



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

EFECTO DEL TRATAMIENTO DE IRRADIACIÓN GAMMA E
HIDROTÉRMICO EN EL CONTROL DE ANTRACNOSIS EN
PAPAYA (CARICA PAPAYA L.) VARIEDAD `MARADOL´ PARA
EXPORTACIÓN

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA EN ALIMENTOS

PRESENTAN:

GUTIÉRREZ SÁNCHEZ LORENA

JUÁREZ PAZ LUCERO

ASESORES: DRA. MARÍA ANDREA TREJO MÁRQUEZ

I.A. MARÍA GUADALUPE PÉREZ LOREDO



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
 UNIDAD DE ADMINISTRACION ESCOLAR
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.
 ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS
 SUPERIORES CUAUTITLAN

DRA. SUEMI RODRIGUEZ ROMO
 DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLAN
 PRESENTE



ATN:L.A. ARACELI HERRERA HERNANDEZ
 Jefa del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la FES Cuautitlán.

Con base en el Art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la Tesis:

Efecto del tratamiento de irradiación gamma e hidrotérmico en el control de _____
 antracnosis en papaya (Carica papaya L.) variedad 'Maradol' para exportación _____

Que presenta la pasante _____ Lorena Gutiérrez Sánchez _____

Con número de cuenta: 406006741 _____ para obtener el título de: _____
 Ingeniera en Alimentos _____

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
 "POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
 Cuautitlan Izcalli, Mex. a 9 de mayo de 2011

| | | |
|--------------|--------------------------------------|--|
| PRESIDENTE | Dra. Clara Inés Alvarez Manrique | |
| VOCAL | M.C. Ma. de la Luz Zambrano Zaragoza | |
| SECRETARIO | Dra. María Andrea Trejo Márquez | |
| 1er SUPLENTE | I.A. Miriam Alvarez Velasco | |
| 2º SUPLENTE | M.C. Araceli Ulloa Saavedra | |



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
 UNIDAD DE ADMINISTRACION ESCOLAR
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.
 FACULTAD DE ESTUDIOS
 SUPERIORES CUAUTITLAN
 ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DRA. SUEMI RODRIGUEZ ROMO
 DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLAN
 PRESENTE

ATN: L.A. ARACELI HERNANDEZ
 Jefa del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la FES Cuautitlán.

Con base en el Art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la Tesis:

Efecto del tratamiento de irradiación gamma e hidrotérmico en el control de
antracnosis en papaya (Carica papaya L.) variedad 'Maradol' para exportación

Que presenta la pasante Lucero Juárez Paz

Con número de cuenta: 406005160 para obtener el título de:

Ingeniera en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
 "POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
 Cuautitlán Izcalli, Mex. a 9 de mayo de 2011

| | | |
|--------------|---|--|
| PRESIDENTE | <u>Dra. Clara Inés Alvarez Manrique</u> | |
| VOCAL | <u>M.C. Ma. de la Luz Zambrano Zaragoza</u> | |
| SECRETARIO | <u>Dra. María Andrea Trejo Márquez</u> | |
| 1er SUPLENTE | <u>I.A. Miriam Alvarez Velasco</u> | |
| 2º SUPLENTE | <u>M.C. Araceli Ulloa Saavedra</u> | |

El presente trabajo fue financiado por el proyecto PAPIIME: **Elaboración de materiales educativos para fortalecer la enseñanza en el Taller Multidisciplinario de Ingeniería en Alimentos-Procesos Tecnológicos de Frutas y Hortaliza de la carrera de Ingeniería en Alimentos (PE202610)**, de la Dirección General de Asuntos del personal Académico de la UNAM. También se agradece por el apoyo técnico para los tratamientos por irradiación al Dr. Epifanio Cruz del Instituto de Ciencias Nucleares de la UNAM y al Ing. Cesar Moreno y Q.F.B Maria del Carmen Casar de la empresa Sterigenics.

DEDICATORIA:



A mis padres que son el cimiento fundamental de mi vida de los cuales siempre tuve su apoyo y amor incondicional, quiero que sepan que son un gran ejemplo en mi vida, me han enseñado siempre a mirar hacia adelante este logro es también de ustedes, es la mejor herencia que hayan podido darme. Por todo esto y mucho mas dedico este trabajo lleno de esfuerzo, sudor y constancia a quienes me dieron la vida. Los amo.

Lorena G. S.



***"Nuestra recompensa se encuentra en el esfuerzo y no en el resultado.
Un esfuerzo total es una victoria completa" Mahatma Gandhi***

"Detrás de cada logro hay otro desafío" Madre Teresa de Calcuta

AGRADECIMIENTOS

A

Dios por haberme dado la dicha de existir, por ser la persona que ahora soy, por rodearme de gente que siempre me ha brindado su cariño, pero sobre todo por siempre darme la fortaleza y tenacidad de llegar hasta cumplir este mi gran objetivo.

mis padres que con grandes esfuerzos hicieron todo lo que estuvo en sus manos para que ahora pueda ver cumplido este sueño, y primordialmente por llenarme siempre de buenos valores y sentimientos, gracias por su confianza. Gracias por nunca dejarme vencer y por siempre ir de la mano junto a mi.

mi hermano por sus cuidados cuando era pequeña y por creer siempre en mí.

Doña Cruz y Don Gabriel que siempre han albergado una esperanza en su corazón confiando ciegamente en mí, pero sobre todo que me han brindado su amor y apoyo incondicional. Los quiero.

mi abue "María Cristina" que aunque no esta físicamente la llevo en mi corazón, gracias por enseñarme el valor de la humildad y la sinceridad; y sobre todo por sus sabios consejos que me brindó cuando era niña. ¡Siempre la recordare y amare!

Israel por alentarme a seguir creciendo en la vida profesional por brindarme su amistad y cariño, por estar en momentos difíciles de mi vida sobre todo por el apoyo profesional y sentimental otorgado. Sabes que te quiero y que ocupas un lugar muy especial.

mis tías por ser una parte importante en mi vida familiar les agradezco que me han enseñado con su ejemplo que el ser mujer vale mucho y podemos llegar hasta donde querramos.

mis primos que siempre me han demostrado su cariño y admiración. Los quiero.

Lucero primordialmente por el gran equipo que formamos que nos condujo a una gran amistad, sin olvidar todas las cosas que aprendimos mutuamente también todos esos ratos tan agradables que nos llevo a conocernos mejor. Gracias por tu sincera disponibilidad para que el sueño por el título hoy lo veamos culminado, solo me queda decirte que no cambiaría a mi compañera de tesis. También un gran agradecimiento a tu familia que siempre nos estuvo apoyando. Los aprecio a todos.

mis amigos (Ariana, Lizeth, Mariana y Juan Carlos) por los momentos compartidos durante toda la carrera, por permitirme formar parte en su vida por que dicen por ahí que los amigos se escogen ya que son las personas a las cuales les brindamos nuestro afecto y cariño, por que más allá de ser solo amigos somos mas que eso. Agradezco infinitamente el haberlos conocido en esta travesía que nos puso la vida. Por siempre amigos!

la UNAM, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán mil gracias a esta Institución que me abrió las puertas para cumplir este gran sueño de crecer profesionalmente así como de ser una persona útil a la sociedad, gracias por haberme dado las herramientas para poder ser una persona competitiva en esta nueva etapa que esta por iniciar. Soy orgullosamente Universitaria.

la Dra. Andrea gracias por dejarme conocer ese ser humano que existe dentro de usted, así como por confiar en mí al haberme permitido participar en este proyecto, compartirme parte de su sabiduría y por el tiempo brindado a este trabajo. Gracias por todos esos bellos momentos, en los cuales me hizo participe y que me dejaron un grato sabor de boca.

la maestra Lupita Pérez por todos esos regaños y consejos que me hicieron crecer y aprender sobre mi formación académica, también por la amistad depositada en mí; agradezco enormemente el haber trabajado con una persona tan tenaz como usted.

todos mis profesores; a cada uno de ellos agradezco la formación educativa que me proporcionaron con sus conocimientos durante toda mi etapa escolar.

los sinodales por el tiempo invertido para la culminación de este trabajo, gracias por sus correcciones y recomendaciones que siempre fueron constructivas.

los compañeros de Laboratorio de Poscosecha Adriana, Ariana, Claudia, Ingrid, Juan Carlos, Lizeth, Lupita, Mauricio, Tania y Verónica ya que compartimos experiencias gratas durante la realización de esta tesis. Así también a Adriana y Selene por su apoyo en el montaje de la experimentación.

Atte: Lorena Gutiérrez Sánchez

DEDICATORIA



YO **LUCERO JUÁREZ PAZ** DEDICO ESTAS HERMOSAS PALABRAS PARA TODAS LAS PERSONAS QUE APOYARON DE FORMA DIRECTA O INDIRECTA EN EL CUMPLIMIENTO DE ESTA META.

- A ti papá, te doy gracias por todo el apoyo que me brindaste a lo largo de esta carrera, creyendo en mi, aconsejándome y guiándome por el mejor camino. Este esfuerzo no solo ha sido en la carrera, si no desde el momento en que nací, estando a mi lado en cada etapa de mi vida, mostrando siempre tu amor de padre tan grande y con tus sacrificios para que yo pudiese obtener un título y poder defenderme en la vida, gracias por este bello regalo, pues no tiene precio. Te quiero mucho y te admiro **Felipe Juárez Álvarez**.

- A ti mamá, gracias por tu compañía y por tus consejos para que terminara este último paso, ya que siempre que me veías caer me aconsejabas diciéndome “tu puedes hija” terminarás tu carrera, gracias por el apoyo brindado para esto y el de toda mi vida, siempre te preocupaste para que tuviese una buena formación académica, para mi has sido una excelente madre. Gracias por enseñarme muchos valores que tomare en cuenta siempre para ser una profesionalista de bien. Te quiero mucho **Josefina Paz Jiménez**.

- A ti hermana, muchas gracias por estar a mi lado, por tus consejos, por todo lo que me has enseñado como ser humano, pues son detalles tan importantes que me han hecho salir adelante y no desfallecer en el camino. Eres una persona que admiro mucho por tu inteligencia y buen humor. Gracias por escucharme siempre y mostrarme todo tu cariño, para mi eres un angelito muy preciado. Agradezco tu compañía en el camino de mi vida. Te quiero muchísimo **Paola Juárez Paz**.

- A ti novio querido, gracias por todo lo bello que has sido conmigo, por ser un buen novio, amigo y compañero, por todo el tiempo compartido a mi lado, por escucharme y decirme tu opinión siempre. Dicen que en una relación lo importante es que se aprenda de la otra persona, y contigo he aprendido mucho, detalles que me han hecho crecer como persona. Gracias por tu tiempo compartido, por tu amor y comprensión. Te amo **Jorge Manuel Morales Pérez**.

- A ti compañera de tesis, ha sido realmente un placer conocerte, en ti encontré aparte de una compañera, una verdadera amiga, he aprendido mucho de ti, eres una persona que vales mucho, gracias por escucharme, aconsejarme y por brindarme tu confianza la cual es muy valiosa para mí. Espero seguir con esta amistad aun cuando culminemos este periodo. También agradezco todo el apoyo brindado por parte de tu familia, nunca lo olvidare, realmente me sentí a gusto y con una bonita compañía. Y también agradezco la compañía de tus mascotas, sobre todo de tu perrita Sadie, la cual es todo un amor. Gracias por todo **Lorena Gutiérrez Sánchez**.

- A ti amiga de toda la carrera, gracias por tu compañía, por tu tiempo brindado, y por la alegría compartida, realmente fue muy divertida la carrera a tu lado. Aprendí muchas cosas bonitas de ti, espero seguir conservando este lazo que se hace más grande con el paso del tiempo. Crecimos juntas compartiendo tiempos de tristezas, miedos y alegrías, siempre juntas. Gracias por la confianza depositada en mí, por escucharme y darme tu opinión cuando lo necesite. Te felicito por estar de igual forma hasta este punto, a un paso de titularnos. Te quiero amigui **Ingrid Guzmán Morfin**.

- A usted asesora de tesis, gracias por todo el apoyo que nos brindo desde el momento en que ingresamos al Taller, usted ha sido además de profesora, una amiga. Gracias por la confianza depositada en nosotros para llevar a cabo la experimentación, en mi opinión fue un proyecto muy bonito el cual siempre recordare con mucho cariño, pues siempre se compartió el trabajo con alegrías y con bellas experiencias. Gracias por el trato que nos brindo, el cual fue muy satisfactorio. Gracias por ser una persona de gran compromiso y ética profesional, en mi opinión es usted un ejemplo a seguir como profesora de la UNAM. La quiero y la admiro mucho **Dr. Andrea Trejo Márquez**.

- A usted Co. Asesora de tesis, gracias por estar con nosotras en este proyecto, nos enseñó mucho, gracias por ser más que una profesora, gracias por su confianza. Espero seguir viéndola para compartir pláticas y momentos especiales. Gracias profesora **Guadalupe Pérez Loredó**.

- A ustedes compañeras **Selene Pascual y Adriana**, gracias por el apoyo brindado en el montaje del experimento, fue muy grata su compañía. Selene gracias por apoyarnos cuando se necesito, me da gusto que sigas entre nosotros, compartiendo tus conocimientos para crear mejores alumnos.

LA CONSTANCIA TE LLEVA AL ÉXITO.



ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|----------|
| Índice de Figuras | i |
| Índice de Tablas..... | vi |
| Resumen | |
| Introducción | |
| 1. ANTECEDENTES | 1 |
| 1.1. Generalidades de la papaya..... | 1 |
| 1.2. Clasificación botánica | 1 |
| 1.3. Producción | 2 |
| 1.3.1. Zonas productoras | 2 |
| 1.3.2. Volumen de la producción nacional | 2 |
| 1.4. Composición química | 4 |
| 1.5. Valor nutrimental | 5 |
| 1.6. Tipos y variedades del fruto | 5 |
| 1.7. Factores que intervienen en el desarrollo de la planta | 7 |
| 1.8. Almacenamiento..... | 10 |
| 1.9. Cambios en la maduración | 10 |
| 1.10. Perdidas poscosecha..... | 12 |
| 1.10.1. Causas primarias..... | 13 |
| 1.10.2. Causas secundarias..... | 14 |
| 1.11. Plagas..... | 14 |
| 1.12. Enfermedades..... | 16 |
| 1.12.1. Infecciones internas..... | 17 |
| 1.12.2. Pudriciones basales | 17 |
| 1.13. Antracnosis | 22 |
| 1.13.1. Importancia..... | 23 |
| 1.13.2. Condiciones ambientales..... | 23 |
| 1.13.3. Modo de infección..... | 23 |
| 1.13.4. Síntomas | 24 |
| 1.13.5. Estudios realizados para el control de antracnosis en papaya | 24 |
| 1.14. Tratamientos poscosecha | 27 |
| 1.14.1. Generalidades | 27 |



ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|-----------|
| 1.14.2. Tratamientos químicos..... | 27 |
| 1.14.2.1. Tratamiento con fungicida | 27 |
| 1.14.3. Tratamiento fisiológico | 27 |
| 1.14.4. Tratamientos físicos..... | 28 |
| 1.14.4.1. Tratamiento hidrotérmico | 29 |
| 1.14.4.2. Irradiación..... | 30 |
| 1.14.4.2.1. Radioactividad | 32 |
| 1.14.4.2.2. Objetivo del proceso de radiación | 34 |
| 1.14.4.2.3. Proceso de irradiación..... | 34 |
| 1.14.4.2.4. Equipo de radiación | 36 |
| 1.14.4.2.5. Unidades de la radiación..... | 36 |
| 1.14.4.2.6. Organismos relacionados al tema de irradiación | 37 |
| 1.14.4.2.7. Etiquetado de productos irradiados..... | 39 |
| 1.14.4.2.8. Estudios realizados de irradiación en frutas | 39 |
| 1.14.4.2.9. Efecto de la radiación ionizante sobre la maduración, senescencia y vida comercial de las frutas | 40 |
| 1.14.4.2.10. Cambios en el ácido ascórbico | 42 |
| 1.14.4.2.11. Carotenoides | 43 |
| 1.14.4.2.12. Efecto de la irradiación sobre los atributos de calidad sensorial..... | 45 |
| 1.14.4.2.13. Normatividad | 45 |
| 2. OBJETIVOS | 47 |
| 2.1. Objetivos particulares | 47 |
| 3. MATERIALES Y MÉTODOS | 48 |
| 3.1. Cuadro metodológico | 48 |
| 3.2. Material biológico..... | 49 |
| 3.3. Tratamiento de la muestra | 49 |
| 3.4. Determinación de parámetros químicos y fisicoquímicos..... | 50 |
| 3.5. Aplicación de tratamientos poscosecha para control de antracnosis..... | 50 |
| 3.5.1. Irradiación | 50 |
| 3.5.2. Hidrotérmico | 51 |
| 3.5.3. Lavado con fungicida | 52 |
| 3.5.4. Hidrotérmico-Lavado con fungicida-Irradiación..... | 52 |
| 3.6. Secuencia para la inoculación del <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> (inóculo) | 53 |
| 3.6.1. Preparación de la solución de esporas de <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> (inóculo)..... | 53 |



ÍNDICE GENERAL

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 3.6.2. | Inoculación de los frutos con la solución de esporas de <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> | 56 |
| 3.7. | Efecto del estado de madurez y temperaturas de almacenamiento en los frutos en la respuesta a los tratamientos (Irradiación, Hidrotérmico) | 57 |
| 3.8. | Efecto del método de inoculación de <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> , en el índice de decaimiento, incidencia, severidad y velocidad de la enfermedad | 59 |
| 3.9. | Efecto de los tratamientos aplicados (Irradiación, Hidrotérmico, Lavado con fungicida y la combinación de estos Hidrotérmico-Lavadoconfungicida-Irradiación) en los parámetros de calidad y fisiológicos | 61 |
| 3.10. | Efecto de los tratamientos aplicados (Irradiación, Hidrotérmico, Lavado con fungicida y la combinación de estos Hidrotérmico-Lavadoconfungicida-Irradiación) sobre los atributos sensoriales | 62 |
| 3.11. | Métodos analíticos | 63 |
| 3.11.1. | Parámetros químicos | 63 |
| 3.11.2. | Parámetros físicos | 65 |
| 3.11.3. | Parámetros fisicoquímicos..... | 66 |
| 3.11.4. | Parámetros fisiológicos | 67 |
| 3.11.5. | Parámetros nutricionales | 68 |
| 3.11.6. | Parámetros bioquímicos..... | 68 |
| 3.11.7. | Parámetros microbiológicos..... | 69 |
| 3.12. | Tratamiento de resultados | 70 |
| 4. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 71 |
| 4.1. | Evaluación de las características físicas, químicas y fisicoquímicas de la papaya `Maradol´ | 71 |
| 4.2. | Efecto del estado de madurez y temperatura de almacenamiento de la papaya variedad `Maradol´ en respuesta de los tratamientos de irradiación gamma e hidrotérmico | 72 |
| 4.2.1. | Efecto en los parámetros fisicoquímicos | 73 |
| 4.2.1.1. | pH | 73 |
| 4.2.1.2. | Sólidos solubles..... | 75 |
| 4.2.2. | Efecto en los parámetros físicos..... | 78 |
| 4.2.2.1. | Firmeza..... | 78 |
| 4.2.2.2. | Pérdida de peso..... | 81 |
| 4.2.2.3. | Luminosidad | 84 |
| 4.2.3. | Efecto en los parámetros fisiológicos..... | 86 |
| 4.2.3.1. | Respiración | 86 |
| 4.2.4. | Efecto en los parámetros nutricionales | 88 |
| 4.2.4.1. | Vitamina C..... | 88 |



ÍNDICE GENERAL

| | | |
|----------|---|-----|
| 4.2.5. | Efecto en los parámetros sensoriales..... | 91 |
| 4.2.6. | Efecto en los síntomas de antracnosis..... | 97 |
| 4.2.6.1. | Incidencia de enfermedad | 97 |
| 4.2.6.2. | Índice de decaimiento | 99 |
| 4.2.6.3. | Severidad de la enfermedad | 101 |
| 4.3. | Efecto del método de inoculación y concentración del inóculo de <i>Colletotrichum</i> gloeosporioides en los síntomas de antracnosis | 109 |
| 4.3.1. | Establecimiento del método de inoculación zona específica o frotación que presente mayores síntomas de enfermedad | 109 |
| 4.3.1.1. | Incidencia de la enfermedad, índice de decaimiento y severidad de la enfermedad | 109 |
| 4.3.2. | Establecimiento de la concentración que presente mayores síntomas de la enfermedad | 113 |
| 4.3.2.1. | Incidencia de la enfermedad, índice de decaimiento y severidad de la enfermedad | 113 |
| 4.4. | Efecto de los tratamientos aplicados: Irradiación, Hidrotérmico, Lavado con fungicida y la combinación entre estos en los parámetros de calidad, fisiológicos y sensoriales..... | 115 |
| 4.4.1. | Efecto en los parámetros fisicoquímicos | 115 |
| 4.4.1.1. | pH | 115 |
| 4.4.1.2. | Acidez..... | 117 |
| 4.4.1.3. | Sólidos solubles..... | 118 |
| 4.4.2. | Efecto en los parámetros físicos..... | 119 |
| 4.4.2.1. | Firmeza..... | 119 |
| 4.4.2.2. | Pérdida de peso..... | 121 |
| 4.4.2.3. | Tono | 122 |
| 4.4.2.4. | Croma..... | 124 |
| 4.4.2.5. | Luminosidad..... | 125 |
| 4.4.3. | Efecto en los parámetros fisiológicos..... | 126 |
| 4.4.3.1. | Respiración | 126 |
| 4.4.4. | Efecto en los parámetros nutricionales | 128 |
| 4.4.4.1. | Vitamina C..... | 128 |
| 4.4.5. | Efecto en la actividad enzimática (PME) | 130 |
| 4.4.6. | Efecto en los parámetros sensoriales..... | 131 |
| 4.4.7. | Efecto en los síntomas de antracnosis..... | 134 |
| 4.4.7.1. | Incidencia de enfermedad | 134 |



ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|-----|
| 4.4.7.2. Índice de decaimiento | 134 |
| 4.4.7.3. Severidad de la enfermedad | 135 |

Conclusiones

Recomendaciones

Anexos

Bibliografía

Abreviaturas



ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Regiones productoras de papaya en México..... | 3 |
| Figura 2. Muestra la pectinmetilesterasa para dar ácido péctico y metanol | 12 |
| Figura 3. El espectro electromagnético..... | 31 |
| Figura 4. Átomos simples | 32 |
| Figura 5. La radiación en un campo magnético | 33 |
| Figura 6. Poder de penetración de los rayos α , β y γ | 34 |
| Figura 7. Una típica planta de irradiación de alimentos..... | 36 |
| Figura 8. El símbolo de la Radura | 39 |
| Figura 9. Cuadro metodológico | 48 |
| Figura 10. Material biológico..... | 49 |
| Figura 11. Tratamiento de la muestra..... | 49 |
| Figura 12. Estados de madurez "A" (3/4 de verde) y "B" (2/4 amarilla) | 50 |
| Figura 13. Mapeo para irradiar las muestras: a) resultados de dosimetría, b) colocación de dosímetros y c) dosímetros | 50 |
| Figura 14. Recepción de los frutos en Sterigenics | 51 |
| Figura 15. Tratamiento hidrotérmico..... | 51 |
| Figura 16. Suspensión del fungicida | 52 |
| Figura 17. Papayas en aplicación del tratamiento hidrotérmico y lavado con fungicida | 53 |
| Figura 18. Muestra la resiembra de <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> | 53 |
| Figura 19. Crecimiento de <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> a) micelio blanco y b) color salmón de las colonias..... | 54 |
| Figura 20. Serie de pasos para la obtención del inóculo | 54 |
| Figura 21. Muestra las divisiones que conforman 1 de la cámara de Neubauer, los números representan un ejemplo de esporas encontradas en esta área | 55 |
| Figura 22. Metodología para realizar el conteo de esporas | 55 |
| Figura 23. Esporas en cámara de Neubauer vistas desde el microscopio..... | 56 |
| Figura 24. Muestra los pasos que se siguieron para la inoculación | 57 |
| Figura 25. Distribución de lotes | 57 |
| Figura 26. Papayas a una temperatura de almacenamiento de 20°C | 59 |
| Figura 27. Selección de método de inoculación y concentración del inóculo..... | 60 |
| Figura 28. Mesa de panelistas | 63 |
| Figura 29. Método volumétrico para la determinación de azúcares | 64 |
| Figura 30. Mufla y crisoles utilizados en la técnica | 64 |



ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 31. Curva patrón de un estándar de albúmina sérica bovina | 65 |
| Figura 32. Penetrómetro | 65 |
| Figura 33. Colorímetro marca Minolta | 66 |
| Figura 34. Balanza utilizada para evaluar pérdida de peso | 66 |
| Figura 35. Potenciómetro marca HANNA | 66 |
| Figura 36. Acidez titulable..... | 67 |
| Figura 37. Refractómetro | 67 |
| Figura 38. Analizador de gas infrarrojo | 67 |
| Figura 39. Eppendorf, centrifuga y espectrofotómetro | 68 |
| Figura 40. Muestra la incidencia de la enfermedad | 69 |
| Figura 41. Medición de la severidad de la enfermedad | 70 |
| Figura 42. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) en el pH de papaya `Maradol` en diferente estado de madurez a) $\frac{3}{4}$ verde y b) $\frac{2}{4}$ amarilla almacenadas a 20°C. | 73 |
| Figura 43. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) e hidrotérmico en el pH de papaya `Maradol` en diferente estado de madurez a) $\frac{3}{4}$ verde y b) $\frac{2}{4}$ amarilla almacenadas a 12°C y a 20°C.. | 74 |
| Figura 44. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) en los Sólidos Solubles de papaya `Maradol` en diferente estado de madurez a) $\frac{3}{4}$ verde y b) $\frac{2}{4}$ amarilla almacenadas a 20 °C..... | 76 |
| Figura 45. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) e hidrotérmico en los Sólidos Solubles de papaya `Maradol` en diferente estado de madurez a) $\frac{3}{4}$ verde y b) $\frac{2}{4}$ amarilla almacenadas a 12°C y a 20°C..... | 77 |
| Figura 46. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) en la firmeza de papaya `Maradol` en diferente estado de madurez a) $\frac{3}{4}$ verde y b) $\frac{2}{4}$ amarilla almacenadas a 20 °C..... | 79 |
| Figura 47. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) e hidrotérmico sobre en firmeza de papaya `Maradol` en diferente estado de madurez a) $\frac{3}{4}$ verde y b) $\frac{2}{4}$ amarilla almacenadas a 12°C y a 20°C.. | 80 |
| Figura 48. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) en la pérdida de peso de papaya `Maradol` en diferente estado de madurez a) $\frac{3}{4}$ verde y b) $\frac{2}{4}$ amarilla almacenadas a 20 °C | 82 |
| Figura 49. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) e hidrotérmico sobre la pérdida de peso de papaya `Maradol` en diferente estado de madurez a) $\frac{3}{4}$ verde y b) $\frac{2}{4}$ amarilla almacenadas a 12°C y a 20°C..... | 83 |
| Figura 50. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) sobre la luminosidad de papaya `Maradol` en diferente estado de madurez a) $\frac{3}{4}$ verde y b) $\frac{2}{4}$ amarilla almacenadas a 20 °C..... | 84 |
| Figura 51. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) e hidrotérmico sobre la luminosidad de papaya `Maradol` en diferente estado de madurez a) $\frac{3}{4}$ verde y b) $\frac{2}{4}$ amarilla almacenadas a 12°C y a 20°C..... | 85 |
| Figura 52. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) e hidrotérmico sobre la respiración de papaya `Maradol` en diferente estado de madurez a) $\frac{3}{4}$ verde y b) $\frac{2}{4}$ amarilla almacenadas a 12°C y a 20°C..... | 87 |
| Figura 53. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) en el contenido de Vitamina C en papaya `Maradol` en diferente estado de madurez a) $\frac{3}{4}$ verde y b) $\frac{2}{4}$ amarilla almacenadas a 20 °C. | 89 |



ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 54.** Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) e hidrotérmico en el contenido de Vitamina C en papaya `Maradol` en diferente estado de madurez a) $\frac{3}{4}$ verde y b) $\frac{2}{4}$ amarilla almacenadas a 12°C y a 20°C..... **90**
- Figura 55.** Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) en cuanto a los parámetros sensoriales (apariciencia, color, aroma, textura y sabor) en papaya `Maradol` en diferente estado de madurez a) $\frac{3}{4}$ verde y b) $\frac{2}{4}$ amarilla almacenadas a 20 °C..... **92**
- Figura 56.** Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) en cuanto a los parámetros sensoriales (apariciencia, color, aroma, textura y sabor) en papaya `Maradol` en diferente estado de madurez a) $\frac{3}{4}$ verde y b) $\frac{2}{4}$ amarilla almacenadas a 20 °C **92**
- Figura 57.** Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) e hidrotérmico en cuanto a los parámetros sensoriales (apariciencia, color, aroma, textura y sabor) en papaya `Maradol` en diferente estado de madurez a) $\frac{3}{4}$ verde y b) $\frac{2}{4}$ amarilla almacenadas a 12°C con transferencia a 20°C **93**
- Figura 58.** Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) e hidrotérmico en cuanto a la aceptación en papaya `Maradol` en diferente estado de madurez a) $\frac{3}{4}$ verde y b) $\frac{2}{4}$ amarilla almacenadas a 12°C con transferencia a 20°C..... **94**
- Figura 59.** Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) e hidrotérmico en la incidencia de enfermedad en papaya `Maradol` (inoculada naturalmente) en diferente estado de madurez a) $\frac{3}{4}$ verde y b) $\frac{2}{4}$ amarilla almacenadas a 12°C y a 20°C..... **98**
- Figura 60.** Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) e hidrotérmico en la incidencia de enfermedad en papayas `Maradol` (inoculada artificialmente) en diferente estado de madurez a) $\frac{3}{4}$ verde y b) $\frac{2}{4}$ amarilla almacenadas a 12°C y a 20°C..... **98**
- Figura 61.** Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) e hidrotérmico en el índice de decaimiento en papaya `Maradol` (inoculadas naturalmente) en diferente estado de madurez a) $\frac{3}{4}$ verde y b) $\frac{2}{4}$ amarilla almacenadas a 12°C y a 20°C.. **99**
- Figura 62.** Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) e hidrotérmico en el índice de decaimiento en papayas `Maradol` (inoculada artificialmente) en diferente estado de madurez a) $\frac{3}{4}$ verde y b) $\frac{2}{4}$ amarilla almacenadas a 12°C y a 20°C.. **100**
- Figura 63.** Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) e hidrotérmico en la severidad de la enfermedad en papaya `Maradol` (inoculada artificialmente) en diferente estado de madurez a) $\frac{3}{4}$ verde y b) $\frac{2}{4}$ amarilla almacenadas a 12°C y a 20°C..... **101**
- Figura 64.** Papayas en dos estados de madurez $\frac{3}{4}$ verde y $\frac{2}{4}$ amarilla, inoculadas, sometidas a diferentes dosis de irradiación gamma (γ) y almacenadas a una 12°C con transferencia a 20°C para el Día 1..... **104**
- Figura 65.** Papayas en dos estados de madurez $\frac{3}{4}$ verde y $\frac{2}{4}$ amarilla, inoculadas, sometidas a diferentes dosis de irradiación gamma (γ) y almacenadas a 12°C con transferencia a 20°C para el Día 7. **105**
- Figura 66.** Papayas en dos estados de madurez $\frac{3}{4}$ verde y $\frac{2}{4}$ amarilla, inoculadas, sometidas a diferentes dosis de irradiación gamma (γ) y almacenadas a una T= 12°C con transferencia a una 20°C para el Día 14 (Día de transferencia). **106**
- Figura 67.** Papayas en dos estados de madurez $\frac{3}{4}$ verde y $\frac{2}{4}$ amarilla, inoculadas, sometidas a diferentes dosis de irradiación gamma (γ) y almacenadas a una 12°C con transferencia a 20°C para el Día 15. **107**
- Figura 68.** Papayas en dos estados de madurez $\frac{3}{4}$ verde y $\frac{2}{4}$ amarilla, inoculadas, sometidas a diferentes dosis de irradiación gamma (γ) y almacenadas a una 12°C con transferencia a 20°C para el Día 19. **108**
-



ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 69.** Efecto de diferentes métodos de inoculación así como diferentes concentraciones de inóculo en papaya `Maradol´ estado de madurez 2/4 amarilla sobre a) incidencia de enfermedad, b) índice de decaimiento y c) severidad de la enfermedad almacenadas a una T= 20°C. 110
- Figura 70.** Papayas inoculadas con *Colletotrichum gloeosporioides* a dos diferentes concentraciones (5X10⁵ y 1X10⁶) por medio de dos diferentes métodos de inoculación (Zona específica y Frotación) en para el Día 3 y 6. 111
- Figura 71.** Papayas inoculadas con *Colletotrichum gloeosporioides* a dos diferentes concentraciones (5X10⁵ y 1X10⁶) por medio de dos diferentes métodos de inoculación (Zona específica y Frotación) en para el Día 8 y 11. 112
- Figura 72.** Efecto de diferentes concentraciones de inóculo en papaya `Maradol´ estado de madurez ¾ verde inoculadas por el método de frotación sobre sobre a) incidencia de enfermedad, b) índice de decaimiento y c) severidad de la enfermedad almacenadas a una T= 20°C. 113
- Figura 73.** Papayas inoculadas con *Colletotrichum gloeosporioides* a dos diferentes concentraciones (1X10⁶ y 1X10⁷) por medio del método de frotación. 115
- Figura 74.** Efecto de los diferentes tratamientos en el pH de papaya `Maradol´ almacenadas a 12°C y a 20°C: a) Hidrotérmico y lavado con fungicida b) Irradiación y c) combinados. 116
- Figura 75.** Efecto de los diferentes tratamientos en el % ácido cítrico de papaya `Maradol´ almacenadas a 12°C y a 20°C: a) Hidrotérmico y lavado con fungicida b) Irradiación y c) combinados..... 117
- Figura 76.** Efecto de los diferentes tratamientos en los sólidos solubles de papaya `Maradol´ almacenadas a 12°C y a 20°C: a) Hidrotérmico y lavado con fungicida b) Irradiación y c) combinados..... 118
- Figura 77.** Efecto de los diferentes tratamientos en la firmeza de papaya `Maradol´ almacenadas a 12°C y a 20°C: a) Hidrotérmico y lavado con fungicida b) Irradiación y c) combinados..... 120
- Figura 78.** Efecto de los diferentes tratamientos en la pérdida de peso de papaya `Maradol´ almacenadas a 12°C y a 20°C: a) Hidrotérmico y lavado con fungicida b) Irradiación y c) combinados..... 121
- Figura 79.** Efecto de los diferentes tratamientos en el tono en la papaya `Maradol´ almacenadas a 12°C y a 20°C: a) Hidrotérmico y lavado con fungicida b) Irradiación y c) combinados..... 123
- Figura 80.** Efecto de los diferentes tratamientos en el croma en la papaya `Maradol´ almacenadas a 12°C y a 20°C: a) Hidrotérmico y lavado con fungicida b) Irradiación y c) combinados.. 124
- Figura 81.** Efecto de los diferentes tratamientos en la luminosidad en la papaya `Maradol´ almacenadas a 12°C y a 20°C: a) Hidrotérmico y lavado con fungicida b) Irradiación y c) combinados. 125
- Figura 82.** Efecto de los diferentes tratamientos en la respiración de papaya `Maradol´ almacenadas a 12°C y a 20°C: a) Hidrotérmico y lavado con fungicida b) Irradiación y c) combinados. 127
- Figura 83.** Efecto de los diferentes tratamientos en la vitamina C de papaya `Maradol´ almacenadas a 12°C y a 20°C: a) Hidrotérmico y lavado con fungicida b) Irradiación y c) combinados. 128
- Figura 84.** Efecto de los diferentes tratamientos en la actividad residual de PME de papaya `Maradol´ almacenadas a 12°C y a 20°C: a) Hidrotérmico y lavado con fungicida b) Irradiación y c) combinados.. 130
- Figura 85.** Efecto de los diferentes tratamientos en los atributos sensoriales en la papaya `Maradol´ almacenadas a 12°C y a 20°C: a) Hidrotérmico y lavado con fungicida b) Irradiación y c) combinados. 132
- Figura 86.** Efecto de los diferentes tratamientos en la aceptación general en la papaya `Maradol´ almacenadas a 12°C y a 20°C: a) Hidrotérmico y lavado con fungicida b) Irradiación y c) combinados 132
-



ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 87.** Efecto de los diferentes tratamientos en la incidencia de la antracnosis en la papaya `Maradol´ almacenadas a 12°C y a 20°C: a) Hidrotérmico y lavado con fungicida b) Irradiación y c) combinados. **134**
- Figura 88.** Efecto de los diferentes tratamientos en el IDC en la papaya `Maradol´ almacenadas a 12°C y a 20°C: a) Hidrotérmico y lavado con fungicida b) Irradiación y c) combinados..... **135**
- Figura 89.** Efecto de los diferentes tratamientos en la severidad de la antracnosis en la papaya `Maradol´ almacenadas a 12°C y a 20°C: a) Hidrotérmico y lavado con fungicida b) Irradiación y c) combinados **136**
- Figura 90.** Papayas en estados de madurez $\frac{3}{4}$ verde inoculadas por frotación a 1×10^7 esporas/ml, sometidas a diferentes tratamientos (irradiación gamma (γ), hidrotérmico, lavado con fungicida y la sinergia de estos) .almacenadas a una T= 12°C con transferencia a una T= 20°C para el Día 1. **138**
- Figura 91.** Papayas en estados de madurez $\frac{3}{4}$ verde, inoculadas por frotación a 1×10^7 esporas/ml, sometidas a diferentes tratamientos (irradiación gamma (γ), hidrotérmico, lavado con fungicida y la sinergia de estos) .almacenadas a una T= 12°C con transferencia a una T= 20°C para el Día 5. **139**
- Figura 92.** Papayas en estados de madurez $\frac{3}{4}$ verde, inoculadas por frotación a 1×10^7 esporas/ml, sometidas a diferentes tratamientos (irradiación gamma (γ), hidrotérmico, lavado con fungicida y la sinergia de estos) .almacenadas a una T= 12°C con transferencia a una T= 20°C para el Día 10 (Día de la transferencia) **140**
- Figura 93.** Papayas en estados de madurez $\frac{3}{4}$ verde, inoculadas por frotación a 1×10^7 esporas/ml, sometidas a diferentes tratamientos (irradiación gamma (γ), hidrotérmico, lavado con fungicida y la sinergia de estos) .almacenadas a una T= 12°C con transferencia a una T= 20°C para el Día 11 **141**
- Figura 94.** Papayas en estados de madurez $\frac{3}{4}$ verde, inoculadas por frotación a 1×10^7 esporas/ml, sometidas a diferentes tratamientos (irradiación gamma (γ), hidrotérmico, lavado con fungicida y la sinergia de estos) .almacenadas a una T= 12°C con transferencia a una T= 20°C para el Día 15 **142**
- Figura 95.** Papayas en estados de madurez $\frac{3}{4}$ verde, inoculadas por frotación a 1×10^7 esporas/ml, sometidas a diferentes tratamientos (irradiación gamma (γ), hidrotérmico, lavado con fungicida y la sinergia de estos) .almacenadas a una T= 12°C con transferencia a una T= 20°C para el Día 15 vistas desde la parte central. **144**
- Figura 96.** Papayas en estados de madurez $\frac{3}{4}$ verde, inoculadas por frotación a 1×10^7 esporas/ml , sometidas a diferentes tratamientos (irradiación gamma (γ), hidrotérmico, lavado con fungicida y la sinergia de estos) .almacenadas a una T= 12°C con transferencia a una T= 20°C. Utilizadas para el muestreo de los días 5, 10 y 15 sin ser manipuladas diariamente..... **145**



ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----------|
| Tabla 1. Muestra la clasificación taxonómica de la papaya..... | 2 |
| Tabla 2. Producción Regional de Papaya riego Temporal (Miles de toneladas) 1997-2007..... | 3 |
| Tabla 3. Papaya Perennes 2007 Riego + Temporal 1997-2007..... | 4 |
| Tabla 4. Muestra la composición química de la papaya `Maradol`Roja..... | 5 |
| Tabla 5. Tabla Nutrimental de la papaya..... | 6 |
| Tabla 6. Descripción de los tipos de papaya en México | 8 |
| Tabla 7. Factores que intervienen en el desarrollo de la planta..... | 8 |
| Tabla 8. Plagas que afectan el cultivo de papaya en Cuba..... | 15 |
| Tabla 9. Síntomas de las enfermedades causadas por mohos | 18 |
| Tabla 10. Estudios para el control de la Antracnosis..... | 25 |
| Tabla 11. Fungicidas para uso poscosecha. | 28 |
| Tabla 12. Diseño de experimentos 1..... | 58 |
| Tabla 13. Diseño de experimentos 2 de método de inoculación..... | 59 |
| Tabla 14. Diseño de experimentos 3 que determinó la concentración de inóculo..... | 61 |
| Tabla 15. Diseño de experimentos 4..... | 62 |
| Tabla 16. Atributos sensoriales con sus escalas | 63 |
| Tabla 17. Escala de daños..... | 69 |
| Tabla 18. Caracterización física de la papaya `Maradol` | 71 |
| Tabla 19. Parámetros fisicoquímicos de la papaya variedad `Maradol` | 71 |
| Tabla 20. Composición química de la papaya `Maradol` | 72 |



RESUMEN

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de los tratamientos de irradiación gamma, hidrotérmico, lavado con fungicida y la combinación de estos para el control de la enfermedad de la antracnosis en papaya (*Carica papaya L.*) variedad 'Maradol' para su exportación.

