tanto no se realizó un estudio de la identificación de los ácidos orgánicos presentes (Medlicott y Thompson, 1985; Shashirekha y Patwardhan, 1976; Medlicott *et al.*, 1990).

5.2.3. PARÁMETROS QUÍMICOS

Por su sabor y aroma, el mango es un producto que generalmente se consume fresco, pero además es considerada como una fruta altamente saludable, por su alto contenido de vitaminas (A, B₃, B₆ y C), minerales, fibras y anti-oxidantes; bajo en calorías, grasa y sodio, además de que son cualidades adicionales que convierten a esta fruta en imprescindible en toda dieta balanceada (EMEX, 2005).

La composición química del mango varía dependiendo de la variedad, condiciones climáticas y de cultivo, estado de maduración y almacenamiento del fruto (Shaw *et al.*, 1998). Los principales componentes químicos del mango son carbohidratos, ácidos orgánicos, proteínas y aminoácidos, pigmentos, sustancias pécticas, polifenoles, vitaminas, ácidos grasos y componentes volátiles, dando una aportación aproximada de 60 Kcal por 100 g de porción comestible, dependiendo la variedad y debido a esto, el mango se hace un fruto de relevancia para la dieta humana (CESNID, 2004).

Humedad:

El mango como la mayoría de los frutos presentó un elevado contenido de humedad de 70 a 85 g/100g PF aproximadamente de acuerdo a cada variedad, ya que depende de la disponibilidad que tenga el fruto al momento de la cosecha (Tabla 8).

En el presente trabajo, la humedad disminuyó gradualmente en un 2% de un estadio con respecto a otro, en todas las variedades, notándose particularmente este cambio en la variedad 'Tommy Atkins', frutos que presentaron los menores niveles de humedad, además presentaron





diferencia significativa ($P \geq 0.05$) con el resto de las variedades estudiadas que mostraron diferencias insignificantes, a lo largo de la maduración.

Tabla 8. Humedad (g/100g PF) de diferentes variedades de mangos almacenados a 20°C en diferentes estadios de maduración. E₁ (pre-climaterio), E₂ (inicio del climaterio), E₃ (máximo climaterio y E₄ (post-climaterio).

Variedad	Estadio			
	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄
Manila	79.44 ± 0.92 ^b	79.17 ± 1.43 ^b	78.84 ± 1.71 ^b	78.70 ± 1.59 ^b
Ataulfo	82.88 ± 0.64 ^b	80.62 ± 0.47 ^{bc}	79.78 ± 0.46 ^{bc}	78.54 ± 1.40 ^b
Tommy A.	71.53 ± 2.06 ^a	71.52 ± 2.23 ^a	68.84 ± 1.95 ^a	63.76 ± 2.73 ^a
Keitt	82.95 ± 3.23 ^b	82.77 ± 0.80 ^c	82.40 ± 2.08 ^c	82.22 ± 1.16 ^c
Haden	81.85 ± 1.33 ^b	80.52 ± 0.46 ^{bc}	79.97 ± 1.32 ^{bc}	77.90 ± 1.22 ^b

Los valores representan la media de 24 frutos por variedad ± DS. Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Duncan ($P \geq 0.05$).

Los mangos ‘Tommy Atkins’ presentaron cuantitativamente los valores más bajos de humedad, con valores de 72.5% en el pre-climaterio (E₁), lo que puede estar relacionado con el mayor ablandamiento que presentó comparado con las demás variedades para este estadio, hasta 63.8% en el post-climaterio (E₄). Al igual que en mangos la progresiva pérdida de humedad también se reportó en dátiles (Hasegawa *et al.*, 1969).

Carbohidratos (CHOS):

Uno de los cambios más notables durante la maduración de mangos es la hidrólisis del almidón y la siguiente acumulación de azúcares, por lo que el mango como la mayoría de los frutos, tiene un alto contenido de azúcares (Carbohidratos). Cuantitativamente es el segundo componente en importancia, los cuales son fuente de energía, ya que predominan azúcares simples (entre los que destacan la glucosa, fructosa y sacarosa).

Como se puede apreciar en la **Tabla 9**, en el pre-climaterio (E₁), mangos ‘Ataulfo’ fueron la variedad que menos carbohidratos presentaron con una cantidad de 5 g/100g y los de mayor cantidad resultaron ser los mangos ‘Keitt’ con una cantidad de 7 g/100g, estadísticamente estas dos variedades mostraron ser los extremos de este parámetro para este estadio y presentaron diferencia significativa ($P \geq 0.05$) con las demás variedades.





Tabla 9. Azúcares totales (g/100g PF) de diferentes variedades de mangos almacenados a 20°C en diferentes estadios de maduración. E₁ (pre-climaterio), E₂ (inicio del climaterio), E₃ (máximo climaterio y E₄ (post-climaterio).

Variedad	Estadio			
	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄
Manila	5.82 ± 1.13 ^{a,b}	11.76 ± 1.38 ^c	12.52 ± 0.14 ^d	14.55 ± 2.47 ^c
Ataulfo	4.96 ± 0.22 ^a	7.44 ± 0.27 ^{c,a}	8.44 ± 0.80 ^a	11.03 ± 0.20 ^{ab}
Tommy A.	5.26 ± 0.09 ^{a,b}	8.26 ± 1.09 ^b	9.28 ± 0.34 ^{ab}	9.86 ± 0.93 ^a
Keitt	7.17 ± 1.21 ^b	9.30 ± 0.45 ^{ab}	9.88 ± 0.42 ^b	12.22 ± 0.85 ^{a,b,c}
Haden	5.69 ± 1.54 ^{a,b}	9.78 ± 1.14 ^b	11.44 ± 0.59 ^c	13.67 ± 1.48 ^{b,c}

Los valores representan la media de 24 frutos por variedad ± SD. Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Duncan ($P \geq 0.05$).

Los carbohidratos, fueron incrementando desde el pre-climaterio (E₁) hasta el post-climaterio (E₄) para todas las variedades, haciéndose más notorio este cambio en los frutos de variedad 'Manila', ya que en los últimos tres estadios de maduración (E₂, E₃ y E₄) resultaron tener la mayor cantidad de carbohidratos en comparación con las otras variedades que presentaron una diferencia del 16% menos con respecto a los mangos 'Manila'.

La sacarosa contribuye el 57% de azúcar total en los mangos maduros variedad 'Keitt', la fructosa y la glucosa un 28 y 15%, respectivamente (Medlicott y Thompson, 1985; Shaw *et al.*, 1998). Diversos trabajos sugieren el aumento simultáneo de la glucosa, fructuosa y sacarosa durante la maduración (Krishnamurthy *et al.*, 1971; Lakshminarayana, 1975; Shashirekha y Patwardhan, 1976). Sin embargo, trabajos con cultivares del mango de la Florida ('Haden', 'Irwin', 'Kent' y 'Keitt'), mostraron una reducción gradual en glucosa y fructosa y un aumento continuo de la sacarosa durante la maduración (Vázquez y Lakshminarayana, 1985).

Proteína:

El mango en comparación con otros frutos, no es una buena fuente de proteína ya que su contenido se encuentra entre 0.3 a 2.8% dependiendo de la variedad y el estadio en que se determine (Tabla 10).





Tabla 10. Proteína (g/100g PF) en pulpa de mango de diferentes variedades almacenados a 20°C en diferentes estadios de maduración. E₁ (pre-climaterio), E₂ (inicio del climaterio), E₃ (máximo climaterio y E₄ (post-climaterio).

Variedad	Estadio			
	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄
Manila	1.51 ± 0.25 ^c	1.37 ± 0.06 ^b	1.51 ± 0.04 ^a	1.51 ± 0.17 ^a
Ataulfo	0.24 ± 0.07 ^a	1.63 ± 0.19 ^b	1.78 ± 0.15 ^b	2.04 ± 0.07 ^b
Tommy A.	0.81 ± 0.16 ^b	0.81 ± 0.08 ^a	2.17 ± 0.13 ^c	1.86 ± 0.01 ^{a,b}
Keitt	1.27 ± 0.25 ^c	2.79 ± 0.19 ^c	1.94 ± 0.11 ^b	1.64 ± 0.08 ^a
Haden	0.68 ± 0.16 ^b	1.39 ± 0.15 ^b	1.95 ± 0.11 ^b	1.58 ± 0.40 ^a

Los valores representan la media de 24 frutos por variedad ± SD. Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Duncan ($P \geq 0.05$).

La proteína en las variedades de la familia Indostano mostraron un incremento en los estadios E₂ y E₃ (inicio del pre-climaterio y post-climaterio) para finalmente descender en el post-climaterio (E₄), no siendo así para las variedades de la familia Mulgova que muestran en los últimos tres estadios un aumento mínimo a lo largo de la maduración.

En el pre-climaterio (E₁) se encontró diferencias significativas ($P \geq 0.05$) entre todas las variedades, el más alto contenido lo presentó la variedad 'Manila' con un valor de 1.5 %, seguida por la 'Keitt', continuando con 'Tommy Atkins' y 'Haden', para finalizar con la 'Ataulfo' que resultó ser la variedad con menor cantidad de proteína con valores de 0.2 %, casi siete veces la cantidad de mangos 'Manila'.

Mangos 'Keitt', presentaron un aumento drásticamente considerable del pre-climaterio al inicio del pre-climaterio con un valor de 2.8 %, ya que las variedades 'Manila', 'Ataulfo' y 'Haden' se encuentran por abajo en un 42% menos con respecto a esta variedad, no mostrando diferencias significativas ($P \geq 0.05$) entre ellas y un 71% menos para la variedad 'Tommy Atkins' que resultó ser la variedad con menor cantidad de proteína presente en el inicio del pre-climaterio (E₂) con un valor de 0.8 %.

Para el máximo climaterio (E₃), mangos 'Manila' resultaron ser los frutos de menor valor en cantidad de proteína con valores de 1.5 %, seguido de estos mangos las variedades 'Ataulfo', 'Keitt' y 'Haden' fueron las que mostraron seguir en cantidad de proteína, no mostrando





diferencia significativa ($P \geq 0.05$) entre ellas, por último la variedad que mayor cantidad de proteína presentó fue la variedad ‘Tommy Atkins’ con valores de 2 %.

Finalmente en el post-climaterio (E_4), el máximo valor reportado de proteína fue de 2 % para mangos ‘Ataulfo’, lo que hace que estos mangos tengan diferencias significativas ($P \geq 0.05$) con el resto de las variedades, no siendo así para ellas mismas ya que muestran similitud entre ellas.

La proteína en la pulpa de pera se ha encontrado que aumenta durante su maduración (Bartley *et al.*, 1982), mientras que en este trabajo se mostró una incremento para posteriormente descender a lo largo de la maduración, al igual que los dátiles mostraron una máxima cantidad de proteína al inicio del climaterio para posteriormente descender (Hasegawa *et al.*, 1969).

La cantidad de proteína en piel, es mucho mayor que la contenida en la pulpa, como se puede ver en la **Tabla II**. Los cambios en el contenido de proteína en la piel son importantes para entender los cambios bioquímicos que suceden durante la maduración de este fruto, además para identificar a un componente químico que puede ser importante para el uso en subproductos.

Tabla II. Proteína (g/100g PF) en piel de mango de diferentes variedades almacenados a 20°C en diferentes estadios de maduración. E1 (pre-climaterio), E2 (inicio del climaterio), E3 (máximo climaterio y E4 (post-climaterio).

Variedad	Estadio			
	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄
Manila	15.77 ± 0.62 ^d	26.48 ± 3.89 ^c	39.91 ± 1.35 ^c	24.79 ± 3.92 ^c
Ataulfo	6.59 ± 0.35 ^{a,b}	14.16 ± 0.36 ^b	12.04 ± 3.23 ^a	24.93 ± 0.96 ^c
Tommy A.	4.15 ± 0.49 ^a	9.28 ± 1.31 ^a	10.0 ± 1.97 ^a	8.15 ± 0.49 ^a
Keitt	11.88 ± 3.78 ^c	22.33 ± 3.12 ^c	16.38 ± 2.08 ^b	12.41 ± 0.74 ^b
Haden	9.56 ± 2.02 ^{b,c}	13.65 ± 1.66 ^{a,b}	18.04 ± 1.37 ^b	15.19 ± 0.23 ^b

Los valores representan la media de 24 frutos por variedad ± SD. Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Duncan ($P \geq 0.05$).

De acuerdo a los resultados obtenidos de la proteína en la piel de mango, todas las variedades mostraron diferencia significativa ($P \geq 0.05$), en cada uno de los estadios, la piel de mangos ‘Manila’ fue muy rica en proteína en los tres primeros estadios con valores de 16 % para E₁ (pre-climaterio), 26 % para el inicio del climaterio (E₂) y 40 % para el máximo climaterio (E₃), siendo este último el valor máximo de cantidad de proteína reportado durante los diferentes estados de





maduración para todas las variedades, ya que en el último estadio descendió drásticamente su valor.

En la tabla 11 se puede observar que los mangos ‘Manila’ resultaron ser la variedad que mayor cantidad de proteína y los mangos ‘Tommy Atkins’ la de menor cantidad presentada en todos los estadios de estudio, siendo sólo el 25% de cantidad en proteína con respecto a los mangos ‘Manila’. **Mattoo y Modi (1969)** demostraron cambios en proteína soluble durante la maduración de frutos. **Abu-Goukh y Abu-Sarra (1993)** reportaron que la proteína total en piel y pulpa de mango de tres cultivos de mango incrementaron conforme avanzó la maduración y decrece al final de ella.

Fibra:

Del análisis químico del mango, se puede decir que este no es rico en fibra como se observa en la **Tabla 12**, ya que el contenido de fibra máximo para todas las variedades fue de 1.45%, por cada 100 g que se consuma de pulpa del fruto. Se sabe que la cantidad recomendada de fibra diaria es del 5% (6 a 8 g) para que nos de beneficios ya que al consumirla se mejora el funcionamiento del tubo digestivo. Cabe señalar que en otros trabajos también se ha reportado que la fibra de cualquier tipo de mango es muy escasa y en algunas variedades casi nula (**Samson, 1986; Morton, 1987; Galán-Sauco, 1999; Aguirre y Fernández, 1999; PROEXANT, 2002 y EMEX, 2005**).

Tabla 12. Fibra (g/100g PF) en pulpa de mango de diferentes variedades almacenados a 20°C en diferentes estadios de maduración. E₁ (pre-climaterio), E₂ (inicio del climaterio), E₃ (máximo climaterio y E₄ (post-climaterio).

Variedad	Estadio			
	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄
Manila	0.47 ± 0.03 ^b	0.75 ± 0.02 ^a	0.48 ± 0.01 ^a	0.84 ± 0.03 ^a
Ataulfo	1.08 ± 0.06 ^d	1.17 ± 0.27 ^b	1.45 ± 0.14 ^c	1.26 ± 0.10 ^b
Tommy A.	1.23 ± 0.03 ^e	1.23 ± 0.10 ^b	1.07 ± 0.09 ^b	1.15 ± 0.12 ^b
Keitt	0.38 ± 0.02 ^a	1.09 ± 0.10 ^b	1.17 ± 0.24 ^b	0.71 ± 0.09 ^a
Haden	0.99 ± 0.02 ^c	1.10 ± 0.14 ^b	1.14 ± 0.11 ^b	1.08 ± 0.14 ^b

Los valores representan la media de 24 frutos por variedad ± SD. Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Duncan ($P \geq 0.05$).





De acuerdo al análisis estadístico se encuentra que para el pre-climaterio (E_1) ninguna variedad tiene similitud una con otra. Sin embargo conforme avanza la madurez, al inicio del climaterio (E_2), la similitud se hace en forma de grupos donde en el primer grupo sólo se encuentra los mangos ‘Manila’ y en el segundo grupo se encuentran los mangos ‘Ataulfo’ y los mangos de la familia Indostano (‘Keitt’, ‘Tommy Atkins’ y ‘Haden’). Para el máximo climaterio (E_3), la familia Indostano no mostró diferencias significativas ($P \geq 0.05$) entre ellos mismos, no siendo así para los mangos de la familia Mulgova en donde los mangos ‘Manila’ fueron los de menor valor de fibra con tan sólo la cantidad de 0.5 % y los mango ‘Ataulfo’ los de mayor valor con una cantidad de 1.5 %. Finalmente en el post-climaterio, las variedades ‘Manila’ y ‘Keitt’ presentaron los niveles más bajos y el resto ‘Ataulfo’, ‘Tommy Atkins’ y ‘Haden’ los más altos.