Papayas de la variedad 'Maradol' se utilizaron en el presente estudio, procedentes del Estado de Chiapas. Los frutos se seleccionaron con base al tamaño, peso y color y se descartaron aquellas que presentaron daños. Asimismo, los frutos se clasificaron por estado de madurez en: 3/4 de color verde ("A"), y 2/4 de color amarillo ("B"). Las papayas se lavaron, desinfectaron en una solución al 2% de cloro, inocularon con *Colletotrichum gloeosporioides*, y se incubaron a $\pm 90\%$ H.R. por 18 horas. Posteriormente se aplicaron los tratamientos poscosecha (lavado con fungicida, hidrotérmico, irradiación gamma a 500, 1000, 1250, 1500 y 2000 Gy y tratamientos combinados), se almacenaron a 12°C con transferencia a 20°C. Los parámetros de calidad, fisiológicos, sensoriales, nutricionales, bioquímicos y microbiológicos se evaluaron durante el almacenamiento.

El estado de madurez "B" fue más susceptible a los diferentes tratamientos aplicados, así como al desarrollo de los síntomas de antracnosis que el estado "A", por lo que el estado "B" se descartó. Las papayas con el tratamiento de irradiación gamma presentaron una mayor pérdida de peso a 1250 Gy, menor aceptación por los panelistas a 2000 Gy y una mayor tasa respiratoria a 1250, 1500 y 2000 Gy, por lo que estas 3 últimas condiciones se descartaron. El tratamiento por irradiación gamma y el lavado con fungicida por sí solos no controlaron los síntomas de antracnosis eficazmente, mientras que el tratamiento hidrotérmico disminuyó los síntomas de antracnosis y no presentó alteraciones en los parámetros de calidad, mientras que la combinación del tratamiento hidrotérmico-lavadoconfungicida-irradiación gamma (500 Gy) controló la enfermedad en los frutos. Por lo que, la combinación de los tratamientos hidrotérmico-lavadoconfungicida-irradiación (500 Gy) se recomienda como método poscosecha para el control de la antracnosis en papaya para exportación, ya que además alarga la vida útil y preserva su calidad.



INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

Las pérdidas poscosecha en productos hortofrutícolas tienen importantes implicaciones económicas, ya que estos tienen gravados los costos de producción, cosecha, transporte, almacenamiento y distribución. Como ejemplo de ello, se encuentran los frutos de papaya, los cuales han presentado diversos problemas fitosanitarios de gran importancia mundial como plagas y enfermedades, virales y fungosas. Dentro de estas últimas, se señala a la antracnosis como la principal limitante fitopatológica en papaya, causando pérdidas del 40 al 100% a nivel mundial (Arias, 1992).

La antracnosis causada por el hongo *Colletotrichum gloeosporioides* se presenta cuando el fruto empieza a madurar y aparecen pequeñas manchas acuosas que provocan lesiones en la piel de forma circular, hundidas, con márgenes de color café, un poco rosadas o anaranjadas en la porción central y se va formando una capa sellosa que permite que el área se levante (Álvarez y Nishijima, 1987; Dickman y Álvarez, 1983).

Tanto plagas como enfermedades, se han tratado de reducir con sistemas poscosecha, que se conciben como un conjunto de procesos integrados y secuenciados por los que atraviesa el producto después de la cosecha hasta el consumidor final (Yahia e Higuera, 1992). Así mismo la preocupación de la comunidad mundial sobre el uso de los pesticidas en el ambiente y alimentos se incrementa día con día, razón por la cual se generó el compromiso de reducir en un 75% el uso de pesticidas para el año 2000. Por lo tanto las alternativas al control químico son urgentes (Korsten *et al.*, 1993). En la medida que algunos fumigantes son cuestionados por sus efectos en la salud humana, mayor interés se ha puesto en el empleo de agua caliente como tratamiento cuarentenario para el control de moscas de la fruta, aunque también puede controlar nemátodos, mohos e insectos. La temperatura que debe alcanzar el agua y el período que debe permanecer el material bajo tratamiento, depende de la tolerancia de dicho material y de la plaga que se pretende controlar; sin embargo, en la mayoría de los casos, la temperatura no debe pasar de 50 °C durante un período de 30 minutos (Boscan, 2001).

Por otro lado la irradiación definida por la Organización Mundial de la Salud como un proceso en el cual los alimentos son expuestos a niveles determinados de energía (Lagunas *et al.*, 1997), trae como beneficios una mayor calidad de los alimentos desde el



INTRODUCCIÓN

punto de vista microbiológico, ya que es un tratamiento que inhibe el desarrollo de diferentes patógenos (*Salmonella*, *Escherichia coli*, *Listeria*, etc.), aumenta la vida de anaquel de los alimentos y disminuye la utilización de compuestos químicos (Mentzer, 1997). En este proceso se expone el producto a la acción de las radiaciones ionizantes, durante un cierto lapso, que es proporcional a la cantidad de energía que se desea que el alimento absorba (Barret *et al.*, 2005). Diversos autores han reportado que la irradiación tiene efectos variados como: la aceleración de la maduración (duraznos), tolerancia de la irradiación (piñas), retardo de la maduración (plátanos, mangos y papayas) y control del decaimiento en jitomates y fresas (Bustos y Rocabado, 1991). Por lo que, el objetivo del presente trabajo será evaluar el efecto de tratamientos de irradiación gamma, hidrotérmico y lavado con fungicida en el control de antracnosis en papaya variedad 'Maradol'.

El control de enfermedades fungosas en poscosecha, no solo se basa en el uso de bajas temperaturas, una atmósfera adecuada durante el almacenamiento y una buena planeación de técnicas y métodos de la cadena poscosecha, si no que se complementa con prácticas realizadas en campo (Mitra, 1997).



ANTECEDENTES



ANTECEDENTES

1. ANTECEDENTES

1.1. GENERALIDADES DE LA PAPAYA

El papayo es una planta herbácea, suculenta y perenne; con un período de vida de unos 20 años de los cuales solo tres son de producción comercial (Araujo, 1965).

Las plantas de papayo alcanzan alturas de 2 a 8 m, con un diámetro de su base de 25 cm o más, monopódico y con follaje densamente concentrado en el tallo (Moreno, 1980). El fruto es una baya grande, carnosa y hueca de 25 a 40 cm de largo y 10 a 25 cm de ancho. La pulpa es de amarilla a naranjada, en algunas variedades es rojiza y posee un agradable sabor. Alrededor de la cavidad se depositan las semillas elipsoides, dicotiledóneas de 6 a 8 mm de largo y 1 mm a 5 mm de ancho, endotesta morena y arrugada con sarcotesta mucilaginosa (Malan, 1953).

Entre los botánicos existe una controversia en cuanto a su origen; algunos lo sitúan en el área del Caribe, otros en el sur de México y Nicaragua y otros mencionan el noroeste de América del Sur, en la vertiente oriental de los Andes, debido a que en esta última región se localiza la mayor diversidad de especies del género *Carica* (Mandujano, 1998; De los Santos *et al.*, 2000).

1.2. CLASIFICACIÓN BOTÁNICA

El género *Carica* está formado por 22 especies, de las cuales algunas son dióicas, algunas son monóicas, *Carica monoica* Desf; y otras más polígamas, *Carica papaya* L. y *Carica pubescens* Lenné y Koch (Mosqueda y Molina, 1973).

La especie de mayor importancia económica es *Carica papaya* L. y su clasificación taxonómica se describe en la tabla 1.

La especie *Carica papaya* presenta una raíz napiforme, crece casi verticalmente en terrenos profundos, esta planta está compuesta por un tallo simple, delgado, erecto, alto, flexible, esponjoso terminado en una corona de hojas que lo asemejan a las palmas; estas hojas son alternas, aglomeradas en el ápice, color haz verde oscuro, en ocasiones verde cenizo, palemadas y abroqueadas con pecíolos huecos, que caen a medida que la planta crece dejando una cicatriz en la corteza del mismo que de un aspecto característico. Sus



ANTECEDENTES

flores son; inflorescencias, axilares, colgantes y bracteadas. Además presenta los tres tipos de flores; Femeninas, Masculinas y Hermafroditas (Marroquín, 1996; Miranda, 1982).

Tabla 1. Muestra la clasificación taxonómica de la papaya.

| | |
|--------------------|----------------|
| Reino | Vegetal |
| División | Antophyta |
| Subdivisión | Angiospermae |
| Clase | Dicotiledonea |
| Subclase | Chloripetala |
| Familia | Caricaceae |
| Género | <i>Carica</i> |
| Especie | <i>Papaya</i> |

Fuente: Machain *et al.* (1979)

1.3. PRODUCCIÓN

1.3.1. Zonas Productoras

En México hay cinco regiones productoras a saber, las dos más representativas en la producción de papaya durante 1997–2007 de acuerdo a la tabla 2 son: la región Sur Sureste y la Centro Occidente, en las que se obtiene el 97% del volumen total producido (SIACON, 1997).

En la región Sur Sureste, en promedio se producen 584 mil toneladas cifra que representa el 79.41% del volumen total producido. La segunda región con mayor producción de papaya es el Centro Occidente al promediar 129,443 toneladas, lo que representa el 17.59% del volumen total producido; Michoacán es el estado que obtiene el volumen más alto de esta región (SIACON, 1997).

1.3.2. Volumen de la producción nacional

El estado de Veracruz es el mayor productor de papaya, durante el periodo de 1997 a 2007 obtuvo en promedio 273 miles de toneladas. En 2007 su producción fue de 398 miles de toneladas de las cuales 385 miles de toneladas son de papaya `Maradol`, 7 miles de toneladas de papaya roja y 6 miles de toneladas de papaya amarilla. Le sigue el estado de Chiapas con 130 miles de toneladas en promedio del tipo `Maradol`. Los estados de Oaxaca, Michoacán y Tabasco en promedio producen 60, 56 y 44 miles de toneladas respectivamente.



ANTECEDENTES

En su mayor parte la producción es de papaya `Maradol´ y roja (SIACON, 1997).

Tabla 2. Producción Regional de Papaya Riego Temporal (Miles de toneladas) 1997-2007

| ESTADO | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | PROMEDIO | % |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|------|
| Sur Sureste | 444 | 428 | 394 | 500 | 682 | 734 | 607 | 667 | 566 | 654 | 752 | 584 | 79.4 |
| Centro Occidente | 126 | 132 | 156 | 149 | 164 | 119 | 90 | 98 | 122 | 127 | 142 | 130 | 17.6 |
| Noroeste | 16 | 7 | 11 | 19 | 21 | 17 | 16 | 15 | 11 | 5 | 12 | 14 | 1.85 |
| Centro Occidente | 7 | 5 | 7 | 4 | 6 | 4 | 3 | 5 | 6 | 7 | 7 | 6 | .75 |
| Noreste | 1 | 3 | 2 | 0 | 1 | 2 | 4 | 3 | 4 | 6 | 7 | 3 | .41 |
| Nacional | 594 | 575 | 570 | 672 | 874 | 876 | 720 | 788 | 709 | 799 | 920 | 736 | 100 |

Fuente: Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) con datos del SIACON (2007).

A continuación se presenta en la Figura 1 las regiones productoras de papaya en México.

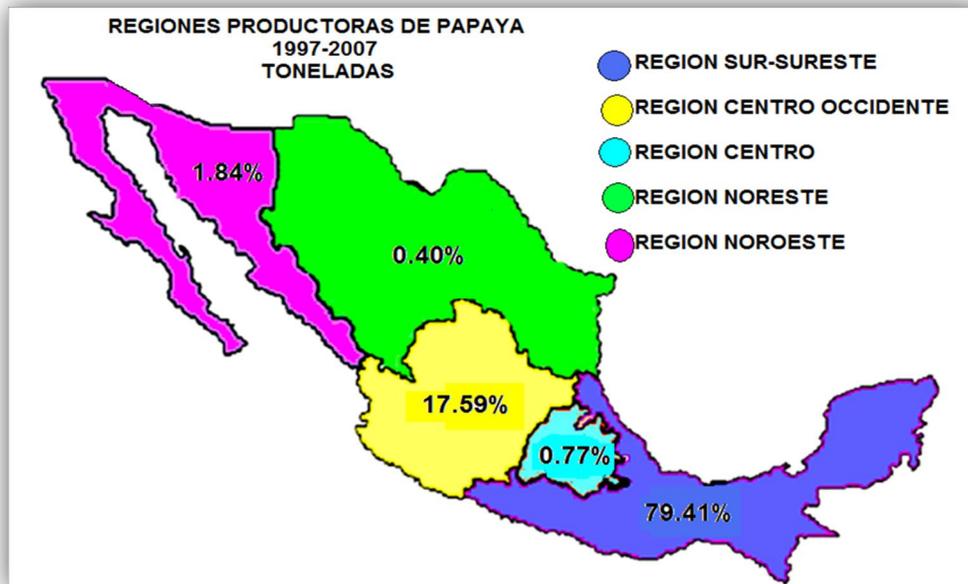


Figura 1. Regiones productoras de papaya en México

Fuente: Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) con datos del SIACON (2007).

De la producción de papaya de Yucatán, el 75% pertenece a la producción de papaya maradol se comercializa en el mercado nacional, básicamente en las centrales de abasto



ANTECEDENTES

de la Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey. En tanto que el 20% se destina al mercado local y la zona sur de Quintana Roo, mientras que el 5% restante se envía a Texas, Chicago y Atlanta. Durante el periodo de 1997 a 2007, en promedio obtuvo 31,870 toneladas de este tipo de papaya.

Por otra parte, Colima es el primer estado que tiene unidades de papaya certificada en el país. Una de las nuevas unidades de producción es: Productos Agrícolas “Los Asmoles” que representa a las unidades de producción Zaragoza y El Capricho, las cuales han obtenido por primera vez su certificación para papaya.

La papaya de la variedad Maradol presentó en el periodo 1997-2007 la mayor superficie sembrada y cosechada, frente a las variedades Amarilla, Hawaiana y roja, teniendo así el mayor % de participación en cuanto a producción, lo anterior se puede observar en la tabla 3.

Tabla 3: Papaya Perennes 2007 Riego + Temporal 1997-2007.

| VARIEDAD | SUPERFICIE | | PRODUCCIÓN | VALOR | PARTICIPACIÓN PRODUCCIÓN |
|--------------|--------------|--------------|---------------|----------------|--------------------------|
| | SEMBRADA | COSECHADA | | | |
| | (HA) | (HA) | TONELADAS | MILES DE \$ | % |
| AMARILLA | 379 | 379 | 9,451 | 35,468 | 1 |
| HAWAIANA | 91 | 53 | 1,862 | 10,747 | 0 |
| MARADOL | 20,888 | 19,271 | 879,929 | 2,588,366 | 96 |
| ROJA | 1,265 | 1,243 | 28,183 | 62,303 | 3 |
| TOTAL | 22623 | 20946 | 919425 | 2696884 | 100 |

Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) con datos del SIACON (2007).

1.4. COMPOSICIÓN QUÍMICA

Durante el crecimiento de la planta y el fruto ocurren transformaciones bioquímicas: de carbohidratos; como glucosa y sacarosa. De proteínas; como el triptófano, valina, leucina, glutámico. De acidez; como son el ácido ascórbico y ácido málico, ácido tartárico.

De respiración por ser un fruto climatérico. De nutrimentos; como el Ca, Fe, P, K y de vitaminas; A y C, etc. (Marroquín, 1996).



ANTECEDENTES

Los sólidos solubles totales fluctúan entre 7.5 y 12.5 °Brix. Por otro lado, cuando el fruto alcanza su madurez, el ácido málico disminuye. La papaya de pulpa amarilla tienen mayor cantidad de vitaminas (por que la vitamina A tiene mayor β -caroteno), que las papayas de pulpa roja. El contenido de α -caroteno es igual para la papaya de pulpa amarilla y roja. (Marroquín, 1996). La composición química del fruto se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Composición química de la papaya Maradol Roja.

| Componente | % |
|---------------|-------|
| Agua | 90.61 |
| Proteína | 0.53 |
| Carbohidratos | 7.32 |
| Lípidos | 0.19 |
| Cenizas | 0.55 |
| Fibra | 0.80 |

Fuente: Méndez y Rivas (1980).

1.5. VALOR NUTRIMENTAL

Los valores nutricionales dependen del cultivar, de los factores ecológicos durante las fases ecológicas, durante las fases de desarrollo del fruto y el estado de madurez en el que es consumido (Sankat y Maharaj, 1997; Samson, 1991).

A continuación se muestra en la tabla 5 los componentes nutrimentales de la papaya.

1.6. TIPOS Y VARIEDADES DEL FRUTO

En México se cultivan tipos y cultivares de acuerdo a la metodología utilizada para su obtención. Los tipos son aquellos materiales que no se manejan con polinización controlada, no tienen caracteres estables y tienen una gran heterogeneidad en la manifestación de ellos, lo que dificulta su descripción, como es el caso de los materiales criollos 'Cera', 'Coco' y 'Mamey'.

Las variedades o cultivares se han manejado mediante control de polinización y con base en la selección y mejoramiento genético en general (Mandujano, 1998).



ANTECEDENTES

Tabla 5. Tabla Nutricional de la papaya.

| Nutriente | Valor por 100g de porción comestible | UNIDAD |
|------------------------------|---|---------------|
| Agua | 88.83 | g |
| Energía | 39 | Kcal |
| Proteínas | 0.61 | g |
| Grasa total | 0.14 | g |
| Cenizas | 0.64 | g |
| Carbohidratos | 9.81 | g |
| Fibra dietética | 1.8 | g |
| Azúcares | 5.9 | g |
| Calcio | 24 | mg |
| Hierro | 0.1 | mg |
| Magnesio | 10 | mg |
| Fósforo | 5 | mg |
| Potasio | 257 | mg |
| Sodio | 3 | mg |
| Zinc | 0.07 | mg |
| Vitamina C (ácido ascórbico) | 61.8 | mg |
| Ácido Pantoténico | 0.218 | mg |
| Folato | 38 | mcg |
| Vitamina A | 1094 | UI |
| Betacaroteno | 276 | mcg |
| Criptoxantina, beta | 761 | mcg |

Fuente: USDA National Nutrients Database for Standard Reference (2004).

Las variedades que han sido cultivadas en México, en forma experimental son: 'Maradol' roja y amarilla y algunos cultivares hawaianos como: 'Kapoho Solo', 'Sunrise Solo', 'Re Flashed', 'Waimanalo', entre otros (Mandujano, 1998). En Florida se han creado las variedades 'Cariflora' y 'Betty', se ha empezado a utilizar algunos cultivares originados en Taiwán como: 'Red Lady' y 'Tainung' 2 y 3 (Guzmán, 1998).

Dos nuevas variedades 'Higgins' y 'Wilder', fueron introducidos en 1974 a Hawai, de estas dos 'Higgins' tuvo un buen crecimiento en la zona de alta precipitación en la isla 'Wilder' en todas las demás áreas (Nakasone, 1974).

En México la principal variedad de papaya que se cultiva es la 'Maradol', que es de origen cubano (COVECA, 2004).

La papaya 'Maradol' empezó a originarse cuando Adolfo Rodríguez R. colectó de 1938-1949 un cultivar 'Coralillo' con olor y sabor desagradable, en 1949 conoce al cultivar



ANTECEDENTES

'Oriental' de cáscara sumamente lisa, pulpa roja, olor y sabor agradable; 1952 realiza el primer cruzamiento de cultivares y obtuvo frutos chicos (1.15-3.2 Kg) con características agradables y convenientes (Miranda, 1982).

Existen 2 cultivares de papaya 'Maradol', uno de pulpa roja y el otro de pulpa amarilla. En general se cultiva el primero, de consistencia excelente; lo cual le da buena resistencia al transporte, el peso del fruto oscila de 1.3 a 2.75 Kg, con un contenido de azúcares (alrededor de 12°Brix). Su cáscara es lisa, la forma del fruto es alargada y cilíndrica muy uniforme, debido a que la mayoría de las plantas que se dejan para cosecha son hermafroditas.

Las frutas procedentes de plantas hembras son esféricas, se produce principalmente en el estado de Chiapas, para mercados de exportación (ASERCA, 1998; De los Santos *et al.*, 2000; Anónimo, 2000; Gómez y Pedrero, 2000).

Los frutos tienen excelente consistencia, lo que los hace ideal para el embarque y almacenamiento. Son de forma alargada y de tamaño mediano. El tamaño de la cavidad es pequeño y la planta es de densidad alta, lo cual permite transportar mayor peso en un volumen menor comparado con otros cultivares (Rodríguez y Corrales, 1969).

Cabe resaltar que las variedades más comunes, tanto por su cultivo como por su consumo, son la papaya Amarilla (Cera) y la papaya Roja. Además, se producen las denominadas "extranjeras": Solo Hawaiana y Bluestem, provenientes de Florida, Estados Unidos (Avilés, 1971).

En la tabla 6 se muestran algunos de los tipos de papaya que se cultivan en México.

1.7. FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL DESARROLLO DE LA PLANTA

Es importante destacar que el manejo de la papaya desde el momento de su cultivo, ejerce un papel destacado para la obtención de frutos de calidad, por ello en la tabla 7 se dan a conocer algunos factores que intervienen en el desarrollo de la planta, así, como su cultivo y cosecha del fruto.



ANTECEDENTES

Tabla 6. Descripción de los tipos de papaya en México.

| TIPOS | DESCRIPCIÓN |
|-------------------------|--|
| Cera o amarilla | Fruta criolla con epidermis de aspecto ceroso. Se le reconoce por su veteado longitudinal que alterna los colores amarillo y verde, de forma globosa y alargada, su pulpa amarilla. Tamaño variable y un peso entre 1 y 5 Kg. Presenta tres tipos de flores; masculinas, femeninas y hermafroditas. Contiene de 9 a 10°Brix. |
| Mamey | Es de pulpa rosada o rojiza, de buen aroma y sabor, al igual que la Cera, es de tamaño y peso variable (1 a 4 kg). Contiene de 10 a 11°Brix. |
| Verde Maduro | Fruto con epidermis de color verde y aspecto rugoso, cuyo peso varía entre 1 y 5 Kg. |
| Chichona | Es de características similares a las de variedades Cera o Verde Maduro, pero se diferencia por el abultamiento que presenta en su parte terminal (puntal del fruto). |
| Papaya de Pájaro | Tiene tamaño reducido y con un peso de 0.3 a 1 Kg. |

Fuente: Avilés (1971); Mandujano (1998) y Marroquín (1996).

Tabla 7. Factores que intervienen en el desarrollo de la planta

| | |
|---|---|
| <p>Clima</p>  | De clima tropical y subtropical, con temperaturas óptimas entre 24 y 27°C; precipitación pluvial de 1,500 a 2,000 mm anuales distribuidos en 6 a 8 meses lluviosos, con 4 a 6 meses de pocas lluvias y una altura máxima de 400 msnm. |
| <p>Suelo</p>  | Suelos tropicales, de preferencia francos fértiles, bien drenados, permeables, de buena aireación, rico en materia orgánica. El pH oscila entre 6 y 7. Los árboles que crecen en terrenos inundados morirán en tres o 4 días. |
| <p>Humedad</p>  | Se recomienda aplicar 14 ml de agua por planta cada semana durante períodos húmedos y 27 a 36 ml de agua por planta cada dos o tres semanas durante períodos secos. La humedad relativa del aire debe ser de al menos 60%. |



ANTECEDENTES

Tabla 7 (Continuación). Factores que intervienen en el desarrollo de la planta.

| Cosecha | |
|--|---|
| <p>Depende de: la variedad, condiciones ambientales, manejo del cultivo, condiciones del mercado, distancia y tiempo para el traslado del producto a los centros de consumo.</p> | |
| <p>Color externo</p> | <p>Para mercados lejanos o de exportación se sugiere cosechar cuando el color de la piel del fruto cambia de un verde oscuro a un verde ligero y se forman una o dos rayas amarillas, asegurando así que continúen madurando normalmente y que lleguen con una madurez adecuada que permita su comercialización.</p> <p>Otro criterio utilizado, es el % de color amarillo en la piel, clasificándose como de $\frac{1}{4}$ amarillo para exportación y de un $\frac{1}{2}$ a $\frac{3}{4}$ de amarillo para mercados locales. Las papayas escogidas de $\frac{1}{4}$ a completamente amarillas tienen un mejor sabor que cuando se seleccionan verdes-maduras a $\frac{1}{4}$ de amarillo porque éstas no incrementan su dulzura después de la cosecha.</p> |
| <p>Consistencia</p> | <p>El fruto está listo para su recolección cuando al pincharlo, el látex que brota no escurre, es claro y transparente.</p> |
| <p>Composición interna</p> | <p>El contenido de azúcares totales, es útil para determinar el grado de madurez. El color de la pulpa en los frutos inmaduros es de color blanco y en los maduros va de un pálido amarillo-anaranjado, rosa-salmón o rojo, dependiendo del cultivar. La coloración y el ablandamiento de la pulpa se desarrollan del endocarpo hacia afuera.</p> |
| <p>Ciclo vegetativo</p> | <p>El comportamiento de una variedad en particular en el ambiente donde se desarrolla el cultivo es importante. En el caso de la variedad Maradol roja, la cosecha se inicia entre los 6 y 7 meses después del trasplante.</p> |

Fuente: De los Santos *et al.*, (2000), Storey (1969), Yee *et al.*, (1980), Anónimo (1982), Mendrano (2004), Sommer y Arpaia (1992), Medlicott (2001), Guzmán (1998), Kader (2000), Mirafuentes (1996), Mirafuentes (1998), Pantastico (1984), Kader (1992), Paull y Chen (1997), Nakasone y Paull (1998), Paull *et al.* (1999), Kader (2000), Anónimo (2000), ASERCA (1999), Mandujano *et al.*, (1999), Anónimo (1997).



ANTECEDENTES

1.8. ALMACENAMIENTO

Para proteger a las papayas del frío, se deben mantener a temperaturas cercanas, pero no menores a 7°C y ser maduras a temperaturas comprendidas entre 21 y 27°C (Handenburg *et al.*, 1988).

El tiempo de conservación de la papaya verde es de 1 a 3 semanas a una temperatura de 10°C y una humedad relativa de 85-90% y de 1 a 2 semanas para la papaya amarilla a una temperatura de 7 a 8.5°C y con una humedad relativa de 85-90% (Saucedo y Arévalo, 1993).

Las manifestaciones de daños por frío en papaya son falta de maduración, por incompleta transformación de sacarosa en azúcares simples, desarrollo de malos olores, manchado de la epidermis y deterioro microbiano acelerado (Kader, 1985; Gorini, 1989).

La papaya es una fruta climatérica cuya velocidad de respiración es de 20 a 45 ml de O₂ ó kg.hr a 20°C de CO₂ (Biale, 1960). Su producción de etileno es de 0.1 a 2.8 ppm (Burg y Burg, 1967).

1.9. CAMBIOS EN LA MADURACIÓN

Las semillas y el fruto inmaduro son ricos en isotiocianato de bencilo, que ha sido reportado como germicida e insecticida (Sankat y Maharaj, 1997).

Durante la maduración se reduce gradualmente el contenido de alcohol, sólidos insolubles, almidones y varios minerales, dicha reducción incrementa el contenido total de azúcares. Así también aumentan los ácidos volátiles y ácidos orgánicos; como el ácido cítrico y málico (Selvaraj *et al.*, 1982).

Los polisacáridos son transformados en azúcares, ya que los almidones son degradados y por tanto los azúcares se incrementan gradualmente durante la maduración (Orr *et al.*, 1953). En papayas maduras, el azúcar que más predomina es la sacarosa (48.3%), siguiéndole la glucosa (29%) y al último la fructosa (21%) (Chan y Kwok, 1975). El contenido total de azúcares es de 12-18 °Brix (D.G.E.T.A., 1990).

El contenido de agua de los frutos disminuye, no solo por respiración, sino también por transpiración (Lassoudiere, 1969).



ANTECEDENTES

La reducción de la firmeza o el ablandamiento de los frutos es causado por el cambio hidrolítico de la protopectina o de la pectina soluble, por la demolición y polimerización enzimática, hasta formar polímeros de bajo peso molecular, que pertenecen al grupo metoxilo, los cuales son insuficientes para mantener la firmeza de los frutos (Kertezs, 1951).

La poligalacturonasa y la pectina metil esterasa, son enzimas importantes que participan en las alteraciones que sufren las paredes celulares de los frutos (De Arriola *et al.*, 1975).

La papaya contiene un total de azúcares de 9%, en peso fresco de glucosa y 0.15% de ácido cítrico, en peso fresco. Su contenido de ácido ascórbico en frutos inmaduros (42mg/100 g de pulpa) es menor que en los frutos maduros (55 mg/100 g de pulpa), es decir, hay un incremento de ácido ascórbico en los frutos maduros, caso contrario al que ocurre en otros tipos de frutos (De Arriola *et al.*, 1980). Ocurren incrementos progresivos de carotenos y xantofilas (De Arriola *et al.*, 1975).

La vitamina "C", es el producto principal que aportan los frutos de papaya a la nutrición. Es susceptible a la presencia de oxígeno ya que se oxida con facilidad, por catálisis enzimática y no enzimática. Cuando ocurre una desorganización celular como resultado de un daño mecánico, pudrición o senescencia, se activa la oxidación en mayor escala. Las pérdidas de ácido ascórbico, durante la poscosecha, principalmente en almacenamientos prolongados, podría ser atribuida a una conversión rápida de ácido L-ascórbico en ácido dehidro-ascórbico en presencia de la enzima ascorbasa (Mapson, 1970).

Las pérdida de vitamina "C" se incrementa con los daños físicos, altas temperaturas, almacenamientos prolongados, humedad relativa baja, daños por frío, entre otros (Corrales, 1994).

Los sistemas peroxidasa (POD) y polifenoloxidasas (PPO), están considerados como los principales responsables del deterioro de la calidad en frutos y hortalizas (Whitaker, 1985). La actividad de estas enzimas se reduce a medida que la temperatura del tejido desciende (Marín y Cano, 1992).

La textura es un atributo de calidad muy importante en los alimentos. En las frutas y en los vegetales, la textura se debe primariamente a carbohidratos complejos: sustancias pécticas, celulosa, hemicelulosa, almidón y lignina.



ANTECEDENTES

Hay una o más enzimas que actúan sobre cada uno de los carbohidratos complejos que son importantes para la textura de los alimentos (Fennema, 1993).

Hay descritas tres clases de enzimas pécticas que actúan sobre las sustancias pécticas. Dos (la pectinmetilesterasa y poligalacturonasa) se encuentran en las plantas superiores y en los microorganismos y el tercero (las pectato liasas) se encuentran en los microorganismos, especialmente en ciertos microorganismos patógenos que infectan a las plantas (Fennema, 1993).

La pectinmetilesterasa hidroliza el enlace metil éster de la pectina para dar ácido péctico y metanol (Figura 2).

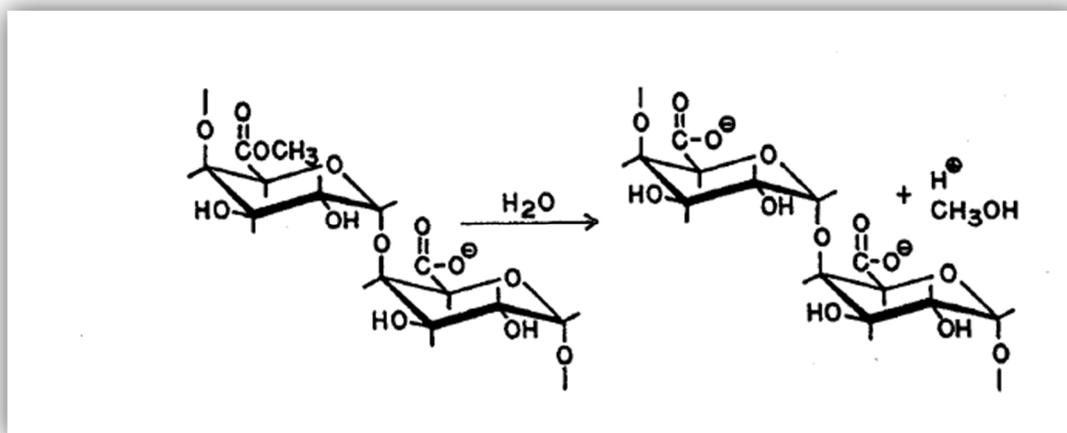


Figura 2.Acción de pectinmetilesterasa para dar ácido péctico y metanol.

Esta enzima se denomina también pectinesterasa, pectasa, pectin demetoxilasa y pectolipasa. La hidrólisis de la pectina hasta ácido péctico en presencia de iones divalentes, como el calcio, conduce a un incremento de la consistencia debido a la formación de puentes cruzados entre el Ca²⁺ y los grupos carboxilo del ácido péctico (Fennema, 1993).

1.10. PÉRDIDAS POSCOSECHA

Diversos factores contribuyen a las pérdidas poscosecha de los alimentos. Entre ellos se incluyen los métodos poco eficaces de recolección y desecado, deficientes técnicas de procesado, métodos inadecuados de almacenamiento y distribución e incluso a nivel doméstico, una incorrecta utilización o preparación de los alimentos (Satin, 2000).



ANTECEDENTES

Las principales causas de las pérdidas pueden clasificarse en dos grandes grupos:

1.10.1. Causas primarias

Las causas primarias son aquellas que afectan directamente al alimento. Los factores biológicos, microbiológicos, mecánicos y fisiológicos son responsables de la mayor parte de las pérdidas en la cosecha de productos perecederos. Podrían dividirse en los subgrupos siguientes (Satin, 2000):

1. **Biológicas:** Las causas biológicas se relacionan con el consumo directo de los alimentos por insectos, roedores o pájaros, ocasionando la inmediata desaparición de los mismos. Algunas veces el nivel de contaminación por excrementos, pelos o plumas, puede ser tan alto que el alimento ya no sirve para el consumo humano. Los insectos causan pérdidas de peso directas en la cantidad del producto y pérdidas de calidad debido a las telarañas, restos y olores que dejan en los alimentos.

2. **Microbiológicas.** Aunque los microorganismos fúngicos y bacterianos normalmente consumen pequeñas cantidades del alimento, pueden dañarlo hasta hacerlo inaceptable debido al desarrollo de podredumbre y otros defectos. Las sustancias tóxicas como las aflatoxinas producidas por los hongos, pueden ocasionar la decomisión de los alimentos.

3. **Químicas:** Muchos de los constituyentes químicos naturales presentes en los alimentos pueden reaccionar entre sí, originándose pérdidas de color, flavor, textura y valor nutricional.

4. **Reacciones bioquímicas:** Durante el almacenamiento de los alimentos, pueden tener lugar un gran número de reacciones naturales, activadas por enzimas, que producen olores, decoloración y ablandamiento.

5. **Mecánicas:** Magulladuras, cortado, pelado excesivo o recortado de los productos agrícolas ocasionan pérdidas mecánicas.

6. **Físicas:** El calor o el frío, excesivo o insuficiente, puede alterar los alimentos. Una atmósfera inadecuada durante la conservación origina pérdidas muy significativas.



ANTECEDENTES

7. Fisiológicas: La respiración natural que se da en casi todos los productos vegetales ocasiona pérdidas de peso y genera calor.

1.10.2. Causas secundarias

Son aquellas que favorecen el desarrollo de las causas primarias. Son el resultado de incorrectas estructuras de almacenamiento, tecnologías o control de calidad. Algunos ejemplos son:

- ❖ Inadecuadas técnicas de cosechado, envasado y manejo.
- ❖ Carencia de los contenedores apropiados para el transporte y manipulación.
- ❖ Condiciones de transporte y almacenamiento inadecuado.
- ❖ La causa secundaria más importante es la carencia de tecnología y la falta de conocimientos, que son esenciales para mantener los alimentos en buenas condiciones durante su almacenamiento y comercialización.

La importancia de las plagas y enfermedades en los cultivos hortofrutícolas radica principalmente en la disminución del rendimiento, la calidad de los frutos y por ende en las pérdidas económicas que se tienen si no se les controla a tiempo.

1.11. PLAGAS

En el cultivo de papaya muchos insectos pueden infestar los tallos, hojas, frutos y raíces, pero pocos causan un verdadero daño económico como los que transmiten enfermedades virales y micoplasmáticas que causan el deterioro rápido de las plantaciones (Fariñas y Mejias, 1990).

Entre las principales plagas del cultivo de papaya se encuentran: la araña roja (*Tetranychus spp.*), piojo harinoso (*Planococcus sp.*), mosca de la papaya (*Toxotrypana curvicauda Gerst.*), gusano cachudo (*Erinnyis alope*), pulgón (*Aphis spiraecola*), escama blanca de la papaya (*Pesudaulacaspis pentagona*), mosquita blanca (*Aleurodicus sp.*), chicharrita verde (*Empoasca papayae*), perquito del papayo (*Aconophora projecta Funkh.*), mayate prieto (*Rhynchoporus palmarum L.*) y la hormiga arriera (*Atta mexicana*) (Samson, 1991; Guzmán, 1998; Mandujano, 1998). Las dos primeras son las más importantes en la parte central del Estado de Veracruz (Mandujano, 1998). A continuación se muestra en la Tabla 8 las principales plagas que afectan el cultivo de papaya en Cuba aunado a una breve descripción de cada una de estas.



ANTECEDENTES

Tabla 8. Plagas que afectan el cultivo de papaya en Cuba.

| PLAGA | DESCRIPCIÓN |
|--|--|
| <p>Mosca de la papaya (Tripetidae)</p>  | <p>El insecto adulto <i>Toxotrypana curvicauda</i> Gerst tiene forma alargada, color amarillo y alas transparentes. La hembra tiene un ovopositor curvo de longitud igual a la del cuerpo, con la cual perfora la corteza de los frutos para depositar sus huevos, de los que nacen las larvas sin patas y de color amarillo crema.</p> |
| <p>Taladrador del cogollo (Pyralidae)</p>  | <p>El taladrador <i>Homalopalpia dalera</i> Dyar se reconoce al encontrarse entre dos frutos o entre una fruta y el tallo, una trama de hilos finos mezclados con arenilla dentro de la cual hay un gusano de color gris verdoso. Las larvas dañan los frutos y pueden labrar galerías en el tallo. El daño puede ser tan serio como para detener el crecimiento del cogollo. Ataca a los pecíolos de las hojas y a los pedúnculos de los frutos. Los adultos son pequeñas polillas de alas anteriores prolongadas triangulares y alas posteriores anchas.</p> |
| <p>Mosca blanca (Aleyrodidae)</p>  | <p>Ataca el follaje de las plantas en cualquier época del año. El brote terminal y las hojas jóvenes son siempre los más afectados; las larvas, pupas y adultos llegan a cubrir el envés de las hojas y hacen que la planta pierda vigor y que la producción se reduzca. Una planta densamente infestada no llega a desarrollar sus flores y el follaje se torna amarillo, rizado y presenta el aspecto ennegrecido.</p> |
| <p>Ácaros</p>  | <p>Animales pequeñitos, tienen 4 pares de patas y su aparato bucal está acondicionado para raspar la superficie de las hojas y succionar la savia. Atacan durante los meses secos, y dan lugar a la decoloración y caída de las hojas. Se encuentran varias especies como el ácaro blanco <i>Polyphagotarsonemus latus</i>, la araña roja <i>Tetranychus sexmaculatus</i>, el acaro rojo de los cítricos <i>Panonychus citri</i>, la araña roja <i>Tetranychus mexicanus</i> y el ácaro chato <i>Brevipalpus phoenicis</i> también de color rojo, de las familias <i>Tarsonemidae</i>, <i>Tetranychidae</i> y <i>Tenuipalpidae</i>, respectivamente.</p> |
| <p>Primaveras (Sphingidae)</p>  | <p>Las larvas de la primavera <i>Erinnyis alope</i> son gusanos grandes de color verde con bandas oscuras oblicuas a lo largo del cuerpo y tienen un apéndice característico en la parte dorsal del octavo segmento abdominal. Son muy voraces, comen las hojas de las plantas pequeñas, y pueden defoliarlas. Las pupas tienen forma cilíndrica con la parte final del abdomen aguda y de color carmelita que va cambiando a carmelita oscuro a medida que evolucionan. Los adultos son polillas grandes, robustas, de 8-9 cm, de color gris carmelitoso con cinco bandas transversales amarillo claro y en el segundo par de alas posee una gran mancha semicircular anaranjada. Tienen hábitos nocturnos.</p> |



ANTECEDENTES

Tabla 8 (Continuación). Plagas que afectan el cultivo de papaya en Cuba.

| PLAGA | DESCRIPCIÓN |
|---|--|
| <p>Afidos (Aphididae)</p>  | <p>No constituyen una plaga habitual en las plantaciones de la papaya, normalmente no llegan a formar colonias, sino se encuentran individuos aislados ocasionalmente en las plantas. Succionan la savia de las hojas, principalmente, las del cogollo, sin embargo, el daño principal que pueden producir es la de transmitir el virus de la mancha anular.</p> |
| <p>Saltahojas (Cicadellidae)</p>  | <p>Es un insecto de 3-3.5 mm de color amarillo verdoso, forma triangular y alas transparentes, saltan bruscamente al ser molestados. Ponen los huevos debajo de la epidermis en el envés de las hojas. Las ninfas son verdes, semejantes a los adultos, pero sin alas y caminan de lado; su ciclo de vida es de un mes aproximadamente. Tanto las ninfas como los adultos succionan la savia, el follaje se torna amarillento y las plantas se debilitan. En las hojas tiernas suele aparecer lo que se llama “quemadura de la punta” y en el resto del follaje, el arrugamiento de las hojas. Como ejemplo se tiene a la Chicharrita.</p> |
| <p>Coccidos (Coccidae)</p>  | <p>Vive en colonias sobre el tallo de las plantas, el ataque comienza en la base, avanza formando manchas blancas y succiona la savia debilitando la planta. Cuando el ataque es intenso puede afectar también pecíolos y a los frutos. Las formas jóvenes son de color salmón, provistas de patas para trasladarse en busca de un lugar adecuado para alimentarse donde permanecen fijas. Los machos son blanquecinos y alargados y las hembras redondeadas cubiertas con un caparazón gris.</p> |
| <p>Nemátodos</p>  | <p>Son pequeños gusanos, generalmente, de forma alargada, pero pueden ser periformes o arriñonados, viven en el suelo y ocasionan grandes daños, principalmente, a las plantas pequeñas en los viveros, aunque también afectan a las plantas adultas.</p> |

Fuente: Fariñas (1990)

1.12. ENFERMEDADES

Las enfermedades de poscosecha de los productos vegetales u órganos de las plantas son aquellas que se desarrollan durante la cosecha y posteriormente durante la selección, empaque y transporte de los productos al mercado; durante su almacenamiento en lugares de embarque y durante las distintas operaciones de manipulación que se requieren para llevar la cosecha del agricultor al comerciante mayorista, de ahí a la tienda minorista y por último hasta el consumidor (Agrios, 1989).



ANTECEDENTES

Es evidente que las pérdidas poscosecha no significan solamente pérdidas del producto, sino también significan un mal aprovechamiento de esfuerzos durante la producción y el manejo antes y después de la cosecha, pérdidas de energía y ganancias, resultando en pérdidas económicas enormes. Esto es aplicable especialmente, para los países latinoamericanos donde la agricultura es un sector fundamental de importancia (Fontan, 1992).

1.12.1. Infecciones internas

Tizón interno es un término para una masa de esporas de mohos que ocupan la cavidad del fruto. La enfermedad ocurre esporádicamente cuando la floración termina y el fruto no está completamente sellado. Hongos tal como *Cladosporium sp.*, *Penicillium sp.* y *Fusarium sp.* pueden pasar a través de un pasaje estrecho conduciendo a la cavidad seminal, destruyendo la semilla y también tejidos cercanos. Frutos infectados usualmente tienen un pequeño hueco al terminar la floración, frecuentemente con un halo verde claro (Álvarez y Nishijima, *et al.* 1987).

1.12.2. Pudriciones basales

Ocurren cuando el moho invade los pedúnculos separados durante la cosecha. Esta enfermedad resulta de las infecciones inactivas en el botón peduncular. Las infecciones son iniciadas en todas las etapas de desarrollo del fruto cuando la lluvia es adecuada para la dispersión de esporas de los patógenos (Eckert y Ogawa, 1985). Las esporas pueden también invadir a través de rajaduras entre el pedúnculo y la pulpa de la papaya o por pequeñas lesiones que ocurren en la cosecha (Álvarez y Nishijima, *et al.* 1987).

Estas pudriciones basales inicialmente fueron atribuidas solo a *Ascohyta sp.* (Hine *et al.*, 1965), después otros géneros incluyendo *Botryodiplodia*, *Phomopsis* y ocasionalmente *Fusarium* (Hunter y Buddenhagen, 1972), fueron identificados en tejidos enfermos. Ahora se conoce que varios tipos de hongos *A. alternata*, *S. lycopersici*, *C. gloeosporoides* y *Mycosphaerella sp.* (Álvarez *et al.*, 1977; Chau y Álvarez, 1979 y Chau y Álvarez, 1983), también pueden causar infecciones basales cuando son inoculados solos o en varias combinaciones.



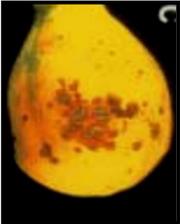
ANTECEDENTES

Existen dos tipos generales de pudriciones superficiales del papayo:

- a) Enfermedades causadas por hongos que infectan completamente frutos verdes e inmaduros aún pegados al árbol. Antracnosis y mancha chocolate por (*Colletotrichum sp.*), mancha negra (*Cercospora sp.*) y pudrición del fruto (*Phytophota sp.*), éstas dos últimas causan síntomas antes de cosecha y los frutos pueden ser desechados antes del empaque (Álvarez y Nelson, 1982; Hunter y Buddenhagen, 1972).
- b) Enfermedades causados por hongos que infectan frutos a través de heridas “patógenos de heridas” ocurriendo antes o durante la cosecha. Los organismos involucrados típicamente son patógenos débiles, tal como: *Mycosphaerella*, *Phomopsis*, *Alternaria*, *Stemphylium*, *Fusarium*, *Guignardia* y *Rhizopus*.

Estas enfermedades se encuentran descritas en la tabla 9.

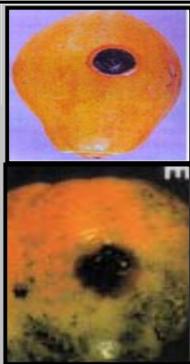
Tabla 9. Síntomas de las enfermedades causadas por hongos.

| a) Enfermedades causadas por hongos que infectan completamente frutos verdes e inmaduros aún pegados al árbol. | |
|--|---|
| Fruto con síntomas | Descripción del síntoma |
| <i>Colletotrichum gloeosporoides</i> Penz. | |
| <u>Antracnosis</u> | |
|  | Pequeñas áreas acuosas que se agrandan a medida que avanza la maduración y llegan a alcanzar 5 cm de diámetro en los frutos. Las lesiones son un tanto hundidas de color café o negruzco. Se producen masas de esporas de color rosado o salmón que en ocasiones aparecen como anillos concéntricos. |
| <u>Enfermedad de la mancha chocolate</u> | |
|  | Lesiones muy pequeñas superficiales de coloración café rojizo o bronceado son los síntomas iniciales. Las lesiones pueden permanecer superficiales o crecer y comenzar a hundirse con márgenes empapados. La forma más común de penetración parece ser a través de la cutícula de los frutos de papaya mediante la formación de apresorios y una especie de “gancho” infectivo, aunque también presenta penetración directa por medio de tubos germinales, además el establecimiento de infecciones latentes por hifas subcuticulares quiescentes dentro del fruto. |



ANTECEDENTES

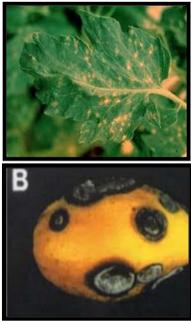
Tabla 9 (Continuación). Síntomas de las enfermedades causadas por hongos.

| <i>Cercospora papayae</i> Hansford | |
|---|---|
| <u>Enfermedad de la mancha negra</u> | |
|  | <p>Los síntomas se expresan por manchas que comienzan como puntos negros, los cuales crecen hasta alcanzar unos 3 mm en diámetro. Estas manchas son superficiales y ligeramente elevadas sin podrir el fruto. En el envés de las hojas se presentan pequeñas manchas (1.5 a 6 mm) de forma circular y color negro. Por el haz su forma es irregular y presenta un color blanco grisáceo y están rodeados por un halo clorótico. Al avanzar el ataque las hojas toman un color amarillento que posteriormente se torna café claro y se quedan adheridos al tallo durante algún tiempo, para después caer.</p> |
| <i>Phytophthora palmivora</i> Butter | |
| <u>Pudrición del fruto</u> | |
|  | <p>Los daños se observan en raíz, fruto y pocas veces en otros órganos. Este hongo está ampliamente distribuido en las regiones tropicales. Lesiones humedecidas café oscuras de 5-10 cm de longitud son causadas sobre frutos y tallos jóvenes. Los frutos comienzan a modificarse (disecarse) y a caerse. Los frutos jóvenes son los más susceptibles, se quedan sin madurar y se caen, presentando áreas necróticas moteados en su exterior. Este patógeno tiene mayor importancia en campo como causante de la pudrición de raíz del papayo y formación de canceres en el tronco, afectando frutos (pudriciones) en poscosecha.</p> |
| <p>b) Enfermedades causados por hongos que infectan frutos a través de heridas “patógenos de heridas” ocurriendo antes o durante la cosecha.</p> | |
| <i>Mycosphaerella</i> sp. | |
| <u>Enfermedad de pudrición</u> | |
|  | <p>Causa una pudrición basal, es inicialmente caracterizado por una zona translúcida alrededor del pedúnculo. En etapas tempranas, solo un ligero empardecimiento del pedúnculo es aparente debido a la invasión del tejido vascular por hifas del hongo. Como la infección progresa, el margen de la lesión permanece translúcido, mientras el tejido infectado sobrante se torna oscuro, arrugado y seco. Micelio blanco se forma en el extremo basal del fruto debido a un estado avanzado de infección. Las manchas humedecidas pequeñas y circulares, crecen lentamente y pueden llegar a 7 u 8 cm de diámetro. Varias lesiones pueden afectar casi el total de un fruto y se desarrolla más en pudrición a 25 y 30°C.</p> |



ANTECEDENTES

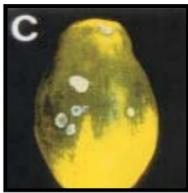
Tabla 9 (Continuación). Síntomas de las enfermedades causadas por hongos.

| <i>Phomopsis sp.</i> | |
|---|--|
| <u>Enfermedad por pudrición</u> | |
|  | <p>El área infectada completa es blanda y translúcida, con picnidios oscuros que pueden formarse en la porción central de la lesión. Una pudrición húmeda, avanza rápidamente de la superficie hacia el interior de la cavidad del fruto, y el tejido infectado puede ser levantado libre del resto del fruto. El tejido infectado se arruga, después se torna translúcido de verde claro a amarillo. Picnidios usualmente se forman sobre la superficie de frutos con infecciones avanzadas.</p> |
| <i>Alternaria alternata</i> | |
| <u>Enfermedad de la mancha</u> | |
|  | <p>Las frutas son atacadas en la madurez y la infección en algunas plantas ocurre a nivel del extremo del tallo, mientras que en otras produce a nivel del extremo de la inflorescencia o en otros puntos a través de heridas, grietas dejados por el desarrollo de un órgano, etc.</p> <p>Esta enfermedad se caracteriza por lesiones oscuras, circulares a ovales que comienzan con masas de esporas negras, restringidas a la superficie del fruto y no causan pudrición extensiva del tejido parénquima.</p> |
| <i>Stemphylium lycopersici Yamamoto</i> | |
| <u>Enfermedad de lesiones y manchas</u> | |
|  | <p><i>S. lycopersici</i> causa manchas en frutos, siendo los síntomas iniciales lesiones pequeñas, café oscuras y redondas.</p> <p>Estas después se extienden y desarrollan márgenes café rojizos a púrpura. Masas densas de esporas de color verde-oscuro cubren las lesiones, y en micelio blanco a gris se forma en el centro de la lesión las infecciones se caracterizan por una decoloración café rojiza del tejido parenquimal y márgenes de tejido sano y enfermo son rojo brillante a púrpura.</p> |



ANTECEDENTES

Tabla 9 (Continuación). Síntomas de las enfermedades causadas por hongos.

| <i>Fusarium solani</i> | |
|---|---|
| <u>Enfermedad que causa lesiones</u> | |
|  | <p>La pudrición por <i>Fusarium</i> causan pequeñas lesiones secas, estas se desarrollan sobre la superficie del fruto y son después cubiertas por una superficie micelial un poco compacta y blanca. El patógeno fue identificado como <i>Fusarium solani</i> Snyder y Hans. La enfermedad se produce esporádicamente sobre frutos después de la cosecha.</p> |
| <i>Fusarium spp.</i> | |
| <u>Enfermedad que causa infección interna en el fruto</u> | |
|  | <p><i>Cladosporium sp.</i>, <i>Penicillium spp.</i> y <i>Fusarium spp.</i> causan infección interna en el fruto de papaya, llamada "Tizon" interno, debido a que la cavidad del fruto es ocupada por una masa de esporas de hongos. Ocurre esporádicamente cuando termina la floración y el fruto no es sellado completamente. Estos hongos pasan a través de un pasaje estrecho que conduce a la cavidad seminal, destruyendo la semilla y también los tejidos cercanos. Los frutos afectados usualmente tienen un pequeño hueco al terminar la floración, frecuentemente con un halo verde claro. Frutas con tales síntomas usualmente maduran irregularmente y son eliminados antes de las operaciones de empaque.</p> |
| <i>Guignardia sp.</i> | |
| <u>Enfermedad por manchas</u> | |
|  | <p>Las infecciones primarias, ya sea mediante ascosporas o conidios, se producen en hojas jóvenes de rápido crecimiento y en pedicelos de frutos. El hongo forma picnidios con gran rapidez y dichos cuerpos fructíferos proporcionan los conidios para que el moho produzca infecciones secundarias en frutos, tallos y otros órganos. Los síntomas se manifiestan en los frutos, observándose formación de numerosas lesiones circulares a ovaladas, de color verde negruzco y de unos 15 mm de diámetro. El hongo puede penetrar hasta el mesocarpo ocasionando una decoloración negruzca en el interior del fruto. Es una enfermedad poscosecha.</p> |



ANTECEDENTES

Tabla 9 (Continuación). Síntomas de las enfermedades causadas por hongos.

| <i>Rhizopus stolonifer</i> | |
|---|---|
| <u>Enfermedad que causa pudriciones</u> | |
|  | <i>R. stolonifer</i> es comúnmente saprofito y patógeno de heridas, este causa pudriciones blandas de frutos y hortalizas. El hongo puede atacar plantas en el campo, frecuentemente aparece como patógeno después de la cosecha, particularmente en almacén, además sobrevive en los desechos de otros cultivos. |
| <i>Penicillium Link</i> | |
| <u>Enfermedad por pudrición</u> | |
|  | Las distintas especies de este género producen “pudriciones por hongos azules” y “pudriciones por hongos verdes”, denominados también pudriciones por <i>Penicillium</i> . Son los más comunes y a veces las más destructivas de todas las enfermedades de poscosecha, ya que afectan a gran número de frutos y hortalizas. |
| <i>Botryodiplodia theobromae</i> | |
| <u>Enfermedad por pudrición</u> | |
|  | <i>B. theobromae</i> produce pudrición en frutos, tubérculos y es invasor secundario en muertes regresivas de muchas plantas en zonas tropicales huecos desprovistos de tejido parenquimal formados en el área infectada, después comienza a llenarse de micelio. En corte longitudinal, el tejido vascular infectado tiene una coloración oscura azulada, pareciéndose a infecciones por <i>Mycosphaerella</i> . |

Fuente: Raabae y Holtzmann (1964), Stanghellini y Aragoki (1966), Chau y Álvarez (1983), Ruíz,(1999), Hiñe *et al.*, (1965), Romero (1980), Holliday (1984), Mosqueda (1985), Álvarez y Nishijima *et al.* (1987), , Agrios (1989), Crop (2005), Montes (1992), Hunter y Buddenhagen (1972).

1.13. ANTRACNOSIS

La antracnosis en el cultivo de papaya es la enfermedad más importante en poscosecha y es causada por el hongo *C. gloeosporoides* Penz y Sacc. Estado imperfecto o asexual de *Glomerella cingulata* (Stoneman) Spauld y H. Scherenk. (Arauz, 2000; Durán *et al.*, 1998; Dickman, 1993; Dickman y Álvarez, 1983; Hunter y Buddenhagen, 1972). *C. gloeosporoides* pertenece a la clase de Deuteromicetes, Subclase Coelomycetidae y al Orden Melanconiales, el género *Colletotrichum* se caracteriza por tener un micelio definido y producir sus conidios en acérvulos (Dickman, 1993; Guzmán, 1998; Arauz, 2000). *C. gloeosporoides* produce conidios hialinos, unicelulares, oblongos u ovoides,



ANTECEDENTES

ligeramente curvados o en forma de campana, de 10-15 μm de longitud y de 5-7 μm de ancho. Las masas de conidios aparecen de color rosa o salmón. Los acérvulos cerosos, que son producidos en tejido infectado son conidióforos erectos, cortos, simples, típicamente con setas y subepidérmicos (Dickman, 1993).

1.13.1. Importancia

Se ha reportado que este hongo puede afectar a un rango amplio de hospederos (Dickman, 1993), entre los que se encuentran el mango (*Mangifera indica* L.), aguacate (*Persea americana* L.), plátano (*Musa spp.* L.), cítricos (*Citrus spp.*), guayaba (*Psidium guajava* L.) y otros cultivos tropicales y subtropicales (Dodd *et al.*, 1992). La antracnosis está considerada como una de las más importantes en poscosecha (Bolkan *et al.*, 1976; Arauz y Mora, 1983 citados por Durán *et al.*, 1998) y es considerada como un factor limitante en la exportación de los frutos, ya que demerita su calidad. En poscosecha puede reducir el rendimiento hasta en un 30% si no se le controla oportunamente (De los Santos *et al.*, 2000). Esta enfermedad ha sido señalada como la principal limitante fitopatológica de los frutos de papaya en poscosecha a nivel mundial que causa pérdidas del 40 al 100%.

1.13.2. Condiciones ambientales

El desarrollo de *C. gloeosporoides* se puede presentar en el campo durante todo el año, pero las condiciones ambientales que favorecen al patógeno son temperaturas entre 25 a 35°C (óptima 28°C) y alta humedad relativa (98%). En el ambiente debe haber humedad para que las esporas puedan germinar, la germinación es nula por debajo del 97% de humedad relativa y se encuentra relativamente inactivo en la época seca. El salpicado de la lluvia es un medio común de dispersión. La severidad de la enfermedad está relacionada con las condiciones ambientales (Dickman, 1993; Sommer y Arpaia, 1992).

1.13.3. Modo de infección

C. gloeosporoides se reproduce en el estado sexual pero es más común en el estado asexual. Las esporas son producidas en el pecíolo (tronco de una planta) casi muerto de las hojas inferiores (Snowdon, 1990; Dickman, 1993; Guzmán, 1998), frutos caídos y en otro tipo de material orgánico (Sommer y Arpaia, 1992). Las esporas son liberadas a la atmósfera por el viento y agua de lluvia. Las corrientes de aire llevan las esporas a los frutos en desarrollo y si las condiciones de humedad son las adecuadas, el hongo



ANTECEDENTES

desarrolla el apresorio por el cual se logra fijar en el fruto; entonces se presenta el período de quiescencia (Dickman, 1993; Guzmán, 1998; Arauz, 2000; Casarrubias *et al.*, 2002). El conidio es producido en una matriz soluble en agua, que se fija en el fruto; el conidio puede germinar fácilmente para producir un tubo germinativo, el cual forma un apresorio sale una hifa fina e infecciosa que penetra la cutícula de la fruta (Dickman, 1993; Arauz, 2000).

1.13.4. Síntomas

Los frutos de papaya no muestran evidencia de infección cuando se cosechan en el estado verde maduro, pero el hongo se activa con el climaterio y los síntomas no se desarrollan sino hasta la fase posclimaterica de maduración (Dickman y Álvarez, 1983; Nishijima *et al.*, 1987). La especie *C. gloeosporoides* produce tres tipos de síntomas en los frutos de papaya: a) lesión típica de la antracnosis, b) mancha chocolate y c) pudrición del pedúnculo (Dickman y Álvarez, 1983). Cuando los frutos infectados comienzan a madurar producen gotas de látex que son exudadas de la superficie y aparecen pequeñas manchas acuosas (Trujillo y Obrero, 1969; Álvarez y Nishijima, 1987), conforme avanza la infección, se forman lesiones circulares hundidas con márgenes de color café brillante translucido. El hongo produce manchas un poco rosadas o anaranjada en la porción central de la lesión. El tejido interno en el área infectada es firme con decoloración grisácea, que posteriormente se torna café; en las células del parénquima se forma una capa callosa que permite que el área infectada sea levantada libremente de la superficie de la fruta (Álvarez y Nishijima, 1987). La pulpa debajo de la lesión es la primera en ponerse blanda, pero la pudrición es limitada en extensión, el perímetro de la lesión se vuelve duro y negro, ya que el fruto opone resistencia al ataque. Algunas veces se presentan múltiples lesiones pequeñas de manchas cafés, las cuales se desarrollan dentro de la lesión típica de antracnosis (Snowdon, 1990). Así mismo, este hongo ocasiona el “pelado de la fruta”, que consiste en el desprendimiento de la cáscara de la fruta madura, siendo el daño más frecuente durante la época de lluvias (De los Santos *et al.*, 2000).

1.13.5. Estudios realizados para el control de antracnosis en papaya

Desde hace mucho tiempo se ha buscado encontrar métodos que ayuden al control de la antracnosis, a continuación se muestran algunos ejemplos de ello en la Tabla 10.



ANTECEDENTES

Tabla 10. Estudios para el control de la Antracnosis.

| TRATAMIENTO | EFEECTO | REFERENCIA |
|--|--|-------------------------|
| Irradiación a 500, 750 y 1000 Gy. Almacenamiento de 21 días. | En papaya, durante los primeros días después de la irradiación, la relación sólidos solubles-acidez titulable, así como el color de la piel, mostraron un aumento al incrementar las dosis de irradiación, sin embargo después de un lapso de tiempo, la tendencia se invirtió y las frutas irradiadas mostraron el proceso de maduración más lento. | Camargoa (2007) |
| Evaluación de 5 fungicidas: benomilo, imazalil, procloraz, azoxystrobin y metil kresoxim. | En papaya, para el control de antracnosis se encontró, en in vivo que el procloraz fue el fungicida con mayor efectividad en un 96.5%, mientras benomilo fue el menos eficiente con un 15.71% de efectividad. Procloraz controló antracnosis y germinación y crecimiento micelial de <i>C. gloeosporioides</i> . | Zabala (2004) |
| Fungicidas azoxystrobin y trifloxystrobin y su combinación con el hidrotérmico (50°C/3 min), a 24°C y 10°C durante 21 días. | En mango, para el control de la antracnosis, el tratamiento hidrotérmico, redujo la intensidad de la enfermedad a 3% en ambas condiciones de almacenamiento. El tratamiento hidrotérmico en combinación con fungicidas redujo la severidad de la antracnosis, con una efectividad entre 90 y 95% para condiciones ambientales, y 61 y 78% para la refrigeración. Los parámetros de calidad: firmeza y sólidos solubles totales no fueron afectados, excepto el % de ácido málico, que presento diferencia significativa en las frutas a condiciones ambientales. | Gutiérrez (2004) |
| Hidrotérmico de 40, 45, y 50°C por 60 y 90 minutos durante 15 días T° de 26-28°C. | En mango, para el control de <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> , el mejor tratamiento fue 50°C por 90 y 60 min. La mayor inhibición del hongo se observó a temperaturas superiores a 45°C. | Rondon (2006) |
| Irradiación a 500 Gy, almacenamiento a 20°C con 90%HR. | En papaya, la firmeza de los frutos se vio retardada por 2 días con el tratamiento, los sólidos solubles, la actividad de celulosa y la producción de etileno no se alteraron por el tratamiento. La actividad de PME, PG y B- galactosidasa, fueron relacionadas con el ablandamiento de la pulpa por la irradiación. | Lajolo (2001) |



ANTECEDENTES

Tabla 10 (Continuación). Estudios para el control de la Antracnosis.

| | | |
|--|--|---|
| <p>Irradiación a 500 Gy, almacenamiento a 20°C con 90%HR.</p> | <p>La actividad de ACC-Oxidasa fue influenciada por la irradiación, pero sus cambios temporales no fueron relacionados con los de firmeza. La irradiación no tiene un efecto directo sobre la firmeza por la síntesis de la enzima durante la maduración.</p> | <p>Lajolo y D'innocenzo (2001)</p> |
| <p>Tratamiento hidrotérmico de 38, 46 y 54°C por 30 min y almacenados a 5°C durante 2, 4 y 6 semanas y finalmente permanecieron a 20°C hasta alcanzar la madurez.</p> | <p>En mango, el índice de daño por el frío y la apariencia fueron influenciados significativamente por la temperatura del agua y el periodo de almacenamiento. Los sólidos solubles totales fueron más altos a 38°C, y la acidez titulable fue más alta a 54°C. El tratamiento térmico tuvo efecto significativo en los parámetros de color de la pulpa (luminosidad, tono, intensidad). La tolerancia de los frutos a los daños por frío puede aumentar después del tratamiento de calor.</p> | <p>Zambrano y Materano (1998)</p> |
| <p>Irradiación con 250, 500, 750, 1000 y 1500 Gy</p> | <p>En papayas, de 5 a 30% de color amarillo no mostro efecto sobre el color de la piel del fruto y en la actividad de PME. De 25 a 30% de color amarillo, la fruta irradiada a 500 y 1000 Gy tenía menos depolimerización y más firmeza que los no irradiados.</p> | <p>Manoa (1996)</p> |
| <p>Irradiación gamma (120, 250, 500, 750 y 1000Gy) e irradiación UVC (0.2, 0.4, 0.84, 1.3 y 2.4 Kj m⁻²).</p> | <p>En papaya, para el control de la antracnosis. A 750 y 1000 Gy se inhibió la germinación conidial y micelial in vitro. Todas las dosis incrementaron la esporulación fungal. A 750 y 1000 Gy se reduce la incidencia y severidad de la enfermedad. Todas las dosis de UV-C inhibieron la germinación conidial y las dosis mas altas de 0.84 Kj m⁻² inhibieron la micelial.</p> | <p>Dom (2006)</p> |
| <p>Vapor de aire a 49°C con de 93%HR por 4 h o bien aire a 49°C por 7 h sólo o combinado con algún fungicida (thiabendazol).</p> | <p>En papaya para desinfectar los frutos de larvas y huevos de la mosca de la fruta.</p> | <p>Dacus y Flores (1991)</p> |



ANTECEDENTES

1.14. TRATAMIENTOS POSCOSECHA

1.14.1. Generalidades

Independientemente del momento de infección, los tratamientos aplicados a los productos cosechados pueden ayudar a combatir enfermedades poscosecha. Estos tratamientos no deben dañar la calidad del producto, ni dejar residuos tóxicos para el consumidor; deben ser económicos y prácticos. En general, los tratamientos poscosecha pueden ser clasificados en las siguientes categorías (Arauz, 1992).

1.14.2. Tratamientos químicos

Aplicación de sustancias con poder bactericida o fungicida, en forma de emulsiones y suspensiones; o bien, en forma gaseosa (fumigación). Al escoger un fungicida para su uso en poscosecha, debe tomarse en cuenta aspectos como espectro de acción, toxicidad, capacidad de penetrar los tejidos del hospedero (sistemicidad), propiedades curativas, tolerancias permitidas y compatibilidad con otras prácticas. Debe evitarse usar productos del mismo grupo en el campo y después de la cosecha, ya que esto favorece la selección de cepas del patógeno resistentes a los fungicidas (Carrillo, 1999).

1.14.2.1. Tratamiento con fungicida

Cerca de 20 compuestos orgánicos han sido extensamente evaluados a través de los últimos 30 años como tratamientos poscosecha para controlar enfermedades en cultivos perocederos. En la Tabla 11, se resumen las características de los principales fungicidas usados en el combate de enfermedades poscosecha.

1.14.3. Tratamiento fisiológico

Incluyen tratamientos que retardan la maduración de los frutos, manteniendo así la resistencia del hospedero, como lo son la refrigeración y la atmósfera modificada. También se considera en esta categoría los tratamientos que promueven la cicatrización de heridas (curado) en tubérculos y frutos cítricos (Arauz, 1992).

La refrigeración es una práctica fundamental en el manejo poscosecha en general, y en el manejo de las enfermedades en particular, ya que no sólo retarda la maduración sino que retarda también el desarrollo de muchos patógenos.



ANTECEDENTES

Tabla 11. Fungicidas para uso poscosecha.

| FUNGICIDA | ESPECTRO DE ACTIVIDAD |
|---|---|
| Benzimidazoiles: ❖ Benomilo ❖ Thiabendazole | Deuteromycetes, Ascomycetes (- <i>Geotrichum</i> , <i>Alternaria</i>) |
| Inhibidores de la Síntesis del Ergosterol: ❖ Imazalil ❖ Prochloraz ❖ Triforine | Deuteromycetes, Ascomycetes (- <i>Alternaria</i> , <i>Phomopsis</i>) |
| Dicarboximidias: ❖ Iprodione ❖ Acylalaninas ❖ Metalaxyl | <i>Botrytis</i> , <i>Sclerotinia</i> , <i>Alternaria</i> , <i>Monilinia</i> |
| Derivados fenólicos: ❖ Bifenilo ❖ SOPP | <i>Penicillium</i> spp |
| Otros: ❖ Dichloran ❖ Sorbatos ❖ Guazatina | <i>Rhizopus</i> , <i>Botrytis</i> , <i>Monilinia</i> <i>Penicillium</i> , <i>Geotrichum</i> <i>Penicillium</i> , <i>Geotrichum</i> y otros (- <i>Alternaria</i> , <i>Phomopsis</i> , <i>Colletotrichum</i>) |

El símbolo menos (-) precede aquellos géneros para los cuales el producto no es eficaz.

Fuente: Arauz (1992).

1.14.4. Tratamientos físicos

Calor y radiación para eliminar el patógeno. Los tratamientos han tenido una aplicación limitada, puesto que a menudo pueden dañar el producto. Entre los usos bien establecidos esta el tratamiento térmico de mangos y papaya para la reducción de la antracnosis. Los tratamientos de irradiación también tienen aplicaciones limitadas porque a menudo los límites de radiación permisibles son insuficientes para reducir las enfermedades.

La respuesta de un patógeno al calor puede estar influenciada por el contenido de humedad de las esporas, la actividad metabólica del patógeno o su inóculo y la edad del inóculo. La humedad influye en la actividad fisiológica, tal como la germinación de las esporas, mismas que son más sensibles al calor cuando han germinado (Barkai- Golan y Phillips, 1991).



ANTECEDENTES

1.14.4.1. Tratamiento hidrotérmico

El tratamiento hidrotérmico estándar de inmersión (48°C, 20 min), ha sido usado exitosamente en varios países para controlar antracnosis, pudriciones basales, e incipientes infecciones de *Phytophthora* (Aragaki *et al.*, 1981). Este tratamiento solo no puede proveer un control satisfactorio de pudrición en frutos (Álvarez *et al.*, 1977), también reduce el tiempo de exposición a dibromuro de etileno requerido para el control de la mosca de la fruta (Eckert y Ogawa, 1985), y retarda ligeramente la maduración (Aragaki *et al.*, 1981). Sin embargo, varios problemas asociados con el tratamiento hidrotérmico han sido reconocidos como: retraso del desarrollo de color (Eckert y Ogawa, 1985), daños acompañados por un incremento en pudrición por *Stemphylium* (Couey *et al.*, 1984; Glazener *et al.*, 1984), pudrición por *Rhizopus* (Nishijima *et al.*, 1990,) y secado o arrugado de frutos en almacenamiento, por lo cual, se debe aplicar una cera al fruto después del tratamiento hidrotérmico (Eckert y Ogawa, 1985). Un tiempo de 20 minutos para el tratamiento hidrotérmico es mucho para operaciones de empaquetamiento a gran escala, por lo cual, se debe reducir el tiempo mediante la adición de fungicidas o incremento de la temperatura del agua (Eckert y Ogawa, 1985).

Un doble tratamiento de inmersión en agua caliente (30 minutos de inmersión a 42°C, seguido por 20 minutos de inmersión a 49°C) provee una desinfestación de moscas de la fruta (es usado como sustituto de la fumigación con dibromuro de etileno) y un excelente control de enfermedades de poscosecha de papaya, cuando se asocia con regulares aspersiones de fungicidas en campo (Cook, 1975; Couey *et al.*, 1984). El tratamiento solo se aplica a papayas que hayan alcanzado un 25% de madurez (Hardenburg *et al.*, 1988).

Este tratamiento es un método alternativo que ha sido usado por varios años para el control de enfermedades fúngicas en poscosecha (Couey, 1989). El efecto del calor en el control de patógenos poscosecha se debe a la desnaturalización de proteínas, liberación de lípidos, destrucción de hormonas, asfixia de tejidos, liberación de reservas alimenticias y daño metabólico, se ha informado la existencia de un efecto directo del calor en la reducción de la viabilidad de los hongos, así como en la capacidad de infección (Barkai-Goldan y Phillips, 1991; Fallik *et al.*, 1995; Dominguez *et al.*, 1998).