Se puede concluir que la variedad ‘Manila’ fue la variedad con mayor diferencias en cuanto al contenido de fibra en los estadios intermedios de maduración, ya que este es inferior al del resto de las variedades comercializadas en México como son: ‘Ataulfo’, ‘Haden’, ‘Keitt’, ‘Tommy Atkins’, etc.

La fibra en piel de mango se muestra en la **Tabla 13**, los valores fueron desde 3 % hasta 5 %. Al igual que la fibra en pulpa, los mangos ‘Manila’ nuevamente resultaron ser la variedad que menor cantidad de fibra presentaron, mostrando diferencias significativas ($P \geq 0.05$) con el resto de las variedades y valores de 3 % para el pre-climaterio (E_1), 3.5 % al inicio del climaterio (E_2), 3 % en E_3 (máximo climaterio) y 4 % en el postclimaterio (E_4).

Tabla 13. Fibra (g/100g PF) en piel de mango de diferentes variedades almacenados a 20°C en diferentes estadios de maduración. E_1 (pre-climaterio), E_2 (inicio del climaterio), E_3 (máximo climaterio) y E_4 (post-climaterio).

Variedad	Estadio			
	E_1	E_2	E_3	E_4
Manila	3.35 ± 0.15 ^a	3.55 ± 0.27 ^a	3.21 ± 0.12 ^a	3.61 ± 0.15 ^a
Ataulfo	4.17 ± 0.08 ^b	4.28 ± 0.12 ^b	4.53 ± 0.16 ^b	4.38 ± 0.15 ^{b,c}
Tommy A.	4.35 ± 0.19 ^b	4.52 ± 0.16 ^b	4.48 ± 0.30 ^b	4.62 ± 0.36 ^c
Keitt	4.05 ± 0.37 ^b	4.37 ± 0.05 ^b	4.73 ± 0.28 ^b	3.95 ± 0.07 ^{a,b}
Haden	4.30 ± 0.16 ^b	4.49 ± 0.13 ^b	4.52 ± 0.18 ^b	4.47 ± 0.39 ^c

Los valores representan la media de 24 frutos por variedad ± SD. Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Duncan ($P \geq 0.05$).





Pectina:

La degradación de sustancias pécticas y hemicelulosas debilitan las paredes celulares y las fuerzas cohesivas que mantienen las células unidas, acelerándose después de la maduración, el contenido de pectatos y pectinatos solubles aumenta, mientras que disminuye el contenido total de sustancias pécticas.

Cambios en la estructura de la pectina afectan la pared celular de frutos y son responsables del ablandamiento de frutos (Huber, 1983; Lefever *et al.*, 2004).

La pectina en pulpa de mango se puede observar en la **Tabla 14**, los mangos de variedad ‘Manila’ resultaron ser los mangos de menor valor y los mangos de variedad ‘Ataulfo’ presentaron ser mangos con el mayor valor de pectina reportada con respecto a las demás variedades.

Tabla 14. Pectina (g/100g PF) en pulpa de mango de diferentes variedades almacenados a 20°C en diferentes estadios de maduración. E₁ (pre-climaterio), E₂ (inicio del climaterio), E₃ (máximo climaterio) y E₄ (post-climaterio).

Variedad	Estadio			
	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄
Manila	0.45 ± 0.02 ^a	0.28 ± 0.04 ^b	0.10 ± 0.02 ^a	0.10 ± 0 ^a
Ataulfo	0.98 ± 0.01 ^c	0.91 ± 0.03 ^c	0.83 ± 0.02 ^d	1.13 ± 0.03 ^d
Tommy A.	0.48 ± 0.05 ^a	0.17 ± 0.02 ^a	0.53 ± 0.01 ^b	0.48 ± 0.06 ^b
Keitt	0.66 ± 0.02 ^b	0.55 ± 0.04 ^c	0.51 ± 0.02 ^b	0.67 ± 0.02 ^c
Haden	0.65 ± 0 ^b	0.64 ± 0.01 ^d	0.63 ± 0.01 ^c	0.45 ± 0.02 ^b

Los valores representan la media de 24 frutos por variedad ± SD. Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Duncan ($P \geq 0.05$).

De acuerdo al análisis estadístico se puede ver que hay diferencias significativas ($P \geq 0.05$) de una variedad con respecto a la otra, al igual que de un estadio con respecto a otro. Sin embargo como ya se mencionó, los mango ‘Manila’ reportaron las cantidades más bajas de pectina con valores de 0.5 % de pectato de calcio en el pre-climaterio (E₁), disminuyendo al inicio del climaterio (E₂) con valores de 0.2 %, para E₃ (máximo climaterio) la cantidad de pectina continuó disminuyendo hasta alcanzar tan sólo 0.1 %, siendo esta misma cantidad para el post-climaterio (E₄).





Mangos ‘Ataulfo’ reportaron un 54% más de cantidad de pectina con respecto a ‘Manila’ en el pre-climaterio (E₁), 81% más al inicio del climaterio (E₂), para el máximo climaterio (E₃) reportó un 88 % más y 91 % más para el post-climaterio (E₄). En mango a medida que cambia la pectina, la firmeza de los frutos disminuye (Pantástico, 1987; Ali *et al.*, 1995). En los estados iniciales del fruto (Pre-climaterio), la textura se hace más palpable, pero al final la estructura de fruto se desintegra, la velocidad de degradación de las sustancias pécticas esta directamente correlacionada con la de ablandamiento del fruto (Flores, 2000; Yashoda *et al.*, 2005).

En la **Tabla 15** se puede observar la pectina en piel de mango, la cual fue similar en cuanto a cantidad a la pectina en pulpa de mango. El ‘Manila’ resultó ser la variedad que menor cantidad de pectina presentaron en este tejido y el ‘Ataulfo’ fue el de mayor valor.

Tabla 15. Pectina (g/100g PF) en piel de mango de diferentes variedades, almacenados a 20°C, en diferentes estadios de maduración. E₁ (pre-climaterio), E₂ (inicio del climaterio), E₃ (máximo climaterio y E₄ (post-climaterio).

Variedad	Estadio			
	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄
Manila	0.27 ± 0.01 ^a	0.12 ± 0.02 ^a	0.12 ± 0.01 ^a	0.07 ± 0.01 ^a
Ataulfo	1.04 ± 0.02 ^d	1.04 ± 0.02 ^e	0.97 ± 0.02 ^d	1.11 ± 0.08 ^d
Tommy A.	0.74 ± 0.04 ^b	0.38 ± 0.02 ^b	0.36 ± 0.04 ^b	0.30 ± 0.03 ^b
Keitt	0.83 ± 0.01 ^c	0.81 ± 0.01 ^d	0.61 ± 0.02 ^c	0.53 ± 0.04 ^c
Haden	0.80 ± 0.04 ^c	0.63 ± 0.02 ^c	0.61 ± 0.02 ^c	0.57 ± 0.01 ^c

Los valores representan la media de 24 frutos por variedad ± SD. Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Duncan ($P \geq 0.05$).

De igual forma al tomar en cuenta el análisis estadístico se puede apreciar que hay diferencias significativas ($P \geq 0.05$) una variedad con respecto a la otra, al igual que de un estadio con respecto a otro.

En otras trabajos se ha reportado que la cantidad de pectina varía dependiendo del fruto de estudio, en donde se ha encontrado que los frutos que mayor cantidad de pectina presentaron, fueron los cítricos como la toronja con valores de 3 a 4.5 g de pectato de calcio, seguidos de los limones de 2.8 a 3 g, luego la naranja con una cantidad entre 2.3 a 2.4 g, dentro de los frutos que no son cítricos y que presentan un alto contenido de pectina se encuentra la manzana con





valores de 0.7 a 0.8 g (Cambell and Palmer, 1978; Zilversmit, 1979), cabe aclarar que estos autores toman en conjunto al fruto, es decir utilizando ambos tejidos; y de ser así de acuerdo a los resultados obtenidos el mango también se consideraría como un fruto con una considerable cantidad de pectina lo que como subproducto sería favorable, más no para el mango como producto de fruto fresco, ya que otros autores han reportado que conforme avanza la maduración de frutos en aguacate (Dolendo *et al.*, 1966) y en durazno (Sterling y Kalb, 1959) el contenido de pectina decrece lo cual se relaciona con la pérdida de firmeza que va aumentando con forme el fruto madura (Baker, 1997).

5.3. EVALUACIÓN DE ENZIMAS RELACIONADAS CON LA DEGRADACIÓN DE LA PARED CELULAR EN DIFERENTES VARIETADES DE MANGO DURANTE SU MADURACIÓN.

Los cambios en el ablandamiento de los tejidos de los frutos y vegetales durante su maduración se deben a cambios estructurales que ocurren en la laminilla media y primaria de la pared celular por la solubilización de la pectina y la disrupción de la pared celular por la acción de diversas enzimas como son la enzimas pectolíticas y no pectolíticas como las celulolíticas, entre otras que muestran un claro incremento durante el proceso de maduración (Roe y Bruemmer, 1981; Paull y Chen, 1983; Mitcham y McDonald, 1992).

Pectinesterasa (PE):

El papel que juega la PE en el ablandamiento no es claro ya que por un lado al desmetilar la pectina y convertirla en ácido péctico para favorece la acción de PG, la cuál provoca el ablandamiento en los frutos, por otra parte libera grupos carboxilo que promueven la formación de enlaces iónicos en la pared (John, 1972; Fennema, 2000).

Otra acción que tiene la PE es que convierte la pectina de alto metoxilo a pectina de bajo metoxilo (Jiang *et al.*, 2003). El ablandamiento del mango y aguacate se ha relacionado con el aumento en la actividad de PE y con los daños por frío (Mattoo y Modi, 1969; Barmore y Rouse, 1976).





En la **Figura 41** se muestran los cambios en la actividad de PE en pulpa de diferentes variedades de mango, se encontró una mayor actividad en el pre-climaterio (E_1) para todas las variedades de mango y disminuyó conforme avanzó la maduración para llegar a los valores más bajos en el post-climaterio (E_4).

De acuerdo al análisis estadístico, la actividad PE en la variedad ‘Ataulfo’ no presentó diferencia significativa ($P \geq 0.05$) con el resto de las variedades para el pre-climaterio (E_1), sin embargo en el inicio del climaterio (E_2) la actividad de PE disminuyó para todas las variedades, siendo la de menor actividad la variedad ‘Keitt’ ya que sólo reporta 0.39 U/mg de prot.*h, seguida de mangos ‘Haden’ con un valor de 0.69 U/mg de prot.*h y posteriormente el resto de las variedades.

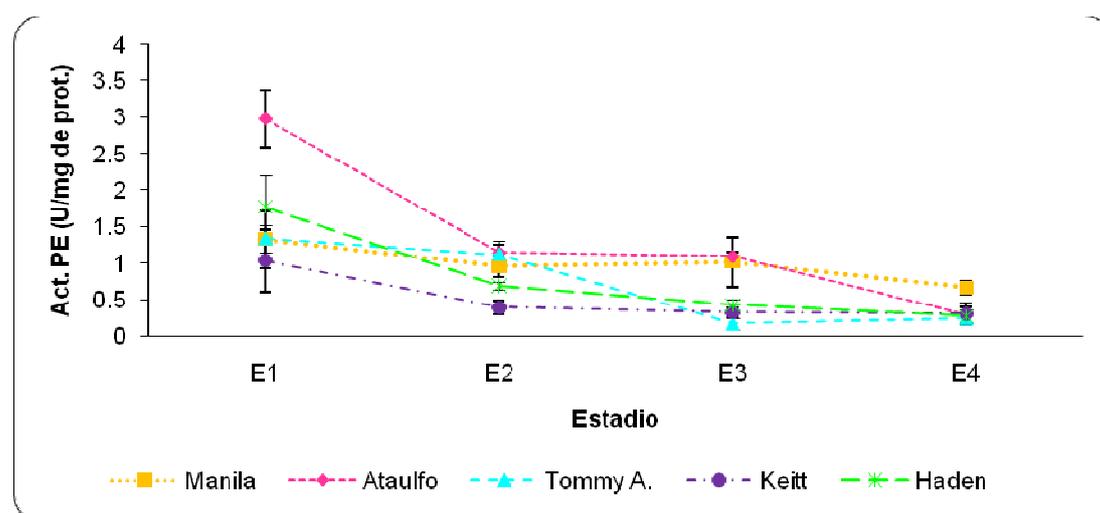


Figura 41. Actividad de Pectinesterasa (PE) en pulpa de mango de diferentes variedades almacenados a 20°C en diferentes estadios de maduración: E_1 (pre-climaterio), E_2 (inicio del climaterio), E_3 (máximo climaterio) y E_4 (post-climaterio). Las barras verticales representan \pm SD.

Conforme avanzó la maduración la actividad de PE continuó disminuyendo y en el máximo climaterio (E_3) se observó que los mangos de la familia Mulgova presentaron actividades de 1 U/mg de prot.*h, mientras que para los de la familia Indostano la actividad fue menor, de acuerdo al análisis estadístico no se presentó diferencia significativa ($P \geq 0.05$) en cada uno de las familias.

En el post-climaterio (E_4) la actividad PE continuó descendiendo para todas las variedades, encontrándose que los mangos ‘Ataulfo’, ‘Tommy Atkins’, ‘Keitt’ y ‘Haden’; no presentaron





diferencia significativa ($P \geq 0.05$), mientras que los mangos ‘Manila’ mostraron un 60% más de actividad comparado con las demás variedades.

Cabe mencionar que los mangos ‘Keitt’ en los tres últimos estadios permanecieron sin cambios a diferencia de las otras variedades que disminuyeron del pre-climaterio al post-climaterio en un 90%, 50%, 37% y 22%, para ‘Ataulfo’, ‘Haden’, ‘Tommy’ y ‘Manila’.

Al comparar los resultados obtenidos en el presente trabajo con los de [Roe y Bruemer \(1981\)](#); [Sobac et al. \(1997\)](#); [Ketsa et al. \(1998\)](#) y [Ali et al. \(2004\)](#) que también trabajaron con mango en variedades ‘Keitt’ y ‘Manila’ se encontraron comportamientos similares, ya que la actividad de PE disminuyó conforme avanzó la maduración, no siendo así para frutos como el plátano ([Hultin y Lenvine, 1963](#)), dátil ([Al-Jasim y Al-Delaimy, 1972](#)), tomate ([Hobson, 1963](#); [Pressey y Avants, 1972](#); [Buescher y Tigchellar, 1975](#); [Seymour et al., 1987](#); [Warrilow y Jones, 1994](#)), pera ([Bartley et al., 1982](#)), papaya ([Lazan et al., 1995](#)) y chicozapote ([Selvaraj y Pal, 1984](#); [Bautista et al., 2005](#)) en donde la actividad de PE mostró un incremento constante en todo el proceso de maduración.

Sin embargo, en trabajos como el de [Abu-Sarra y Abu-Goukh \(1992\)](#) informaron que la actividad de PE en el mango de variedad no mencionada aumentó poco antes del climaterio y posteriormente disminuyó, estos resultados también se observaron en el trabajo de [Abu-Bakr et al. \(2003\)](#) con dos variedades de guayaba en donde su actividad aumentó en el pico de la respiración y sucesivamente disminuyó.

El comportamiento que presentaron los mangos ‘Keitt’ en sus últimos tres estadios de maduración fue similar al encontrado en la fruta de plátano debido a que ninguno de los dos presentó cambios a lo largo de su maduración ([Brady, 1976](#)).

La actividad de PE en el tejido de piel se muestra en la **Figura 42**, en donde se observa que la actividad fue 10 veces más baja con respecto al tejido de pulpa de los diferentes mangos. Este comportamiento puede ser explicado debido a que la actividad enzimática avanza desde el endocarpio que es la cáscara de la semilla hasta el pericarpio que es la piel ([Muda et al., 1995](#)). También se muestra que a pesar de que la cantidad de PE en pulpa fue mayor que en piel, dicha





actividad se mantuvo constante a lo largo de la maduración presentando este comportamiento para todas las variedades.