Estos tratamientos resultan útiles en muchos casos para el control de hongos, ya que las esporas de los mismos se encuentran en forma latente a nivel superficial o entre las



ANTECEDENTES

primeras capas de células por debajo de la piel de los frutos (Shellie y Mangan, 1994). El tratamiento se utiliza con dos finalidades en papaya para exportación: (1) para destruir esporas de hongos en la superficie del fruto e infecciones latentes y (2) para el control de mosca de la fruta.

El tiempo de inmersión depende de la temperatura del agua, sensibilidad térmica del fruto, variedad y del área de cultivo. En Brasil se emplea la inmersión de los frutos por 20 min a 49°C como tratamiento hidrotérmico de las papayas para exportación a Europa y Estados Unidos (Elesbao-Alves y Cubha-Filgueiras, 1999; Protrade, 1993). En Hawai el tratamiento hidrotérmico estándar de inmersión a 48°C, durante 20 min, ha sido utilizado por más de 30 años para controlar antracnosis, pudriciones basales e infecciones incipientes de *Phytophthora* (Aragaki *et al.*, 1981).

El enfriamiento post hidrotérmico permite un descenso rápido de la temperatura de la pulpa disminuyendo la actividad respiratoria acelerada causada por el calentamiento, además, reduce pérdida de agua por transpiración y regresa a valores normales el grosor de la cutícula (Ponce de León *et al.*, 1996).

Las respuestas fisiológicas de las diferentes especies de frutos a los tratamientos térmicos pueden variar debido a la estación, lugar de producción, climas, tipo de suelo, prácticas culturales, maduración del fruto y cosecha (Fallik, 2004).

El manejo inadecuado de la temperatura en los tratamientos térmicos, puede provocar en los frutos, colapso de la pulpa, frutos sin sabor y en casos severos producción de etanol y acetaldehídos, que son tóxicos para el fruto (Alves *et al.*, 2002).

La gran limitante en el uso de tratamientos térmicos es la carencia de protección contra la recontaminación por patógenos y las lesiones causadas a los frutos, como la decoloración, e incremento en la susceptibilidad a microorganismos, también pueden ser afectados otros factores como el metabolismo de los azúcares, la producción de etileno y etanol, la actividad de enzimas pécticas y pérdida de electrolitos (Sponholz *et al.*, 2004).

1.14.4.2. Irradiación

Para entender el término irradiación, es necesario comprender en primer lugar la palabra radiación.

La *Enciclopedia Científica Van Nostrand* define radiación como (Considine, 1976):



ANTECEDENTES

La emisión y propagación de energía a través del espacio o de un medio material en forma de ondas: por ejemplo la emisión de ondas electromagnéticas, ondas sonoras, etc.

El término radiación o energía radiante, cuando no tiene cualidades, generalmente se refiere a la radiación electromagnética; dicha radiación es comúnmente clasificada según la frecuencia, como radiofrecuencia, microonda, infrarrojo, visible (luz), ultravioleta, rayos X, y rayos γ (gamma).

El uso más común del término radiación, tanto científica como popularmente, se refiere a las ondas o rayos en el espectro electromagnético.

Este espectro presenta la totalidad del rango de frecuencias o longitudes de onda de la radiación electromagnética. Normalmente se representa como una regla a lo largo de la cual se reparte el intervalo de frecuencias.

Muchas de las regiones del espectro son muy conocidas. Microondas, infrarrojo, ultravioleta y rayos X son fuentes de energía que utilizamos habitualmente (Satin, 2000).

El espectro electromagnético se representa en un diagrama en la Figura 3.

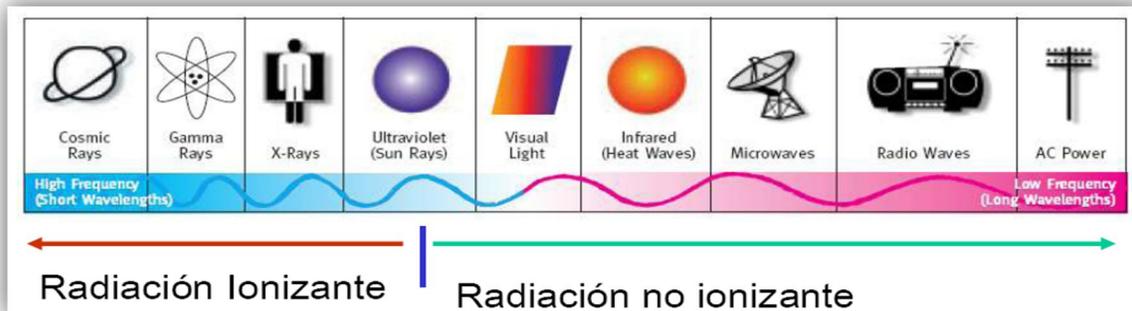


Figura 3. El espectro electromagnético.

Por lo tanto, la irradiación se refiere a la exposición o a la iluminación por rayos u ondas de todo tipo. El *Diccionario Webster* describe la irradiación como sigue (Thatcher, 1971):

Iluminar o esparcir luz; despedir esplendor o brillantez; iluminar; penetrar por radiación; tratar de curar por radiación, como rayos X o rayos ultravioleta.

Está claro que el término irradiación se refiere a un proceso de exposición a todas las longitudes de onda del espectro electromagnético y no sólo a la radiación nuclear (Satin, 2000).



ANTECEDENTES

1.14.4.2.1. Radioactividad

Para comprender como se genera la radioactividad, es esencial conocer los átomos. El núcleo es el centro del átomo, es extremadamente denso y está constituido por partículas pesadas empaquetadas muy próximas entre sí: los protones y neutrones. Para contrarrestar la carga positiva central del núcleo, los átomos tienen electrones que giran alrededor del núcleo. El resultado son átomos con carga eléctrica neutra (Satin, 2000).

Los protones y electrones determinan qué elemento es realmente el átomo. Por ejemplo, el hidrógeno es el átomo más ligero porque tiene sólo un protón en el núcleo y un electrón girando en su órbita. Como los electrones no contribuyen virtualmente al peso del átomo, el número atómico y el peso atómico son simplemente uno (Satin, 2000). Pero puede haber variaciones naturales de los átomos de hidrógeno cuando se empaquetan más neutrones en el núcleo. Por ejemplo, si un átomo tiene un núcleo con un protón y un neutrón, requiere solo un electrón en órbita para que el átomo permanezca neutro.

Mientras el número atómico sigue siendo uno a causa del único protón, el peso atómico será dos, porque los neutrones pesan tanto como los protones. Esta variación del átomo de hidrogeno se llama deuterio. También se llama isótopo de hidrógeno porque tiene el mismo número atómico, pero diferente peso atómico, lo cual se puede observar en la Figura 4 (Satin, 2000).

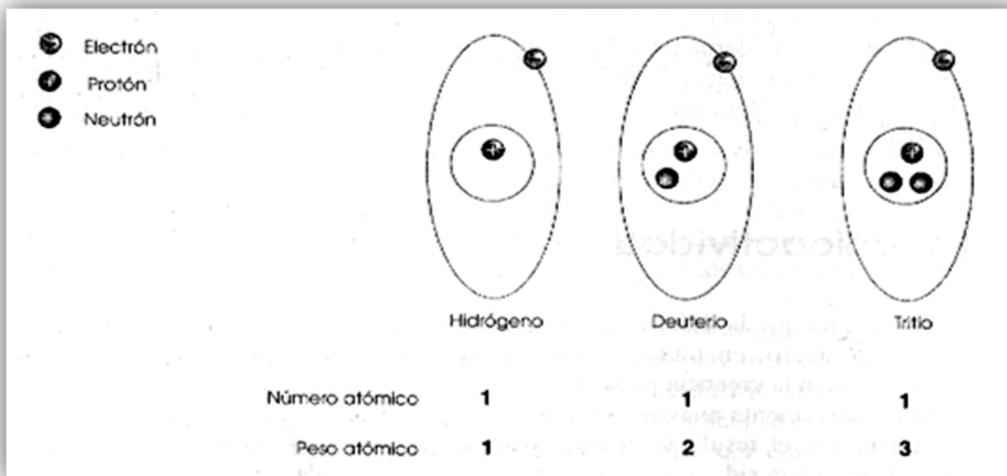


Figura 4. Átomos simples

Aunque algunos isótopos naturales son estables, la mayoría no lo son y tienden a cambiar de forma. Por ejemplo, los neutrones y protones del núcleo del U^{238} apenas se mantienen juntos. Se desprende una partícula constituida por dos protones y dos neutrones y el U^{238} se transforma en otro elemento, el torio²³⁴.



ANTECEDENTES

Este repentino cambio produce energía, que se transmite como radiación. La pequeña partícula desprendida, los dos protones y dos neutrones, se llama radiación alfa (α). El torio²³⁴, también cambia porque es inestable. Por un mecanismo diferente y más complicado, trasforma uno de sus neutrones en un protón, lo que modifica el núcleo. Al mismo tiempo, el átomo descarga un electrón en un proceso llamado radiación beta (β) (Satin, 2000).

El nuevo átomo se llama protactinio²³⁴, muestra las mismas tendencias inestables que el resto de la familia y continúa transformándose. Esta serie de transformaciones naturales no cesa hasta que finalmente se forma un elemento estable, en este caso el plomo²⁰⁶. Durante esta serie de reacciones, ocasionalmente se forma un isótopo tan inestable, que además de las partículas α ó β , se produce un estallido de energía pura, no particulada, llamada radiación gamma (γ) (Satin, 2000).

Todo este proceso de transformación, acompañado de varias radiaciones atómicas se llama radioactividad. La radiación producida como resultado de este mecanismo es la radiación nuclear de la que normalmente se habla. Los nombres originales de los distintos rayos están basados simplemente en su dirección de emisión en un campo magnético. Los rayos alfa (α) siempre van hacia el polo norte de un imán, los rayos beta (β) hacia el polo sur y los rayos gamma (γ) van dirigidos al centro (Figura 5) (Satin, 2000).

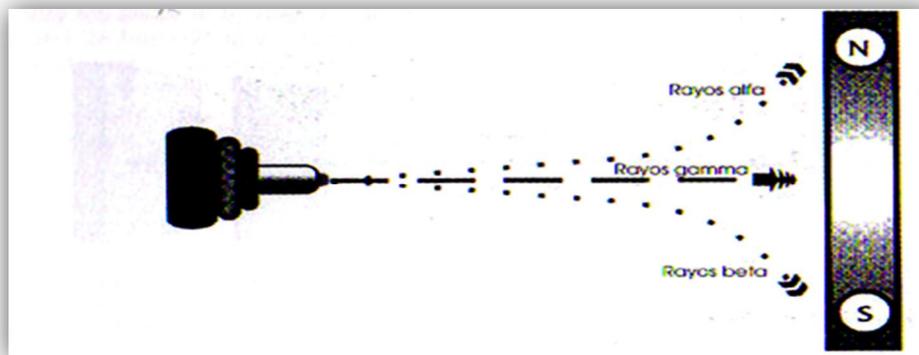


Figura 5. La radiación en un campo magnético.

Los rayos α , β y γ tienen diferentes niveles de energía y difieren en su capacidad para penetrar materiales. Si para comparar damos el valor de 1 al poder de penetración de los rayos α , los rayos β tendrían un valor de 100 y los rayos γ tendrían un valor de 10,000. Mientras los rayos α apenas penetran las capas superficiales de la piel, los rayos β



ANTECEDENTES

(dependiendo si proceden de la radioactividad o de aceleradores de electrones) puede penetrar desde una fina hoja de papel hasta el grosor de un dedo de tejido vivo.

Los rayos gamma, son tan energéticos que sólo pueden ser detenidos por una pesada hoja de plomo o varios pies de agua u hormigón como se muestra en la Figura 6 (Satin, 2000).

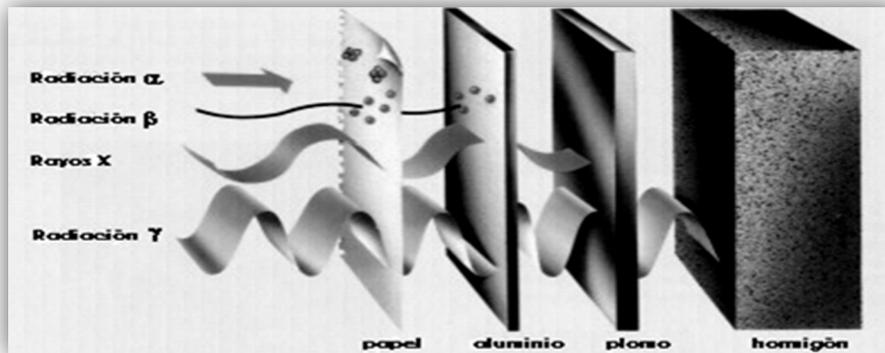


Figura 6. Poder de penetración de los rayos α , β y γ

1.14.4.2.2. *Objetivo del proceso de radiación*

Los objetivos del procesado por radiación incluyen (Molins, 2004):

1. Ampliación de la vida comercial mediante el retraso del proceso fisiológico y bioquímico que conducen a la maduración.
2. Control de los patógenos fúngicos que causan la podredumbre post-cosecha.
3. Inactivación de patógenos humanos para mantener la seguridad microbiológica y la calidad de las frutas y hortalizas cortadas en fresco que se cortan, trocean o se cortan en dados y luego se envasan para uso comercial y al detalle sin una preparación posterior; en semillas, brotes, zumos de frutas y concentrados de zumos de frutas congelados.
4. Un tratamiento de cuarentena para productos sujetos a infestación de plagas de insectos de importancia en la cuarentena.
5. Para aumentar la recuperación de zumo de los frutos de bayas.

1.14.4.2.3. *Proceso de irradiación*

Los rayos gamma, como los rayos X y los haces de electrones de alta energía, se les llama radiación ionizante porque son capaces de llevar electrones fuera de sus orbitas



ANTECEDENTES

normales. Esto hace que el átomo o la molécula no sean eléctricamente neutro y busque otro electrón que lo neutralice de nuevo. Hay otras vías que la naturaleza ha previsto para que los átomos o moléculas pierdan o incluso ganen electrones en el curso de sus reacciones normales. Cuando los átomos o moléculas están cargados eléctricamente (un electrón puede añadirse o perderse), se llaman iones o radicales libres y se dice que se han ionizado. Los radicales libres son un estado intermedio en la mayoría de las reacciones que se dan normalmente en la naturaleza. En este estado de radical libre los átomos son muy reactivos y se combinan con otros radicales libres u otras sustancias (Satin, 2000).

La radiación ionizante es por lo tanto, otra forma de ionizar átomos o moléculas para llevar a cabo reacciones. El calor o la luz pueden hacer lo mismo. La radiación gamma (γ) es un método particularmente efectivo de lograrlo pues su poder de penetración permite ionizar átomos o moléculas uniformemente a través del material (Satin, 2000).

Para obtener los efectos deseables en el proceso de irradiación de alimentos, los productos se exponen a la radiación ionizante de una manera muy controlada. La fuente de radiación más utilizada es el isótopo cobalto⁶⁰. Es un material fabricado por el hombre a partir de la alta purificación del cobalto⁵⁹ no radioactivo. Luego se comprime herméticamente en pequeñas píldoras cilíndricas que son cuidadosamente encajadas en tubos de acero limpios no más largos que un lapicero. Estos tubos en forma de lapicero se colocan en un reactor nuclear donde se les bombardea constantemente con neutrones durante un año. Este proceso origina cobalto⁶⁰ altamente purificado en píldoras, las cuales producen una emisión controlada de rayos γ durante su transformación al estado estable de níquel⁶⁰ (Satin, 2000).

El principio más importante a comprender es que la irradiación de alimentos no los hace radiactivos. El material radioactivo no se deposita en el producto. Cualquier radioactividad que se detecte en el alimento es el nivel natural que se encontraba en él antes de que se sometiera a cualquier proceso. Este nivel de radiación natural existe en todos los alimentos y en todas las cosas (Satin, 2000).

Teóricamente, es posible inducir radioactividad en los alimentos, pero desde el punto de vista práctico es casi imposible. A los niveles de energía de las fuentes empleadas para irradiar los alimentos, no se ha detectado ninguna radioactividad, ni siquiera cuando los productos se han expuesto a dosis en exceso. La afirmación más categórica a este



ANTECEDENTES

respecto la publicó la Administración de Drogas y Alimentos Estadounidense en su registro federal de 1986:

Debido a que no se ha remitido ninguna prueba que contradiga los datos obtenidos por la FDA demostrando que la irradiación de los alimentos no los convierte en radioactivos, no es necesaria una posterior discusión sobre el tema (FDA, 1986).

1.14.4.2.4. Equipo de irradiación

Estos rayos γ de alta energía se utilizan después con un equipo diseñado específicamente para irradiar alimentos. El diseño de un irradiador es sencillo. La fuente de irradiación (Co^{60}) se sitúa en la cámara de irradiación y se almacena en un ambiente protegido cuando no se utiliza. Cuando se necesita, la fuente se saca de su protección para tratar los productos en cuestión. El entorno protegido puede ser una piscina de agua que absorbe completamente la energía, o incluso podría ser el revestimiento protector de plomo en el que la fuente se transportó originalmente. La cámara de irradiación se construye con gruesas paredes de hormigón para retener todos los rayos y que no absorbe el producto. Lo anterior se ilustra en la Figura 7 (Satin, 2000).

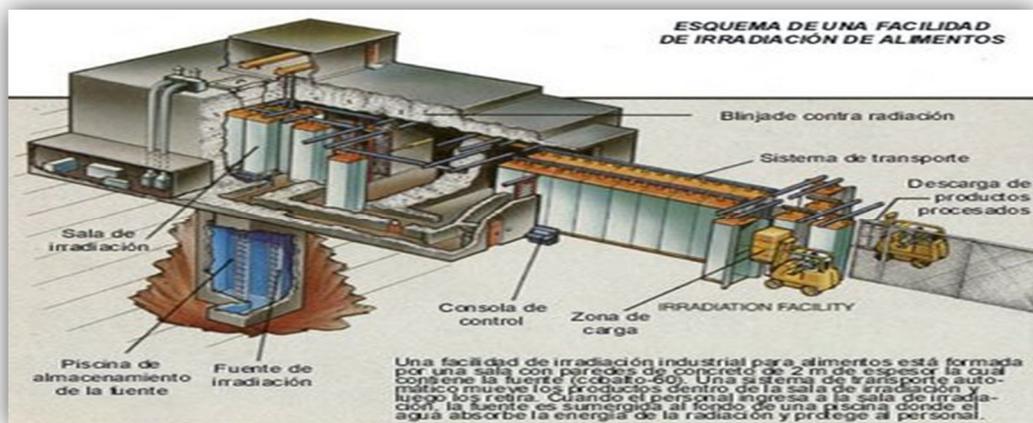


Figura 7. Típica planta de irradiación de alimentos

1.14.4.2.5. Unidades de la irradiación

La cantidad de energía irradiada que un alimento absorbe se mide en Grays (Gy). La unidad representa la cantidad de energía que 1 kilogramo de producto recibe de la radiación ionizante. Un Gy es equivalente a un julio (unidad de energía) por kilogramo. El rango habitual para la irradiación de alimentos es generalmente desde 50 Gy hasta 10,000 Gy dependiendo del alimento en cuestión y del efecto deseado (Satin, 2000).



ANTECEDENTES

Por otra parte, la irradiación penetra completa y uniformemente, por lo que una cantidad pequeña de energía puede cumplir el objetivo requerido sin necesidad de la lenta penetración térmica.

Desde un punto de vista práctico, hay tres tipos de aplicaciones generales y categorías de dosis para los alimentos tratados con radiaciones ionizantes (Satin, 2000):

1. Dosis baja: menor que 1 KGy
 - Inhibición de la germinación
 - Retraso de la maduración
 - Desinfestación de insectos
2. Dosis media: 1 a 10 KGy
 - Reducción de los microorganismos alterantes
 - Reducción de los patógenos no esporulados
 - Retraso de la maduración
3. Dosis alta: 10 a 50 KGy
 - Reducción de los microorganismos a niveles de esterilidad

1.14.4.2.6. Organismos relacionados al tema de irradiación

Durante las pasadas dos décadas, la Organización de Agricultura y Alimentación de las Naciones Unidas (FAO), la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA), y la Organización Mundial de la Salud (WHO) se han involucrado a fondo en el tema de la irradiación alimentaria. Esto es comprensible, puesto que diversos aspectos de la tecnología de la irradiación entran dentro de sus funciones. Entre las principales actividades de la IAEA está la promoción y fomento de las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear. La FAO tiene, entre sus muchas responsabilidades globales, el objetivo de garantizar una reducción mundial de la alteración alimentaria o pérdidas poscosecha, así como la mejora global de la calidad alimentaria, seguridad y nutrición. La WHO está particularmente involucrada porque su principal papel es la mejora de la salud pública a través de la reducción de las enfermedades alimentarias (Satin, 2000).

Como el proceso promete una mejora significativa de la calidad de los alimentos, estas organizaciones iniciaron un esfuerzo a nivel internacional para investigar la seguridad y salubridad de los alimentos irradiados.



ANTECEDENTES

En 1970, el Proyecto Internacional en el Centro de la Irradiación de Alimentos, esponsorizado por la FAO y el IAEA y asesorado por la WHO, se estableció en Karlsruhe, Alemania. Unos veinte países unieron sus recursos para llevar a cabo los análisis químicos y estudios de alimentación animal en un amplio rango de productos irradiados tales como trigo, arroz, carne, pescado, frutas y especias (Satin, 2000).

Como conclusión de esta investigación coordinada, el Comité de Expertos Conjunto FAO/IAEA/WHO en Alimentos Irradiados evaluó los datos y en 1980 afirmaron taxativamente que:

La irradiación de cualquier producto alimenticio a una dosis media general de 10 kGy no presenta ningún riesgo toxicológico; por consiguiente no es necesario realizar más pruebas toxicológicas sobre los alimentos así tratados (WHO, 1981).

Todas estas pruebas, recogidas en casi un siglo de investigaciones científicas y técnicas sobre el tema, llevan a la indiscutible conclusión de que la irradiación de alimentos es un proceso seguro, práctico y beneficioso (Satin, 2000).

La utilización de la irradiación ha demostrado ser extremadamente efectiva en la reducción de la exposición y riesgo a los patógenos vehiculados por alimentos. Obviamente este proceso no excluye la necesidad de continuar con las prácticas higiénicas. La inspección rutinaria será siempre necesaria para garantizar el empleo de las mejores prácticas posibles de manejo y elaboración (Satin, 2000).

Las buenas prácticas de elaboración (GMPs) no suponen una garantía frente a los patógenos. Se utilizan para ofrecer al consumidor un producto de alta calidad y para reducir el riesgo de enfermedades alimentarias.

A pesar de todas las precauciones que se toman para proteger los alimentos frente a estos patógenos, es virtualmente imposible garantizar su total eliminación sólo con buenas prácticas higiénicas.

Las plantas no pueden crecer en ambientes estériles o artificiales. Cuando los microorganismos patógenos no pueden eliminarse, deben destruirse o convertirlos en no ofensivos (Satin, 2000).



ANTECEDENTES

1.14.4.2.7. *Etiquetado de productos irradiados*

Existe un acuerdo general sobre el etiquetado de los alimentos irradiados. El gobierno norteamericano ha afirmado oficialmente que los alimentos irradiados deberán etiquetarse específicamente, “no porque exista ningún temor sobre la seguridad de los usos de la irradiación”, sino por la importancia que dan los consumidores al etiquetado (FDA, 1986).

Si la intención es que los consumidores reconozcan instantáneamente los productos irradiados y comprendan que hay un menor riesgo de enfermedades alimentarias, un símbolo es la mejor forma de hacerlo. Debe ser un símbolo atractivo con un texto que se comprenda. Al final, el uso del símbolo debería ser opcional, con una leyenda escrita obligatoria (Satin, 2000).

A continuación se muestra el símbolo utilizado para la irradiación en la Figura 8.



Figura 8. El símbolo de la Radura

1.14.4.2.8. *Estudios realizados de irradiación en frutas*

En muchas frutas la maduración está asociada con un rápido aumento de la velocidad de respiración. Este aumento, denominado “climaterio”, a menudo se tiene en cuenta como un momento decisivo en la vida de la fruta; el desarrollo y la maduración son completos y comienza la senescencia y el deterioro (Molins, 2004).

En las frutas de la clase climatérica, el estado fisiológico de la fruta con respecto a su posición en la secuencia climatérica determina la respuesta de la fruta irradiada en términos de maduración retrasada y/o tolerancia a la radiación. Estas frutas cuando se irradian a dosis bajas en el estado preclimatérico, a menudo muestran un retraso en la maduración y en la velocidad de senescencia (sobremaduración), pero también exhiben daño por radiación a dosis por encima de la óptima, que puede variar con las especies de frutas, variedad o cultivo. Las frutas en las que el aumento del climaterio respiratorio ya ha empezado o que están en la etapa post-climatérica pueden tolerar dosis de radiación más altas pero no muestran retraso en la maduración o un aumento en la vida comercial. En



ANTECEDENTES

las frutas de clase climatérica, la irradiación, como muchos otros procesos poscosecha tales como la refrigeración, la atmósfera modifica etc. se diseña para ampliar la vida verde preclimatérica de las frutas recolectadas a la vez que se pueden transportar y manejar con facilidad desde los centros de producción a los centros de consumo (Molins, 2004).

Tanto en frutas climatéricas como no climatéricas, los tratamientos combinados implicando la radiación y el calor en forma de inmersión en agua caliente han mostrado ser prometedores en el control de patógenos fúngicos responsables de la podredumbre del almacenamiento (Molins, 2004).

1.14.4.2.9. Efecto de la radiación ionizante sobre la maduración, senescencia y vida comercial de las frutas.

Un trabajo extenso sobre las frutas tropicales tales como plátanos, mango y papaya ha establecido claramente que la madurez de las frutas en la recolección, el tiempo de retraso entre la recolección y la irradiación, y el estado fisiológico de la fruta como relacionado con su posición en el climaterio en el momento de la irradiación puede influir en el retraso de la maduración inducida por radiación (Thomas, 1986).

En variedades de papaya crecidas en Puerto Rico, el retraso en la maduración se indicó por los cambios de color en la piel y la razón de azúcares, observados cuando frutas verdes se irradiaron a dosis de 0.25-0.50 KGy (Jiravatana *et al.*, 1970), mientras que para papayas de la variedad Solo crecidas en Hawaii, una dosis de 0.75 KGy se encontró que era la óptima (Akamine y Wong, 1966). En papayas 'Solo' verdes con un 25% de amarillo, la dosis mínima requerida para aumentar la vida comercial mediante el retraso de la maduración y senescencia fue de 0.50 KGy, mientras que en frutas con un 25-50% de amarillo la dosis requerida fue de 0,75KGy (Akamine y Goo, 1969). En papayas irradiadas, incluso cuando la fruta está completamente coloreada y madura para comer, la pulpa permanece más firme que en la fruta madura comestible no irradiada (Akamine y Goo, 1969; Moy, 1983). La textura firme debería ser una ventaja, ya que las frutas más firmes pueden resistir mejor la manipulación durante el transporte y comercialización que las frutas más blandas. La actividad respiratoria inmediatamente después de la irradiación fue inicialmente elevada, volviendo al nivel de la fruta no tratada en 24 horas (Akamine y Goo, 1971), un retraso en el pico climatérico y por consiguiente la maduración teniendo lugar solamente en las frutas que tienen menos de un 25% de color superficial cuando se irradian (Akamine y Goo, 1977). Las papayas verdes con un cuarto de madurez (25% de



ANTECEDENTES

amarillo), pueden tolerar hasta 1 KGy de radiación gamma antes de que tenga lugar el escaldado superficial, aunque para algunas variedades de Venezuela la dosis de tolerancia estaba en el intervalo entre 1,0 y 1,5 kGy (Moy, 1983), por encima de las cuales la mayoría de las variedades desarrollaron escaldado de la piel. Un estudio más reciente indicó que las frutas recolectadas en un estado de ruptura de color (menos del 10% de amarillo en piel) y tratadas con 0.25 KGy frecuentemente se ablandaron de un modo más uniforme que la fruta no irradiada. Aunque no hubo diferencia en la velocidad de ablandamiento entre la fruta irradiada y no irradiada en la etapa verde de maduración, las frutas que se irradiaron cuando un 30% de la piel era amarilla se ablandaron a una velocidad más lenta que la fruta no irradiada. Las frutas teniendo menos de un 25% de su superficie coloreada de amarillo, colocadas inmediatamente en almacenamiento a 10°C después de la irradiación a 0.25 KGy, desarrollaron escaldado de la piel que se provino mediante el retraso de 12 horas en el almacenamiento. La temperatura de almacenamiento, la madurez de la fruta en la recolección – evidenciado por el porcentaje de coloración – así como también la temperatura durante la estación de crecimiento (frutas madurando durante los climas más cálidos y más fríos), se encontró que todos tenían influencia en el comportamiento de la maduración después de la irradiación de las papayas (Paull *et al.*, 1999).

Se debe resaltar que el control, por radiación de los patógenos fúngicos causantes de la podredumbre post- recolección de los plátanos, de los mangos y de las papayas no ha tenido éxito, a medida que las dosis necesarias para conseguir el control efectivo de los patógenos de las plantas dio invariablemente como resultado daño del organismo receptor. Por consiguiente, la estrategia ha sido la de combinar la irradiación a una dosis baja con otros tratamientos físicos y químicos (Molins, 2004). Se ha postulado que la inhibición de la maduración provocada por la irradiación implica una sensibilidad disminuida a la acción de la maduración del etileno (Maxie y Sommer , 1968; Thomas *et al.*, 1971; Strydom y Whitehead, 1990).

Como resultado de la prohibición del uso de dibromato de etileno (EDB), la industria hawaiana de la papaya utilizó la técnica de la doble inmersión en agua caliente para asegurar la desinfestación de la fruta. Este método puede dañar el producto y para soportar el tratamiento, debe recolectarse verde. La irradiación es un procedimiento ideal de desinfestación porque es muy efectivo y no tiene un efecto negativo sobre la calidad de la fruta. Las pruebas de mercado se llevaron a cabo en dos supermercados de California



ANTECEDENTES

en 1987 para conocer la respuesta de los consumidores a las papayas irradiadas (Bruhn y Noell, 1987).

1.14.4.2.10. Cambios en el ácido ascórbico

Es conocido que la irradiación da como resultado la oxidación del ácido ascórbico en ácido deshidroascórbico que también tiene un actividad biológica: por lo tanto para una verdadera comparación del efecto sobre los cambios del ácido ascórbico, es importante estimar el contenido de ácido ascórbico total (es decir, el ácido reducido más el deshidroascórbico). La mayoría de los resultados informados en la bibliografía parecen sugerir que la pérdida importante de vitaminas no tiene lugar en las frutas irradiadas a dosis óptimas para conseguir el efecto técnico deseado, o a dosis toleradas por el producto (Molins, 2004).

En papaya de la variedad Solo irradiadas a 0.25, 1,00 y 3,00 KGy, no se observaron cambios apreciables en el ácido ascórbico total en ninguna de las etapas de madurez (Hilker y Young, 1966), mientras que una comparación del ácido ascórbico reducido en papayas irradiadas y fumigadas (con dibromuro de etileno, EDB) durante el almacenamiento a 12.8°C mostró que el contenido de ácido ascórbico reducido fue significativamente más alto en la fruta irradiada que en los controles fumigados (Wenkam y Moy, 1969). De un modo similar, el contenido de ácido ascórbico o reducido de papaya sometidas a combinación de agua caliente e irradiación (Dollar *et al.*, 1970) o agua caliente, encerado e irradiación (Bayers *et al.*, 1979) no mostraron una importante reducción.

Los resultados de estudios más recientes apoyan las anteriores observaciones sobre el mismo efecto de la irradiación sobre los niveles de ácido ascórbico en la fruta tropical. Los niveles de ácido ascórbico (AA) y ácido deshidroascórbico (DHA) en papaya Solo y mangos Keitt irradiados en su estado verde a dosis de 0.50-0.95 KGy fue significativamente más elevado que en las del control y en las papayas irradiadas a 0.55-0.74 KGy. El contenido de DHA en los mangos y papayas durante el almacenamiento fue relativamente estable, y la irradiación no le afectó de un modo significativo (Lacroix *et al.*, 1990).

Durante los ensayos de mercado, las papayas irradiadas y las sumergidas en agua caliente se ofrecieron unas junto a las otras. Los resultados indicaron que las papayas



ANTECEDENTES

irradiadas se vendieron más que las sumergidas en agua caliente en una proporción de diez a uno (Satin, 2000).

1.14.4.2.11. Carotenoides

No se han observado cambios significativos en el contenido inicial de carotenoides o su formación durante la maduración como resultado de la irradiación de papayas como consecuencia de una combinación de inmersión en agua caliente, encerado e irradiación de 0.75, 1.50 ó 2.00 KGy. En la mayoría de los casos, se produjo un aumento aparente en los niveles de caroteno mediante la irradiación, pero este fue eclipsado por el aumento mucho mayor que tuvo lugar como consecuencia de la maduración (Thomas y Beyers, 1979). Varias investigaciones de laboratorio y simuladas así como también en ensayos de envío a gran escala con papayas. Solo cultivadas en Hawaii no ha mostrado cambios significativos en el contenido de carotenoides en frutas tratadas en agua caliente (49°C, 20 min) seguida de irradiación a dosis de 0.50, 0.75, 1.00 y 1.5 KGy (Dollar *et al.*, 1971).

Control de podredumbre fúngica poscosecha en frutas mediante irradiación sola o en combinación con otros tratamientos.

La podredumbre poscosecha de las frutas se puede iniciar mediante infecciones latentes durante el período de crecimiento de la fruta, que llega a ser activa solamente en la etapa poscosecha, y/o a la invasión a través de heridas producidas durante la recolección y manipulación o por heridas realizadas por plagas de insectos. La posibilidad de la utilización de radiación ionizante, particularmente rayos gamma, para reducir la podredumbre fúngica es muchas especies de frutas durante el almacenamiento ha sido tratada en varias revisiones (Moy, 1983; Thomas, 1986, 1988). El principal impedimento para la utilización práctica de la radiación para el control de enfermedades en la mayoría de las especies de fruta con la excepción de algunas frutas de bayas tales como fresas, arándanos y uvas parece ser que la dosis necesaria para el control efectivo de los patógenos de las plantas causantes del deterioro dan como resultado de un modo invariable sabores indeseables, ablandamiento del tejido y fitotoxicidad en la fruta. Por otra parte, a menudo la irradiación gamma puede ser combinada con otros tratamientos físicos (por ejemplo, inmersión en agua caliente, atmósfera controlada), o con agentes químicos para controlar las enfermedades después de la recolección.



ANTECEDENTES

El resultado de la “combinación de tratamientos” puede implicar efectos sinérgicos o aditivos conduciendo a la disminución de la necesidad de tratamiento para uno o más de los agentes combinados (Molins, 2004).

Las frutas tales como plátanos, mangos y papayas, una combinación de inmersión en agua caliente e irradiación pueden llevar consigo un mejor control de las enfermedades fúngicas que el control que se podría conseguir por cualquiera de los tratamientos de un modo individual. A su vez, esta combinación de tratamientos puede retrasar la velocidad de maduración y senescencia de estas frutas, mejorando así su vida comercial global (Akamine y Wong, 1996; Hunter *et al.*, 1969; Dollar *et al.*, 1971; Dollar y Hanoka, 1973; Moy, 1983; Padwal-Desai *et al.*, 1973; Brodrick *et al.*, 1976; Brodrick y Van Der Linde, 1981; Lacroix *et al.*, 1991; Thomas *et al.*, 1997). Las necesidades de tiempo y temperatura y las tolerancias al calor y a la radiación y la secuencia de aplicación de los tratamientos pueden variar con el patógeno fúngico, las especies de frutas y entre variedades de las mismas especies. También para obtener el efecto técnico deseado, es importante llevar a cabo los tratamientos combinados sin mucha demora entre tiempos (Brodrick y Van Der Linde, 1981). El agua caliente sola o con inmersión en fungicida caliente, da como resultado una aceleración de la maduración y de este modo un acortamiento de la vida global del mercado del producto (Molins, 2004).

La aplicación de benomilo caliente inmediatamente seguido por irradiación proporciona un control efectivo de la antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) y de la podredumbre del extremo del pedúnculo (*Dothiorella dominicana*) durante 15 días de almacenamiento a 20°C (Molins, 2004).

Varias líneas de evidencia muestran que el buen control de patógenos fúngicos es posible mediante la combinación de irradiación con fungicidas químicos o mediante una combinación de radiación, calor y fungicidas. La ventaja es que la severidad requerida por cada tratamiento si se aplica solo puede ser rebajada en términos de dosis de radiación, concentración de fungicida o de valor tiempo-temperatura del tratamiento con calor. Los tratamientos combinados consisten en la irradiación a 0.20 - 0.75 KGy y agua caliente (53°C) ó imazalil caliente (0.1% d.i., a 53°C) durante 3 minutos fueron más efectivos que los tratamientos simples para el control de antracnosis y podredumbre del extremo del pedúnculo de mangos de la variedad Tommy Atkins causada por *Colletotrichum*



ANTECEDENTES

gloeosporioides y *Diplodia natalensis* o *Phomopsis citri*, respectivamente (Spalding Y Reede, 1986).

1.14.4.2.12. Efecto de la irradiación sobre los atributos de calidad sensorial

Los frutos son apreciados por su delicado sabor y aroma; de este modo la conservación de las típicas calidades sensoriales de las frutas irradiadas son propósitos de ampliar su vida comercial o de cuarentena es un requisito importante en términos de aceptabilidad por parte del consumidor. Varias evaluaciones sobre la calidad sensorial de las frutas irradiadas se han llevado a cabo utilizando tanto paneles de cata entrenados como no entrenados con frutas mantenidas bajo condiciones de laboratorio o después de condiciones simuladas y de condiciones actuales de envío. Estas evaluaciones han mostrado que los atributos de calidad tales como gusto, aroma, sabor, color y textura no se ven afectados en una extensión significativa en una variedad de especies de frutos tropicales, subtropicales y de zonas templadas que han sido tratadas con radiación gamma, electrones o rayos X a las dosis óptimas para conseguir el efecto técnico deseado en cada una de las especies particulares de frutas (Molins, 2004).

1.14.4.3. Normatividad

Se reporta que hasta el año 2009, son 56 países que autorizan el consumo de diversos alimentos irradiados. Las aprobaciones existentes son de variada índole: por “productos”; por “clases”, basándose en similitud de composición química; o más evolucionadamente, autorizando el proceso en general, como la legislación de Brasil que, coherentemente con el documento de WHO 1999, permite desde 2000 la irradiación de cualquier alimento a cualquier dosis compatible con la conservación de sus características sensoriales y tecnológicas. Así mismo autorizan por clases: Arabia Saudita, Argelia, Bangladesh, Bélgica, China, Croacia, Filipinas, Ghana, India, México, Pakistán, Paraguay, Perú, Reino Unido de Gran Bretaña, República Checa, Siria, Sudáfrica, Tailandia, Turquía, Vietnam, Zambia. Y tienen varias clases autorizadas: Estados Unidos, Federación Rusa, Francia, Holanda, Indonesia, Ucrania, Yugoslavia. En la base de datos de la Agencia Internacional de Energía Atómica se puede encontrar la lista de productos o clases que autoriza cada país (IAEA, 2010). En la actualidad, 23 países autorizan la irradiación de alimentos con fines fitosanitarios, entre ellos México, Estados Unidos, Australia y Nueva Zelanda.



ANTECEDENTES

En el plano internacional, tanto el *Codex Alimentarius* como la Convención Internacional de Protección Vegetal (IPPC), órganos de FAO, tienen 2 normas cada uno sobre irradiación de alimentos (WHO, 1999). En 2003, el Instituto Argentino de Normatización de Argentina (IRAM) aprobó la norma 20.301: “Buenas Prácticas de Procesamiento para la Irradiación de Alimentos destinados al Consumo Humano” (IAEAb, 2010). Esta fue propuesta por IRAM en 2004 a la Organización Internacional de Normatización (ISO) y está actualmente en estudio por un grupo de trabajo llamado “Irradiación de Alimentos”.

En México, en el 2005 la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios dio aviso de la cancelación de la Norma Oficial Mexicana NOM-033-SSA1- 1993, *Bienes y Servicios. Irradiación de Alimentos. Dosis permitidas en alimentos, materias primas y aditivos alimentarios*, publicada en el diario oficial de la federación el 3 de julio de 1995. Esto se debe a que se encontró que las dosis que puede aplicarse en nuestro país, no representan un riesgo por sí mismas, lo que ocasiona una salida de divisas, sin aportar condición alguna a la reducción de riesgos sanitarios y que no existe metodología analítica que permita demostrar que un producto ha sido irradiado. Esto provoca un trato discriminatorio con respecto a otros países en los que se permite la irradiación de materias primas y productos a dosis mayores que las establecidas en dicha Norma Oficial Mexicana (Secretaría de Salud, 2006).



OBJETIVOS



OBJETIVOS

2. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de tratamientos de irradiación gamma, hidrotérmico y lavado con fungicida en el control de antracnosis en papaya variedad 'Maradol' que permita alargar la vida útil y mantener la calidad del fruto para su exportación.

2.1. OBJETIVOS PARTICULARES

Objetivo particular 1

Establecer el mejor método de inoculación (zona específica y frotación) de *C. gloeosporioides* en papaya variedad 'Maradol' que permita contar con lotes de frutos que presenten síntomas de antracnosis.

Objetivo particular 2

Seleccionar el estado de madurez de la papaya que no afecte la respuesta al tratamiento por irradiación gamma e hidrotérmico.

Objetivo particular 3

Seleccionar las dosis del tratamiento por irradiación gamma (500, 1000, 1250, 1500 y 2000 Gy) e hidrotérmico (49°C por 20 min; 55 °C por 5 min) que ayuden a la inactivación de *C. gloeosporioides* y no dañen la calidad de la papaya.

Objetivo particular 4

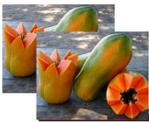
Evaluar los efectos provocados por la irradiación gamma, hidrotérmico y lavado con fungicida en los parámetros de calidad (pH, acidez, sólidos solubles, ácido ascórbico, firmeza y color), parámetros fisiológicos (respiración) y atributos sensoriales (sabor, color, aroma y textura) de las papayas almacenadas a 20°C y 12°C.

Objetivo particular 5

Relacionar los cambios producidos por el tratamiento de irradiación gamma, hidrotérmico y lavado con fungicida en la actividad de la enzima pectinmetilesterasa (PME) con la disminución de firmeza en papaya.



MATERIALES Y MÉTODOS



3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. CUADRO METODOLÓGICO

En la Figura 9 se muestra la secuencia metodológica para poder cumplir con los objetivos planteados en la siguiente investigación.

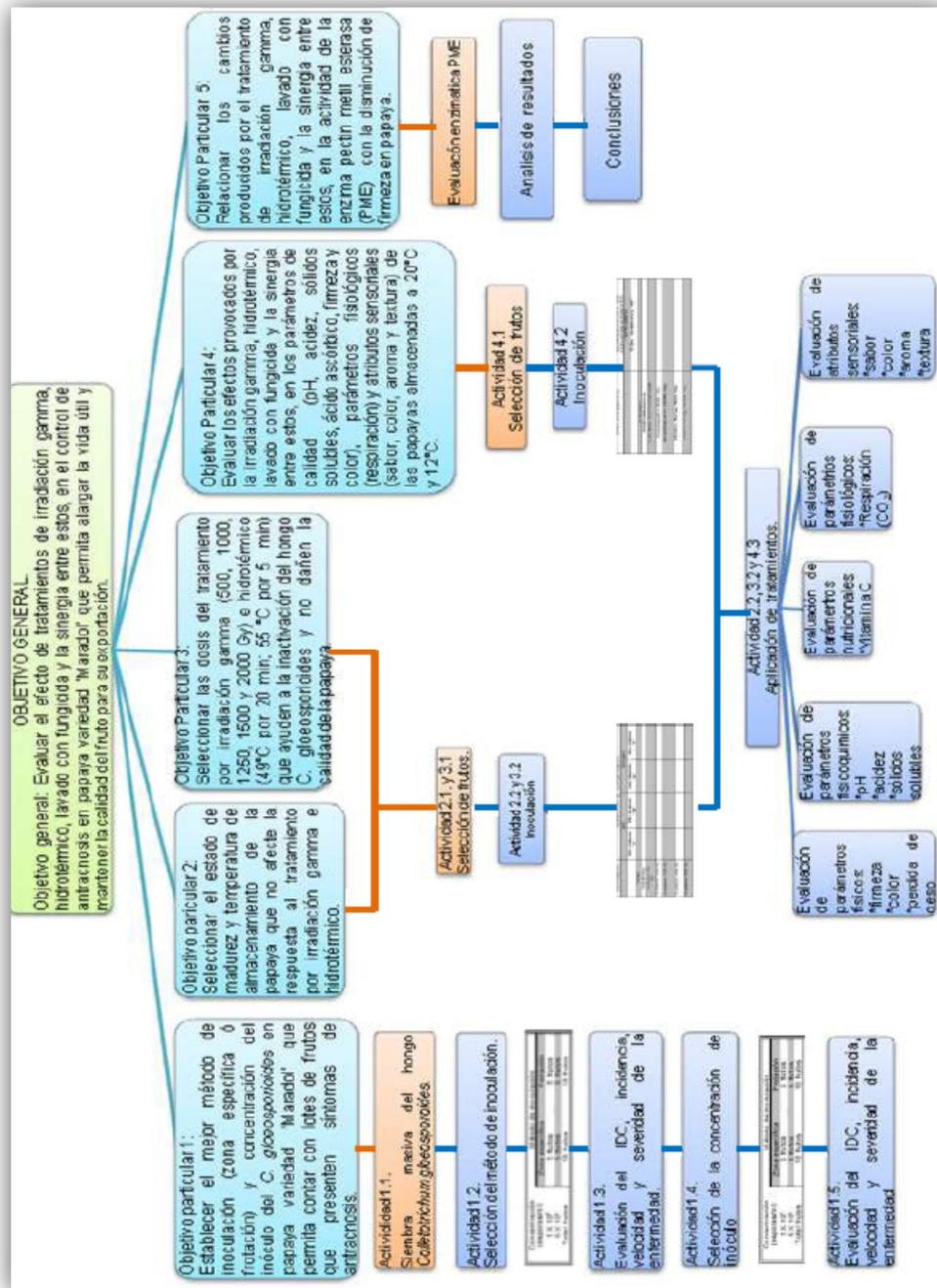


Figura 9. Cuadro metodológico



MATERIALES Y MÉTODOS

3.2. MATERIAL BIOLÓGICO

Papayas de la variedad 'Maradol', originarias del estado de Chiapas y de la Central de Abastos Iztapalapa en estado pre-climatérico y climatérico se adquirieron directamente del productor, transportadas por vía terrestre en cajas de cartón (25, 49.5 y 38.5 cm de alto, largo y ancho, respectivamente), con un contenido de 9-11 papayas y envueltas en papel de estraza, hasta el Laboratorio de Poscosecha de Productos Vegetales del Centro de Asimilación Tecnológica de la UNAM (Figura 10).



Figura 10. Material biológico

3.3. TRATAMIENTO DE LA MUESTRA

Las papayas se seleccionaron con base al tamaño (diámetro longitudinal y diámetro ecuatorial), peso y color, para contar con lotes de frutos homogéneos, además se eliminaron aquellas papayas que pudiesen haber presentado enfermedad, lesiones por insectos ó lesiones mecánicas durante su transporte (Figura 11).

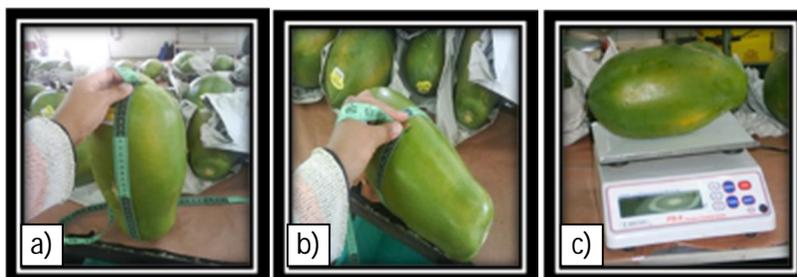


Figura 11. Tratamiento de la muestra: a) medición de diámetro longitudinal, b) medición de diámetro ecuatorial y c) pesaje de muestra.

Posteriormente se clasificaron de acuerdo a su estado de madurez; las que presentaron 3/4 de color verde se les denominaron estado de madurez "A", y las que mostraron 2/4 de color amarillo fueron las pertenecientes al estado de madurez "B" (Figura 12).



Figura 12. Estados de madurez “A” (3/4 de verde) y “B” (2/4 amarilla).

3.4. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS QUÍMICOS Y FISCOQUÍMICOS

Los parámetros químicos y fisicoquímicos se determinaron en papayas en madurez comercial para conocer la composición química de la materia prima del presente estudio. Los parámetros químicos evaluados fueron: humedad, carbohidratos, fibra, proteína, cenizas; los parámetros nutricionales: ácido ascórbico (Vitamina C), y los parámetros fisicoquímicos: pH, acidez, sólidos solubles, de acuerdo a las técnicas analíticas descritas en el apartado 3.11.

3.5. APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS POSCOSECHA PARA CONTROL DE ANTRACNOSIS

3.5.1. Irradiación

Los tratamientos por irradiación gamma se llevaron a cabo en ‘Sterigenics’ y en el Instituto de Ciencias Nucleares de la UNAM.

Antes de iniciar las evaluaciones se determinó la razón de dosis absorbida y los tiempos de exposición para los tratamientos. Una vez obtenida la calibración del tiempo de exposición de cada tratamiento, se realizó un mapeo (Figura 13) de distribución de dosis en los contenedores de irradiación.

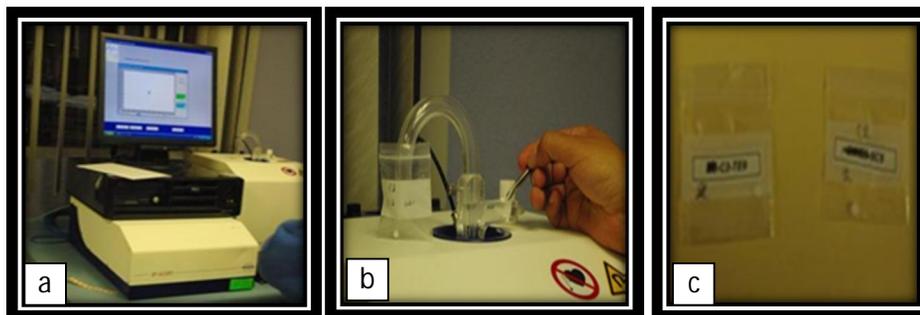


Figura 13. Mapeo para irradiar las muestras: a) espectrófotometro b) colocación de dosímetros para su lecturay c) dosímetros de alanina.



MATERIALES Y MÉTODOS

En la planta de irradiación 'Sterigenics' los lotes de papaya, se acomodaron en contenedores metálicos (Figura 14) antes de entrar al irradiador comercial que consistía en una sala con paredes de concreto de 2 m de espesor, y utilizaba una fuente de Cobalto 60, donde un sistema de transporte automático movía el producto a una velocidad constante dentro de la sala de irradiación y de acuerdo a la dosis aplicada se regulaba el tiempo de residencia. El tiempo que permanecieron los frutos dentro de la sala, es un factor que determina la cantidad de Gy que recibieron los frutos. Los dosímetros se colocaron para comprobar que los frutos hayan sido irradiados a la dosis correspondiente.



Figura 14. Recepción de los frutos en Sterigenics

Una vez irradiados todos los lotes de papayas, los frutos fueron trasladados al Laboratorio de Poscosecha de Productos Vegetales del Centro de Asimilación Tecnológica de la UNAM.

3.5.2. Hidrotérmico

Para llevar a cabo el tratamiento hidrotérmico se acondicionó un recipiente de plástico, ocupando la resistencia de un baño hidrotérmico para poder controlar la temperatura en el medio; este tratamiento se hizo a diferentes condiciones según el experimento: una a $T=49\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 20 min (Flores, 1991) y otra condición fue $T=50\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 5 min. Inmediatamente después los frutos se colocaron en otro recipiente para llevar a cabo el enfriamiento en donde la temperatura del agua fue de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. En la Figura 15 se observa la aplicación del tratamiento hidrotérmico a las papayas.



Figura 15. Tratamiento hidrotérmico



MATERIALES Y MÉTODOS

Un aspecto importante de mencionar es que el agua utilizada tanto en el calentamiento como en el enfriamiento se cambio cada que se aplicó un tratamiento diferente a las papayas, esto para evitar una contaminación cruzada. El agua utilizada fue previamente desinfectada con Microdyn (plata ionizada).

Una vez terminado el tratamiento los frutos fueron almacenados de acuerdo al diseño de experimentos que se describirá en el apartado 3.7.

3.5.3. Lavado con fungicida

El tratamiento que consistió en un lavado con fungicida, se aplicó a los lotes de papaya por medio de inmersión en agua con una concentración de 0.5 g/L del fungicida “Benomilo”, la inmersión duró 20 minutos a temperatura ambiente, de acuerdo a recomendaciones bibliográficas (Bolkan *et al.*, 1976).

La Figura 16 muestra como se elaboró la dilución del fungicida, para después colocarlo en un recipiente de capacidad mayor y por inmersión aplicarlo.



Figura 16. Elaboración de la solución de fungicida.

3.5.4. Hidrotérmico-Lavado con fungicida-Irradiación

Para la aplicación de este tratamiento, se llevó a cabo la misma metodología que para el lavado con fungicida, la diferencia radicó en la temperatura del agua con la solución de fungicida (50°C) y el tiempo de inmersión (5 minutos) de los frutos. Posteriormente los frutos pasaron a la etapa de enfriamiento, tal como se mencionó en el tratamiento hidrotérmico. En la Figura 17 se muestra como fueron aplicados los primeros tratamientos combinados (hidrotérmico-lavado con fungicida).



MATERIALES Y MÉTODOS



Figura 17. Papayas en aplicación del tratamiento hidrotérmico y lavado con fungicida.

Una vez terminada la primera combinación de tratamientos, se dejaron secar los frutos, para después acomodarlos en cajas para la aplicación de la irradiación.

3.6. SECUENCIA PARA LA INOCULACIÓN DE *Colletotrichum gloeosporioides*

3.6.1. Preparación de la solución de esporas de *Colletotrichum gloeosporioides* (inóculo)

Para conocer la efectividad de los tratamientos por irradiación, hidrotérmico y lavado con fungicida en el control de la antracnosis se partió del hongo *Colletotrichum gloeosporioides* purificado e identificado previamente en el Laboratorio de Poscosecha de Productos Vegetales del Centro de Asimilación Tecnológica de la UNAM, proveniente de frutos de mango enfermos. A partir de éste, se realizó una resiembra en 50 cajas petri con superficie de agar papa dextrosa (infusión papa natural), colocando esporas de moho en 3 puntos equidistantes por cada una de éstas, como se muestra en la Figura 18. Posteriormente se incubaron a 25°C durante 7 días exponiéndolas a un foto-período que se realizó mediante su exposición a 12 horas de luz blanca y 12 de luz negra para favorecer la esporulación.

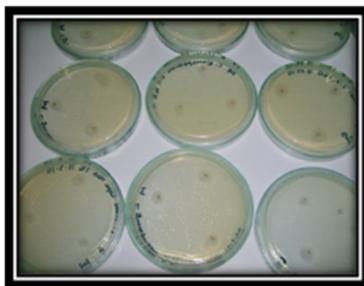


Figura 18. Muestra la resiembra de *Colletotrichum gloeosporioides*.

El hongo fue creciendo, hasta obtener el micelio blanco y al fondo de la caja en color salmón característicos como se muestra en la Figura 19.



MATERIALES Y MÉTODOS

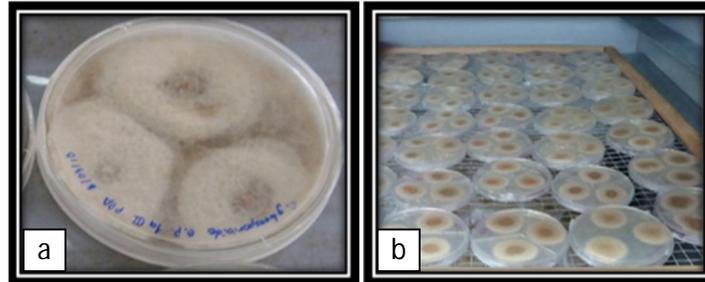


Figura 19. Crecimiento de *Colletotrichum gloeosporioides*: a) micelio blanco y b) color salmón de las colonias.

Posteriormente se llevó a cabo una serie de pasos para obtener el inóculo (Figura 20), los cuales se describen a continuación: se preparó una solución de Tween al 5% (para reducir la tensión superficial) , la cual fue esterilizada junto con los materiales que se ocuparon para la obtención del inóculo, se rasparon cada una de las cajas para poder arrastrar las esporas del moho, lo anterior se realizó con un bisturí, posteriormente lo que se obtuvo de cada una de las cajas se filtró, obteniendo así el inóculo. Una vez alcanzado cierto volumen de inóculo, se procedió con el raspado de las demás cajas con la finalidad de alcanzar la concentrando la solución de inóculo requerido.

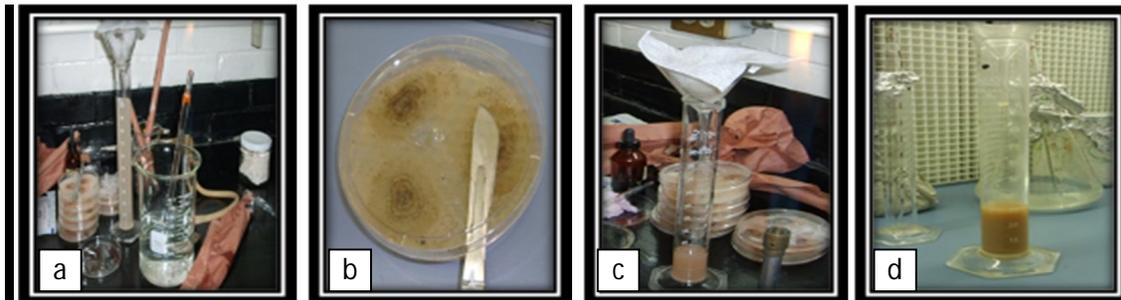


Figura 20. Serie de pasos para la obtención del inóculo: a) esterilización de material raspado de colonia de moho c) filtrado del inóculo d) obtención del inóculo.

Una vez obtenido el inóculo se procedió al conteo de esporas mediante una cámara de NeuBauer, la cual es una placa que cuenta con 2 áreas y cada área se encuentra conformada de la siguiente manera: 4 cuadros divididos a su vez en 16 y 1 cuadro central dividido en 25 cuadros como se muestra en la Figura 21.



MATERIALES Y MÉTODOS

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 3 | 4 | 5 | | | 2 | 7 | 7 | 9 | | |
| 5 | 4 | 3 | 2 | | | 3 | 5 | 6 | 1 | | |
| 5 | 4 | 3 | 1 | | | 7 | 8 | 2 | 6 | | |
| 6 | 7 | 8 | 9 | | | 3 | 9 | 3 | 1 | | |
| A | | | | 2 | 7 | 7 | 9 | 5 | B | | |
| | | | | 3 | 5 | 6 | 1 | 2 | | | |
| | | | | 7 | 8 | 2 | 6 | 1 | | | |
| C | | | | 3 | 9 | 3 | 1 | 9 | D | | |
| | | | | 6 | 7 | 8 | 9 | 1 | | | |
| 2 | 7 | 7 | 9 | E | | | | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 3 | 5 | 6 | 1 | | | | | 5 | 4 | 3 | 2 |
| 7 | 8 | 2 | 6 | | | | | 5 | 4 | 3 | 1 |
| 3 | 9 | 3 | 1 | | | | | 6 | 7 | 8 | 9 |

Figura 21. Muestra las divisiones que conforman 1 de la cámara de Neubauer, los números representan un ejemplo de esporas encontradas en esta área.

Para realizar el conteo de esporas, se siguió la metodología mostrada en la Figura 22, la cual consistió en: colocar sobre la cámara de Neubauer un cubreobjetos específico para luego colocar una gota de inóculo en la parte central, la cámara de Neubauer se llevó al microscopio en el cual se realizaron los ajustes para poder ver la cuadrícula (ajuste de luz y resolución).

Debido a que el inóculo se encontraba muy concentrado se procedió a realizar diferentes diluciones, facilitando así el conteo en microscopio, estas diluciones se colocaron en micro tubos (marca eppendorf) identificados.

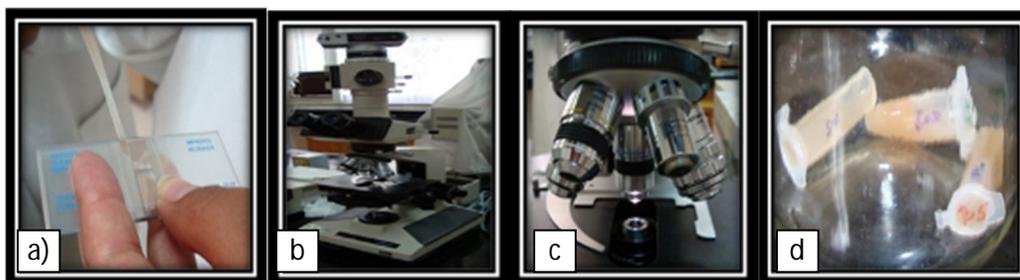


Figura 22. Metodología para realizar el conteo de esporas: a) inóculo en cámara de Neubauer b) colocación en microscopio c) ajuste de condiciones en el microscopio d) diferentes concentraciones.

Durante el conteo se consideró que si una de las esporas quedaba cruzando una de las líneas divisorias, esta no se contaría, tal como se muestra en la Figura 23, la cual es una fotografía tomada desde el lente del microscopio.

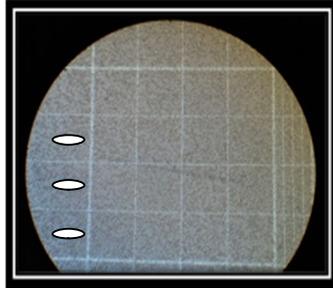


Figura 23. Esporas en cámara de Neubauer vistas desde el microscopio.

El conteo de esporas se realizó por triplicado. Posteriormente se realizó la suma de cada cuadrante y luego se hizo la suma total de los cinco cuadrantes A+B+C+D+E, se procedió de igual forma para la segunda y tercera área. Los resultados de las áreas se sumaron y se calculó el promedio.

Como el volumen sobre cada cuadrante (A, B, C, Y D) es 0.1nm^3 , para calcular la concentración, se procede en la forma siguiente (Trigiano *et al.*, 2004):

$$\text{Promedio de las áreas} \times 2000 = X_1 \text{ conidios/ml}$$

La concentración anterior corresponde a la de la suspensión inicial. Cuando se desea calcular una dilución determinada, se aplica la fórmula siguiente:

$$C1 V1 = C2 V2$$

Donde:

C1 = Concentración inicial (conocida en el conteo).

V1 = Volumen inicial (volumen de la preparación del inóculo).

C2 = Concentración final deseada.

V2 = Volumen final desconocido.

3.6.2. Inoculación de los frutos con la solución de esporas de *Colletotrichum gloeosporioides*

Los frutos se recibieron, clasificaron, pesaron y midieron. Posteriormente las papayas se lavaron con agua, se desinfectaron al sumergirlas en una solución de 2% de cloro durante 1 minuto y se procedió con la inoculación (Figura 24). En el primer experimento se colocaron los frutos en una mesa limpia con tres mecheros encendidos, para evitar una



MATERIALES Y MÉTODOS

re-contaminación. La inoculación se llevó a cabo por zona específica (5 zonas en la lateral de la papaya) y se inoculó con una micropipeta dejando caer las gotas de inóculo a una concentración de 1×10^6 esporas/ml, evitando un derrame del mismo por todo el fruto, se dejó secar el inóculo y finalmente se incubaron en un cuarto cerrado a $\pm 90\%$ HR por 18 horas, posteriormente se aplicaron los tratamientos de irradiación.



Figura 24. Muestra los pasos que se siguieron para la inoculación: a) papayas recién desinfectadas, b) inoculación con ayuda de micropipeta y c) almacenamiento de papayas a las condiciones adecuadas.

3.7. EFECTO DEL ESTADO DE MADUREZ Y TEMPERATURAS DE ALMACENAMIENTO EN LOS FRUTOS EN LA RESPUESTA A LOS TRATAMIENTOS (IRRADIACIÓN E HIDROTÉRMICO)

Para poder conocer que efectos podrían tener las papayas cuando se les aplicaran los tratamientos, se realizó un experimento donde se seleccionaron 600 papayas en estado de madurez “A” (3/4 verde), las cuales fueron colocadas en cajas, cada una de estas contenía 10 frutos en su interior. A su vez se seleccionó otro lote con las mismas características pero en este caso en estado de madurez “B” (2/4 amarillo). Una vez hecha esta selección, se distribuyeron en lotes para poder aplicarles los tratamientos, por lo que la distribución quedó de la siguiente manera: un lote testigo (sin ningún tratamiento), un lote para tratamiento hidrotérmico ($T=49^{\circ}\text{C}$ durante 20 min); y 5 lotes fueron los que se expusieron a la irradiación gamma donde se manejó una dosis baja 500 Gy, dosis media 1000 Gy, y 3 dosis altas 1250, 1500 y 2000 Gy (Figura 25). En la Tabla 12 se muestra el diseño de experimentos.



Figura 25. Distribución de lotes



MATERIALES Y MÉTODOS

Una vez aplicados todos los tratamientos un lote fue almacenado a una $T=20^{\circ}\text{C}$ y 90% HR y otro lote se almacenó en una cámara de refrigeración (marca Ojeda) a una $T=12^{\circ}\text{C}$ y 90% HR, esto durante 14 días, para el día 15 se realizó una transferencia de los frutos almacenados a una $T=12^{\circ}\text{C}$ y 90% HR hacia $T=20^{\circ}\text{C}$ y 90% HR, este último almacenamiento se realizó para simular el almacenamiento desde que se cosecha el fruto y se transporta en refrigeración hasta su venta en centros comerciales. La Figura 26 muestra el acomodo de los lotes de papaya para una $T=20^{\circ}\text{C}$.

Tabla 12. Diseño de experimentos 1.

| TRATAMIENTO | TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO | | | |
|---|-------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| | 20°C | | 12°C/20°C | |
| | Edo. madurez "A" | Edo. madurez "B" | Edo. Madurez "A" | Edo. madurez "B" |
| Testigo | 6 cajas | 6 cajas | 6 cajas | 6 cajas |
| Hidrotérmico | 3 cajas | 3 cajas | 3 cajas | 3 cajas |
| Irradiación dosis baja 500 Gray | 6 cajas | 6 cajas | 6 cajas | 6 cajas |
| Irradiación dosis media 1000 Gray | 6 cajas | 6 cajas | 6 cajas | 6 cajas |
| Irradiación dosis alta 1250 Gray | 3 cajas | 3 cajas | 3 cajas | 3 cajas |
| Irradiación dosis alta 1500 Gray | 3 cajas | 3 cajas | 3 cajas | 3 cajas |
| Irradiación dosis alta 2000 Gray | 3 cajas | 3 cajas | 3 cajas | 3 cajas |
| N° de cajas | 30 | 30 | 30 | 30 |

Para establecer el efecto de los tratamientos poscosecha se evaluaron los frutos almacenados a 12°C con transferencia a 20°C durante los días: 0, 1, 7, 14, 15, y 19 y; los frutos almacenados a 20°C durante los días: 0, 1, 4, 7 y 10 con respecto a los parámetros físicos: firmeza y color; los parámetros fisicoquímicos: pH, acidez titulable, % de sólidos solubles; parámetros nutricionales; ácido ascórbico; parámetros bioquímicos; actividad de pectinmetilesterasa y diariamente se evaluaron los parámetros fisiológicos: respiración; físicos; pérdida de peso; y parámetros microbiológicos; índice de decaimiento, incidencia, severidad y velocidad de la enfermedad (Apartado 3.11).



MATERIALES Y MÉTODOS



Figura 26. Papayas a una temperatura de almacenamiento de 20°C.

3.8. EFECTO DEL MÉTODO DE INOCULACIÓN DE *Colletotrichum gloeosporioides*, EN EL ÍNDICE DE DECAIMIENTO, INCIDENCIA, SEVERIDAD Y VELOCIDAD DE LA ENFERMEDAD

Los métodos de inoculación evaluados fueron por zona específica frente y frotación, así como diferentes concentraciones de inóculo. Un lote de 20 papayas se utilizaron en estado verde-amarilla (“B”), y se identificaron, clasificaron, pesaron, midieron y se marcaron las zonas dañadas desde un inicio. Las papayas se marcaron por zona específica con 5 círculos sobre uno de los laterales del fruto, como ya se había hecho en el experimento 1. Para el método de frotación las papayas se marcaron con 3 elipses de 5 cm de ancho. Posteriormente los frutos se lavaron, se desinfectaron, posteriormente se inoculó por zona específica y por frotación con 2 concentraciones 5×10^5 y 1×10^6 esporas/ml. Los frutos se incubaron en cámara húmeda con charolas de agua estéril que se colocaron en la incubadora a temperatura ambiente (Figura 27). El diseño de experimentos se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13. Diseño de experimentos 2 de método de inoculación.

| Concentración (esporas/ml) | Método de inoculación | |
|-------------------------------|-----------------------|-----------|
| | Zona específica | Frotación |
| 1×10^6 | 5 frutos | 5 frutos |
| 5×10^5 | 5 frutos | 5 frutos |
| Total frutos | 10 frutos | 10 frutos |



MATERIALES Y MÉTODOS

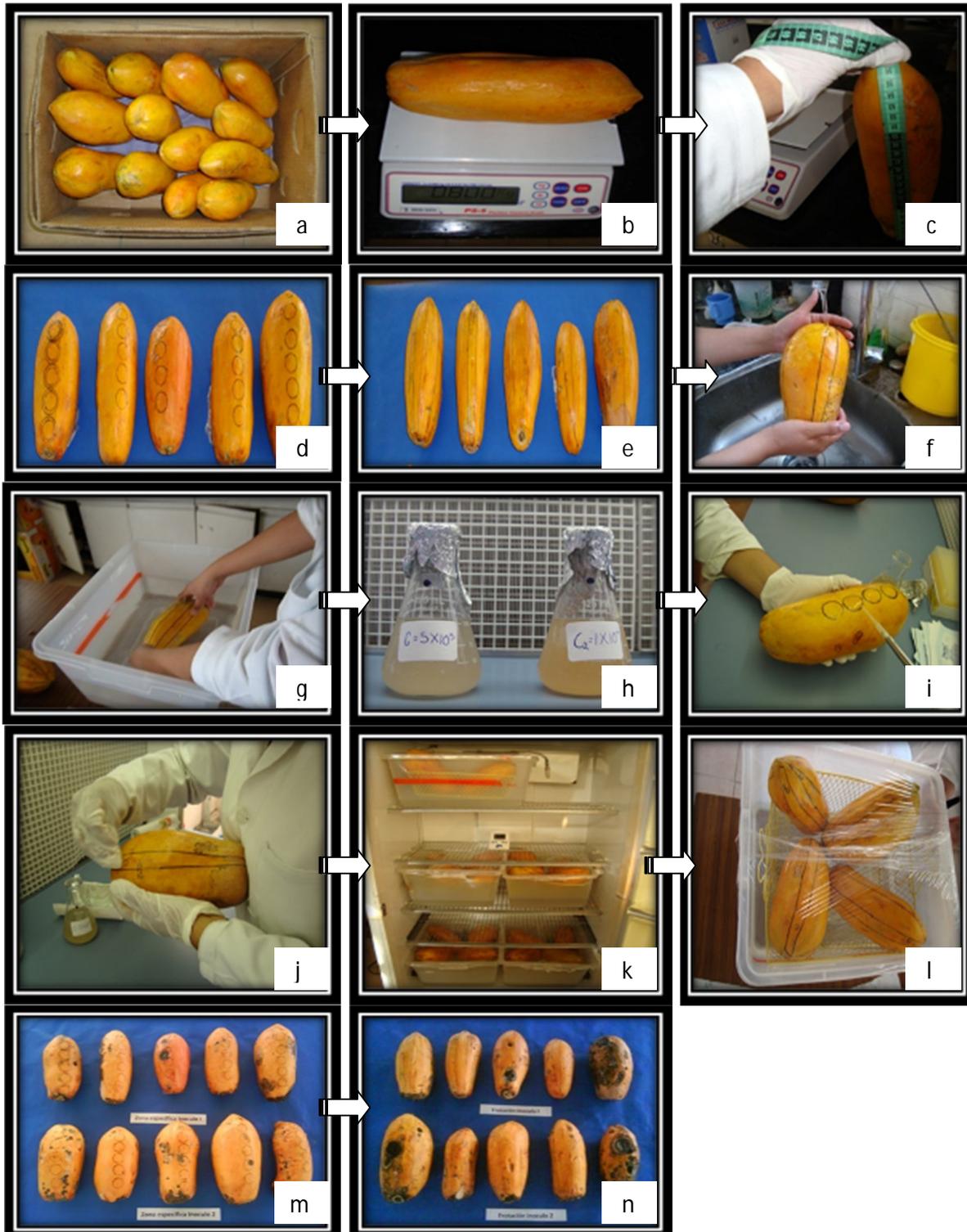


Figura 27. Selección de método de inoculación y concentración del inóculo: a) muestra, b) pesado, c) medición, d) marcar zonas a inocular, e) zona específica e) zona por frotación, f) lavado, g) desinfectado, h) concentraciones, i) inoculación por zona específica j) inoculación por frotación, k) acomodo para incubación, l) incubadora, m) síntomas por zona específica y n) síntomas por frotación.



MATERIALES Y MÉTODOS

Una vez establecido el mejor método para la inoculación de los frutos, se estableció la concentración de inóculo que desarrollara los síntomas de antracnosis en las papayas. Las papayas se inocularon con dos concentraciones de inóculo: 1×10^6 y 1×10^7 esporas/ml. Para este experimento, se aplicó el mismo tratamiento de la muestra que en el anterior y se trabajó con 12 papayas, por lo que el diseño de experimentos quedó de la siguiente manera (Tabla 14), el cual se realizó por 7 días.

Tabla 14: Diseño de experimentos 3 para establecer la concentración de inóculo.

| Concentración (esporas/ml) | Método de inoculación |
|-------------------------------|-----------------------|
| | Frotación |
| | Papaya |
| 1×10^6 | 4 frutos |
| 1×10^7 | 4 frutos |
| Testigo (sin inocular) | 4 frutos |
| Total de frutos | 12 frutos |

Para saber el efecto en los síntomas de la enfermedad fueron evaluados los siguientes parámetros microbiológicos (ver apartado 3.11): índice de decaimiento, incidencia, severidad y velocidad de la enfermedad.

3.9. EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS APLICADOS (IRRADIACIÓN, HIDROTÉRMICO, LAVADO CON FUNGICIDA Y RATAMIENTOS HIDROTÉRMICO-IRRADIACIÓN E HIDROTÉRMICO-LAVADO CON FUNGICIDA) EN LOS PARÁMETROS DE CALIDAD Y FISIOLÓGICOS

De acuerdo a las condiciones con mejores resultados de cada uno de los tratamientos poscosecha y del estado de madurez se aplicaron 6 tratamientos seleccionados que se muestran en la Tabla 15, por lo que se contó con 8 lotes de frutos.

Para este experimento el tratamiento de irradiación se realizó en el Instituto de Ciencias Nucleares de la UNAM. Una vez aplicados los tratamientos a los lotes de papayas, se almacenaron en una cámara de refrigeración a una $T=12^{\circ}\text{C}$ y 90% HR durante 9 días, para el siguiente día se transfirieron a una $T=20^{\circ}\text{C}$ y 90% HR.