Para el pre-climaterio (E₁) los mangos que menor actividad presentaron fueron los mangos ‘Haden’ con valores de 0.08 U/mg de prot.*h. Posteriormente al inicio del climaterio (E₂) la actividad descendió en todas las variedades, siendo los mangos ‘Tommy Atkins’ los que menos descenso tuvieron de un valor de 0.12 U/mg de prot.*h en E₁ a 0.09 U/mg de prot.*h en E₂. En el máximo climaterio (E₃) la actividad de los mangos ‘Manila’ y ‘Tommy A.’ continuaron descendiendo, sin embargo el resto de las variedades presentaron un aumento. En el post-climaterio (E₄) se observó que las actividades de PE se mantuvieron similares a las reportadas en el máximo climaterio, excepto la variedad ‘Ataulfo que en este último punto de maduración descendió dando un valor de 0.03U/mg de prot.*h.

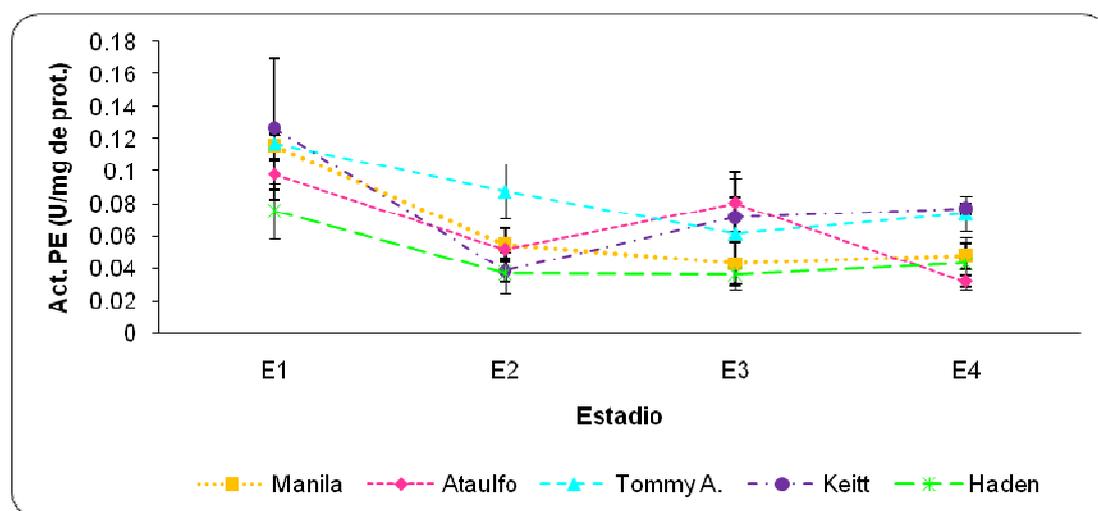


Figura 42. Actividad de Pectinesterasa (PE) en piel de mango de diferentes variedades almacenados a 20°C en diferentes estadios de maduración: E₁ (pre-climaterio), E₂ (inicio del climaterio), E₃ (máximo climaterio y E₄ (post-climaterio). Las barras verticales representan \pm SD.

Las variedades ‘Manila’, ‘Tommy A.’ y ‘Haden’ tuvieron un descenso de actividad del pre-climaterio al post-climaterio de un 62, 54 y 39% respectivamente, no así las demás variedades que mostraron un comportamiento más irregular.

La actividad PE comparada con el trabajo de Ashraf *et al.* (1981) y Aina y Oladunjoye (1993) que también fueron realizados en los tejidos piel y pulpa en mangos de Pakistán y de África se obtuvo que la máxima actividad de PE en piel de mango fue en el 6^{to} día de maduración y en el





5^{to} día para pulpa de mango, reportan que la actividad de PE es mayor en el tejido de piel que en el de pulpa, y también mencionaron que el comportamiento de la actividad fue irregular para los dos tejidos.

La actividad de PE en piel ha sido poco estudiada, creyendo que esto es porque este tejido no es una parte comestible y por lo tanto no le dan importancia a su estudio. En la mayoría de los trabajos se reportan estudios en la pulpa de los frutos tal es el caso de naranja (MacDonnell *et al.*, 1945; Tahir *et al.*, 1975), tomate (McColloch *et al.*, 1946), peras (Nagel y Patterson, 1967), entre otros. También se han encontrado diferentes isoenzimas de PE que cambia durante la maduración de algunos cultivos del mango (Ashraf *et al.*, 1981).

Exo-Poligalacturonasa (Exo-PG):

El excesivo ablandamiento de la corteza se relaciona con enzimas del grupo de las hidrolasas, al cual pertenece la Poligalacturonasa (PG), que genera ruptura del enlace α -1,4 glucosídico del ácido péctico. La actividad de ésta puede ser endo (degradación al azar de la cadena pectídica) o exo (degradación de los extremos libres no reductores de la cadena pectídica). El resultado final de esta actividad es la pérdida de la integridad celular y el incremento de la concentración de polisacáridos solubles (Bartley y Knee, 1982).

Muchos autores han considerado que la Poligalacturonasa (PG) es la principal enzima que afecta la textura de los frutos ocasionando el ablandamiento de estos, por lo que para que esta enzima actúe, es necesario que la enzima Pectinesterasa (PE) desmetile la pectina encontrada en la pared celular para convertirlo en ácido poligalacturónico (GALA) y así esta rompa las cadenas de este mismo y ocasione el ablandamiento de frutos (Awad y Young, 1980).

En la **Figura 43** se observa que los mangos de la familia Mulgova (mangos ‘Manila’ y ‘Ataulfo’) presentaron una constante actividad durante el proceso de maduración, mostrando que en el máximo climaterio (E_3) la actividad de los mangos ‘Ataulfo’ fue de 0.6 U/mg de prot.*h y la actividad de los mangos ‘Manila’ de 0.47 U/mg de prot.*h.



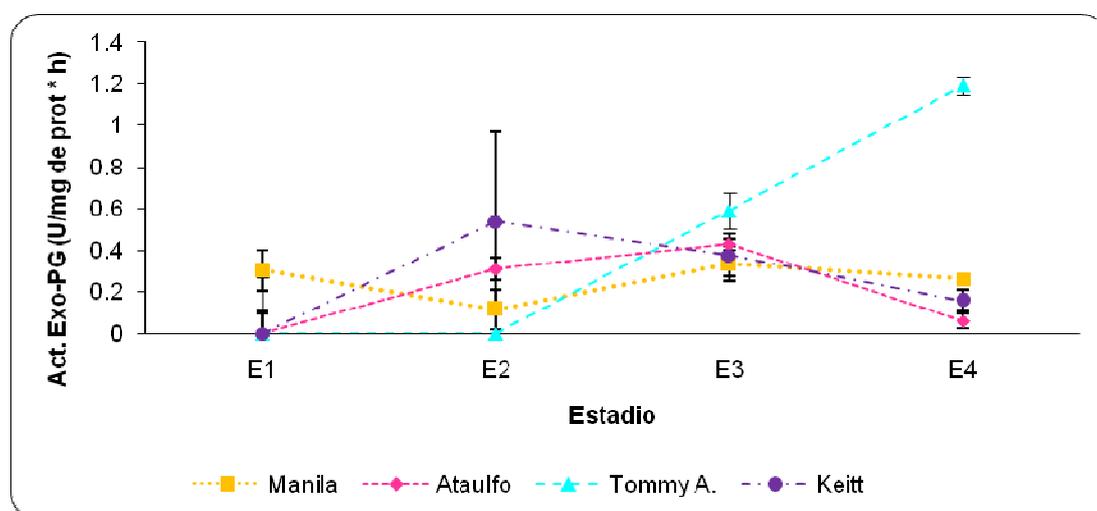


Figura 43. Actividad Exo-PG en pulpa de mango de diferentes variedades almacenados a 20°C en diferentes estadios de maduración: E₁ (pre-climaterio), E₂ (inicio del climaterio), E₃ (máximo climaterio y E₄ (post-climaterio). Las barras verticales representan \pm SD.

Con respecto a los mangos de la familia Indostano (mangos ‘Tommy A.’ y ‘Keitt’), mostraron una mayor actividad que los mangos Mulgova, pero en un estadio de madurez diferente, en donde su máxima actividad para mangos ‘Keitt’ se encontró al inicio del climaterio (E₂) con un valor de 1.06 U/mg de prot.*h, mientras que para mangos ‘Tommy Atkins’ su máxima actividad fue en el post-climaterio (E₄) con un valor de 1.2 U/mg de prot.*h. Para mangos de la variedad ‘Haden’ no se registró actividad PG, a pesar de ser de la misma familia de ‘Tommy A.’ y ‘Keitt’. La actividad de esta variedad de mango pudo no haber sido detectada por el método utilizado requiriéndose algún paso de purificación para poder detectar la actividad de esta enzima.

En otros frutos como el dátil, se encontró que la actividad PG en el pre-climaterio se presentó ausente como lo fue en nuestro trabajo para las variedades ‘Ataulfo’, ‘Tommy A.’ y ‘Keitt’, pero conforme avanzó la maduración la actividad aumentó para dar su máxima actividad en el máximo climaterio y posteriormente disminuir en el post-climaterio como ocurrió con las variedades de la familia Mulgova (Hasegawa *et al.*, 1969). Los mangos ‘Keitt’ mostraron un comportamiento similar al ocurrido en plátano y mangos de variedad no mencionada, ya que presentaron una mayor actividad de PG en el pre-climaterio (Pathak y Sanwal, 1997; Prasanna *et al.*, 2006).





El comportamiento presentado en la actividad de la PG en mangos variedad 'Manila' y 'Ataulfo' son similares a los reportados en otros trabajos para otros frutos como: pera (Pressey y Avants, 1976), durazno (Buescher y Furmanski, 1978), tomate (Tucker *et al.*, 1980; Goodenough *et al.*, 1982), kiwi (Bonghi *et al.*, 1996), pimentón (Priya, *et al.*, 1996), chirimoya (Sánchez *et al.*, 1997), plátano (Pathak y Sanwal, 1998; Pathak *et al.*, 2000; Srivastava y Dwivedi, 2000), durian (Imsabai, 2002), guayaba (Abu-Bark *et al.*, 2003), cuatro frutos silvestres de Zimbabwe (Muchuweti *et al.*, 2005) y mango variedad 'Keitt', Alphonso y de África (Roe y Brummer 1981; Aina y Oladunjoye, 1993; Prasanna *et al.*, 2003; Prasanna *et al.*, 2006), en donde también se encontró la participación de PG en los procesos de maduración, observando que la máxima actividad enzimática coincide con el máximo climatérico.

La actividad de Exo-PG en piel de mango se muestra en la Figura 44, en donde se observó que la actividad en este tejido fue casi nula para la mayoría de las variedades estudiadas, no siendo así para la 'Tommy A.' que a pesar de ser bajos su valores mostró una ligera actividad, (0.26 U/mg de prot.*h) en el máximo climaterio (E₃) seguidos de los mangos 'Keitt' que mostraron valores de 0.1 U/mg de prot.*h. Posteriormente para el post-climaterio (E₄), los mangos de la variedad 'Tommy A.' mostraron un aumento de actividad con hasta valores de 0.32 U/mg de prot.*h., seguidos de los mangos 'Ataulfo' que presentaron una actividad de 0.05 U/mg de prot.*h después de no haberse detectado actividades en sus anteriores estadios.

En piel de mangos 'Manila' la actividad de Exo-PG tuvo valores muy bajos a lo largo de todo el proceso de maduración y en E₄ no se presentó. Para mangos 'Ataulfo', la actividad también fue muy baja encontrándose su máxima actividad en el post-climaterio (E₄) con valores cinco veces más que en el de pulpa.

En el pre-climaterio (E₁) y al inicio del climaterio (E₂) la actividad PG no presentó diferencia significativa ($P \geq 0.05$) en todas las variedades. Para el máximo climaterio la familia Mulgova presentó similitud por lo que presentó diferencia significativa con los mangos de la familia Indostano y para el post-climaterio la similitud se dio entre las variedades 'Manila' y 'Keitt'.



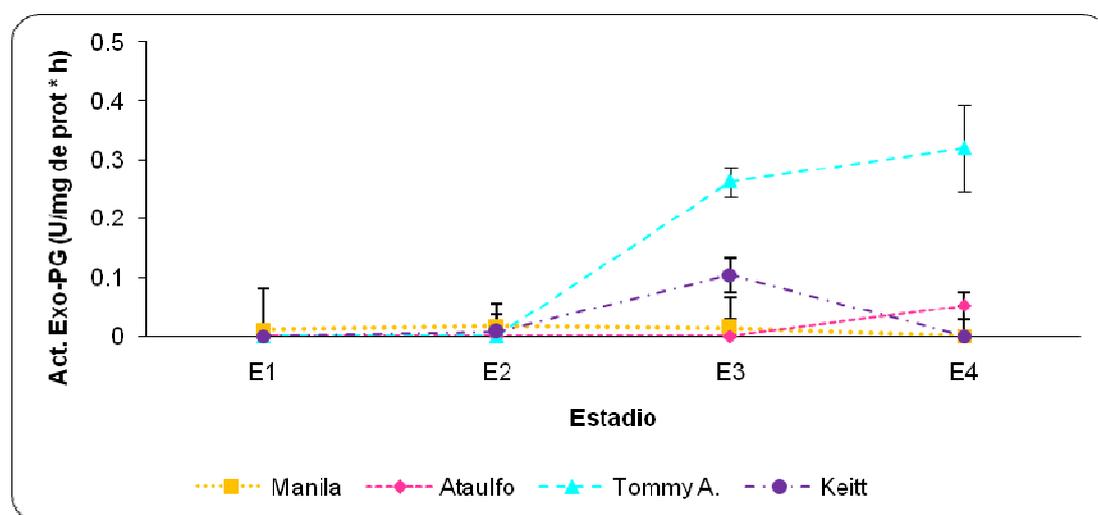


Figura 44. Actividad Exo-PG en piel de mango de diferentes variedades almacenados a 20°C en diferentes estadios de maduración: E₁ (pre-climaterio), E₂ (inicio del climaterio), E₃ (máximo climaterio y E₄ (post-climaterio). Las barras verticales representan \pm SD.

De acuerdo al trabajo de Aina y Olandunjoye, (1993) con mangos de África en el que se encontró que la actividad de PG es mayor en tejido de piel que en el de pulpa y que la máxima actividad de PG se presentó en el 10º día de maduración en ambos tejidos y que posteriormente ha estos días la actividad PG empezó a descender, nuestros resultados mostraron ser lo contrario al de este trabajo, ya que nuestra actividad resultó ser mayor en pulpa que en piel y la actividad PG no mostró una tendencia para la mayoría de las variedades estudiadas, excepto la variedad ‘Tommy A.’ que sí presentó una tendencia de aumentar conforme avanzó la maduración.

La actividad de Exo-PG fue muy variante y dependió de la variedad y del estadio de maduración. Por lo que, el tipo de comportamiento no coincide con lo reportado en otros frutos como en: manzana, melón y frutilla en donde no se detectó actividad y se pensó que la enzima estaba ausente (Huber, 1984; Smith *et al.*, 1989). Tampoco coincide con lo que se ha reportado en fresa, donde la actividad PG es considerable al inicio de la maduración y después disminuye Nogata *et al.* (1993). Por otro lado, no sigue el comportamiento de otros frutos como el durazno (Pressey *et al.*, 1971), aguacate (Awad y Young, 1979), papaya (Chan *et al.*, 1981; Lazan *et al.*, 1989; Lazan *et al.*, 1995), pera (Batley *et al.*, 1982), tomate (Brady *et al.*, 1982; Tucker y Grierson, 1982; Seymour *et al.*, 1987; Yoshida *et al.*, 1994; Marangoni *et al.*, 1995), cereza (Barrett y Gonzales, 1994), aceituna (Fernández *et al.*, 1995), mango (Sobac *et al.*, 1997; Ketsa *et*





al., 1998) y fresa por *Rosli et al.* (2004) en donde mencionan que la actividad PG se incrementa notablemente durante la maduración de frutos y que este aumento es aún más marcado en variedades con alta tasa de ablandamiento.

Por otra parte, el trabajo de *Redondo et al.* (2001) en fresa describieron que la actividad PG no se expresa en frutos maduros, sin embargo para este trabajo los resultados mostraron que la mayor actividad de PG para la mayoría de las variedades estudiadas fue en los dos últimos estadios de maduración, siendo la variedad ‘Tommy A.’ la más representativa de este comportamiento.

Comparando los resultados con otros trabajos se concuerda con el trabajo de fresa por *Lefever et al.*, 2004, en el que se concluyó que la cantidad de actividad enzimática que se encuentre depende del fruto, el cultivo, las condiciones y la variedad. Por otro lado, también se encuentra comportamiento similar con trabajos de *Buescher y Furmanski* (1978) y *Ali et al.* (2004), en los que mencionaron que a pesar de encontrar niveles significativos de PG en frutos tropicales las enzimas que degradan la pared celular no precisamente sean el mayor factor en el ablandamiento de los frutos.

Pectatoliasa (PEL):

Como ya se ha mencionado, el ablandamiento de frutos esta asociado con el cambio de la pectina en la laminilla media de la pared celular (*Huber*, 1983). Las principales enzimas que afectan la firmeza de frutos durante la maduración son la PE y PG (*Tucker y Grierson*, 1987). Sin embargo, en diversos trabajos se han reportado clones de cDNA de Pectatoliasa (PEL) en pulpa de plátano (*Medina et al.*, 1997; *Dominguez et al.*, 1997; *Pua et al.*, 2001; *Martin*, 2001 y *Marin et al.*, 2002). En literatura se ha encontrado que la actividad PEL puede jugar un papel significativo para el ablandamiento de la fruta, tanto para frutos climatéricos como no climatéricos (*Pua et al.*, 2001; *Jimenez et al.*, 2002).

Los resultados de la actividad de PEL en las diferentes variedades de mango se muestran en la **Figura 45**. Esta actividad no se registró en las variedades ‘Manila’ y ‘Haden’ a pesar de que las dos variedades pertenecen a cada una de las familias. La actividad de estas variedades de





mango, al igual que la actividad Exo-PG pudieron no haber sido detectadas debido a el método utilizado de extracción requiriéndose algún paso de purificación para poder detectar la actividad de esta enzima.

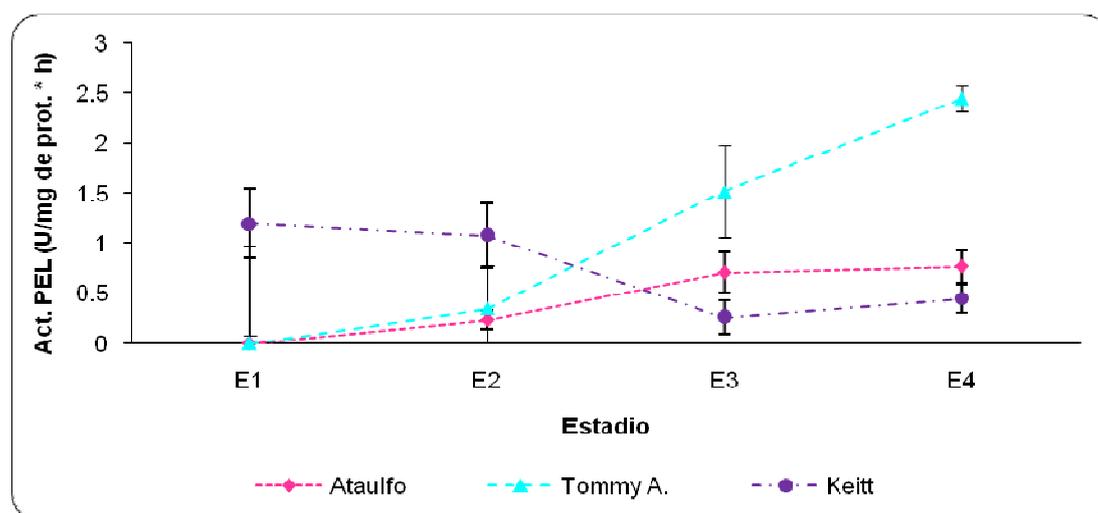


Figura 45. Actividad de Pectatoliasa (PEL) en pulpa de mango de diferentes variedades almacenados a 20°C en diferentes estadios de maduración: E₁ (pre-climaterio), E₂ (inicio del climaterio), E₃ (máximo climaterio y E₄ (post-climaterio). Las barras verticales representan \pm SD.

En el pre-climaterio (E₁) únicamente se detectó actividad en los mangos ‘Keitt’, obteniendo valores de 1.1 U/mg de prot.*h y debido a esto también mostró tener diferencia significativa ($P \geq 0.05$) con el resto de las variedades. Al inicio del climaterio (E₂) la actividad se mostró en las variedades ‘Keitt’, ‘Tommy A.’ y ‘Ataulfo’, siendo similar en la dos últimas variedades ya que mangos ‘Keitt’ reportaron tener un 67.5% más que las otras dos variedades dando un valor de 1.08U/mg de prot.*h.

Para el máximo climaterio (E₃) los mangos ‘Keitt’ descendieron drásticamente, la variedad que mayor actividad presentó para este estadio fueron los mangos ‘Tommy Atkins’ obteniendo valores de 1.52 U/mg de prot.*h, seguidos de los mangos ‘Ataulfo’ con un valor de 0.71 U/mg de prot.*h y por último los ‘Keitt’ con un cantidad enzimática de 0.45 U/mg de prot.*h.

Al finalizar la maduración, en el post-climaterio (E₄) los mangos ‘Tommy Atkins’, ‘Ataulfo’ y ‘Keitt’ tuvieron un aumento en la actividad PEL con diferencias significativas ($P \geq 0.05$) entre ellos, los mangos que mayor aumento reportaron fueron los mangos ‘Tommy A.’ dando una valor de 2.44U/mg de prot.*h, es decir un 68% que los mangos ‘Ataulfo’ y un 81.5% más para





mangos ‘Keitt’, esto se cree debido a que ya toda la pectina presente en este estadio ya se encuentra de manera libre y los iones calcio con los que se trabajaron hicieron que se interactuara mejor la enzima y la actividad resultara mayor (Paull, 1998).

La tendencia que mostraron los mangos de la variedad ‘Tommy A.’ y ‘Ataulfo’ en comparación con los resultados obtenidos por Payasi y Sanwal (2003) en plátano, en el que mencionaron que la actividad de PEL no se detectó en el pre-climaterio, al inicio del climaterio mostró un aumento, en el máximo climaterio continuó aumentando para finalmente descender en el post-climaterio, se pudieron haber considerado similares a los que ellos obtuvieron a diferencia de que la actividad enzimática para nuestras variedades de estudio continuó aumentando hasta el final de la maduración y no descendió como ocurrió en el plátano, por lo que los resultados obtenidos se asemejan más a los resultados de Marin (2001) en plátano, ya que la actividad PEL registró un sustancial aumento en la actividad durante el proceso de maduración.

La actividad PEL no se registró en las variedades ‘Manila’ y ‘Haden’ para ninguno de los estadios, sin embargo en otros frutos como la fresa (Jiménez *et al.*, 2002) y plátano (Medina *et al.*, 1997; Dominguez *et al.*, 1997; Pua *et al.*, 2001) la actividad fue detectada sin presentar alguna tendencia.

En piel de mango, la actividad PEL fue completamente diferente a la mostrada en pulpa, ya que se encontró que la actividad tuvo un comportamiento similar para las variedades ‘Manila’, ‘Tommy A.’, ‘Keitt’ y ‘Haden’ en donde al inicio de la maduración la actividad disminuyó y conforme está avanzó la actividad aumentó, no siendo así para los mangos de la variedad ‘Ataulgo’ que mostraron un descenso continuó de la actividad a lo largo de la maduración, como se puede mostrar en la Figura 46.

Los mangos ‘Tommy A.’ en el pre-climaterio (E₁) mostraron ser los mangos con mayor actividad en este estadio con un valor de 0.85 U/mg de prot.*h., seguidos por las variedades ‘Haden’ y ‘Keitt’ y posteriormente de los mangos de la familia Mulgava (mangos ‘Manila’ y ‘Ataulfo’) en donde los mangos ‘Ataulfo’ representaron un 50% de actividad con respecto a los mangos ‘Tommy Atkins’ y los ‘Manila’ sólo un 30%.



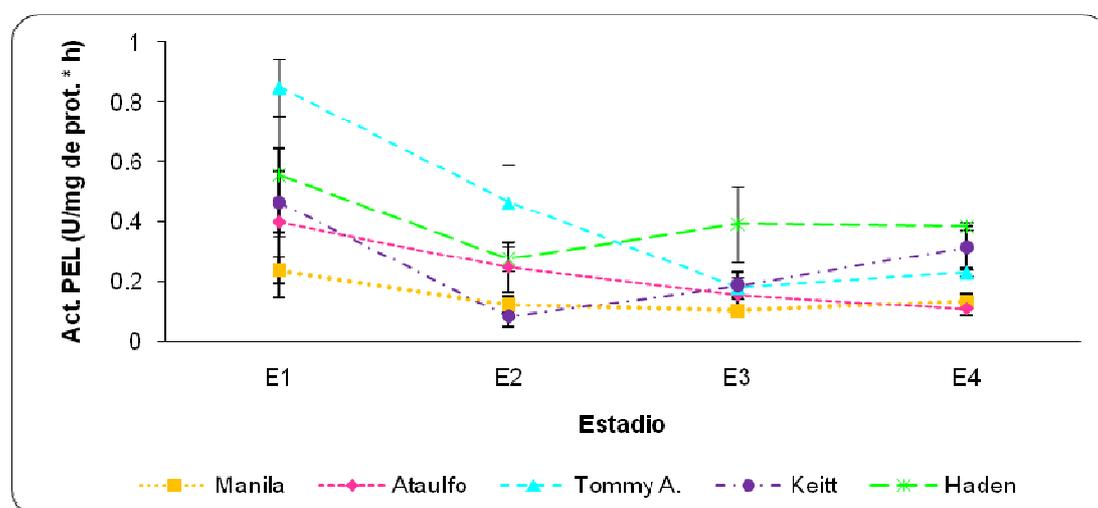


Figura 46. Actividad de Pectatoliase (PEL) en piel de mango de diferentes variedades almacenados a 20°C en diferentes estadios de maduración: E₁ (pre-climaterio), E₂ (inicio del climaterio), E₃ (máximo climaterio) y E₄ (post-climaterio). Las barras verticales representan \pm SD.

En el inicio del climaterio (E₂) la actividad PEL disminuyó en todas las variedades, siendo esto más notorio en los mangos ‘Keitt’ donde su actividad descendió un 10% más que las variedades de la familia Mulgova. Los mangos ‘Tommy A.’ presentaron una mayor actividad para este estadio, mostrando sólo la mitad del valor obtenido en el pre-climaterio con un valor de 0.46 U/mg de prot.*h.

La actividad PEL para el máximo climaterio (E₃) continuó disminuyendo para los mangos ‘Manila’, ‘Ataulfo’ y ‘Tommy A.’, mientras que para las variedades ‘Keitt’ y ‘Haden’ la actividad aumentó, siendo casi el doble para mangos ‘Keitt’ y un 30% más para mangos ‘Haden’ con respecto a lo obtenido al inicio del climaterio. La máxima actividad de PEL para este estadio fue registrado en los mangos ‘Haden’ con un valor de 0.39 U/mg de prot.*h, seguidos de los mangos ‘Keitt’, ‘Tommy A.’ ‘Ataulfo’ y ‘Manila’.

En el post-climaterio (E₄), la variedad que mayor actividad presentó fue la variedad ‘Haden’ reportando un valor de 0.38 U/mg de prot.*h, seguida de los mangos ‘Keitt’ y ‘Tommy A.’ con valores de 0.3 y 0.23 U/mg de prot.*h respectivamente y la de menor actividad fueron los mangos ‘Manila’ y ‘Ataulfo’, por lo que se puede concluir en que la actividad PEL en piel de mango para este estadio se agrupó de acuerdo a la familia a la que pertenecían cada una de las variedades de mango estudiadas.



**Celulasa (CEL):**

La PG y PE son consideradas hidrolasas primarias de la pared celular involucradas en el ablandamiento de frutos, pero otras enzimas como las Celulasas (CEL) juegan un papel importante en el metabolismo de la pared celular (Ahmed y Labavitch, 1980; Awad y Young, 1980).

La CEL son enzimas hidrolíticas que participan en el rompimiento de los enlaces glucosídicos β -1,4 presentes en los polisacáridos de celulosa y hemicelulosa, respectivamente (Colin, 1990), en donde la celulosa constituye la fracción mayor en la pared celular en conjunto y consta de cadenas lineales (no ramificadas) de glucosa en uniones β -1-4, las cadenas de celulosa están ordenadas en fibras y son las responsables de mantener la rigidez de la pared celular. Por esto a pesar de que la CEL no es una enzima que degrada pectina también esta involucrada en el ablandamiento de frutos (Paull y Chen, 1983; Roe y Bruemmer, 1981), como en el plátano (Kojima *et al.*, 1994). Aunque en mangos no presentó ningún cambio en el contenido de celulosa durante la maduración (Tahir y Malik, 1977), para los frutos de pera (Ahmed y Labavitch, 1980b) y papaya (Selvaraj *et al.*, 1982) no se detectó esta actividad durante la maduración.

En la **Figura 47** se presenta la actividad de CEL en pulpa de mango en la que se puede observar que la actividad incrementó conforme avanzó la maduración y posteriormente descender al llegar al máximo climaterio para todas las variedades de estudio.

La variedad que reportó mayor cantidad de esta enzima fueron los mangos ‘Haden’, en los tres primeros estadios de maduración su cantidad de actividad enzimática fue de 1.83, 3.21 hasta 5.8 U/mg de prot.*h, para el pre-climaterio (E₁), al inicio de climaterio (E₂) y para el máximo climaterio (E₃) respectivamente, finalmente al llegar al post-climaterio (E₄) la actividad disminuyó drásticamente y su actividad casi fue nula. El resto de las variedades estudiadas mostraron el mismo comportamiento que los mangos ‘Haden’ a diferencia de que sus valores fueron menores.



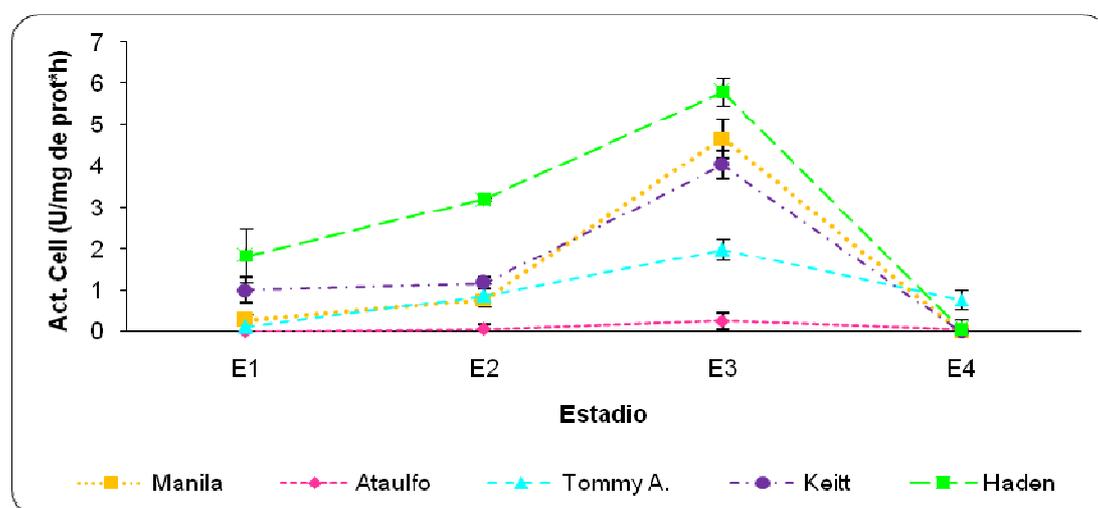


Figura 47. Actividad celulolítica (CEL) en pulpa de mango de diferentes variedades almacenados a 20°C en diferentes estadios de maduración: E₁ (pre-climaterio), E₂ (inicio del climaterio), E₃ (máximo climaterio) y E₄ (post-climaterio). Las barras verticales representan \pm SD.

Los mangos ‘Ataulfo’ mostraron ser la variedad con menor cantidad de actividad para todos los estadios con respecto a las demás variedades, ya que en el pre-climaterio mostró una ausencia de actividad, para el inicio del climaterio mostró valores casi nulos al igual que en el post-climaterio, no siendo así para el máximo climaterio en donde mostró su máxima actividad con un valor muy por debajo al resto de las variedades ya que solo reportó 0.025 U/mg de prot.*h.