MATERIALES Y MÉTODOS

Tabla 15. Diseño de experimentos 4.

| TRATAMIENTO | TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO |
|--|-------------------------------|
| | 12°C/20°C |
| | Edo. Madurez "A" |
| Testigo | 1 caja |
| Testigo Inoculado | 1 caja |
| Hidrotérmico (50°C/5 min) | 1 caja |
| Lavado con fungicida | 1 caja |
| Irradiación dosis baja 500 Gray | 1 caja |
| Irradiación dosis media 1000 Gray | 1 caja |
| Hidrotérmico-lavado con fungicida- irradiación 500 Gray | 1 caja |
| Hidrotérmico-lavado con fungicida- irradiación 1000 Gray | 1 caja |
| No. de cajas | 8 cajas |

Para evaluar el efecto de cada uno de los tratamientos aplicados a las papayas se evaluaron los parámetros de calidad tales como: pH, acidez, sólidos solubles, ácido ascórbico, firmeza y color; parámetros fisiológicos (respiración-producción de CO₂), actividad enzimática (PME) y atributos sensoriales como lo fue el sabor, color, aroma y textura. Para evaluar y conocer el comportamiento de los parámetros descritos anteriormente se tomaron muestras aleatorias de cada lote en los días: 0, 1, 5, 10, 11 y 15. El día 0 correspondió a las muestras antes de aplicarles algún tratamiento, se consideraron los días 10 y 11 días de suma importancia, ya que en el día 10 se llevó a cabo la transferencia de temperatura y el día 11 porque es un día inmediato después de haber modificado las condiciones de almacenamiento de los frutos.

3.10. EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS APLICADOS (IRRADIACIÓN, HIDROTÉRMICO, LAVADO CON FUNGICIDA Y LA SINERGI DE ESTOS HIDROTÉRMICO-LAVADO CON FUNGICIDA-IRRADIACIÓN) SOBRE LOS ATRIBUTOS SENSORIALES

Este análisis sensorial permitió evaluar los atributos sensoriales más importantes para el consumidor como son: la apariencia, color, aroma, textura y sabor, así como una prueba de aceptación de las papayas con algún tratamiento (Figura 28).



MATERIALES Y MÉTODOS



Figura 28. Mesa de panelistas.

Los atributos evaluados en el análisis sensorial se muestran en la Tabla 16.

Tabla 16. Atributos sensoriales con sus escalas.

| Atributos | Escala | | | | |
|-----------------------------|--|-----------------------|------------------------------|-----------|---------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Apariencia | Muy desagradable | Desagradable | Ni agradable ni desagradable | Agradable | Muy agradable |
| Color | Pálido | Amarillo | Entre amarillo y naranja | Naranja | Muy naranja |
| Aroma | Sin aroma | Ligeramente aromático | Ni agradable ni desagradable | Aromático | Muy aromático |
| Textura | Muy duro | Duro | Ni duro, ni suave | Suave | Muy suave |
| Sabor | Sin sabor | Amarga | Ligeramente dulce | Dulce | Muy dulce |
| Prueba de aceptación | Del 0 (muy desagradable) al 10 (desagradable). | | | | |

El análisis sensorial se llevó a cabo con 25 panelistas no entrenados para poder conocer la calidad y aceptabilidad del producto por parte de los consumidores.

3.11. MÉTODOS ANALÍTICOS

3.11.1. Parámetros químicos

- ❏ **Humedad (Secado en estufa).** Se determinó por el método de secado, en el cual el agua se elimina por el efecto de calor aplicado a la muestra en una estufa de aire. El contenido de agua en la muestra se calculo por pérdida de peso debido a la evaporación del agua por calentamiento (Pearson, 1998).



MATERIALES Y MÉTODOS

- ❖ **Azúcares reductores (Lane y Eynon).** La determinación de azúcares consiste en usar disoluciones alcalinas de cobre que se reducen a óxido cuproso o agentes oxidantes suaves, tales como la cloramina T, que reaccionan con las aldosas (Figura 29) (Pearson 1988).



Figura 29. Método volumétrico para la determinación de azúcares

- ❖ **Cenizas (Incineración directa).** Se determinó utilizando el método de Klemm. El cual se fundamenta en la obtención del residuo inorgánico tras calcinar e incinerar la muestra a 550°C en la mufla (Figura 30) y se calculó el residuo de incineración por diferencia de peso (Pearson, 1989). Los resultados se expresaron en g/100g de muestra.



Figura 30. Mufla y crisoles utilizados en la técnica

- ❖ **Fibra cruda (Kennedy-Wendy).** Se determinó mediante hidrólisis en medio ácido y en medio alcalino menos el contenido de cenizas presentes en la muestra. La fibra cruda o bruta es el residuo orgánico lavado y seco que queda después de hervir sucesivamente el material desengrasado con ácido sulfúrico e hidróxido sódico diluidos, expresándose los resultados en g/100g de muestra (Pearson, 1998).
- ❖ **Proteína (Lowry).** Se basa en la reacción de las proteínas con cobre en solución alcalina y mediante reducción del reactivo de Folin-Ciocateau (Ácido fosfomolibdicofosfotúngico), a heteropolimolibdeno azul por la oxidación de aminoácidos aromáticos que es catalizado por cobre. La reacción se lleva a cabo



MATERIALES Y MÉTODOS

en medio alcalino (pH de 10-10.5) (Lowry *et al.*, 1951). Los valores de concentración se determinaron por interpolación gráfica en una curva patrón de un estándar de albúmina sérica bovina (marca SIGMA) 0.1% obtenida a una longitud de onda de 720 nm (Figura 31). Los resultados se expresan en mg de proteína/ml de extracto.



Figura 31. Curva patrón de un estándar de albúmina sérica bovina

- ❖ **Lípidos (Soxhlet).** Se extrae de la muestra, por arrastre con éter de petróleo a partir del residuo desecado, el solvente se elimina por evaporación quedando el residuo de grasa, expresando los resultados en g/100g de muestra (Pearson, 1988).

3.11.2. Parámetros físicos

- ❖ **Firmeza.** La firmeza se obtuvo de acuerdo con la fuerza requerida por unidad de área para ocasionar la ruptura de la piel con un penetrómetro manual (marca Tr, modelo FT327) con una sonda cilíndrica de 8 mm de diámetro sobre una de las caras laterales del fruto (Figura 32). Los resultados se expresan en Kg/cm^2 .



Figura 32. Penetrómetro

- ❖ **Color.** Las medidas del color se realizaron en el exterior del fruto, en la zona ecuatorial de las papayas. Para ello se utilizó un colorímetro marca Minolta modelo CR-300 (Figura 33) por el sistema Hunter Lab que representa la cromaticidad en coordenadas rectangulares. L representa la luminosidad desde la reflexión nula ($L=0$) a reflexión difusa perfecta ($L=100$). Los valores L, a y b se utilizan para calcular el tono (ángulo de Hue) donde Hue: 0 =rojo-púrpura, 90=amarillo,



MATERIALES Y MÉTODOS

180=azulado-verde y 270=azul. El croma indica la intensidad del color o saturación del color. Hue se calcula a partir de la ecuación $h^\circ = \arctan [b/a]$ y la cromaticidad por la ecuación $C = [a^2 + b^2]^{1/2}$ (Mc Guire, 1992).



Figura 33. Colorímetro marca Minolta

- ❖ **Pérdida de peso.** Se utilizó una balanza digital (marca PS-5) debido al peso del fruto (Figura 34). La pérdida de peso se obtuvo mediante la diferencia entre el peso inicial del fruto a su llegada del centro de distribución y el peso obtenido durante cada uno de los días almacenados. Los resultados se expresaron en % de pérdida de peso.



Figura 34. Balanza utilizada para evaluar pérdida de peso

3.11.3. Parámetros fisicoquímicos

- ❖ **pH.** Se tomaron 10 g de muestra y se homogenizaron con 90 g de agua destilada, posteriormente se filtro la solución. Se determinó el pH mediante la lectura directa del potenciómetro manual digital marca HANNA (Figura 35), tras ser sumergido el electrodo en la solución a temperatura ambiente.



Figura 35. Potenciómetro marca HANNA



MATERIALES Y MÉTODOS

- ❏ **Acidez titulable.** Se determinó con una solución de hidróxido de sodio 0.1 N (Figura 36), empleando fenolftaleína 1% como indicador (AOAC, 1984) con una alícuota de la solución filtrada. La acidez titulable se expresó como el porcentaje de ácido cítrico por 100 g muestra.



Figura 36. Acidez titulable

- ❏ **% Sólidos solubles.** Se determinó directamente con el jugo de papaya, mediante un refractómetro de mano marca ATAGO, modelo 2111 (Figura 37), previamente calibrado con una gota de agua destilada sobre el prisma del refractómetro. Los resultados se expresaron en °Brix.



Figura 37. Refractómetro

3.11.4. Parámetros fisiológicos

- ❏ **Respiración.** Se determinó en función de la producción de CO_2 generado por las muestras de papaya al encontrarse en un sistema cerrado, mediante el uso del Analizador de gas infrarrojo (ANALIZER, NITEC, LLC) (Figura 38). Los resultados se expresan en $\text{mg de CO}_2/\text{Kg PF.h.}$



Figura 38. Analizador de gas infrarrojo



MATERIALES Y MÉTODOS

3.11.5. Parámetros nutricionales

❏ **Ácido ascórbico (Vitamina C).** Se determinó por el método volumétrico el cual se fundamenta en que la vitamina C ó ácido ascórbico tiene la propiedad de decolorar el indofenol (2,6 dicloro fenol indofenol) colorante azul y la cantidad decolorada es proporcional a la cantidad de vitamina C presente en el alimento (Pearson, 1989). Los resultados se expresan en mg/100g de muestra.

3.11.6. Parámetros bioquímicos

❏ **Actividad Pectinmetilesterasa (PME).** La actividad PME, se midió con un ensayo espectrofotométrico (Figura 39) por método de Hagerman y Austin (1986). La actividad enzimática se llevó a cabo obteniendo como primera instancia el extracto enzimático (1g de muestra se macero con Nitrógeno líquido), se le agregaron 3 ml de Polivinylpirrolidona PVP (1g de PVP por cada 100 ml de NaCl 1 M), se agitó por 2 h, se vació a micro tubos (a), se centrifugó (b) a 12 000 rpm por 20 min, se eliminó el sobrenadante, se ajustó el pH A 7.5 con NaOH y se almacenó en frío hasta su determinación, en segunda instancia se determinó la actividad de la enzima (se colocó en un tubo de ensayo protegido de la luz: 200µl de extracto, 100 µl de agua a 7.5 de pH, 100 µl de Buffer fosfato a pH 7.5 y 0.6 ml de pectina (0.25g de pectina cítrica se diluyeron en 25ml de NaCl al 0.1M), se incubó la mezcla durante 10 min alcanzando una T° del extracto de 37°C), por otro lado también se incubó un blanco el cual se preparó casi de la misma forma solo que se sustituyó la cantidad de extracto por agua. Posteriormente se leyó en el espectrofotómetro a 620 nm por 2 min mediante la reducción de la densidad óptica (c). Los resultados se expresaron como el cambio en la densidad óptica (DDO) en un minuto bajo las condiciones de ensayo, por cantidad de proteína.



Figura 39. Eppendorf, centrifuga y espectrofotómetro.



MATERIALES Y MÉTODOS

3.11.7. Parámetros microbiológicos

❏ **Incidencia de la enfermedad.** La incidencia de la enfermedad se evaluó diariamente, mediante la observación de cada uno de los frutos (Figura 40), hasta que estos pasaron de ser sanos, a frutos con síntomas de la enfermedad de la antracnosis (manchas rojas, que después se hundían). Se determinó el % de incidencia de la enfermedad tomando en cuenta el número de frutos sin ningún síntoma frente a los frutos con síntomas.



Figura 40. Muestra la incidencia de la enfermedad

❏ **Índice de decaimiento.** Se realizó un análisis visual diariamente para detectar el nivel de daño adquirido mediante la siguiente escala (Tabla 17) subjetiva:

Tabla 17. Escala de daños

| Nivel | % de daño |
|-------|-----------|
| 1 | 0% |
| 2 | 1-25% |
| 3 | 26-50% |
| 4 | 51-75% |
| 5 | 76-100% |

❏ **Severidad de la enfermedad.** La severidad de la enfermedad se evaluó diariamente, mediante la observación de los frutos con los síntomas de la enfermedad y la posterior medida del área en cm^2 , de cada uno de los círculos o manchas en forma de elipse presentadas por esta, utilizando como instrumento de medición un vernier (Figura 41). Para conocer el área total cubierta por los síntomas en cada fruto, se procedió a realizar la sumatoria de las áreas localizadas. Las mediciones culminaron el último día de cada muestreo, aunque en



MATERIALES Y MÉTODOS

algunos casos los síntomas de la enfermedad terminaban con la integridad del fruto antes de finalizar éste. Los resultados se expresan en cm^2 por día.



Figura 41. Medición de la severidad de la enfermedad

3.12. TRATAMIENTO DE RESULTADOS

El análisis de varianza multivariante es una generalización del análisis de la varianza univariante para el caso de más de una variable dependiente. Se trata de contrastar la significación de uno o más factores (variables independientes) para el conjunto de variables independientes.

Todos los experimentos se realizaron por triplicado para obtener resultados significativos. Se realizó el análisis estadístico multivariante, el cual además de arrojar los mismos resultados que el análisis estadístico de varianza (ANOVA) y pruebas de rangos múltiples ($p \leq 0.05$) permite conocer si existe efecto significativo o no por cada una de las variables a través del programa estadístico SPSS for Windows Student Version. El análisis multivariante se realizó para el primer experimento debido a que se seleccionó un estado de madurez y 2 dosis de irradiación que brindaron los mejores parámetros de calidad. Para el segundo experimento se realizó únicamente un análisis estadístico de varianza (ANOVA) y pruebas de rangos múltiples ($p \leq 0.05$), para así establecer la efectividad de los tratamientos físicos.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y FISCOQUÍMICAS DE LA PAPAYA 'MARADOL'

La caracterización física de los frutos fue realizada para formar lotes homogéneos durante la selección. Para esto se midió el peso, circunferencia longitudinal y circunferencia ecuatorial de cada uno de los frutos.

El tamaño de las papayas representa un criterio de calidad que se determina con base en la masa unitaria (peso por unidad) de acuerdo a lo establecido en la norma NMX-FF-008 (SAGARPA, 1982). En la Tabla 18 se muestran las características físicas de las papayas utilizadas en el presente trabajo.

Tabla 18. Caracterización física de la papaya 'Maradol'.

| | PROMEDIO |
|---------------------------------|-----------------|
| Peso (Kg) | 1.43 ± 0.31 |
| Longitud ecuatorial (cm) | 36.50 ± 4.18 |
| Longitudinal axial(cm) | 56.26 ± 4.46 |

Los datos presentados son el promedio de 1287 frutos ± desviación estándar.

Los parámetros fisicoquímicos muestran las características de madurez en las papayas durante el estado de madurez comercial ver Tabla 19.

Tabla 19. Parámetros fisicoquímicos de la papaya variedad 'Maradol'.

| Parámetro | Madurez comercial |
|------------------------------------|--------------------------|
| pH | 7.03 ± 0.05 |
| Acidez (% ácido cítrico) | 0.006 ± 0.00 |
| Sólidos solubles (°Brix) | 10.33 ± 1.30 |
| Firmeza (Kg/cm²) | 3.75 ± 1.40 |

Los datos presentados son el promedio de 3 frutos ± desviación estándar.

El pH es una medida de la alcalinidad o acidez de un producto, teniendo así un producto con un pH neutro.

La acidez titulable se utiliza para estimar la calidad para el consumo, puede ser considerada como indicador de madurez en los frutos (Hobson, 1993); los ácidos



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

contribuyen enormemente a la calidad poscosecha de los frutos, ya que el sabor de los frutos está fundamentado en el balance que existe entre azúcares y los ácidos orgánicos (Medlicott y Thompson, 1985). Los sólidos solubles se asocian al grado de dulzor de un fruto y son resultado de los procesos metabólicos de la papaya, que durante la maduración metaboliza los carbohidratos convirtiéndolos en azúcares más sencillos.

Además se presentan cambios en la textura como resultado del ablandamiento de los tejidos del fruto que generalmente está relacionada con las cantidades de polisacáridos estructurales, almidón y sustancias pécticas encontradas en la piel de la papaya; siendo otro de los parámetros de calidad que el consumidor evalúa en el fruto (Luchsinger *et al.*, 2001).

Por su composición, la papaya es una fruta de las más completas y nutritivas. Su coloración anaranjada indica que es rica en β -caroteno. Además, aporta vitamina A, vitamina C, complejo B, potasio, magnesio, fibra, ácido fólico y pequeñas cantidades de hierro y calcio (PRODUCE, 2003). En la Tabla 20 se muestra la composición química de la papaya 'Maradol'.

Tabla 20. Composición química de la papaya 'Maradol'.

| COMPOSICIÓN QUÍMICA | |
|---------------------|-------|
| COMPONENTE | % |
| AGUA | 91.36 |
| PROTEÍNA | 0.64 |
| CARBOHIDRATOS | 6.56 |
| LÍPIDOS | 0.11 |
| CENIZAS | 0.78 |
| FIBRA CRUDA | 0.54 |

Los datos presentados son el promedio de 3 frutos \pm desviación estándar.

4.2. EFECTO DEL ESTADO DE MADUREZ Y TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO DE LA PAPAYA VARIEDAD 'MARADOL' EN RESPUESTA DE LOS TRATAMIENTOS DE IRRADIACIÓN GAMMA E HIDROTÉRMICO

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



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

aparición, firmeza, sabor, valor nutritivo y la seguridad que ofrece al consumidor (Flores, 2000).

4.2.1. Efecto en los parámetros fisicoquímicos

4.2.1.1. pH

Los valores de pH indican la medida de la acidez o alcalinidad de un producto.

En la Figura 42 (a) se muestran los cambios en el pH de frutos en estado de madurez $\frac{3}{4}$ verde ("A") sometidos a diferentes dosis de irradiación almacenados a 20°C. La tendencia del pH en los frutos fue descendente, en donde el valor de pH inicial fue de 7.2 para todos los tratamientos, el valor de pH en el día 10 osciló de 5.9 a 6.4 y los valores de pH al final del almacenamiento quedaron entre 5.7 y 5.8. En la Figura 42 (b) se muestra el estado de madurez $\frac{2}{4}$ amarilla ("B") se observa que la tendencia del pH fue descendente, el valor de pH inicial fue de 7.0 para todos los tratamientos y el valor de pH final osciló de 6.0 a 6.5.

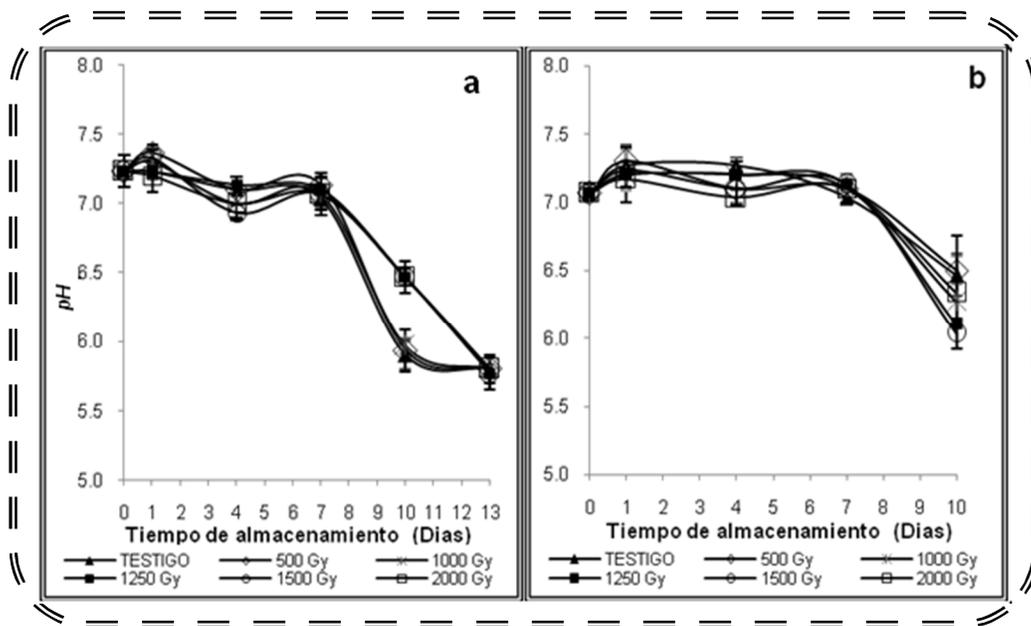


Figura 42. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) en el pH de papaya 'Maradol' en diferente estado de madurez a) $\frac{3}{4}$ verde y b) $\frac{2}{4}$ amarilla almacenadas a 20°C.

En el estado de madurez "A" ($\frac{3}{4}$ verde) no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con respecto al testigo en el día 1 y 13 para los tratamientos (Figura 42a). Además para el estado de madurez "B" ($\frac{2}{4}$ amarilla) no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con respecto al testigo en el día 1 para los tratamientos; y en el día



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

10 se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo para las dosis de 1000, 1250 y 2000 Gy (Figura 42b).

Así mismo al realizar un análisis multivariante se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en el pH de los frutos durante todo el tiempo de almacenamiento, tanto por los tratamientos aplicados como por los estados de madurez, así como por el efecto de ambos factores.

En el estado de madurez "A" (Figura 43 a) se muestra el comportamiento de los frutos almacenados a temperatura de refrigeración y transferidos a 20°C simulando las condiciones de transporte y comercialización, respectivamente. La tendencia del pH fue descendente en los frutos, en donde el valor inicial fue de 7.2 para todos los tratamientos, el valor de pH en el día 19 osciló de 6.0 a 6.6 y el valor de pH final fue de 6.0 a 6.5. En los frutos con estado de madurez "B" (Figura 43 b) la tendencia del pH fue descendente, donde el valor de pH inicial fue de 7.0 para todos los tratamientos y el valor de pH final osciló de 6.0 a 6.5.

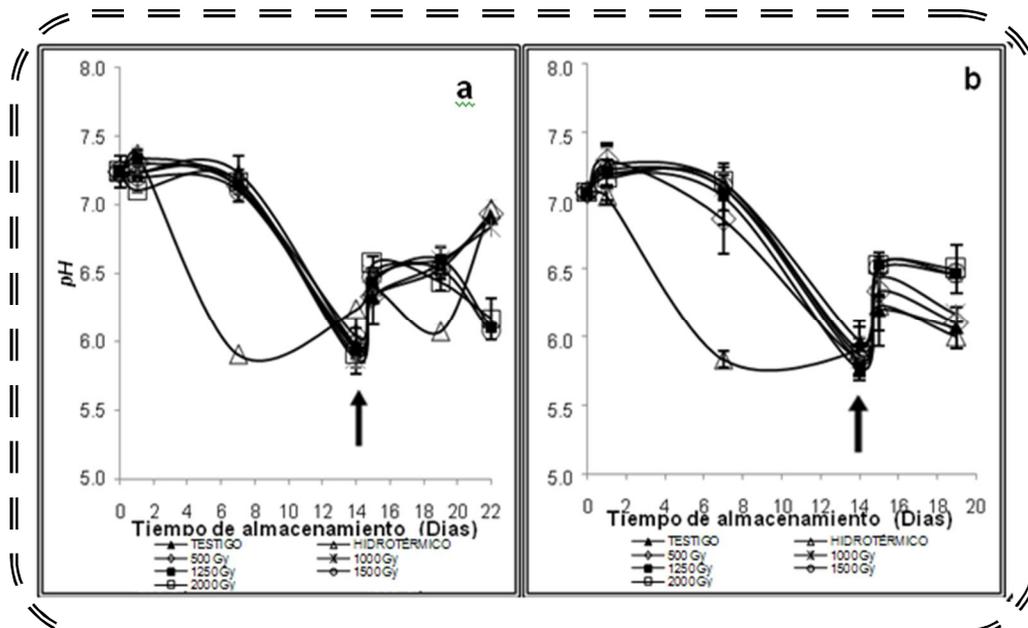


Figura 43. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) e hidrotérmico en el pH de papaya 'Maradol' en diferente estado de madurez **a)** 3/4 verde y **b)** 2/4 amarilla almacenadas a 12°C y a 20°C. La flecha indica la transferencia de 12°C a 20°C.

En el estado de madurez "A" (Figura 43a) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en el día 1 para el tratamiento hidrotérmico y las dosis de 500 y 1250 Gy; y para el día 22 para las dosis de 1250, 1500 y 2000 Gy. Además para el estado de



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

madurez "B" (Figura 43b) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en el día 1 para la dosis de 500 Gy; y en el día 19 las dosis de 1250, 1500 y 2000 Gy.

Así mismo al realizar un análisis multivariante se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en el pH de los frutos durante todo el tiempo de almacenamiento, debido a los tratamientos aplicados, al estado de madurez y a la combinación de los dos factores.

El comportamiento del pH durante la maduración en las papayas se ha encontrado que va en aumento como lo indica Sañudo (2008) y después de alcanzar el punto climatérico, este empieza a descender, comportamiento que no concuerda con las Figuras 42 y 43, lo cual es atribuido a que las papayas mostraron severos síntomas de antracnosis aunado a diversos mohos oportunistas, como sugieren Cox (1987) y Wills *et al.* (1998), quienes mencionan que los frutos son alterados fundamentalmente por los mohos los cuales crecen en condiciones ácidas, debido a ello toleran o incluso hacen descender el pH del medio y de este modo provocan las condiciones favorables para un segundo microorganismo.

4.2.1.2. Sólidos solubles (°Brix)

La presencia de azúcares en los frutos es importante ya que define aspectos importantes de calidad y tiene el doble efecto de alterar tanto el sabor como la textura del producto (Díaz, 2002; Wills *et al.*, 1998).

En la Figura 44 (a) se observa los cambios en sólidos solubles de los frutos en estado de madurez "A" almacenados a 20°C, encontrándose que los valores presentaron ligeras fluctuaciones, por lo que no se tiene una tendencia definida; el valor de los sólidos solubles inicial fue de 7.5° Brix para todos los tratamientos y la mayoría alcanzó el máximo valor en el día 10.

Los sólidos solubles finales oscilaron de 8.5 a 10.2 °Brix. Los valores al final del almacenamiento fueron mayores a los iniciales. En la Figura 44 (b) se observa que la tendencia de los sólidos solubles de los frutos en estado de madurez "B", la cual fue ascendente y en algunos puntos de descenso a lo largo del almacenamiento; el valor de los sólidos solubles inicial fue de 8.5 °Brix. Los valores de los sólidos solubles finales oscilaron de 9.8 a 11.3°Brix.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

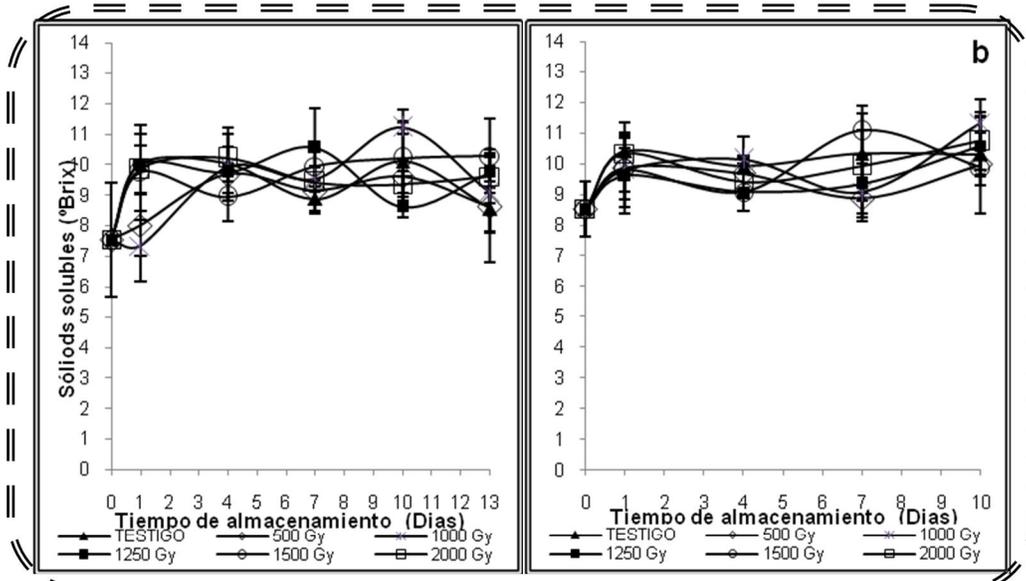


Figura 44. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) en los Sólidos Solubles de papaya 'Maradol' en diferente estado de madurez **a)** $\frac{3}{4}$ verde y **b)** $\frac{2}{4}$ amarilla almacenadas a 20 °C.

En el estado de madurez $\frac{3}{4}$ verde ("A") no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en el día 1 y 13 para ninguno de los tratamientos (Figura 44). Además para el estado de madurez $\frac{2}{4}$ amarilla ("B") no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en el día 1 y 10 para ninguno de los tratamientos (Figura 44b).

Así mismo al realizar un análisis multivariante se encontró un efecto significativo ($p \leq 0.05$) en los sólidos solubles de los frutos durante todo el tiempo de almacenamiento, debido a los tratamientos aplicados, el estado de madurez y la combinación de ambos factores.

En la Figura 45 (a) se observa aumento de los sólidos solubles y al final un ligero descenso, por lo que no se tiene una tendencia definida; el valor de los sólidos solubles inicial fue de 7.5 °Brix para todos los tratamientos. Los sólidos solubles finales oscilaron de 8.4 a 10.7 °Brix. En la Figura 45 (b) se observa una tendencia de aumento en el contenido de sólidos solubles para la mayoría de los tratamientos hasta el día 15; el valor de los sólidos solubles inicial fue de 8.5°Brix. Los valores de los sólidos solubles finales oscilaron de 9.0 a 10.4°Brix.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

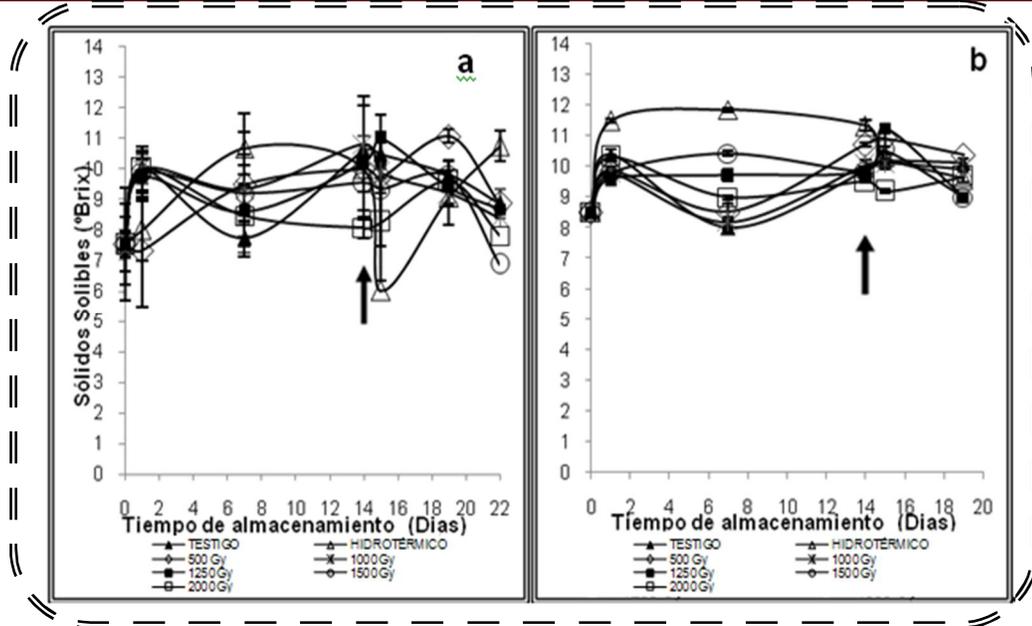


Figura 45. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) e hidrotérmico en el % de Sólidos Solubles de papaya 'Maradol' en diferente estado de madurez **a)** $\frac{3}{4}$ verde y **b)** $\frac{2}{4}$ amarilla almacenadas a 12°C y a 20°C . La flecha indica la transferencia de 12°C a 20°C .

En el estado de madurez "A" (Figura 45 a) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en el día 1 para el hidrotérmico, en el día 15 para el hidrotérmico y 2000 Gy y en el día 22 para el hidrotérmico. Además para el estado de madurez "B" (Figura 45 b) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en el día 1 en el hidrotérmico, 1250 y 1500Gy, y no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) para ninguno de los tratamientos en el día 19.

Así mismo al realizar un análisis multivariante se encontró un efecto significativo en el valor de sólidos solubles ($p \leq 0.05$) durante todo el tiempo de almacenamiento, debido a los tratamientos aplicados, el estado de madurez y la combinación de los dos factores.

De acuerdo con los resultados, los sólidos solubles totales se incrementan durante la maduración de los frutos (Hulme, 1983), debido a la hidrólisis de los polisacáridos, lo que concuerda con trabajos de Selvaraj *et al.* (1982) y Orr *et al.* (1953) quienes mencionan que durante los primeros días de almacenamiento poscosecha la tendencia de los sólidos solubles totales de las papayas variedad 'Maradol', Sunset y tipo Cera fue ascendente.

Además se ha encontrado que los sólidos solubles aumentan del 8 al 12% y no son afectados por la irradiación; tal como se muestra en los resultados estadísticos, los



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

cuales muestran diferencia significativa para una sola dosis de irradiación en un solo día de almacenamiento y no durante todo el tiempo de almacenamiento.

También se puede observar que el tratamiento hidrotérmico tiene diferencia significativa para varios días de almacenamiento y en la mayoría de estos quedando por arriba de los demás tratamientos, no concordando con Mattoo y Modi (1969) a los cuales el contenido de °Brix les disminuyó conforme transcurría el tiempo; por lo que este tratamiento si ejerce un efecto significativo sobre los °Brix, encontrando que en los tratamientos térmicos se producen alteraciones al metabolismo de los almidones durante la maduración del fruto (Jacobi *et al.*, 2001).

4.2.2. Efecto en los parámetros físicos

4.2.2.1. Firmeza

La pérdida de firmeza de los frutos se debe en principio a la pérdida de rigidez estructural de la pared celular. En el ablandamiento de la pulpa también influyen los cambios hídricos de los constituyentes celulares durante la maduración, pero su influencia es menor al de las alteraciones de la pared celular; en general la pérdida de agua en el fruto reduce la firmeza de los tejidos (Díaz, 2002).

En la Figura 46 (a) se puede observar que la tendencia de la firmeza fue descendente durante el almacenamiento, aunque las dosis de 1000 y 1250 Gy en el último día mostraron un aumento; además se encontró que los frutos mantienen su firmeza durante los primeros días, ya que empiezan a descender notablemente hasta el día 7; el valor de la firmeza inicial fue de 12.9 Kg/cm² para todos los tratamientos. Los valores finales de firmeza oscilaron de 2.9 a 7.4 Kg/cm².

En la Figura 46 (b) se observa que la tendencia fue descendente durante el almacenamiento hasta el día 7 en donde la firmeza oscilo de 3.1 a 4.5 Kg/cm²; posteriormente se presentó un aumento en los valores para todos los casos; la firmeza inicial fue de 12.9 Kg/cm² para todos los tratamientos y los valores de firmeza finales oscilaron de 5.2 a 12.5 Kg/cm².

En el estado de madurez "A" (Figura 46 a) no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con respecto al testigo en el día 1 para ninguno de los tratamientos, en el día 10 se



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en todas las dosis de irradiación y en el día 13 en 1500 Gy.

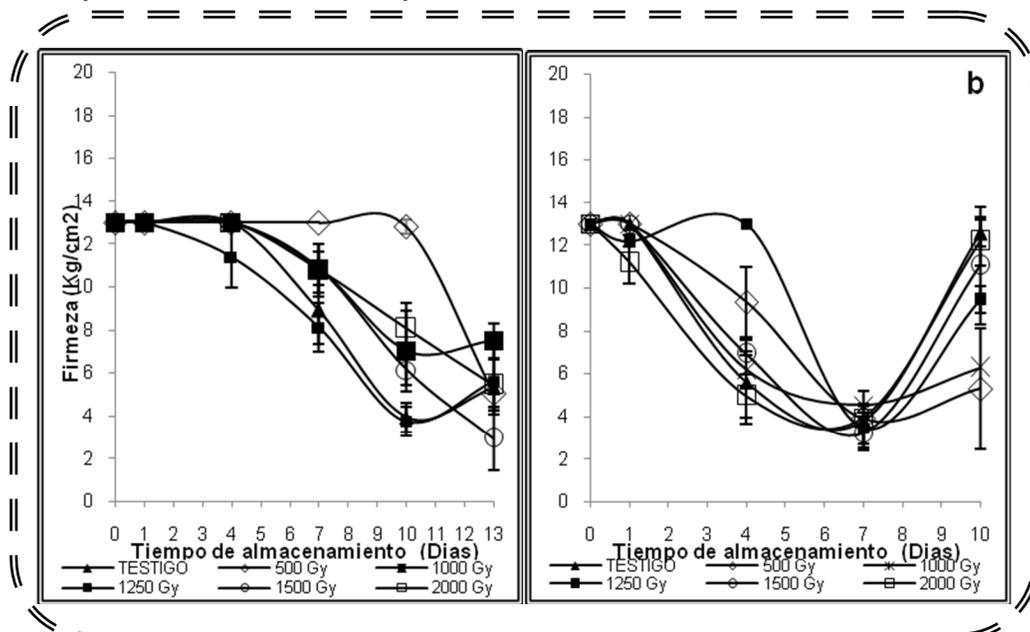


Figura 46. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) en la firmeza de papaya 'Maradol' en diferente estado de madurez a) 1/4 verde y b) 2/4 amarilla almacenadas a 20 °C.

Además para el estado de madurez "B" (Figura 52 b) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en el día 1 para 1250 y 2000 Gy, en el día 4 para 500, 1250 y 1500 Gy y en el día 10 para 500, 1000 y 1250 Gy.

Así mismo al realizar un análisis multivariante se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) durante todo el tiempo de almacenamiento, lo cual quiere decir que tanto los tratamientos aplicados como ambos estados de madurez, así como el efecto de ambos influyeron en los valores de firmeza.

En la Figura 47 (a) se observa que la tendencia es descendente durante el almacenamiento a 12°C y transferencia a 20°C. El valor de la firmeza inicial fue de 12.9 Kg/cm² para todos los tratamientos, en el día 15 fue evidente el descenso de la firmeza en los frutos, en este punto la mayor firmeza osciló de 6.2 a 12.9 Kg/cm², cabe mencionar que conforme mayor dosis de irradiación se aplicó, los valores en este día se acercaron más al testigo y los valores finales de firmeza oscilaron de 4.5 a 8.4 Kg/cm². En la Figura 47 (b) se observa que la firmeza va descendiendo en la mayoría de los casos. La firmeza inicial fue de 12.9 Kg/cm² para todos los tratamientos y los valores de la firmeza final oscilaron de 3.3 a 10.2 Kg/cm².



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el estado de madurez “A” (Figura 47 a) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en el día 1 para todos los tratamientos, en el día 14 para hidrotérmico, 500, 1000 y 1500 Gy; y en el día 22 en el tratamiento hidrotérmico, 500 y 1500 Gy.

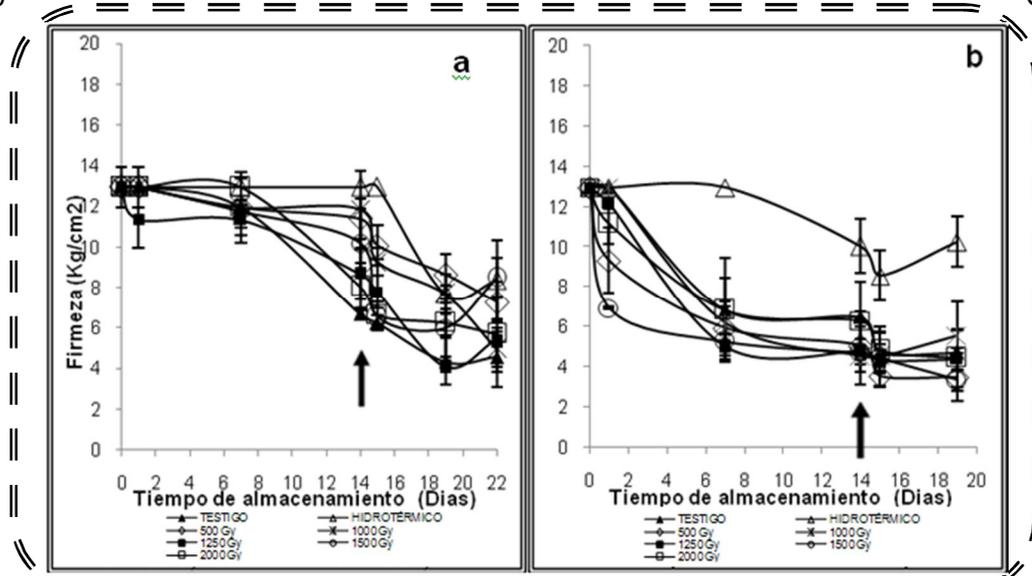


Figura 47. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) e hidrotérmico en la firmeza de papaya ‘Maradol’ en diferente estado de madurez **a)** 3/4 verde y **b)** 2/4 amarilla almacenadas a 12°C y a 20°C. La flecha indica la transferencia de 12°C a 20°C.

Además para el estado de madurez “B” (Figura 47 b) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en el día 1 para las dosis de 500, 1500 y 2000 Gy; y para el día 19 en el hidrotérmico y 1000 Gy.

Así mismo al realizar un análisis multivariante se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) durante todo el tiempo de almacenamiento, lo cual quiere decir que tanto los tratamientos aplicados como ambos estados de madurez, así como la combinación de ambos factores influyen en los valores de firmeza.

La textura de las frutas cambió debido a la hidrólisis de los almidones y de las pectinas, por la reducción de su contenido de fibra y por los procesos degradativos de las paredes celulares (Arias, 2000). Las protopectinas disminuyen y las pectinas solubles aumentan, dando un efecto de ablandamiento y suavidad en el fruto (Blandón, 2008). En las Figuras 46 y 47 se observa el mismo comportamiento de la firmeza la cual disminuye conforme los días de almacenamiento transcurren, como lo muestra Sañudo (2008).



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El comportamiento anterior está relacionado con la serie de procesos que a continuación se describen: una alta dosis de radiación puede dañar diferentes compuestos importantes de la célula vegetal (Kovács y Keresztes, 2002). La degradación de los hidratos de carbono, especialmente de las sustancias pécticas y las hemicelulosas debilita las paredes celulares y las fuerzas cohesivas que mantienen unidas unas células a otras. En los estadios iniciales, mejora la textura, pero finalmente las estructuras vegetales se desintegran. Durante la maduración de los frutos, la protopectina va gradualmente degradándose a fracciones de peso molecular más bajo, más solubles en agua. La velocidad de degradación de las sustancias pécticas está directamente relacionada con el ablandamiento de los frutos (Díaz, 2002; Wills *et al.*, 1998).

La respiración y producción de etileno, junto a los cambios de composición, la transpiración y pérdida de agua son los principales factores biológicos responsables de la pérdida de calidad de frutas y hortalizas. La pérdida de agua o transpiración afecta el peso, apariencia y textura características de las frutas y hortalizas frescas, originando el arrugamiento superficial, la flacidez y la disminución del brillo (Urbina, 2009).

También se encontró que los tratamientos de irradiación muestran valores más altos en cuanto a la firmeza para la mayoría de los casos con respecto al testigo, lo cual concuerda con lo obtenido por Innocenzo (2001) quien aplicó irradiación en frutos a 500 Gy. Además se observa que el tratamiento hidrotérmico tiene los valores más altos de firmeza debido a que los frutos sometidos a este tratamiento no muestran daños severos de antracnosis y otros mohos oportunistas.

La firmeza de los frutos irradiados se ha visto que disminuye al aumentar las dosis de irradiación (Sudto *et al.*, 2005). Por otro lado en un estudio realizado se encontró que las papayas irradiadas y mantenidas a 9,8 °C, fueron menos firmes, lo que indica un estado de madurez avanzada. Pero cuando se cambiaron a las condiciones de almacenamiento 24.8 °C, los frutos no irradiados se pusieron menos firmes que los irradiados a 750 y 1000 Gy (Camargo *et al.*, 2007).

4.2.2.2. Pérdida de peso

La pérdida de peso (agua) constituye uno de los factores que más afectan la calidad, ya que causan daños por marchitamiento, manchado de tejidos, pérdida de textura, entre otros, además dichas pérdidas de peso hacen a las frutas no comercializables.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 48 (a) se puede observar que la tendencia fue ascendente en la pérdida de peso durante el almacenamiento. Los valores iniciales de pérdida de peso oscilaron de 2.2 a 8.9%. Los valores finales de pérdida de peso oscilaron de 10.1 a 18.1%. En la Figura 48 (b) se observa que la tendencia fue ascendente en la pérdida de peso durante el almacenamiento. Los valores iniciales oscilaron de 1.5 a 7.3%. Los valores finales de pérdida de peso oscilaron de 7.8 a 15.4%.

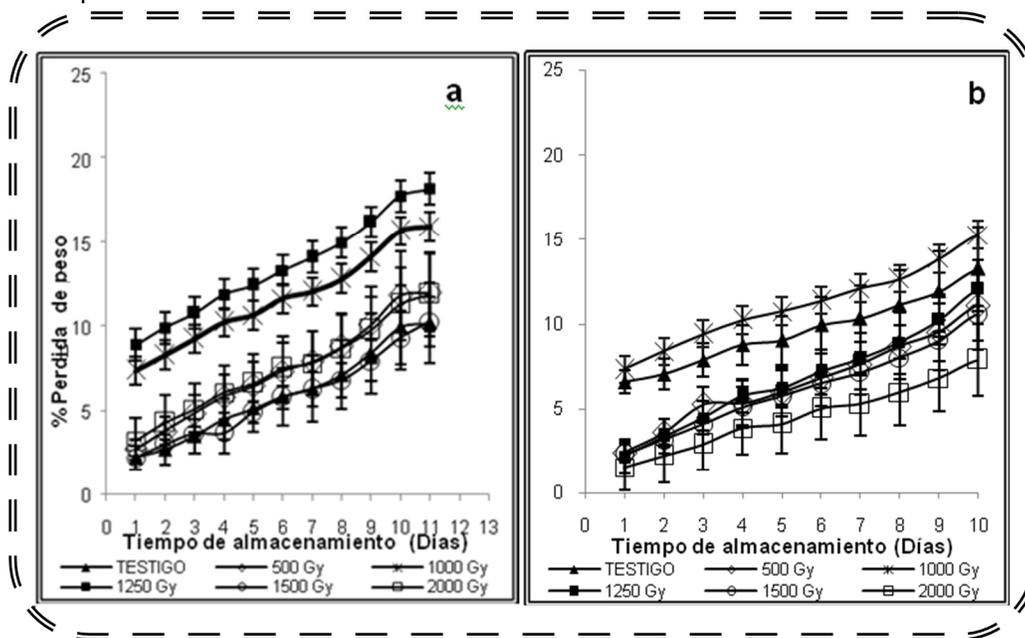


Figura 48. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) en la pérdida de peso de papaya 'Maradol' en diferente estado de madurez **a)** 3/4 verde y **b)** 2/4 amarilla almacenadas a 20 °C.

En el estado de madurez "A" (Figura 48 a) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en el día 1 y 11 para 1250 Gy. En el estado de madurez "B" (Figura 48 b) no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con respecto al testigo en todos los días de almacenamiento para ninguno de los tratamientos.

Así mismo al realizar un análisis multivariante no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) durante todo el tiempo de almacenamiento en los tratamientos aplicados y ambos estados de madurez lo cual quiere decir que no influyen en los valores de pérdida de peso; y en la combinación de ambos factores se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) durante todo el tiempo de almacenamiento afectando en los valores de pérdida de peso.

En la Figura 49 (a), se observa que la pérdida de peso aumentó, conforme transcurren los días de almacenamiento. Los valores iniciales oscilaron de 1.6 a 4.3% mientras que los finales fueron de 9.9 a 12.1%. En la Figura 49 (b), la tendencia fue ascendente en la



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

pérdida de peso conforme transcurrían los días de almacenamiento. Los valores iniciales oscilaron de 1.6 a 3.7%. Los valores finales de pérdida de peso oscilaron de 8.8 a 13.8%.

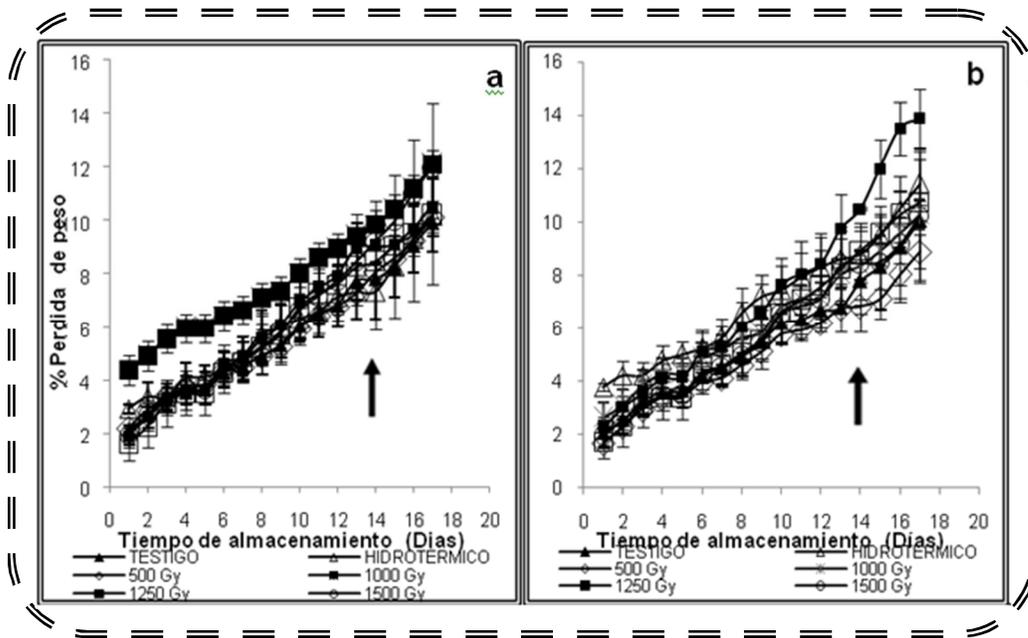


Figura 49. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) e hidrotérmico en la pérdida de peso de papaya 'Maradol' en diferente estado de madurez **a)** 3/4 verde y **b)** 2/4 amarilla almacenadas a 12°C y a 20°C. La flecha indica la transferencia de 12°C a 20°C.

En el estado de madurez "A" (Figura 49a) no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con respecto al testigo en todos los días para ningunos de los tratamientos aplicados. En el estado de madurez "B" (Figura 49 b) no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con respecto al testigo en el día 1 para ninguno de los tratamientos y en el día 17 se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo para las dosis de 1000 Gy.

Así mismo al realizar un análisis multivariante no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) durante todo el tiempo de almacenamiento en los tratamientos aplicados y ambos estados de madurez lo cual quiere decir que no influyen en los valores de pérdida de peso; y en la combinación de ambos factores se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) durante todo el tiempo de almacenamiento influyendo en los valores de pérdida de peso.

Al comparar el % de pérdida de peso mayor de los frutos almacenados a 20°C que fue de 18.14% para 1250 Gy con los frutos almacenados a 12/20°C que fue de 13.88% para 1250 Gy se encuentra que existe mayor % de pérdida de peso a temperatura ambiente que en refrigeración. La pérdida de peso en los frutos de papaya tipo Cera, 'Maradol' y



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sunset se incrementa durante el almacenamiento poscosecha. Este incremento, se debe a la pérdida de agua de los frutos, que depende tanto de la actividad fisiológica de los frutos como de los factores externos particularmente de la temperatura y la humedad relativa (Gorini, 1989; Lassoudiere, 1969).

La irradiación, genera ruptura en enlaces presentes en la membrana de las células en la pared celular, además de que es capaz de cambiar la conformación de enzimas presentes en dichas membranas, provocando la salida de agua y otras soluciones (Briseño y Vargas, 2008), lo anterior explica el porqué en la mayoría de los casos la dosis de 1250 Gy presenta altos % de pérdida de peso.

4.2.2.3. Luminosidad

La luminosidad es la capacidad que tiene el objeto de reflejar la luz desde el blanco hasta el negro (Mandujano, 1998).

En la Figura 50 (a) se observa que la tendencia en la mayoría de los casos es ascendente en la luminosidad conforme transcurre el tiempo de almacenamiento, hasta un punto máximo en donde después descienden los valores. El valor inicial fue de 32.7 para todos los tratamientos y los valores más altos se alcanzaron en el día 7; los valores finales de luminosidad oscilan de 34.9 a 58.7.

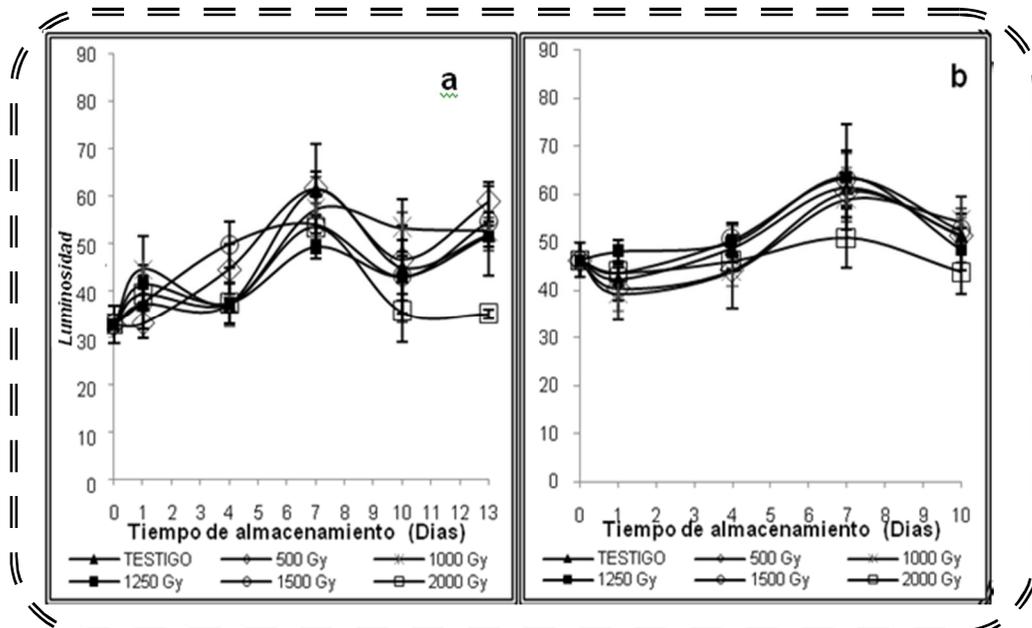


Figura 50. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) en la luminosidad de papaya 'Maradol' en diferente estado de madurez a) 1/4 verde y b) 2/4 amarilla almacenadas a 20 °C.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 50 (b) se presenta la misma tendencia de aumento en los valores de luminosidad y posteriormente el descenso. El valor inicial fue de 46.3 para todos los tratamientos y los valores más altos se alcanzaron en el día 7; los valores finales de luminosidad oscilan de 43.8 a 54.3. En el estado de madurez "A" (Figura 50 a) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en el día 1 para 1000 Gy, y en el día 13 para 2000 Gy. Además para el estado de madurez "B" (Figura 50 b) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en el día 1 para 1250 Gy y en el día 10 para 2000 Gy.

Así mismo al realizar un análisis multivariante se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) durante todo el tiempo de almacenamiento, lo cual quiere decir que tanto los tratamientos aplicados como ambos estados de madurez, así como la combinación de ambos influyen en los valores de luminosidad.

En la Figura 51 (a) se observa que los valores de luminosidad aumentaron hasta el día 14, para el día 15 descendieron y de este día hasta el día 19 aumentaron, finalmente del día 19 al 22 se muestra un descenso. El valor inicial fue de 32.7 para todos los tratamientos, para el día 14 los valores oscilaron de 42.1 a 59.7 y para el día 19 los valores de luminosidad oscilaron de 52.5 a 66.4.

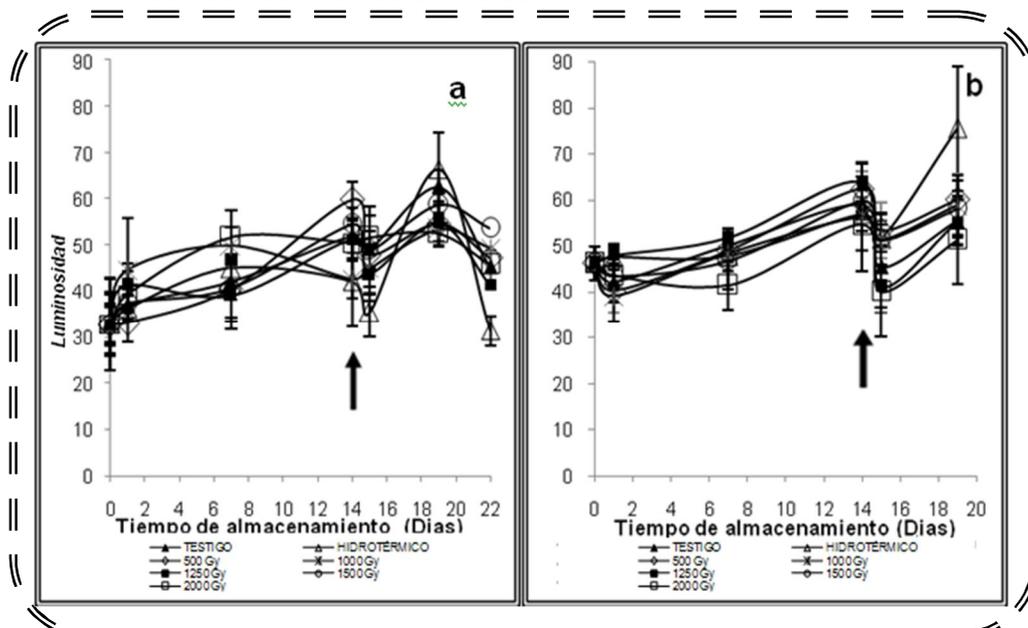


Figura 51. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) e hidrotérmico en la luminosidad de papaya 'Maradol' en diferente estado de madurez a) 3/4 verde y b) 2/4 amarilla almacenadas a 12°C y a 20°C. La flecha indica la transferencia de 12°C a 20°C.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 51 (b) se observa el mismo comportamiento que el descrito anteriormente. El valor inicial fue de 46.3 para todos los tratamientos, en el día 14 los valores oscilaron de 54.6 a 63.9, y para el día 19 los valores oscilaron de 51.3 a 75.6.

En el estado de madurez “A” (Figura 51 a) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en el día 1 para 1000 y 1250 Gy, y en el día 22 para el hidrotérmico. Además para el estado de madurez “B” (Figura 51 b) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en el día 1 para 1000 Gy y en el día 19 para el hidrotérmico.

Así mismo al realizar un análisis multivariante se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) durante todo el tiempo de almacenamiento, lo cual quiere decir que tanto los tratamientos aplicados como ambos estados de madurez, así como la combinación de ambos influyen en los valores de luminosidad.

Con la maduración por lo general disminuye el color verde de las frutas, debido a una disminución de su contenido de clorofila y a un incremento en la síntesis de pigmentos de color amarillo, naranja y rojo (carotenoides y antocianinas) que le dan un aspecto más atractivo a esta (Arias, 2000).

En relación a lo anterior Santamaría (2009) encontró que durante la maduración, la luminosidad en la piel se incrementa de un valor de 41 en la fruta verde a 58.3 en un fruto naranja con ligeras betas verdes, para posteriormente disminuir cuando la piel de la fruta se encuentra en un color naranja característico de la variedad ‘Maradol’, dicho comportamiento concuerda con las Figuras 50 y 51.

4.2.3. Efecto en los parámetros fisiológicos

4.2.3.1. Respiración

Al avanzar la edad de un fruto en poscosecha este continúa respirando y entonces estará agotando las reservas en sus tejidos hasta inducirse la degradación (Díaz, 2002; Lira, 1994).

En el estado de madurez “A” (Figura 52 a) se puede observar que la tendencia de la respiración de los frutos fue en general ascendente, en donde el valor de respiración inicial fue de 31.8 mgCO₂/Kgh para todos los tratamientos; en la figura de respiración de un fruto climatérico existe un punto muy importante llamado punto máximo de climaterio, haciendo mención a ese punto podemos decir que en la Figura 52 (a) este punto se



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

observa para algunos tratamientos en el día 15 y otros en el día 16; y los valores de respiración al final del almacenamiento quedaron entre 20.3 y 40.6 mgCO₂/Kgh.

En la Figura 52 (b) la tendencia fue ascendente, donde el valor de respiración inicial fue de 38 mgCO₂/Kgh para todos los tratamientos; el punto máximo de climaterio para la mayoría de los tratamientos se encuentra en el día 15 y el valor de respiración final osciló de 32a 66 mgCO₂/Kgh.

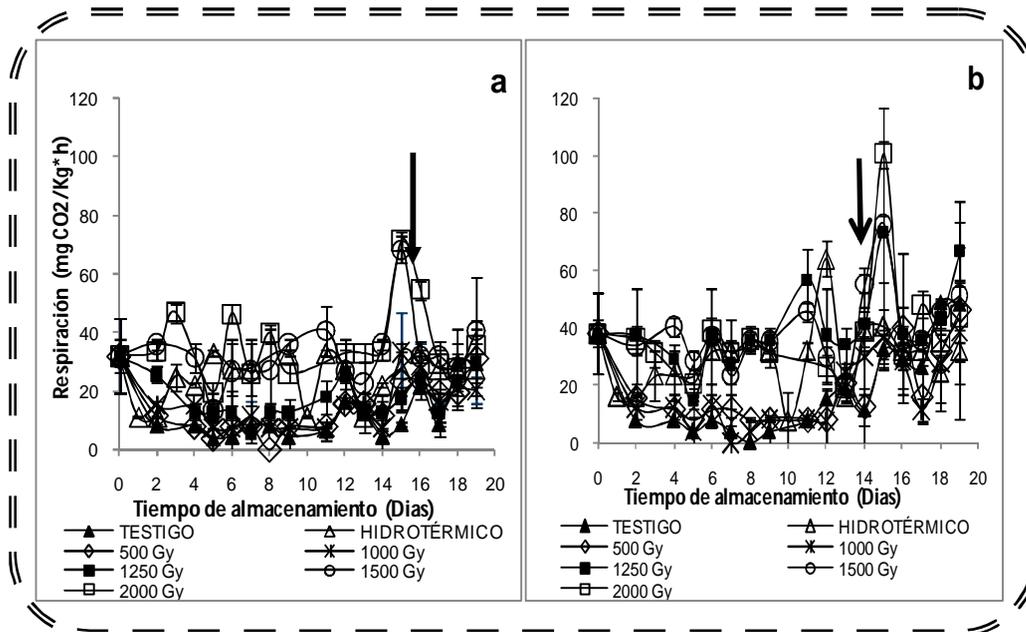


Figura 52. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) e hidrotérmico en la respiración de papaya 'Maradol' en diferente estado de madurez **a)** $\frac{3}{4}$ verde y **b)** $\frac{2}{4}$ amarilla almacenadas a 12°C y a 20°C. La flecha indica la transferencia de 12°C a 20°C.

En el estado de madurez "A" (Figura 52 a) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en el día 2 para 1250, 1500 y 2000 Gy, y al final del almacenamiento para 1000 Gy. En el estado de madurez "B" (Figura 52 b) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en el día 2 para 1250, 1500 y 2000 Gy, en los días 4, 5, 6, 7, 8, 9, y 12 para el hidrotérmico, 1500 y 2000 Gy y en el día 19 para 1250 Gy.

Así mismo al realizar un análisis multivariante se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) durante todo el tiempo de almacenamiento en los tratamientos aplicados y ambos estados de madurez lo cual quiere decir que influyen en los valores de respiración; y en la combinación de ambos factores no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) durante todo el tiempo de almacenamiento no influyendo en los valores de respiración.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El comportamiento obtenido en el presente trabajo concuerda con lo obtenido por Santamaría (2009) donde en frutos de papaya 'Maradol' la frecuencia respiratoria aumentó gradualmente hasta obtener la velocidad máxima de respiración a los 8 días siendo estos niveles los más altos que para todos los demás días posteriormente se muestra un descenso en los valores.

De igual manera se encontró en la Figura 52 que los tratamientos a las dosis más altas de irradiación (1250, 1500 y 2000 Gy) tuvieron un efecto significativo sobre la respiración, lo cual coincide con trabajos de Innocenzo (2001) quien encontró que la irradiación a 500 Gy provocó valores más altos de respiración con respecto al testigo; así mismo este efecto no quiere decir que la irradiación haya retrasado la maduración de los frutos, ya que este comportamiento se puede corroborar al buscar el máximo punto de climaterio y en los resultados obtenidos (Figura 52) el punto máximo de climaterio se encuentra en la mayoría de los tratamientos en un mismo día para ambos estados de madurez.

Se observó que después del punto máximo de climaterio estando las papayas ya a 20°C los valores de respiración aumentaron, debido a que esta depende de varios factores dentro de los cuales se pueden mencionar la especie, variedad, grado de madurez de la fruta y temperatura según Arias (2000).

4.2.4. Efecto en los parámetros nutricionales

4.2.4.1. Vitamina C

La Vitamina C, es el producto principal que aportan los frutos de papaya a la nutrición, se localiza en forma natural como ácido L-ascórbico y su concentración está influenciada por la variedad, tipo de tejido, condiciones ambientales o de almacenamiento y de procesamiento (Mapson, 1970).

En el estado de madurez "A" (Figura 53 a) se puede observar que la tendencia del contenido de vitamina C fue ascendente, en donde el valor de vitamina C inicial fue de 21.5 mg/100g para todos los tratamientos, el valor de vitamina C en el día 10 osciló de 24.6 a 39.7 mg/100g y los valores de vitamina C al final del almacenamiento quedaron entre 21.1 a 29.3 mg/100g. En el estado de madurez "B" (Figura 53 b) la tendencia del contenido de vitamina C fue ascendente, donde el valor de vitamina C inicial fue de 21.5 para todos los tratamientos y el valor de vitamina C final osciló de 22.9 a 44.7 mg/100g. En el estado de madurez "A" (Figura 53a) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

respecto al testigo en el día 1 para 1250 Gy, para el día 10 para 500, 1000, 1250 y 1500 Gy; no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) para ninguno de los tratamientos con respecto al testigo al final de almacenamiento (día 13).

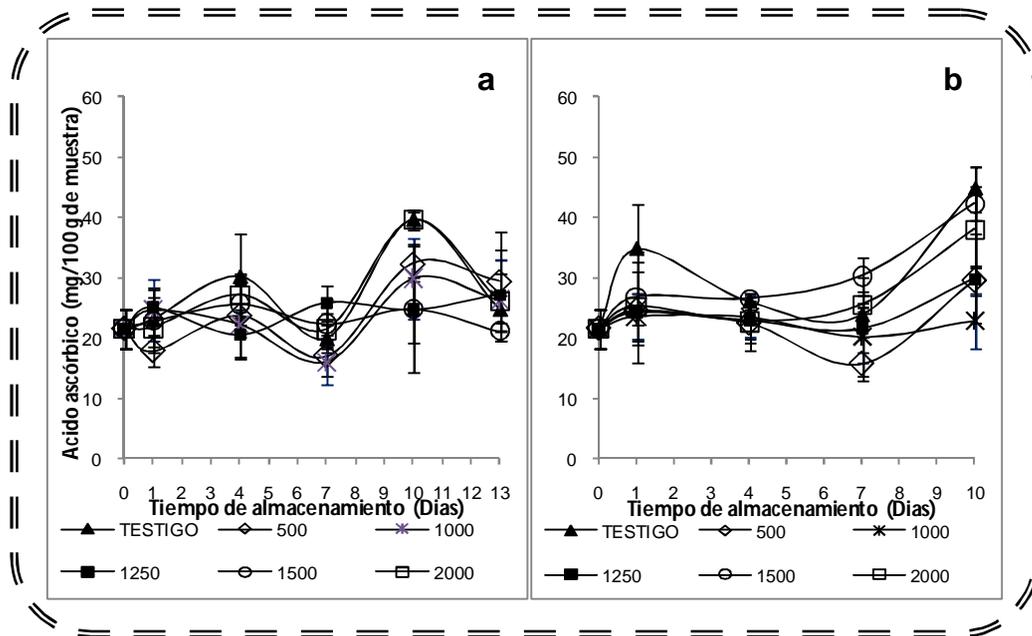


Figura 53. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) en el contenido de Vitamina C de papaya 'Maradol' en diferente estado de madurez a) $\frac{3}{4}$ verde y b) $\frac{2}{4}$ amarilla almacenadas a 20 °C.

Además para el estado de madurez "B" (Figura 53b) no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) para ninguno de los tratamientos con respecto al testigo en el día 1 y a lo largo del almacenamiento se encontraron diversos cambios y para el día 10 se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en 500, 1000 y 1250 Gy.

Así mismo al realizar un análisis multivariante se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) durante todo el tiempo de almacenamiento, lo cual quiere decir que tanto los tratamientos aplicados como ambos estados de madurez y la combinación de estos factores influyeron en los valores de vitamina C.

En el estado de madurez "A" (Figura 54 a) se puede observar que la tendencia del contenido de vitamina C fue ascendente, en donde el valor de vitamina C inicial fue de 21.53 para todos los tratamientos, el valor de pH en el día 19 osciló de 20.8 a 37.6 mg/100g de muestra y los valores de vitamina C al final del almacenamiento quedaron entre 6.3 a 38.5 mg/100g..



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

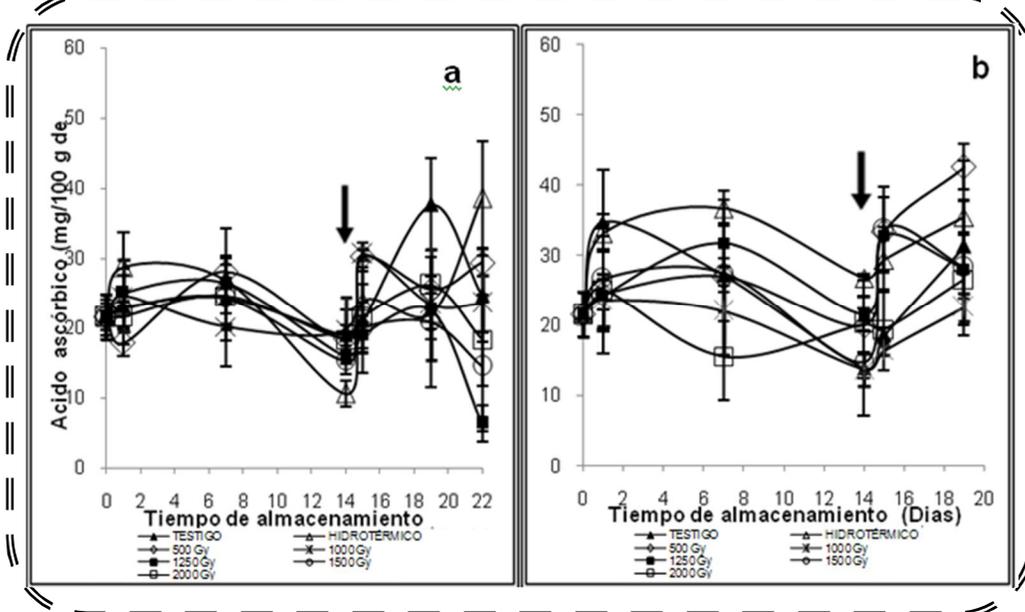


Figura 54. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) e hidrotérmico en el contenido de Vitamina C de papaya 'Maradol' en diferente estado de madurez **a)** $\frac{3}{4}$ verde y **b)** $\frac{2}{4}$ amarilla almacenadas a 12°C y a 20°C . La flecha indica la transferencia de 12°C a 20°C .

En el estado de madurez "B" (Figura 54 b) la tendencia de vitamina C fue ascendente, donde el valor de vitamina inicial fue de 21.53 para todos los tratamientos y el valor de vitamina C final osciló de 22.6 a 42.6 mg/100g de muestra. En el estado de madurez "A" (Figura 54a) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en el día 1 para el tratamiento hidrotérmico; y para el día 22 en el tratamiento hidrotérmico y 1250 Gy

Además para el estado de madurez "B" (Figura 54b) no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) para ninguno de los tratamientos con respecto al testigo en el día 1; y al final del almacenamiento (día 19) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo para hidrotérmico y la dosis de 500 Gy.

Así mismo al realizar un análisis multivariante se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) durante todo el tiempo de almacenamiento, lo cual quiere decir que tanto los tratamientos aplicados como ambos estados de madurez, así como la interacción de ambos factores influyen en el contenido de vitamina C.

El contenido de ácido ascórbico en frutos inmaduros se ha encontrado que fue de 42 mg/100 g de pulpa mientras que en frutos maduros es de 55 mg/100g, es decir hay un incremento de ácido ascórbico en los frutos maduros (Arriola *et al.*, 1980), lo cual coincide con lo anterior ya que los valores para el estado "A" siempre fueron menores en



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

comparación con los del estado “B”. Por otro lado, las pérdidas de vitamina C se incrementan con los daños físicos, altas temperaturas, almacenamientos prolongados, humedad relativa baja, daños por frío entre otros (Corrales, 1993), por lo anterior se puede decir que el almacenamiento prolongado para el caso del estado de madurez en ambas condiciones de almacenamiento provocó el descenso de los valores en la vitamina C en sus últimos 3 días.

Moy y Wong (2002) demostraron que la irradiación no tuvo ningún efecto sobre el contenido de vitamina C de mango y papaya, concordando con los resultados obtenidos en las Figuras 53 y 54 donde el tratamiento hidrotérmico y las dosis de irradiación no tuvieron diferencia significativa en todos los días de almacenamiento.

4.2.5. Efecto en los parámetros sensoriales

El análisis sensorial es un instrumento de gran utilidad para poder realizar un adecuado testigo de calidad y aceptabilidad en los alimentos. Es un método que mide analiza e interpreta las reacciones percibidas por los sentidos de las personas de acuerdo con las características del alimento. Las distintas sensaciones captadas e interpretadas serán usadas para medir la calidad de los alimentos por ejemplo: su sabor, aroma, textura y aceptabilidad.

La evaluación sensorial se realizó tomando en cuenta una escala del 1 al 5, siendo el menor valor el menos aceptado y el 5 el más aceptado, para cada parámetro evaluado.

En el estado de madurez “A” (Figura 55 a), se puede observar que el tratamiento que tuvo mayor aceptabilidad en la mayoría de los parámetros fue el testigo al presentar los valores más altos, de apariencia, color, aroma y sabor; el menos aceptado fue el de 2000 Gy en cuanto a la apariencia, color, sabor. En el estado de madurez “B” (Figura 55b) se puede observar que el testigo fue el que presentó mayor aprobación en la mayoría de los parámetros como apariencia, color y aroma; el tratamiento de 2000 Gy fue evaluado con los menores valores de aceptabilidad en cuanto a los atributos de color y aroma.

En el estado de madurez “A” (Figura 55 a) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en la apariencia para todas las dosis de irradiación, mientras que en color para 1000, 1250, 1500 y 2000 Gy, en aroma para 500, 1000, 1250 y 2000 Gy, en textura para 1500 Gy y en sabor para 1250 y 2000 Gy.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

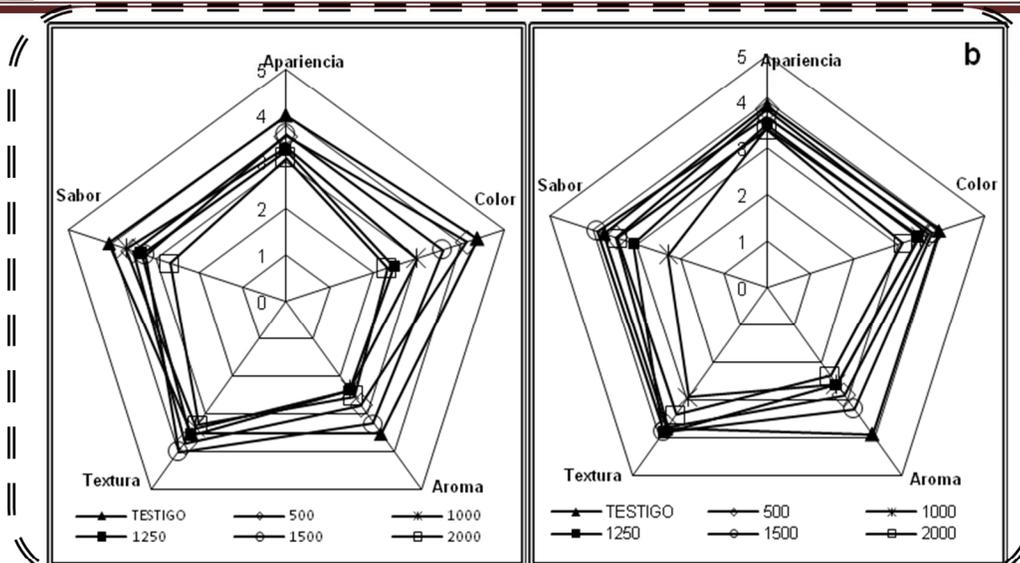


Figura 55. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) en los parámetros sensoriales (apariencia, color, aroma, textura y sabor) de papaya 'Maradol' en diferente estado de madurez a) $\frac{3}{4}$ verde y b) $\frac{2}{4}$ amarilla almacenadas a 20 °C.