De acuerdo al análisis estadístico en el pre-climaterio las variedades ‘Manila’, ‘Ataulfo’ y ‘Tommy A.’ mostraron similitud entre ellas, al inicio del climaterio la similitud se presentó en los mangos ‘Manila’ y ‘Tommy A.’, en el máximo climaterio todas las variedades presentaron diferencia significativa ($P \geq 0.05$) una con respecto a otra y para el post-climaterio mangos ‘Tommy A.’ mostraron diferencia significativa ($P \geq 0.05$) con el resto de las variedades.

El comportamiento de la actividad CEL en pulpa de mango comparada con otros trabajos, mostró un aumento constante durante la maduración como se presentó en tomate (Hobson, 1968), dátil (Hasegawa y Smolenskey, 1971), durazno (Hinton y Pressey, 1974), manzana (Bartley, 1974); fresa (Maurice y Palehett, 1976), aguacate (Pesis *et al.*, 1978; Awad y Young, 1979), papaya (Paul y Chen, 1983; Lazan *et al.*, 1989; Lazan *et al.*, 1995) y mango de variedad ‘Keitt’ y ‘Manila’ (Roe y Bruemmer, 1981; Abu-Sarra y Abu-Goukh, 1992; Ali *et al.*, 1995; Sobac *et al.*, 1997; Ketsa *et al.*, 1998), a diferencia de que en el post-climaterio la actividad





disminuyó en ves de aumentar, pero si mostró ese ascenso y descenso que presentaron el pimiento (Priya *et al.*, 1996) y mango de variedad no mencionada (Zauberman *et al.*, 1988).

Por otro lado, la máxima actividad de CEL para todas las variedades se reportó en el máximo climaterio al igual que en chirimoya (Sanchez *et al.*, 1997).

La actividad celulolítica en piel de mango se muestra en la **Figura 48**, en donde se observó un comportamiento similar al obtenido en pulpa, ya que la actividad aumentó conforme avanzó la maduración para la mayoría de las variedades, excepto los mangos ‘Haden’ que en el post-climaterio (E₄) descendió su actividad. La actividad en piel fue 5 veces menor que la de la pulpa al igual que las anteriores enzimas.

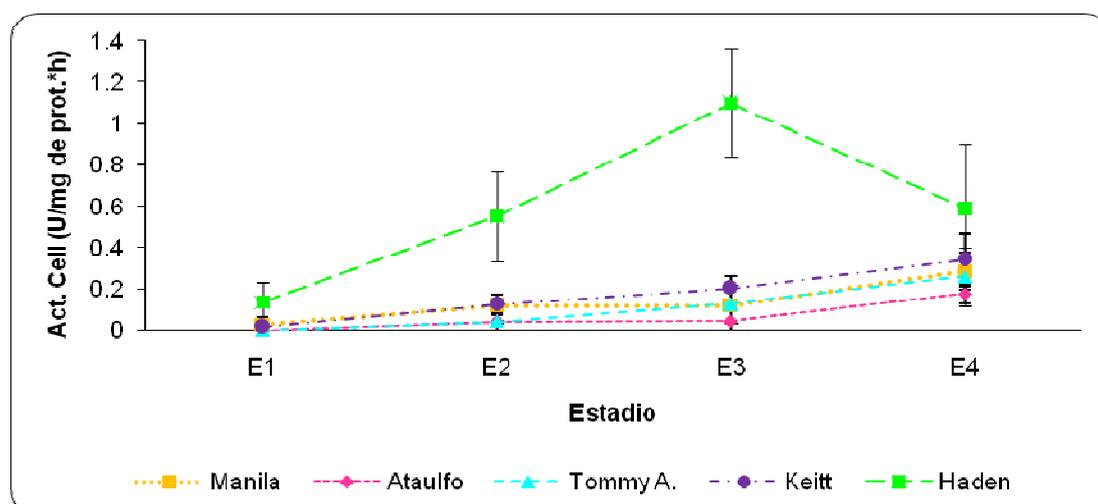


Figura 48. Actividad celulolítica (CEL) en piel de mango de diferentes variedades almacenados a 20°C en diferentes estadios de maduración: E₁ (pre-climaterio), E₂ (inicio del climaterio), E₃ (máximo climaterio y E₄ (post-climaterio). Las barras verticales representan \pm SD.

La máxima actividad de CEL en los mangos ‘Manila’, ‘Ataulfo’, ‘Keitt’ y ‘Tommy A.’ se presentó en el post-climaterio entre valores de 0.17 U/mg de prot.*h a 0.34 U/mg de prot.*h, no así para los mangos ‘Haden’ que mostraron su máxima actividad en el máximo climaterio (E₃) con una valor de 1.1 U/mg de prot.*h.

Los mangos ‘Haden’ resultaron ser la variedad con mayor actividad CEL para todos los estadios a pesar de que en el post-climaterio su actividad descendió contrario a lo ocurrido con el resto de las variedades estudiadas, su actividad enzimática en el pre-climaterio (E₁) fue 95% más que el





resto de las variedades, para el inicio del climaterio (E_2) fue 93% para mangos 'Ataulfo' y 'Keitt' y 78% más para mangos 'Manila' y 'Tommy A.', en el máximo climaterio la actividad CEL continuó siendo la mayor en un 96% para mangos 'Ataulfo', un 88% para mangos 'Manila' y 'Tommy A.' y un 82% para mangos 'Keitt'. En el post-climaterio debido a que la actividad descendió la diferencia no fue tan alta como lo habían sido los anteriores estadios reportando que para mangos 'Ataulfo' la diferencia fue de 71, 54 y 42% para mangos 'Manila', 'Tommy A.' y 'Keitt' respectivamente.

La variedad con menor actividad CEL fueron los mangos 'Ataulfo', con una cantidad nula para el pre-climaterio, un valor de 0.04 U/mg de prot.*h para el inicio y el máximo climaterio y 0.17 U/mg de prot.*h en el post-climaterio.

De acuerdo al análisis estadístico en el pre-climaterio las variedades forman tres grupos quedando en el primero los mangos 'Ataulfo' y 'Tommy A.', en el segundo grupo los mangos 'Manila' y 'Keitt' y en el tercer grupo los mangos 'Haden'. Para el inicio del climaterio al igual que en el máximo climaterio y en el post-climaterio los mangos 'Haden' fueron los únicos que tuvieron diferencias significativas ($P \geq 0.05$) con el resto de las variedades.

5.4. CORRELACION DE ENZIMAS RELACIONADAS CON LA DEGRADACIÓN DE LA PARED CELULAR EN DIFERENTES VARIEDADES DE MANGO DURANTE SU MADURACIÓN CON PARAMETROS QUÍMICOS Y DE CALIDAD.

Pocas relaciones se han reportado en mecanismos enzimáticos y no enzimáticos con el ablandamiento de frutos (Marangoni *et al.*, 1995). El análisis de tendencias en actividad PME, PG y CEL en fruta permite una correlación entre la actividad con el proceso de maduración (Awad y Young, 1979). El incremento de actividad enzimática en mangos ha estado relacionado con su ablandamiento durante su maduración (Roe y Bruemmer, 1981; Abu-Sarra y Abu-Goukh, 1992 y Ketsa *et al.*, 1998).

En la siguiente tabla se muestra que la actividad de las diferentes enzimas estudiadas no todas las veces se relaciona con la firmeza en los dos tejidos del fruto de mango.





Tabla 16. Correlaciones entre firmeza y actividades enzimáticas en los tejidos de diferentes variedades de mango.

Variedad	PE (R ²)		Exo-PG (R ²)		PEL (R ²)		CEL (R ²)	
	Pulpa	Piel	Pulpa	Piel	Pulpa	Piel	Pulpa	Piel
Manila	*0.79	*0.98	0.47	N.P.	N.P.	*0.9	0.11	*0.63
Ataulfo	*0.96	*0.59	0.17	0.39	*0.7	*0.99	0.22	*0.64
Tommy Atkins	*0.74	*0.84	*0.64	*0.67	*0.67	*0.93	0.4	*0.75
Keitt	*0.96	0.5	N.P.	0.15	*0.67	0.38	N.P.	*0.82
Haden	*0.99	*0.85	0.28	0.28	N.P.	*0.57	N.P.	*0.59

* = Correlación significativa al nivel de $\alpha = 0.05$

R² = Firmeza vs PE, Exo-PG, PEL, CEL

N.P.=No presentó correlación

Como se puede ver en la **Tabla 16**, la enzima que mayor número de correlaciones obtuvo fue la PE, la cual disminuyó conforme avanzó la maduración al igual que la firmeza del mango. Tanto en el tejido de la pulpa como en el de la piel se encontraron relaciones con la pérdida firmeza para todas las variedades con un valor de R²=0.74 a R²=0.99 en la pulpa y de R²=0.5 a R²=0.98 en la piel; sin embargo, de acuerdo a la significancia estadística del coeficiente de correlación la mayoría de la correlaciones presentadas en la tabla anterior fueron significativas exceptuando la variedad ‘Keitt’ en el tejido de la piel.

Los resultados obtenidos en comparación con otros frutos como el chicozapote (**Bautista et al., 2005**) fueron similares ya que en este fruto se encontró también una correlación en la que la actividad PE disminuyó al igual que la firmeza conforme avanzó la maduración, no siendo así para otros frutos como el plátano (**Hultin y Levine, 1965**), pera (**Nagel y Petterson, 1967**), naranja (**Tahir et al., 1975**) y papaya (**Lazan et al., 1995**) presentaron un comportamiento inverso al de estos, ya que en ellos se presentó que la actividad de PE aumenta y la firmeza disminuye en el proceso de maduración.

La actividad PE de el tejido de la piel de mangos ‘Keitt’ presentó una correlación no significativa con la firmeza, al igual que en el trabajo de **Roe y Brummer, (1981)** en mangos de variedad ‘Keitt’ en el que se encontró una correlación negativa, lo mismo ocurrió en otros trabajos con tomate (**Marangoni et al., 1995**) y fresa (**Lefever et al., 2004**).





La relación del ablandamiento de frutos con el incremento de la actividad de enzimas ha estado mostrada en varios frutos (Knee *et al.*, 1991). En duraznos Buescher y Furmanski, (1978) consideran que las enzimas PE y PG son responsables del ablandamiento de este fruto.

Como anteriormente se mencionó la PG en otros trabajos se ha relacionado con el ablandamiento de los frutos; sin embargo, para este trabajo se puede ver en la **Tabla 16** que esta enzima apenas presentó 2 correlaciones significativas en relación con la pérdida de firmeza, presentando $R^2=0.64$ y 0.67 para pulpa y piel respectivamente en la variedad ‘Tommy A.’ ocurriendo similares resultados en trabajos de Roe y Brummer (1981) quienes trabajaron con mango y encontraron una correlación significativas de $R^2=0.99$ entre la actividad de PG y la firmeza, esto también ocurrió en guayaba con $R^2=0.987$ (Abu-Bakr *et al.*, 2003) en dátil (Hasegawa *et al.*, 1969), durazno (Pressey *et al.*, 1971), tomate (Hobson, 1962; Wallner y Walker, 1975), manzana (Knee, 1978), aguacate (Zauberman y Schiffmann, 1972; Awad y Yong, 1979), pera (Ahmed y Labavitch, 1980b; Bartley *et al.*, 1982), pimiento verde (Jen y Robinson, 1984), pepino (Miller *et al.*, 1987), mango (Abu-Sarra y Abu-Goutch, 1992) y papaya (Lazan *et al.*, 1995). En otros frutos como el tomate la correlación que presentó entre la actividad de PG y firmeza fue no significativa de $R^2=-0.96$ (Marangoni *et al.*, 1995), ocurriendo lo mismo en mango en donde se mostró una correlación de $R^2=-0.70$ (Ketsa *et al.*, 1998).

De acuerdo a resultados de Artés *et al.* (1996), consideraron que estos no son firme evidencia para sugerir que las enzimas están involucradas con el ablandamiento de frutos, al igual pasa con frutos estudiados por Ali *et al.* (2004), manifestaron que a pesar de obtener niveles significativos de PG proponen que probablemente las enzimas que degradan la pared celular no sean el factor primario en el ablandamiento.

Se ha encontrado que la actividad PEL puede jugar un papel significante para el ablandamiento, para frutos tanto climatéricos como no climatéricos (Pua *et al.*, 2001; Jimenez *et al.*, 2002).

La actividad PEL en la pulpa de mango como se muestra en la **Tabla 16** los mangos ‘Manila’ y ‘Haden’ no presentaron correlaciones con la pérdida de firmeza, no así para el resto de las variedades (‘Atafo’, ‘Tommy A.’ y ‘Keiit’) que mostraron correlaciones significativas con $R^2=0.67$, 0.67 y 0.7 respectivamente. En el tejido de la piel la mayoría de las variedades





(‘Manila’, ‘Ataulfo’ y ‘Tommy A.’) presentaron correlaciones significativas arriba de $R^2=0.9$, exceptuando los mangos ‘Haden’ que presentaron una correlación significativa de $R^2 =0.57$, mientras que los mangos ‘Keitt’ no presentaron correlación significativa ya que obtuvieron $R^2=0.38$.

La actividad CEL en relación a la pérdida de firmeza en la pulpa de mango no se presentó en las variedades ‘Keitt’ y ‘Haden’. En el resto de las variedades a pesar de haber obtenido correlaciones estas no fueron significativas, y comparando estos resultados con otros trabajos se puede decir que estos fueron similares a los frutos como el duraznos (Jerming y Isherwood, 1956), pera (Sterling, 1961), papaya (Jiang *et al.*, 2003) y fresa (Lefever *et al.*, 2004) en donde además se obtuvieron correlaciones no significativas.

En el tejido de la piel se presentó para todas las variedades correlaciones significativas con $R^2=0.59$ a 0.82 al igual que en otros trabajos que también han trabajado con mango en los que se encontraron correlaciones significativas de $R^2=0.86$ (Roe y Brummer, 1981) y de $R^2=0.91$ (Ketsa *et al.*, 1998), lo mismo ocurrió en guayaba en donde se encontró una correlación de $R^2=0.99$ (Abu-Bakr *et al.*, 2003). En aguacate también se encontró una correlación significativa entre CEL y ablandamiento, respiración y producción de etileno (Awad, 1977; Pesis *et al.*, 1978) al igual que en papaya estudiada por Lazan *et al.* (1995) en donde la actividad de CEL aumentó mientras la pérdida de firmeza disminuyó.

En aguacate, el incremento de actividad CEL fue correlacionado con el incremento de la respiración y ablandamiento de fruta, para la actividad PG y PE se correlacionó con la producción de etileno (Awad y Young, 1979). En papaya la actividad PG, PE y CEL tuvieron una similar tendencia con la producción de etileno y de respiración ya que todos aumentaron conforme avanza la maduración, en donde la actividad PG se correlaciona con la producción de etileno, la PME con la respiración y la actividad CEL aumento antes de la producción de etileno por eso no se correlaciona con el incremento de la respiración ni del ablandamiento del fruto (Paull y Chen, 1983).

Debido a que en otros trabajos las correlaciones que se han encontrado no precisamente son con la firmeza, en el presente trabajo se decidió también correlacionar las actividades enzimáticas





con los cambios en el contenido de carbohidratos, mostrando los resultados obtenidos en la siguiente tabla:

Tabla 17. Correlaciones lineal entre CHOS y actividades enzimáticas en los tejidos de diferentes variedades de mango.

Variedad	PE (R ²)		Exo-PG (R ²)		PEL (R ²)		CEL (R ²)	
	Pulpa	Piel	Pulpa	Piel	Pulpa	Piel	Pulpa	Piel
Manila	*0.89	*0.91	N.P.	N.P.	0.36	*0.78	N.P.	*0.77
Ataulfo	*0.96	*0.59	0.17	0.39	*0.7	*0.99	0.22	*0.64
Tommy Atkins	*0.75	*0.89	*0.59	*0.64	*0.62	*0.96	0.47	*0.69
Keitt	*0.7	0.24	N.P.	N.P.	0.54	N.P.	N.P.	*0.98
Haden	*0.94	*0.65	0.49	0.49	N.P.	0.38	N.P.	0.46

* = Correlación significativa al nivel de $\alpha = 0.05$

R² = Firmeza vs PE, Exo-PG, PEL, CEL

N.P.=No presentó correlación

La actividad de PE nuevamente resultó ser la enzima que mayor correlación significativas obtuvo con relación a los carbohidratos, esto siendo correcto debido a que los productos de esta enzima son grupos reductores y estos con forme avanzó la madurez aumentaron, seguida de la PEL. En general las correlaciones obtenidas para esta relación fueron similares a las obtenidas con la relación firmeza-enzimas.





CONCLUSIONES





6. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos en el presente trabajo se concluye lo siguiente:

- Ж Las cinco variedades presentaron el típico comportamiento de un fruto climatérico, como el mango. Sin embargo, cada variedad presentó diferente tiempo de vida útil.
- Ж Durante la maduración, la mayoría de los mangos sufren muchos cambios físicos y químicos que determinan la calidad de éste, en donde la acidez, la pérdida de peso y firmeza disminuyeron, mientras que la luminosidad, el tono, los sólidos solubles totales y pH aumentaron en los mangos de todas las variedades conforme avanzó la maduración.
- Ж La composición química del mango cambió dependiendo de la variedad y del estado de madurez, en donde la humedad disminuyó, los carbohidratos totales y la proteína aumentaron y el contenido de fibra y pectina presentaron un diferente comportamiento en cada variedad estudiada.
- Ж La actividad Pectinesterasa en pulpa de mango descendió conforme avanzó la maduración para todas las variedades estudiadas. En la piel la cantidad fue 10 veces menor que en la pulpa. Las variedades de la familia Indostano presentaron mayores actividades que los mangos de la familia Mulgova. Esta enzima no está involucrada con la pérdida de firmeza del mango de las diferentes variedades estudiadas.
- Ж La actividad Exo-Poligalacturonasa en piel y pulpa se vio afectada por la variedad y/o estado de madurez del mango, no presentó una relación con los cambios en la firmeza, por lo que no se puede afirmar que está involucrada en el ablandamiento del fruto.
- Ж La Pectatoliasa en la pulpa no se detectó en los mangos 'Manila' y 'Haden'. En la piel la actividad mostró ser más constante que en la pulpa pero sin ninguna tendencia y presentó una relación con la pérdida de firmeza.
- Ж La actividad CEL tanto para piel como para pulpa aumentó conforme avanzó la maduración, mostrando que los mangos 'Haden' resultaron ser la variedad con mayor





actividad en los dos tejidos comparada con el resto de las variedades. Dicha enzima en la piel presentó una relación con los cambios en la firmeza, además de que presentó la mayor actividad enzimática tanto en piel como en pulpa comparada con el resto de las enzimas.

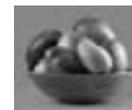
- Ж Las actividades enzimáticas relacionadas con la pared celular vegetal se vieron afectadas por la variedad, estado de madurez y tipo de tejido del mango. No todas las variedades de mango presentaron una alta correlación entre la firmeza y las actividades enzimáticas por lo que se puede decir que las correlaciones obtenidas no son firme evidencia para sugerir ó afirmar que las enzimas están involucradas con el ablandamiento de frutos.





RECOMENDACIONES





7. RECOMENDACIONES

Con base en los resultados presentados en el presente trabajo se hacen las siguientes recomendaciones:

- Estudiar el resto de las enzimas relacionadas con la degradación de la pared celular como lo son: la Endo-Poligalacturonasa (Endo-PG), Pectinliasa (PL), así como las isoformas de las ya estudiadas y ver su efecto con el ablandamiento del mango.
- Determinar otros parámetros como la producción de etileno para establecer la posible influencia que esta fitohormona tiene con la pérdida de firmeza.
- Evaluar el efecto, de tratamientos físicos (hidrotérmico, irradiación) ó químico (infiltración de iones Ca^+) en las enzimas responsables de la degradación de la pared celular en mangos.
- Realizar una caracterización de cada una de las enzimas identificadas en cada variedad de mango para establecer diferentes parámetros como: pH óptimo, Temperatura óptima, inhibidores, etc.
- Evaluar los cambios en la firmeza del mango con un penetrómetro Instrom que permita detectar con mayor exactitud este parámetro.
- Estudiar los cambios en los diferentes componentes de la pared celular (celulosa, pectinas, lignina, hemicelulosa) que permita establecer la relación con las diferentes enzimas estudiadas en el presente trabajo.
- Evaluar diferentes métodos de purificación de enzimas como: diálisis, electroforesis, precipitación con sales y/o disolventes para obtener extractos puros y evaluar las actividades enzimáticas realizadas en el presente estudio.





REFERENCIAS





8. REFERENCIAS

- Abu-Bakr, A.; Abu-Goukh, A. y Hind, A. (2003). Changes in Pectic enzymes and Pellulose activity during guava fruit ripening. *Food Chemistry*, **83**: 213-218.
- Abu-Goukh, A., y Abu-Sarra, F. (1993). Compositional changes during mango fruit ripening. *University of Khartoum Journal of Agricultural Sciences*, **1(1)**: 33-51.
- Abu-Sarra, F. y Abu-Goukh, A. (1992). Changes in the Pectinesterase, Polygalacturonase and Cellulase activity during mango fruit ripening. *Journal of Horticultural Science*, **67(4)**: 561-568.
- Aguirre, M.C. y Fernández, V.B. (1999). *El cultivo del mango*. Disponible en: <<http://www.infofrut.com.ar/temas%20y%20nota%20tecnicas-36.htm>>
- Ahmed, E. y Labavitch, M. (1980). Cell wall metabolism in fruits. II: changes in carbohydrate-degrading enzymes in ripening "Bartlett" pears. *Plant Physiology*, **65**: 1014-1016.
- Aina, O. y Oladunjoye, O. (1993). Respiration, pectolytic activity and textural changes in ripening African mango (*Irvingia gabonensis*) fruits. *Journal of the Science Food and Agriculture*. **63**: 451-454.
- Al-Jasim, A. y Al-Delaimy, S. (1972). Pectinesterase activity of some Iraqi dates. *Journal of Food Science and Agriculture*, **23**: 925-972.
- Ali, M.; Armugam, S. y Lazan, H. (1995). β -Galactosidasa and its significance in ripening mango fruit. *Phytochemistry*, **38**: 1109-1114.
- Ali, M.; Chin, H. y Lazan, H. (2004). A comparative study on wall degrading enzymes, pectin modifications and softening during ripening of selected tropical fruits. *Plant Science*, **16**: 317-327.
- Allende, R.; García, S. y Carrillo, A. (2002). "Enfermedades Poscosecha en Mangos Cultivados en Sinaloa". Boletín del CIAD, Mayo-Junio. Departamento de Protección y Nutrición Vegetal, CIAD-Unidad Culiacán. Disponible en: <<http://www.ciad.mx/boletin/mayjun02/mangos.pdf>>
- AOAC, (1990). *Official methods of analysis of the association of official analytical chemists, food composition; additives; natural contaminants*. Volumen II, publicado por the association of official analytical chemist, Inc. Arlington, Virginia, USA, 15ª edición. pp. 1298.
- Artés, F.; Cano, A. y Fernández, J. (1996). Pectolytic enzyme activity during intermittent warming storage of Peaches. *Journal of Food Science*, **61(2)**: 311-313.
- Ashraf, M; Khan, N; Ahmad, M. y Elahi, M. (1981). Studies on the pectinesterase activity and some chemical constituents of some pakistani mango varieties during storage ripening. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **29**: 526-528.





- Awad, M. (1977). Variation in cellulose content of Fuerte Avocado fruit after harvest. *Hort Science*, **12**: 406.
- Awad, M. y Young, E. (1980). Avocado Pectin methylesterase activity in relation to temperature ethylene and ripening. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **105**: 638-641.
- Awad, M. y Young, E. (1979). Postharvest variation en Cellulose, Polygalacturonase and Pectin methylesterase in avocado (*Persea Americana Mill.*, cv Fuentes) fruits in relation to respiration and ethylene production. *Plant Physiology*, **9**: 306-308.
- Badui, S. (1999). *Química de alimentos*. Alambra Mexicana. México, pp. 424.
- Badui, S. (2006). *Química de alimentos*. 4^{ta} ed. Pearson Educación. México, pp. 716.
- Baker, R. (1997). Reassessment of some fruit and vegetable pectin levels. *Journal of Food Science*, **62(2)**: 225-229.
- Barmore, R. y Rouse, H. (1976). Pectinesterase activity in controlled atmosphere stored avocados. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **101**: 294-296.
- Barrent, D. y Gonzales, C. (1994). Activity of Softening Enzymes during Cherry Maturation. *Journal of Food Science*, **59(3)**: 574-577.
- Bartley, I. (1974). β -Galactosidase activity in ripening apples. *Phytochemistry*, **13**: 2101-2111.
- Bartley, I. (1978). Exo-Polygalacturonase of Apple. *Phytochemistry*, **17**: 213-216.
- Bartley, I. y Knee, M. (1982). The chemistry of textural changes in fruit during storage. *Food Chemistry*, **9**: 47-58.
- Bartley, I.; Knee, M. y Casimir, M. (1982). Fruit softening I. Changes in Cell Wall composition and Endo-Polygalacturonase in ripening Pears. *Journal of Experimental Botany*, **33(137)**: 1248-1255.
- Bautista, B.; Arevalo, M.; Saucedo, C. y Martínez, M. (2005). Proceso de maduración de frutos de Chicozapote (*Manilkara Sapota L. P. Royent*) tipo fino. *Revista Chapingo*, **11**: 387-391.
- Bonghi, C.; Pagni, S.; Vidrih, R.; Ramina, A. y Tonutti, P. (1996). Cell wall hydrolases and amylase in kiwifruit softening. *Postharvest Biology and Technology*, **9**: 19-29.
- Brady, J. (1976). The pectinesterase of the pulp of the banana fruit. *Australian Journal Plant Physiology*, **3**: 165-172.
- Brady, J.; MacAlpine, G.; McGlasson, B. y Ueda, Y. (1982). Polygalacturonase in tomato fruits and the induction of ripening. *Australian Journal Plant Physiology*, **9**: 171-178.





- Braverman, B.S. (1967). *Introducción a la bioquímica de los alimentos*. Ediciones Omega. Barcelona España, pp. 355.
- Brinson, K.; Dey, M.; John, A. y Pridham, B. (1988). Pectin changes in *Magnifera indica* mesocarp cell walls cytoplasmic polysaccharides. *Phytochemistry*, **27**: 719-723.
- Bruce, A.; Johnson, A.; Lewis J.; Raff, M.; Roberts, K y Walter, P. (2004). *Biología Molecular de la Célula*. 4^{ta} ed. Ediciones Omega, Barcelona, pp. 1130.
- Buescher, W. y Furmanski, J. (1978). Role of Pectinesterase and Polygalacturonase in the formation of woolliness in peaches. *Journal of Food Science*, **43**: 264-266.
- Buescher, W. y Tigchelaar, C. (1975). Pectinesterase, Polygalacturonase, Cellulose activities and softening of the ring tomato mutants. *Hort Science*, **10**: 624-626.
- Cambell, A. y Palmer, H. (1978). Pectin. Ch. a, in *Topics in Dietary Fiber Research*, Plenum Press, New York, pp. 105-115.
- Carpita, N. y Mc Cann, M. (2000). *The cell wall*. In: *Biochemistry y Molecular Biology of Plants*. Editorial American Society of Plant Physiologists, Maryland, USA, pp. 1235.
- Carpita, N. y Gibeaut., D. (1993). Structural models of primary cell walls in flowering plants: consistency of molecular structure with the physical properties of the walls during growth. *The Plant Journal* **3**, 1-30.
- Celis, J. (1998). *Cell biology: a laboratory handbook*. 2^{da} ed. Mc Graw Hill, San Diego, pp. 564.
- CESNID (2004). Center d' Ensenyament Superior de Nutrició I Dietètica. *Tablas de composición de alimentos de CESNID*, Mc Grall, Hill Interamericana de España, Barcelona, pp. 247.
- Chan, H.; Tam, S. y Seo, S. (1981). Papaya Polygalacturonase and its role in thermally injured ripening fruit. *Journal of Food Science*, **46**: 190-197.
- Chan, H. y Tam, S. (1982). Partial separation and characterization of Papaya Endo y Exo-Polygalacturonase. *Journal of Food Science*, **47**: 1478-1483.
- Chaucha, K.; Tyagi, M. y Sing, D. (2001). Pectinolytic liquefaction of apricot, plum and mango pulps for juice extraction. *International Journal of Food Properties*, **4**: 103-109.
- CODEX (2005). Norma del Codex para el Mango Stan 184-1993 del Codex Alimentarius. Disponible en: <www.codexalimentarius.net/download/standards/315/CXS_184s.pdf>
- Colin, S. (1990). *Enzyme Chemistry (Impact and Applications)*, 2^{da} ed. Chapman and Hall, London, pp. 383.
- Collmer, A.; Ried, L. y Mount, S. (1988). Assay methods for pectic enzymes. En: Wood, A., Kellogs, T. (Eds), *Methods in Enzymology*, Vol. 161, Academic Press, San Diego, pp. 329-335.





- Consejo Latinoamericano de Información Alimentaria (CLIA) (2002). Los Fotoquímicos. Disponible en: <<http://www.clia.org.mx>>
- Cornell University, Academic Technology Center (2002). *Mangifera indica* Linnaeus. Disponible en: <<http://instruct1.cit.cornell.edu/courses/hort400/mpts/mango.htmI>>
- Corporación Colombia Internacional (CCI) (2005). Origen y Botánica del mango. Disponible en : <<http://www.cci.org.co/informacion/mango/mangoorigen.htm>>
- Crane, J.H. (2000). Mango Crop Production en: *The Mango Botany, production and uses*, Litz, R.E. (Ed) CAB International, USA, pp.587.
- Cruz, C. y Pérez, C. (1998). “Evaluación del efecto conservador y antimicrobiano de la película de quitosán en la vida útil del mango (*Mangifera L. Indica*), variedad ‘Haden’”. Tesis de Ingeniería en alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM.
- Dave’s Garden (2004). Mango. Disponible en: <<http://plansdatabase.com>>
- De Robertis, E; Hib, J. y Ponzio, R. (2003). *Biología Celular y Molecular de De Robertis*, El Ateneo, México, pp. 488.
- De Swart, H. y Maxie, C. (1967). Pectin methylesterase in the ripening banana. *Society African Journal Agricultural Science*, **10**: 501-506.
- Díaz, M. (2002). *Fisiología de arboles frutales*. AGT S.A., México, pp. 390.
- Díaz, R.; Pérez, L. y Vernon, J. (2000). Emulsione coatings control fruit fly and anthracnose in mango (*Mangifera indica cv. Manila*). *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, **75(1)**: 126-128.
- Dir’s HortInfo–Internet IPM Resources on Mango. (2000). Disponible en: <<http://ippc.orst.edu/dir/fruit/mango.htmI>>
- Dolendo, L.; Luch, S. y Pratt, K. (1966). Relation of pectic and fatty acid changes to respiration rate during ripening of avocado fruit. *Journal of Food Science*, **31**: 332.
- Domínguez, E.; Llop, I.; Vendrell, M. y Prat, S. (1997). A cDNA clone highly expressed in ripe banana fruit shows homology to pectate lyases. *Plant Physiology*, **114**: 1071-1076.
- Doreyappa, N. y Huddar, G. (2001). Studies on ripening changes in mango (*Mangifera indica L.*) fruits. *Journal of Food Science and Technology*, **38**: 135-137.
- DPIF Queensland Australia (2004). Department of Primary Industries and Fisheries, State of Queensland. Disponible en : <<http://dpi.qld.gov.ua/horticulture>>
- Dyson, R. (1977). *Principios de Biología Celular*. Fondo Educativo Interamericano S.A., México, pp. 431.
- EMEX (2005). Empacadoras de mango de exportación Disponible en: <<http://www.mangoemex.com/EMEX.html>>





- Esau, K. (1972). *Anatomía vegetal*. Ediciones Omega S.A., Barcelona, pp. 779.
- Exploración de mercados. Inteligencia de mercados mango. (2003). Disponible en: <http://www.agrocadenas.gov.co/inteligencia/int_mango.htm>
- Fairchild Tropical Botanic Garden (2007). International Mango Festival. Disponible en: <<http://www.ftg.org/horticulture/mangofest>>
- Fahn, A.; Fernández, J.; García, F.; Fernández, J. (1985). *Anatomía Vegetal*. Ediciones Piramide, Madrid, pp. 569.
- Fennema, R. (2000). *Química de los Alimentos*, 2^{da} ed. Acribia S.A., Zaragoza, pp. 1258.
- Fernández, J.; Rodríguez, R.; Guillén, R.; Jiménez, A. y Heredia, A. (1995). Activity of cell wall-associated enzymes in ripening of olive fruit. *Physiologia Plantarum*, **93**: 651-658.
- Flores, A. (2000). *Manejo postcosecha de frutas y hortalizas en Venezuela*. Ed. UNILLETZ, Venezuela, pp. 224.
- Food and agricultural organization (FAO) (2005). Base de datos de producción mundial y comercio internacional de mango. Disponible en: <<http://faostat.fao.org/faostat>>
- Forney, C. y Breen, P. (1986). Sugar content and uptake in the strawberry fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **111**: 241-247.
- Fox, P. (1991). *Food Enzymology*. Vol 2., Elsevier Applied Science, London, pp. 636.
- Galán-Sauco, V. (1999). *El Cultivo del Mango*, Ediciones Mundi-Prensa, Barcelona, pp. 298.
- Gallegos, D. y Hosnaya, F. (1997). 'Manejo de cosecha y postcosecha para la comercialización de frutas y hortalizas en fresco'. Tesis de Ingeniería en Alimentos, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM.
- Gómez-Lim, A. (2000). *Postharvest Physiology. The Mango Botany, Production and Uses*. Ed. CAB International, USA, pp. 587.
- Goodenough, W.; Tucker, A.; Grierson, D. y Tudor, T. (1982). Changes in colour, Polygalacturonase monosaccharides and organic acids during storage of tomatoes. *Phytochemistry*. **21**: 281-284.
- Gorinstein, S.; Zemser, M.; Haruenkit, R.; Chuthakorn, R.; Grauer, F.; Martin B.; O.; Trankhtenberg, S. (1999). Comparative content of total polyphenols and dietary fiber in tropical fruits and persimmon. *Journal of Nutritional Biochemistry*, **10 (6)**: 367-371.
- Grierson, D. y Tucker, A. (1983). Timing of ethylene and Polygalacturonase synthesis in relation to the control of tomato fruit ripening. *Planta*, **157**: 174-179.





- Gross, C y Sams, E. (1984). Changes in cell wall neutral sugar composition during fruit ripening: a species survey. *Phytochemistry*, **23**: 2457-2461.
- Gunning, E. y Steer, W. (1975). *Ultrastructure and the biology of plant cell*, Edward Arnold. London, pp.312.
- Hagerman, E. y Austin, J. (1986). Continuous spectrophotometric assay for plant pectin methylesterase. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **34**: 440-444.
- Hasegawa, S.; Maier, P.; Kaszycki, P. y Crawford K. (1969). Polygalacturonase content of Dates and its relation to maturity and softness. *Journal of Food Science*, **34**: 527-529.
- Hasegawa, S. y Smolensky, C. (1971). Cellulase in dates and its role in fruit softening. *Journal of Food Science*, **36**: 966-967.
- Hernández-Ríos, I; Markwell, J; Namuth, D. (2000). Introducción a Los Pigmentos Vegetales y la fotosíntesis. En: Learn About the Science Behind Crop Tecnology Topics. Disponible en: <<http://croptechnology.unl.edu>>
- Hiltin, O. y Levine, S. (1963). *Arch. Biochemistry Biophys.* **101**: 396.
- Hiltin, O. y Levine, S. (1965). Pectin methylesterase in ripening banana. *Journal of Food Science*, **30**: 917-921.
- Hinton, D. y Pressey, R., (1974). Cellulase activiy in peaches during ripening. *Journal of Food Science*, **39**: 783-785.
- Hobson, E. (1962). Determination of Polygalacturonase in fruits. *Nature, UK*, **195**: 805-806.
- Hobson, E. (1963). Pectinesterase in normal and abnormal tomato fruit. *Biochemistry Journal*, **86**: 324-332.
- Hobson, E. (1968). Cellulase activity during the maturation of ripening tomato fruit. *Journal of Food Science*, **33**: 588-591.
- Hobson, E. (1993). *Maduración del fruto, en: Fisiología y Bioquímica Vegetal*. Mc Graw Hill Interamericana, España, pp. 463-478.
- Huber, J. (1983). The role of cell wall hydrolases in fruit softening. *Hort Review*, **5**: 169-219.
- Huber, J. (1984). Strawberry fruit softening: the potential role of polyuronides and hemicelluloses. *Journal of Food Science*. **49**: 1310-1315.
- Hulme, C. (1970). *The Biochemistry of fruits and their products*. Vol 1 y 2. Academic Press, London.





- Imsabai, W.; Ketsa, S. y Van-Doorn, G. (2002). Effect of temperature on softening and the activities of Polygalacturonase and Pectinesterase in durian fruit. *Postharvest Biology and Technology*, **26**: 347-351.
- INFOAGRO (2007). El cultivo del Mango. En: Las frutas tropicales. Disponible en: http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/mango.htm
- Jacobi, K.; MacRae, A. y Hetherington, E. (2001). Postharvest heat desinfestation treatments of mango fruit. *Scientia Horticulturae*, **89**: 171-193.
- Jacobi, K.; Wong, S. y Giles, E. (1995). Effect of fruit maturity on quality and physiology of high-humidity hot air-treated 'Kensington' mango (*Mangifera indica* Linn.). *Postharvest Biology and Technology*, **5**: 149-159.
- Jagtiani, J.; Chang, T. y Sakai, W. (1998). *Tropical Fruit Processing*. Academic Press Inc. New York, pp. 45-104.
- Jason's Fruits International (2005). Disponible en: <http://www.77trade.coa.gov.tw:8080/product/2009/2009/.htm>
- Jen, J. y Robinson, L. (1984). Pectolytic enzymes in sweet bell peppers (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Food Science*, **49**: 1085-1087.
- Jermyn, A. y Isherwood, A. (1956). Changes in the cell wall of pears during ripening. *Biochemistry of Journal*, **64**: 123-136.
- Jiang, M.; Wu, C; Wu, L. y Chang, M. (2003). Pectinesterase and Polygalacturonase Activities and Textural Properties of Rubbery Papaya (*Carica papaya* Linn.). *Food Chemistry and Toxicology*, **68(5)**: 1590-1594.
- Jiménez, S.; Redondo, J., Muñoz, J.; Caballero, L.; López, M.; Valpuesta, V.; Pliego, F.; Quesada, A. y Mercado, A. (2002). Manipulation of strawberry fruit softening by antisense expression of a pectate lyase gene. *Plant Physiology*, **128**: 751-759.
- John, W. (1972). *Principles of enzymology for the food science*, Marcel Dekker Inc. New York (USA), pp. 654.
- Karp, G. (2005). *Biología celular y molecular (Conceptos y experimentos)*. 4ta ed., Mc Grall Hill Interamericana, México, pp. 899.
- Ketsa, S.; Chidtragool, S.; Klein, J. y Lurie, S. (1998). Effect of heat treatment on changes in softening, pectic substances and activities of Polygalacturonase, Pectinesterase and β -Galactosidase of ripening Mango. *Journal Plant Physiology*, **153**: 457-461.
- Ketsa, S.; Chidtragool, S.; Klein, J. y Lurie, S. (1999a). Firmness, pectin components and cell wall hydrolases of mango fruit following low-temperature stress. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, **74(6)**: 685-689.





- Ketsa, S.; Phakawatmongkol, W. y Subhadrabhandhu, S. (1999b). Peel enzymatic activity and colour changes in ripening mango fruit. *Journal of Plant Physiology*, **154**: 363-366.
- Ketsa, S.; Rattanamalee, S. y Babprasert, C., (1991). Growth development, biochemical changes and harvesting index of mango (*Mangifera Indica L. cv Tongdum*). *Kasetsart journal (Natural Science)*, **321**, 756-763.
- Knee, M. (1978). Metabolism of polymethylgalacturonate in apple fruit cortical tissue during ripening. *Phytochemistry*, **17**: 1261-1264.
- Knee, M.; Paull, E.; Ben-Arie, R. y Hawker, S. (1991). *Enzymes in fruits*. In: *Food enzymology*. (Fox, P.F., Ed.) Elsevier Applied Science, London, pp. 598.
- Kojima, K.; Sakural, N. y Kuraishi, S. (1994). Changes in firmness and chemical constituents of plantain fruit during ripening after ethylene treatment. *Japan Journal Tropic Agricultural*, **38**: 323-327.
- Krishnamurthy, S. y Joshi, S. (1989). Studies on low temperature storage of Alphonso mango. *Journal of the Food Science and Technology*, **26**: 177-180.
- Krishnamurthy, S.; Patwardhan, V. y Subramanyam, H. (1971). Biochemical changes during ripening of mango fruit. *Phytochemistry*. **10**: 2577-2581.
- Krishnamurthy, S. y Subramanyam, H. (1970). Respiratory climacteric and chemical changes in the mango fruit, *Mangifera indica L.* *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **95**: 333-337.
- Kudachikar, B.; Kulkarni, G.; Aradhya, M.; Aravinda-Prasad, B. y Ramana, R. (2003). Physico-chemical changes in mango (*Mangifera indica L.*) varieties 'Alphonso' and 'Raspuri' during fruit development and maturation. *Journal of the Food Science and Technology*, **40**: 285-289.
- Lamúa, M. (2000). *Aplicación del frío a los alimentos*. Instituto del frío de Madrid CSIC. Editorial AMV, Ediciones Mundi prensa, España, pp. 256.
- Lakshminarayana, S. (1973). Respiration and ripening patterns of in the life cycle of mango fruit. *Journal of Horticultural Science*, **48**: 227-233.
- Lakshminarayana, S. (1975). Relation of time of harvest on respiration, chemical constituents and storage life of mangoes. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, **88**: 477-480.
- Lakshminarayana, S. (1980). *Tropical and Subtropical Fruits*. AVI Publishing Co., Westport, Connecticut, pp. 187-257.
- Lamikanra, O. (2002). Fresh-Cut. *Fruits and Vegetables (Science, Tecnology and Market)*, CRC press, USA, pp. 467.





- Lazan, H.; Ali, M.; Liang, K. y Yee, K. (1989). Polygalacturonase activity and variation in ripening of papaya fruit with tissue depth and heat treatment. *Physiologia Plantarum*, **77**: 93-98.
- Lazan, H.; Ali, M.; Soh, S. y Talkah, Z. (1993). The biochemical basis of differential ripening in mango. *Acta Horticulturae*, **341**: 500-511.
- Lazan, H.; Selamat, K. y Ali, M. (1995). β -Galactosidase, Polygalacturonase and Pectinesterase in differential softening and cell wall modification during papaya fruit ripening. *Physiologia Plantarum*, **95**: 109-112.
- Lee, M. y MacMillan, D. (1968), Mode of action of pectin enzymes. I. Purification and certain properties of tomato Pectinesterase. *Biochemistry*, **7(11)**: 4025-4030.
- Lees, R. (1980). *Análisis de los alimentos, métodos analíticos y de control de calidad*. Acribia. Zaragoza, pp. 288.
- Lefever, G.; Vieuille, M.; Delage, N.; D'Harlingue, A.; De Monteclera, J. y Bompeix, G., (2004). Characterization of Cell Wall enzyme activities, pectin composition, and technological criteria of Strawberry cultivars (*Fragaria x ananassa* Duch). *Journal of Food Science*, **69(4)**: 221-226.
- Lizada, C., (1993). *Biochemistry of fruit ripening*. Chapman y May, Londres, pp. 255-271.
- LFI, (2007). London Fruit Inc All About Mangos. Disponible en : <http://www.freshmangos.com/aboutmangoes/index.html>
- Lowry, H.; Rosebrough, A.; Farr, L. y Randall, J. (1951). Protein measurement with the folin phenol reagent. *Journal of Biology and Chemistry*, **193**: 265-275.
- Mabry, J.; Markham, R. y Thomas, B. (1970). *The Systematic Identification of Flavonoids*, Springer-Verlag, New York.
- Mac Leod, J. ; Mac Leod, G. y Snyder, H. (1988). Volatile aroma constituents of mango (*cv. Kensington*), *Phytochemistry*, **27**: 2189-2193.
- Manrique, K. (2007). Nociones del manejo de Potscosecha. Disponible en: [http://www.cipotato.org/papandina/Documents/Nociones del Manejo de Postcosecha.pdf](http://www.cipotato.org/papandina/Documents/Nociones%20del%20Manejo%20de%20Postcosecha.pdf)
- Marangoni, A.; Jackman, R. y Stanley, D. (1995). Chilling-Associated softening of Tomato fruit is related to increased Pectinmethylesterase activity. *Journal of Food Science*, **60(6)**: 1277-1281.
- Marin, C. (2001). *Investigation of the role of Pectate lyase in banana fruit softening*. PhD Thesis, University of Greenwich.
- Marin, C.; Orchard, J. y Seymour, B. (2002). Pectate lyases, cell wall degradation and fruit softening. *Journal of Experimental Botany*, **53**: 2115-2119.





- Mattoo, K., y Modi, V. (1969). Biochemical aspects of ripening and chilling injury in mango fruit. In *Proceedings of the Conference on Tropical Subtropical Fruit*. Tropical Products Institute. London, pp. 111–115.
- Maurice, B. y Patchett, J. (1976). Cell wall degrading enzymes and softening of senescent strawberry fruit. *Journal of Food Science*, **41**: 1392-1395.
- McGuire, G. (1992). Reporting of objective color measurements, *Hort Science*, **27**: 1254-1255.
- McMurchie, J.; McGlasson, B. y Eaks, L. (1972). Treatment of fruit with propylene gives information about the biogenesis of ethylene, *Nature*, **237**: 235.
- Medina, R.; Manning, K.; Fletcher, J.; Aked, J.; Bird, C. y Seymour G., (1997). Gene expression in the pulp of ripening bananas. *Plant Physiology*, **115**: 453-461.
- Medlicott, P.; Bhogal, M. y Reynolds, B. (1986). Changes in peel pigmentation during ripening of mango fruit (*Mangifera indica* var. Tommy Atkins). *Annual of Applied Biology*, **109**: 651-656.
- Medlicott, P.; Semple, J.; Thompson, J.; Blackbourne, R. y Thompson, K. (1990). Ripening of mangos following Low-temperature storage. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **115(3)**: 430-434.
- Medlicott, P.; Sigrist, J. y Sy, O. (1992). Measurement of color changes in ripening Bananas and mangoes by instrumental, Chemical and visual assessments. *Tropical and Agricultural*. (Trinidad) **69(2)**: 161-166.
- Medlicott, P. y Thompson, K. (1985). Analysis of sugars and organic acids in ripening mango fruit (*Mangifera indica* L. var. Keitt) by high performance liquid chromatography. *Journal of Science of Food and Agriculture*, **36**: 561-566.
- Miller, L. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*, **31**: 426-428.
- Miller, R.; Dalmaso, P. y Kretchman, W. (1987). Mechanical stress, storage time, and temperature influence cell wall-degrading enzymes, firmness and ethylene production by cucumbers. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **112**: 666-671.
- Miller, R. y McDonald, E. (1991). Quality changes during storage and ripening of ‘Tommy Atkins’ mangos treated with heated forced air. *Hort Science*, **26(4)**: 395-397.
- Mitcham, J. y McDonald, E. (1992). Cell wall modification during ripening of ‘Keitt’ and ‘Tommy Atkins’ mango fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **117**: 919-924.
- Mitra, K. y Baldwin, A. (1997). *Postharvest physiology and Storage of Tropical and Subtropical Fruits*. Cab Internacional. Inglaterra. pp. 85-120.





- Mohammed, M. y Brecht, J. (2002). Reduction of chilling injury in 'Tommy Atkins' mangoes during ripening. *Scientia Horticulturae*, **95**: 297-308.
- Morton, J. (1987). Mango *Mangifera indica* L. En: Morton, J., *Fruits of warm climates*. Miami FL. Disponible en: <http://hort.purdue.edu/newcrop/morton/mango_ars.html>
- Muchuweti, M.; Moyo, E. y Mushipe, S. (2005). Some properties of the Polygalactunase from four Zimbabwean wild fruits (uapaca kirkiana, zizphus mauritiana, tamarindus indica and berchemia discolor fruits). *Food chemistry*, **90**: 655-661.
- Nagel, W. y Patterson, E. (1967). Pectic enzymes and developments of the pear (*Pyrus communis*). *Journal of Food Science*, **32(3)**: 292-297.
- Nogata, Y.; Ohta, H. y Voragen, J. (1993). Polygalacturonase in strawberry fruit, *Phytochemistry*, **34**: 617-620.
- Nogata, Y.; Yoza., K.; Kusumoto, K. y Ohta, H. (1996). Changes in molecular weight and carbohydrate composition of cell wall polyuronide and hemicellulose during ripening in strawberry fruit. En: Pectins and pectinases. *Elsevier Science*.
- Páez, R. (2005). Tecnologías Sostenibles para el Manejo de la Antracnosis en Papaya y Mango. Disponible en: <http://www.turipana.org.co/manejo_Antracnosis.htm>
- Paniagua, R. (2003). *Biología Celular*. 2a ed., Mc Grall Hill Interamericana, México, pp. 381.
- Pantastico, B. (1987). *Fisiología de la post-recolección, manejo y utilización de frutas y hortalizas tropicales y subtropicales*. C.E.C.S.A., México, pp. 663.
- Pathak, N. y Sanwal, G. (1998). Multiple forms of Polygalacturonase from banana fruits. *Phytochemistry*, **48**: 249-255.
- Pathak, N.; Mishra, S. y Sanwal, G. (2000). Purification and characterization of Polygalacturonase from banana fruit. *Phytochemistry*, **54**: 147-152.
- Paull, R. y Chen, N. (1983). Postharvest variation in Cell Wall degrading enzymes of papaya (*Carica papaya* L.) during fruit ripening. *Plant Physiology*, **72**: 382-385.
- Payasi, A. y Sanwal, G. (2003). Pectate lyase activity during ripening of banana fruit. *Phytochemistry*, **63**: 243-248.
- Pearson, D. (1998). Técnicas de laboratorio para el análisis de alimentos. Editorial Acribia S.A., Zaragoza, pp. 331.
- Pesis, E.; Fuchs, Y. y Zauberman, G., (1978). Cellulase activity and fruit softening in avocado. *Plant Physiology*, **61**: 416-419.
- Prasanna, V.; Prabha, N. y Tharanathan, N. (2006). Multiple forms of Polygalacturonase from mango (*Mangifera Indica* l. cv *Alphonso*) fruit. *Food Chemistry*, **95**: 30-36.





- Prasanna, V.; Prabha, N. y Tharanathan, N. (2007). Fruit Ripening Phenomena-An Overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **47**: 1-19.
- Prasanna, V.; Yashoda, M.; Prabha, N. y Tharanathan, N. (2003). Pectic polysaccharides during ripening of mango (*Mangifera indica L*), *Journal of the Science Food and Agriculture*, **83**: 1182-1186.
- Pressey, R. (1987). Exopolygalacturonase in Tomato fruit. *Phytochemistry*, **26(7)**: 1867-1987.
- Pressey, R. y Avants, K. (1972). Multiple Forms of pectinesterase in tomatoes. *Phytochemistry*, **11**: 3139-3142.
- Pressey, R. y Avants, K. (1975). Modes of action of carrot and peach Exopolygalacturonases. *Phytochemistry*, **14**: 957-961.
- Pressey, R. y Avants, K. (1976). Pear polygalacturonase. *Phytochemistry*, **15**: 1349-1351.
- Pressey, R. y Avants, K. (1978). Difference in Polygalacturonase composition of clingstone and freestone peaches. *Journal of Food Science*, **43(5)**: 1415-1423.
- Pressey, R.; Hinton, M. y Avants, K. (1971). Development of Polygalacturonase activity and solubilization of pectin in peaches during ripening. *Journal of Food Science*. **36**: 1070-1073.
- Primo, E. (1998). *Química de los alimentos*. Síntesis S.A., España. pp. 461.
- Priya, M.; Prabha, N. y Tharanathan, N. (1996). Post-harvest biochemical changes associated with the softening phenomenon in *Capsicum annum* fruits. *Phytochemistry*, **42**: 961-966.
- Proctor, A. y Miesle, J. (1991). Polygalacturonase and Pectin methylesterase activities in developing high bush blueberries. *Hort Science*, **26**: 579-581.
- PROEXANT, (2002). Promoción de exportaciones agrícolas no tradicionales Hoja técnica del mango. Disponible en: <http://www.proexant.org.ec/HT_Mango.html>
- Pua, E.; Ong, C.; Liu, P. y Liu, J. (2001). Isolation and expression of two pectate lyase genes during fruit ripening of banana (*Musa acuminata*). *Physologia Plantarum*, **113**: 92-99.
- Raisman, J. y González, M. (2000). Hipertextos del Área de la Biología (Fotosíntesis: Conceptos Previos). Disponible en : <<http://www.biologia.edu.ar/plantas/fotosint1.htm>>
- Ramírez, G. (2005). 'Efecto de Bajas temperaturas sobre aspectos fisiológicos y bioquímicos relacionados con los síntomas de daño por frío en mango (*Mangifera Indica, L.*)'. Tesis de Ingeniería en alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM.
- Raven, P.; Evert, R. y Eichhorn, E. (1992). *Biology of Plants*, 5^{ta} ed., Worth Publishers, U.S.A., pp. 653.





- Redondo, J.; Moyano, E.; Medina, N.; Caballero, L. y Muñoz, J. (2001). A fruit-specific and developmentally regulated Endo-Polygalacturonase gene from Strawberry (*Fragaria x ananassa* cv. Chandler). *Journal of Experimental Botany*, **52**: 1941-1945.
- Reid, S. (1994). *Biology of ethylene production and action*. Univ. of California, EUA. *Perishables Handling Newsletter*. Issue No. 80.
- Riov, J. (1975). Polygalacturonase activity in citrus fruit. *Journal of Food Science*, **40**: 201-202.
- Ritchey, J. (2005). *Estadística par las Ciencias. El potencial de la imaginación estadística*. McGrawHill. México. pp. 609.
- Roe, B. y Bruemmer, H. (1981). Changes in pectic substances and enzymes during ripening and storage of 'Keitt' mangos. *Journal of Food Science*, **46**: 186-189.
- Rosli, H.; Civello, M. y Martínez, A. (2004). Cultivar and ripening effects on strawberry (*Fragaria x ananasa*) fruit texture and cell wall polysaccharide composition. *Plant Physiology Biochemistry*. In press.
- Rouse, H. y Barmore, R. (1974). Changes in pectic substances during ripening of avocado. *Hort Science*, **9**: 36-37.
- Ryugo, K. (1993). *Fruticultura, Ciencia y Arte*. AGT, Editores S.A., México, pp.460.
- Sakai, T.; Sakamoto, T; Hallaert, J. y Vandamme, J. (1993). Pectin, pectinase and protopectinase: Production, properties and application. *Advances in Applied Microbiology*, **39**: 213-294.
- Salunkhe, K. y Desai, B. (1984). Mango. En: *Postharvest Biotechnology of Fruits*. Vol. I, Chapter 6, C.R.C. Press INC: Boca Raton, Florida, pp. 77-94.
- Samson, A. (1986). *Tropical Fruits*, 2a. ed, Longman Scientific and Technical, USA, pp. 432.
- San Agustín, A. (1998). *Análisis de posibilidades de incrementar las exportaciones de mango mexicano a Japón*. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Disponible en: <<http://www.chapingo.mx/investigaciones/pronisea/torna10.htm>>
- Sánchez, A.; Zamorano, P. y Alique, R. (1997). Polygalacturonase, Cellulase and Inversate activities during cherimoya fruit ripening. Dpto. Ciencia y Tecnología de Productos Vegetales, Instituto del Frío (CSIC).
- Sarker, S y Muhsi, A. (1981). A study on the content and interconversions of organic acids of mango (*Mangifera idica* L.) at various stages of fruit development. *Bangladesh Journal of Agricultural Science*, **8**: 69-75.
- SCFI (2007). Norma Oficial Mexicana NMX-FF-058-SCFI-2006 de la Secretaría de Economía Disponible en: <www.economia-noms.gob.mx/ - 28k>





- Selvaraj, Y; Kumar, R. y Pal, D. (1989). Changes in sugars, organic acids, amino acids, lipid constituents and aroma characteristics of ripening mango (*Mangifera indica L*) fruit. *Journal of Food Science and Technology*, **26(6)**: 308-313.
- Selvaraj, Y.; Pal, K.; Subramanyam, D. y Lyer, A. (1982). Changes in chemical composition of four cultivars of papaya (*Carica papaya L.*) during growth and development. *Journal of Horticultural Science*, **57**: 135-143.
- Selvaraj, Y. y Kumar, R. (1994). Enzymatic regulation in ripening mango fruit. *Indian Journal of Horticultura*, **51**: 316-323.
- Selvaraj, Y. y Pal, K. (1984). Changes in the chemical composition and enzymes activity of two sapodilla (*Manilkara sopota*) cultivars during development and ripening. *Journal of Horticultural Science*, **59(2)**: 275-281.
- Seymour, G.; Harding, S.; Taylor, A.; Hobson, G. y Tucker, A. (1987). Polyuronide solubilization during ripening of normal and mutant Tomato fruit. *Phytochemistry*, **26(7)**: 1871-1875.
- Shahina, N. (2002). *Enzymes and Food*, Oxford, Pakistan, pp. 145.
- Shashirekha, S. y Patwardhan, V. (1976). Changes in amino acids, sugars and nonvolatile organic acids in a ripening mango fruit (*Mangifera indica L. Badami variety*). *Lebensmittel Wissenschaft Technology*, **9**: 369-370.
- Shaw, E.; Chan Jr, T. y Nagy, S. (1998). *Tropical and Subtropical Fruits*, A.G. Science Inc., USA, pp. 1-77.
- SIAP / SAGARPA, (2007). Servicio de información y estadística agroalimentaria y pesquera. Secretaria de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación Análisis de estacionalidad de la producción y precios en el mercado de productos hortofrutícolas y fríjol. Disponible en: <<http://www.siap.sagarpa.gob.mx/>>
- Sifuentes, L. (2000). La producción de frutales y el comportamiento del Mercado de trabajo en Nayarit. Estudio del caso sobre el mercado de trabajo de mango. Disponible en: <<http://www.ceddi.uan.mx/Virtual/libros/CAP7.htm>>
- Smith, S.; Watson, F.; Morris, C.; Bird, R.; Seymour, B.; Gray, E.; Harding, E.; Tucker, A.; Schuck, W. y Grierson, D. (1989). Inheritance and effect on ripening of antisense Polygalacturonase genes in transgenic tomatoes. *Plant Molecular Biology*, **14**: 369-379.
- Smith, J.; Seymour, B.; Tucker, A. y Jeger, M. (1989). Cell wall changes in banana and plantains. *Acta Horticulturae*, **269**: 283-289.
- Sobac, R.; De la Cruz, J.; Luna, A.; Beristain, I. y García, S. (1997). Evaluation of softening and associated enzyme activities during the ripening of coated 'Manila' mangoes. *Journal of Horticultural Science*, **72(5)**: 749-753.





- Soule, J. y Harding, L. (1956). Changes in physical character and chemical constituents of Haden mangoes during ripening at 80°F. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, **69**: 282-284.
- Srivastava, K. y Dwivedi, N. (2000). Delayed ripening of banana fruit salicylic acid. *Plant Science*, **158**: 87-96.
- Sterling, C. y Kalb, J. (1959). Pectic changes in peach during ripening. *Tot. Gaz.*, **121**: 111.
- Sterling, J. (1961). Physical state of cellulose during ripening of peach. *Journal of Food Science*, **26**: 95-98.
- Strasburger, E. (1999). *Tratado de Botánica*, 8ª ed. Ediciones Omega S.A., Barcelona, pp. 895.
- Tahir, A.; Chaudhry, S. y Malik, A. (1975). *Pakistan Journal of Scientific Research*, **27(1-4)**: 9.
- Tahir, M. y Malik, A. (1977). The activity of pectic enzymes (Pectinesterase, Polygalacturonase) in various mango products. *Pakistan Journal of Scientific Research*, **29**: 71-74.
- Terai, H. y Mizuno, S. (1985). Changes in 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid and ethylene-forming enzyme activity in growing and ripening fruits of tomato and cucumber. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, **53**: 467-473.
- Tucker, A. (1987). *Introduction of fruit and Vegetables Biochemistry*. Ed Chapman & Hall Inc. London. pp. 1-15.
- Tucker, A.; Robertson, G. y Grierson, D. (1980). Changes in Polygalacturonase isoenzymes during the 'ripening' of normal and mutant tomato fruit. *European Journal of Biochemistry*, **112**: 119-124.
- Tucker, A. y Grierson, D. (1982). Synthesis of Polygalacturonase during Tomato fruit ripening. *Planta* **155**: 64-67.
- Van, C.; Boeriu, C.; Stolle, T. y Tijskens, M. (2005). The firmness of stored tomatoes (cv. Tradiro). 2. Kinetic and near infrared models to describe pectin degrading enzymes and firmness loss. *Journal of Food Engineering*. In press.
- Van den Broeck, I.; Ludikhuyze, R.; Van Loey, M. y Hendrickx, E. (2000). Effect of temperature and/or pressure on tomato Pectinesterase activity. *Agricultural of Food Chemistry*, **48**: 551-558.
- Vázquez, C. y Lakshminarayana, S. (1985). Composition changes in mango fruit during ripening at different storage temperature. *Journal of Food Science*, **50**: 1646-1648.
- Von der Becker, C. (1999). Preservación de alimentos con sistema multivariable. Disponible en: <http://club.telepolis.com/ohcop/pehachey.htm>.





- Wallner, J. y Walker, E. (1975). Glycosidase in cell wall degrading extracts of ripening tomatoes. *Plant Physiology*, **55**: 94-98.
- Warrilow, S. y Jones, G. (1994). Different forms of tomato Pectinesterase have different kinetic properties. *Phytochemistry*, **39**: 277-282.
- Wikipedia the free encyclopedia (2007). Disponible en : <http://en.wikipedia.org/wiki/Cellulase>
- Wills, H.; McGlasson, B; Graham, D.; Lee, H. y Hall, G. (1989). *Postharvest: An introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables*. 3rd ed. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK, pp. 176.
- Wong, W.S. (1995). Pectic enzymes. In: *Food Enzymes. Structure and Mechanisms*. Chapman and Hall, New York, pp. 236.
- Yashoda, H.; Prabha, T. y Tharanathan, R. (2005). Mango ripening-chemical and structural characterization of pectic and hemicellulosic polysaccharides. *Carbohydrate Research*, **340**: 1335-1342.
- Yoshida, O.; Nakagawa, H.; Ogura, N. y Sato, T. (1984). Effect of heat treatment on the development of Polygalacturonase activity in Tomato fruit during ripening. *Plant of Cell Physiology*, **25(3)**: 505-509.
- Zambrano, J; Briceño, S; Méndez, C; Manzano, J. y Castellanos, E. (1997). Cambios en la maduración de frutos de mango cubiertos con ceras, durante el almacenamiento. *Agronomía Tropical*, **47(1)**: 5-15.
- Zauberman, G.; Fuchs, Y.; Rot, I. y Wexler, A. (1988). Chilling injury, Peroxidase, and Cellulase activities in the peel Mango fruit at low temperature. *Hort Science*. **23(4)**: 732-733.
- Zilversmit, B. (1979). Dietary fiber. En *Nutrition, lipids and coronary heart disease*. Raven Press, New York, pp. 149-174.



9. ABREVIATURAS

Abreviatura	Significado
ACC	Ácido-1-aminociclopropano-1-carboxílico
ARN-m	Ácido ribonucleico mensajero
ATP	Adenosin trifosfato
C _b	β-1,4-glucosidasa
CEL	Celulosa
C ₁	Endo-β-1,4-gluconasa
C _x	Exo-β-1,4-gluconasa
DNS	Ácido 3,5-dinitrosalicílico
EDTA	Ácido etilendiaminotetracético
E ₁	Pre-climaterio
E ₂	Inicio del climaterio
E ₃	Máximo climaterio
E ₄	Post-climaterio
GALA	Ácido poligalacturónico ó Ácido D-galacturónico
GAX	Glucuron-arabinosilano
HG	Homogalacturonano
H.R.	Humedad Relativa
nm	Nanómetro
PE	Pectinesterasa
PEL	Pectatoliasa
PG	Poligalacturonasa
PME	Pectin metilesterasa
PVP	Polivinilpirrolidona
Prot.	Proteína
RG I	Ramnogalacturonano I
RG II	Ramnogalacturonano II
SAM	S-adenosil metionina
U	Unidad específica de actividad enzimática
XiG	Xiloglucano