En el estado de madurez "B" (Figura 55 b) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en color para 2000 Gy, en aroma para todas las dosis de irradiación, en textura para 1000 Gy y en el sabor para 1000 y 1250 Gy. Lo que indica que el color fue uno de los atributos más afectado por el tratamiento por irradiación.

En la Figura 56 (a) se observa que la mayor aceptación fue para el testigo con 7.4 de calificación y el menos aceptado fue el de 2000 Gy con 4.6 de calificación.

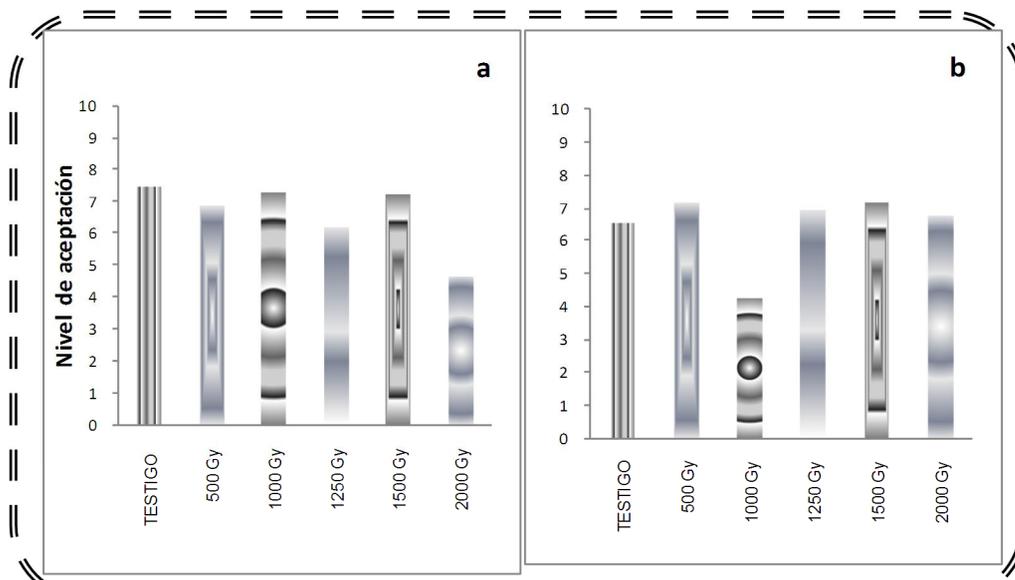


Figura 56. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) en la aceptación de papaya 'Maradol' en diferente estado de madurez a) $\frac{3}{4}$ verde y b) $\frac{2}{4}$ amarilla almacenadas a 20 °C.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 56 (b) los tratamientos de 500 y 1500 Gy son los más aceptados con 7.1 de calificación y el menos aceptado fue el de 1000 Gy con 4.2 de calificación.

En el estado de madurez “A” (Figura 56 a) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto a la aceptación general para 1250 y 2000 Gy. En el estado de madurez “B” (Figura 56 b) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto a la aceptación general para 1000 Gy. Así mismo al realizar un análisis multivariante se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por los tratamientos aplicados por el estado de madurez, así como por la interacción de ambos factores, lo cuales influyen en los valores de los parámetros sensoriales y la aceptación general.

En la Figura 57 (a), se observa que los mayores valores de aceptación se obtuvieron en apariencia para 1250 y 1500 Gy, en color para 1500 Gy, en aroma para 2000 Gy, en textura para 1000 Gy y en sabor para el hidrotérmico; sin embargo el tratamiento que tuvo menor aceptabilidad en la mayoría de los parámetros fue el testigo al presentar rangos más bajos en sabor, color y apariencia, en cuanto al aroma y textura se tiene la dosis de 500 Gy.

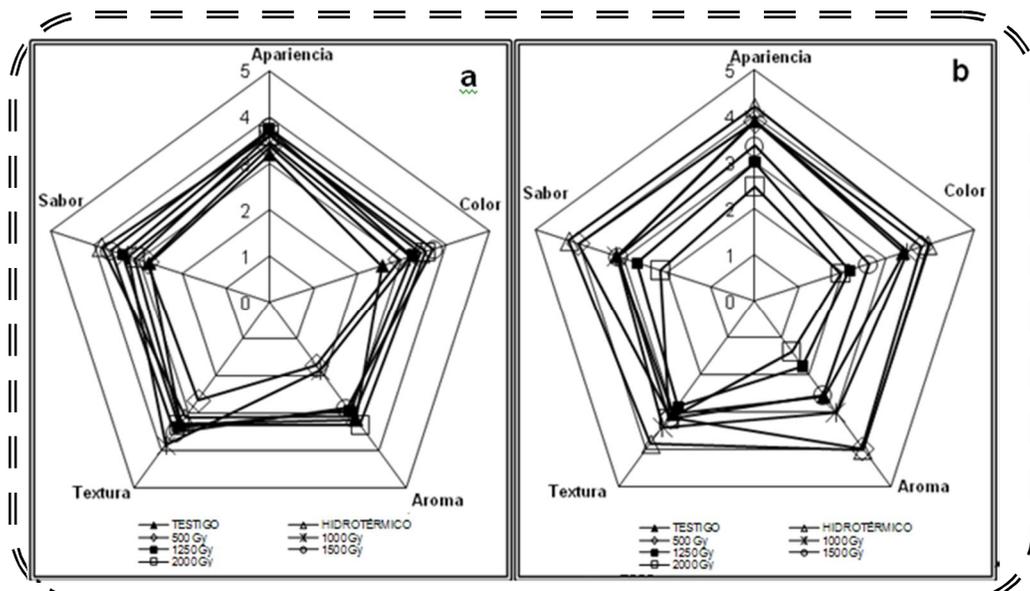


Figura 57. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) e hidrotérmico en los parámetros sensoriales (apariencia, color, aroma, textura y sabor) de papaya 'Maradol' en diferente estado de madurez **a)** $\frac{3}{4}$ verde y **b)** $\frac{2}{4}$ amarilla almacenadas a 12°C con transferencia a 20°C.

En la Figura 57 (b) se puede observar que el tratamiento hidrotérmico fue el que tuvo mayor aceptabilidad en apariencia, color, aroma, textura y sabor; sin embargo el



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

tratamiento que presentó menor aceptabilidad en cuanto a la apariencia, color, aroma y sabor fue el de 2000 Gy y en cuanto a la textura el tratamiento de 1250 Gy.

En el estado de madurez “A” (Figura 57a) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en la apariencia para 1250 y 1500 Gy, en color para el hidrotérmico, en aroma y textura para 500 y 1000 Gy y en sabor para el hidrotérmico y 1500 Gy.

Además para el estado de madurez “B” (Figura 57 b) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en apariencia y color para 1250, 1500 y 2000 Gy, en aroma para el hidrotérmico, 500, 1250 y 2000 Gy, en textura para el hidrotérmico y 1000 Gy y en el sabor para el hidrotérmico, 500 y 2000 Gy.

En la Figura 58 (a) se puede observar que el tratamiento con mayor aceptación fue el de 1500 Gy con una calificación de 7.6 seguido del hidrotérmico y el menos aceptado fue el de 2000 Gy con calificación de 6. En la Figura 58 (b) se puede observar que el tratamiento con mayor aceptación fue el hidrotérmico con 8.5 de calificación y el menos aceptado fue el de 2000 Gy con una calificación de 4.1.

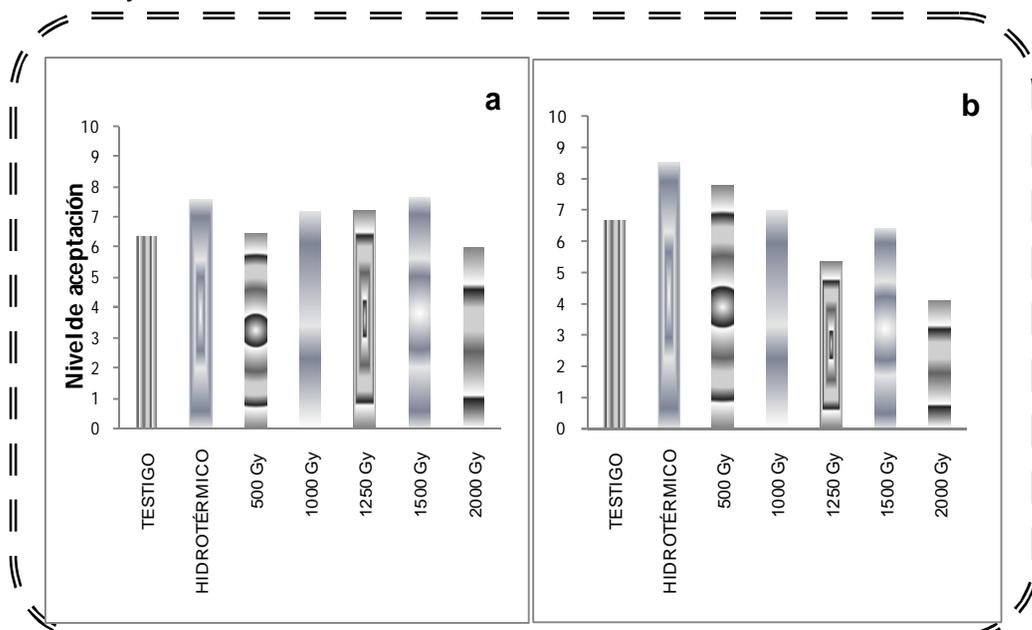
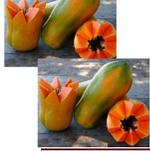


Figura 58. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) e hidrotérmico en cuanto a la aceptación en papaya 'Maradol' en diferente estado de madurez **a)** 3/4 verde y **b)** 2/4 amarilla almacenadas a 12°C con transferencia a 20°C.

En el estado de madurez “A” (Figura 58 a) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo, en cuanto a la aceptación general para el hidrotérmico



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

y 1500 Gy. Además para el estado de madurez “B” (Figura 58 b) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en cuanto a la aceptación general para el hidrotérmico, 500, 1250 y 2000 Gy.

Así mismo al realizar un análisis multivariante se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) durante todo el tiempo de almacenamiento en los tratamientos aplicados y en la combinación (tratamientos-estado de madurez), lo cual quiere decir que influyen en los parámetros sensoriales y aceptación general; y en ambos estados de madurez no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) durante todo el tiempo de almacenamiento no influyendo en los valores.

Los cambios en las propiedades sensoriales resultan principalmente de tres tipos de reacción química. En primer lugar, la irradiación inicia el proceso normal de auto-oxidación de las grasas, lo que da lugar a malos sabores rancios. Las grasas insaturadas se oxidan más fácilmente que las grasas saturadas, el proceso puede ser frenado por la eliminación de oxígeno. En segundo lugar, la irradiación de las proteínas que tienen sulfuro en aminoácidos produce un deterioro ligero en los aminoácidos, dando lugar a sabores desagradables. Esto se presenta particularmente en productos lácteos. Cabe señalar, que la ruptura se encuentra en un nivel muy bajo sin dar cambio en el valor nutricional. En tercer lugar, la irradiación puede romper los carbohidratos de alto peso molecular en unidades más pequeñas. Este proceso se hace responsable del ablandamiento de frutos y hortalizas a través de la descomposición de los materiales de la pared celular, por ejemplo la pectina. El efecto depende de una serie de factores como el tipo, variedad y madurez de la fruta (Kilcast, 1994).

Los cambios en algunos componentes químicos, así como en algunas propiedades sensoriales aumentan al incrementar la dosis de irradiación y son los cambios en las propiedades sensoriales que normalmente limitan la dosis de radiación empleada (Kilcast, 1994).

La apariencia es la primera impresión que el consumidor percibe y es uno de los componentes más importantes para la aceptación del producto (Pérez y Ramírez, 2010). De acuerdo a los resultados obtenidos, la dosis de irradiación de 2000 Gy resultó la más desagradable y con efecto significativo para los panelistas, en el estado de madurez “A” a



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

una 20°C y para el estado “B” a 12/20°C, por otro lado el testigo tuvo mayor aceptación en este parámetro para el estado “A” y “B” a una 20°C y para el estado “A” con una 12/20°C la menor aceptación. Con respecto al color el contenido de clorofila disminuye y los carotenos xantofilas aumentan, provocando un cambio de verde a amarillo o rojo (Blandón, 2008). En cuanto a este parámetro la dosis de irradiación a 2000 Gy tuvo la menor aceptación para el estado de madurez “A” a una 20°C, así mismo 1500 Gy obtuvo la mayor aceptación en el mismo estado pero a 12/20°C, por otro lado el testigo presentó mayor aceptación en ambos estados de madurez a 20°C y la menor aceptación en el estado de madurez “A” a 12/20°C.

El aroma se desarrolla por la formación de una serie de compuestos volátiles que le permiten un olor característico a las diferentes frutas (Arias, 2000). La dosis de irradiación de 2000 Gy presentó la menor aceptación en el estado de madurez “B” a 20°C, por otro lado 500 Gy fue el menos aceptado en el estado de madurez “A” a 12/20°C, el tratamiento hidrotérmico presentó la mayor aceptación y la menor aceptación la dosis más alta de irradiación (2000 Gy) en el estado de madurez “B” a 12/20°C lo anterior mencionado presenta diferencia significativa, así mismo el testigo presentó la mayor aceptación en el estado de madurez “A” y “B” a 20°C.

En cuanto a la textura, la degradación de compuestos pécticos representa una reducción en la fuerza de cohesividad entre las células adyacentes, además la celulosa y la hemicelulosa representan un debilitamiento de la pared celular dando como resultado un efecto de suavización de tejidos (Blandón, 2008). La dosis de 1500 Gy resultó el más aceptado en textura en el estado de madurez “A” a 20°C y el de 1000 Gy fue el menos aceptado en el estado “B” a la misma temperatura, en cuanto a la temperatura de 12/20°C para el estado de madurez “A” se encontró que la dosis de 1000 Gy fue el más aceptado y el de 500 Gy el menos aceptado, y para el estado “B” el tratamiento hidrotérmico presentó mayor aceptación.

El sabor cambia debido a la hidrólisis de almidones que se transforman en azúcares, por la desaparición de los taninos y otros productos causantes del sabor astringente y por la disminución de la acidez debido a la degradación de los ácidos orgánicos (Arias, 2000). Para el almacenamiento a 20°C con respecto al estado de madurez “A” la dosis de 2000 Gy fue el menos aceptado y en el estado “B” fue para la dosis de 1000 Gy, por otro lado a 12/20°C en el estado de madurez “A” el tratamiento hidrotérmico fue el más aceptado al



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

igual que para el estado “B”, la dosis de 2000 Gy fue la menos aceptada en el estado madurez “B” a la misma temperatura lo mencionado anteriormente con diferencia significativa; así mismo el testigo resultó ser el más aceptado en el estado de madurez “A” a 20°C y el menos aceptado en el mismo estado de madurez pero a 12/20°C. Se encontró que la menor aceptación general (calificación) fue para 2000 Gy en el estado de madurez “B” a 12/20°C. Así mismo la mayor aceptación general (calificación) fue para el hidrotérmico en el estado de madurez “B” a 12/20°C.

4.2.6. Efecto en los síntomas de antracnosis

La infección que produce el hongo provoca durante la penetración directa de los tejidos sanos, donde el micelio crece intercelularmente y puede permanecer latente durante cierto tiempo antes de que las células empiecen a colapsarse y pudrirse. El micelio del moho produce entonces acérvulos y conidios inmediatamente por debajo de la cutícula, la cual se rompe y libera las conidios para iniciar más infecciones (Reyes, 2008).

4.2.6.1. Incidencia de enfermedad

La incidencia de la enfermedad se evaluó mediante la observación de cada uno de los frutos que presentaban síntomas de antracnosis lo cual se mide por medio de porcentaje de cada lote.

En la Figura 59a se muestra la incidencia de la antracnosis en frutos almacenados a 20°C, en el estado de madurez “A” se puede observar que la tendencia de la incidencia de enfermedad fue ascendente, en donde el primer tratamiento en aumentar esta incidencia fue la dosis de 1500 Gy y la última en aumentar fue la dosis de 500 Gy; los aumentos más notables se encuentran entre los días 10 y 13; así como las primeras dosis en llegar al 100% son 500 y 1000 Gy y la última en llegar al 100% fue la dosis de 1250 Gy.

En el estado de madurez “B” (Figura 59 b) la tendencia de los tratamientos fue ascendente, en donde el primer tratamiento en aumentar esta incidencia fue la dosis de 1250 Gy y la última en aumentar fue la dosis de 1000 Gy; así como el primer tratamiento en llegar al 100% fue el tratamiento hidrotérmico y las últimas en llegar al 100% fue la dosis de 500 y 1000 Gy.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

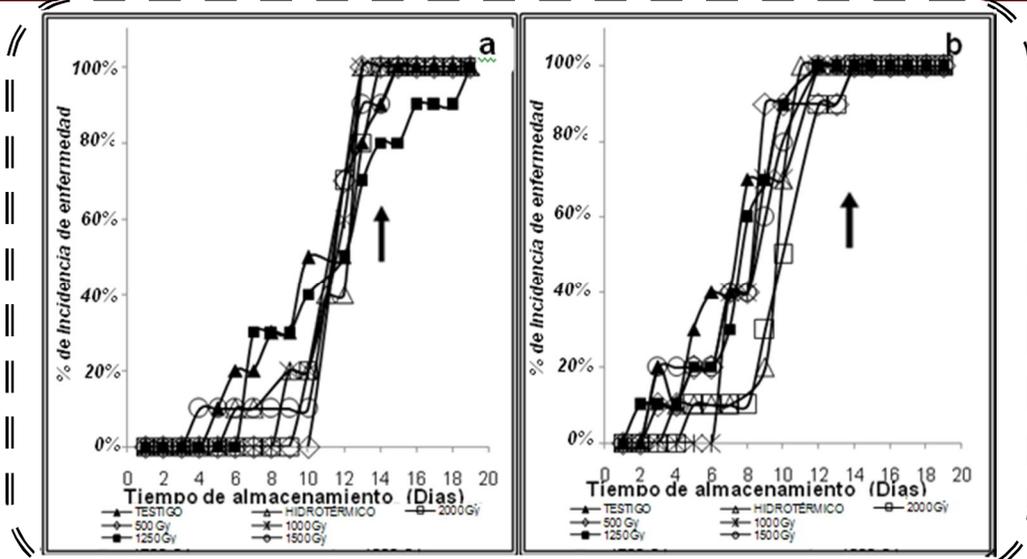


Figura 59. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) e hidrotérmico en la incidencia de enfermedad en papaya 'Maradol' (inoculada naturalmente) en diferente estado de madurez **a)** $\frac{3}{4}$ verde y **b)** $\frac{2}{4}$ amarilla almacenadas a 12°C y a 20°C. La flecha indica la transferencia de 12°C a 20°C.

En la Figura 60(a) se muestran la incidencia de la enfermedad en los frutos en estado de madurez "A" y almacenados a 12°C y transferidos a 20°C se observa que la tendencia de la incidencia fue ascendente, donde los primeros tratamientos en aumentar esta incidencia fueron el tratamiento hidrotérmico y las dosis de 1250 y 1500 Gy, siendo las últimas en aumentar las dosis de 1000 y 2000 Gy; así como el testigo fue el primero en llegar al 100% de incidencia la dosis de 1250 Gy fue la última en alcanzar ese porcentaje.

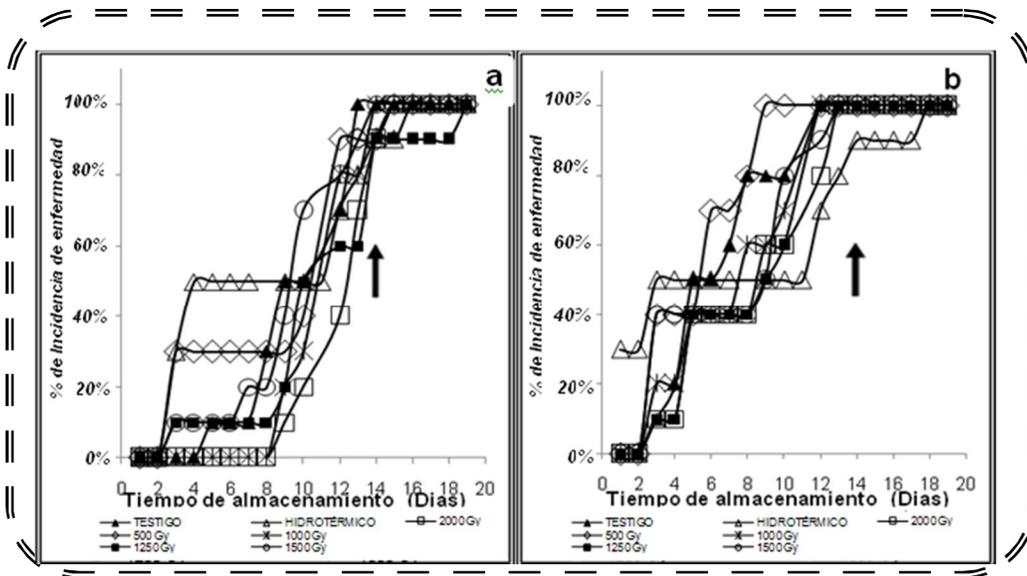


Figura 60. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) e hidrotérmico en la incidencia de enfermedad en papayas 'Maradol' (inoculada artificialmente) en diferente estado de madurez **a)** $\frac{3}{4}$ verde y **b)** $\frac{2}{4}$ amarilla almacenadas a 12°C y a 20°C. La flecha indica la transferencia de 12°C a 20°C.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 60 (b) la tendencia de los tratamientos en las papayas en estado de madurez “B” fue ascendente, en donde el primer tratamiento en aumentar esta incidencia fue el tratamiento hidrotérmico cabe mencionar que incluso comenzó con un 30% de incidencia, posteriormente los demás tratamientos aumentaron en un mismo día; por otra parte el primer tratamiento en llegar al 100% fue la dosis de 500 Gy y el último en llegar a ese porcentaje fue el tratamiento hidrotérmico.

4.2.6.2. Índice de decaimiento (IDC)

El índice de decaimiento se evaluó mediante la observación de cada uno de los frutos con el fin de identificar los diferentes niveles en cuanto a síntomas de enfermedad que presentaban cada una de las papayas.

En la Figura 61 (a) se muestra la tendencia del índice de decaimiento de frutos almacenados a 20°C en estado de madurez “A”, en donde se observa que el IDC fue ascendente, en donde el tratamiento a 1500 Gy presentó un ascenso en el IDC y la última en presentar este ascenso fue la dosis de 500 Gy; al final del almacenamiento el tratamiento que presentó el mayor IDC fue el testigo, siendo la dosis de 1250 Gy el que presentó el valor menor.

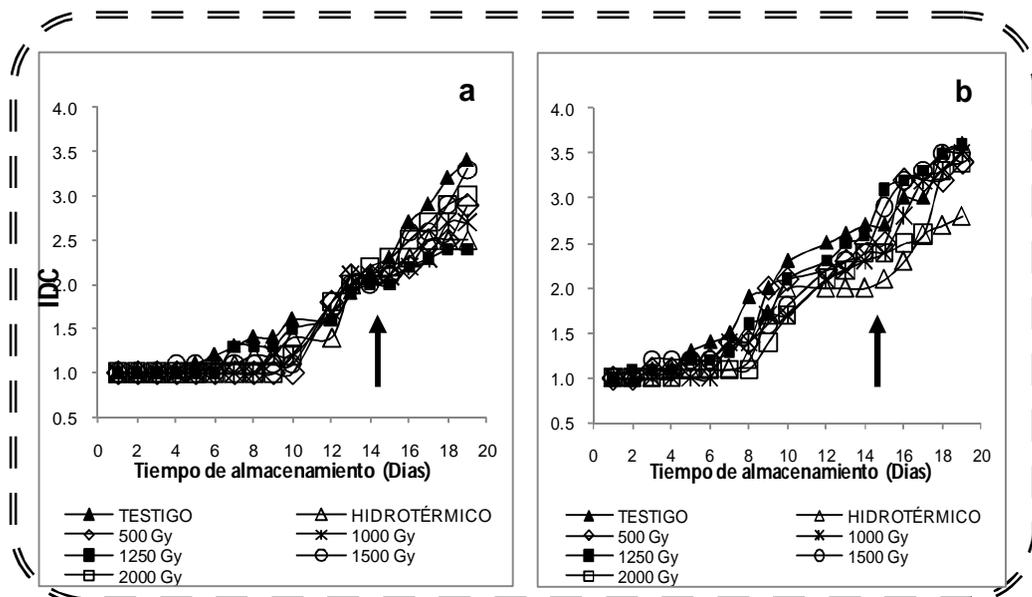


Figura 61. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) e hidrotérmico en el índice de decaimiento en papaya 'Maradol' (inoculadas naturalmente) en diferente estado de madurez **a)** ¾ verde y **b)** 2/4 amarilla almacenadas a 12°C y a 20°C. La flecha indica la transferencia de 12°C a 20°C.

En la Figura 61 (b) se puede observar que la tendencia del IDC en frutos con estado de madurez “B” fue ascendente, en donde el primer tratamiento en mostrar un ascenso en el



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

IDC fue la dosis de 1500 Gy y la última en presentar este ascenso fue la dosis de 2000 Gy; al final del almacenamiento el tratamiento que presentó el mayor IDC fue la dosis de 1250 Gy siendo el tratamiento hidrotérmico el que presentó el valor menor.

En la Figura 62 (a) se puede observar que la tendencia del IDC en las papayas inmaduras fue ascendente, en donde el primer tratamiento en mostrar un ascenso en el IDC fue el tratamiento hidrotérmico junto con la dosis de 500 Gy y las últimas en presentar un ascenso fueron las dosis de 1000 y 2000 Gy; al final del almacenamiento el tratamiento que presentó el mayor IDC fue el testigo, siendo el tratamiento hidrotérmico el que presentó el valor menor.

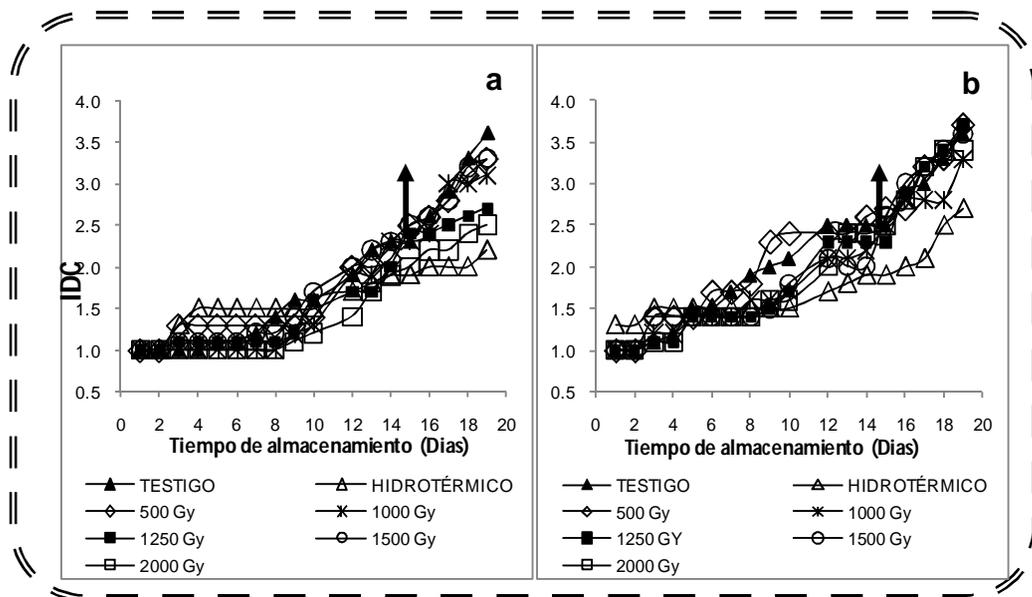


Figura 62. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) e hidrotérmico en el índice de decaimiento en papayas 'Maradol' (inoculada artificialmente) en diferente estado de madurez **a)** $\frac{3}{4}$ verde y **b)** $\frac{2}{4}$ amarilla almacenadas a 12°C y a 20°C . La flecha indica la transferencia de 12°C a 20°C .

En la Figura 62 (b) se puede observar que la tendencia del IDC en las papayas con estado de madurez "B" fue ascendente, en donde todos los tratamientos aumentan el IDC en el mismo día (día 2); al final del almacenamiento las dosis que presentaron el mayor IDC fueron 500 y 1250 Gy siendo el tratamiento hidrotérmico el que presentó el valor menor.

Durante la etapa de madurez fisiológica el fruto no muestra evidencias de infección, los síntomas se desarrollan durante la fase de maduración posclimática. Así la infección se presenta cerca de la madurez o durante el manejo poscosecha (Dickman y Alvarez,



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1983); debido a lo anterior mencionado se observa en la Figura 62 (a) que el IDC muestra un mayor incremento a partir del día 8 y para la Figura 62 (b) en el día 4, ya que son frutos más maduros.

4.2.6.3. Severidad de la enfermedad

La severidad de la antracnosis fue evaluada mediante la observación de cada uno de los frutos midiendo el área (cm^2) de cada uno de los síntomas que caracterizan a la antracnosis.

En el estado de madurez “A” (Figura 63 a) se puede observar que la tendencia de la severidad de la enfermedad fue ascendente, en donde el primer tratamiento en mostrar el incremento en la severidad fue el testigo y el último fue el hidrotérmico; al final del almacenamiento el tratamiento que presentó la mayor severidad fue la dosis de 1500 Gy siendo el hidrotérmico el que mostro el menor valor.

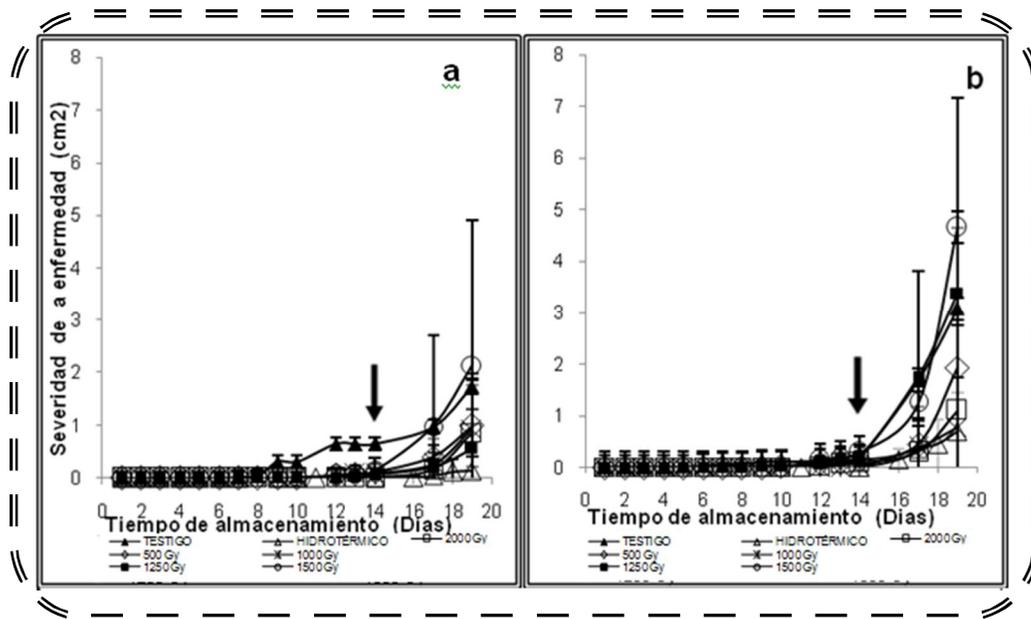


Figura 63. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma (γ) e hidrotérmico en cuanto a la severidad de la enfermedad en papaya 'Maradol' (inoculada artificialmente) en diferente estado de madurez a) $\frac{3}{4}$ verde y b) $\frac{2}{4}$ amarilla almacenadas a 12°C y a 20°C . La flecha indica la transferencia de 12°C a 20°C .

En el estado de madurez “B” (Figura 63 b) el primer tratamiento en mostrar un ascenso en la severidad fue el testigo, mientras que los últimos en aumentar fueron las dosis de 1000 y 1500 Gy; al final del almacenamiento el tratamiento con mayor severidad fue el de la dosis de 1500 Gy siendo el tratamiento hidrotérmico el que presentó el menor valor.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el estado de madurez “A” (Figura 63a) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo para el día 19 a 1500 Gy. Además para el estado de madurez “B” (Figura 63b) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en el día 14 para el tratamiento hidrotérmico y el día 19 para 500 Gy.

Así mismo al realizar un análisis multivariante se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en la severidad de la enfermedad en los frutos sometidos a los diferentes tratamientos aplicados, así como en los frutos con diferentes estados de madurez y la combinación de los factores.

La incidencia y severidad de la antracnosis reducen la vida de anaquel de los frutos de la papaya al modificar los componentes de calidad hasta hacerlo inadecuado para su consumo en fresco. La infección que produce el moho se lleva a efecto mediante la penetración directa de los tejidos sanos, donde el micelio crece intercelularmente y puede permanecer latente durante cierto tiempo antes de que las células empiecen a colapsarse y pudrirse. El micelio del moho produce entonces acérvulos y conidios inmediatamente por debajo de la cutícula, la cual se rompe y libera los conidios para una vez más iniciar más infecciones (Reyes, 2008). En un estudio realizado sobre el efecto de la irradiación gamma y rayos UV-C en la poscosecha de control de la antracnosis de papaya, los resultados mostraron que a dosis de 0.75 y 1 Kgy se inhibe la germinación de conidios y el crecimiento micelial *in vitro*. Por lo tanto, la radiación gamma puede contribuir a la reducción de las pérdidas post-cosecha causadas por la antracnosis y reducir el uso o la dosis de fungicidas en el control de la enfermedad (Cia, 2006), coincidiendo con el comportamiento encontrado en el presente trabajo referentes a los síntomas de antracnosis.

En la Figura 64 se observa que en el día 1 para el estado de madurez “B” se observa que a las dosis de 1250 Gy, 1500 Gy y 2000 Gy muestran ligeras coloraciones rojas debidas al tratamiento; haciendo un comparativo entre el día 1 al día 7 de almacenamiento en el estado de madurez “A” se observa una ligera quemadura en el tratamiento hidrotérmico, sin embargo para el estado de madurez “B” se ve un cambio en la coloración de los frutos debido a la maduración, en cuanto a quemaduras ocasionadas por el tratamiento de irradiación se ven más notables en las dosis más altas (1250 Gy, 1500 Gy y 2000 Gy) y en el tratamiento hidrotérmico se ven ligeras quemaduras.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las Figuras 65 y 66 se puede observar que del día 7 al día 14 en el estado de madurez “A” se observó un ligero cambio de color debido a la maduración, sin embargo en el estado “B” quedaron con el mismo color que para el día 7. Con respecto a los daños ocasionados por los tratamientos en el estado de madurez “A” se puede ver que fue más evidente en el hidrotérmico, 1500 y 2000 Gy; y para el estado de madurez “B” en el hidrotérmico, 1250, 1500 y 2000 Gy; por otro lado en cuanto a daños por antracnosis se presentaron en el lote testigo para ambos estados de madurez y en el “B” en 500, 1500 y 2000 Gy. En las Figuras 66 y 67 se puede observar que del día de transferencia (día 14) al día 15 se observan cambios en el estado de madurez “B” ya que se nota un ligero cambio de color debido a la maduración, además de que empiezan a notarse más síntomas de antracnosis en el testigo. En las Figuras 67 y 68 se puede observar que del día 15 al 19 en ambos estados de madurez no hubo cambios en cuanto a maduración (color) además que se hace más notorias las quemaduras ocasionadas por el tratamiento hidrotérmico. En cuanto a los síntomas de antracnosis se observan mayores daños para todos los tratamientos sin embargo en diferente proporción, mostrando en el tratamiento hidrotérmico menos daño y la dosis de 1500 Gy daños mayores; cabe destacar que existieron diferentes mohos oportunistas que ayudaron a denigrar la calidad del fruto.

Por lo anterior, se decide trabajar únicamente con el estado de madurez “A” ya que el estado de madurez “B” mostró ser más susceptible a los diferentes tratamientos aplicados y a los síntomas provocados por la antracnosis. En cuanto al tratamiento de irradiación se decidió trabajar únicamente con las dosis de 500 y 1000 Gy debido a que a dosis mayores presentaron una alta tasa respiratoria, además no mostraron grandes diferencias con respecto a las dosis más bajas de irradiación (500 y 1000 Gy) en cuanto a los síntomas de la antracnosis y finalmente en los parámetros sensoriales las dosis más altas fueron las menos aceptadas por los panelistas.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

| | ESTADO DE MADUREZ "A" | ESTADO DE MADUREZ "B" |
|------------------------|---|--|
| TESTIGO |  |  |
| HIDROTÉRMICO |  |  |
| IRRADIACIÓN 500 Gy |  |  |
| IRRADIACIÓN 1000 Gy |  |  |
| IRRADIACIÓN 1250 Gy |  |  |
| IRRADIACIÓN 1500 Gy |  |  |
| IRRADIACIÓN 2000 Gy |  |  |

Figura 64. Papayas en dos estados de madurez $\frac{3}{4}$ verde ("A") y $\frac{2}{4}$ amarilla ("B"), inoculadas, sometidas a diferentes dosis de irradiación gamma (γ) y almacenadas a 12°C con transferencia a 20°C para el Día 1.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

| | ESTADO DE MADUREZ "A" | ESTADO DE MADUREZ "B" |
|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| TESTIGO | | |
| HIDROTÉRMICO | | |
| IRRADIACIÓN 500 Gy | | |
| IRRADIACIÓN 1000 Gy | | |
| IRRADIACIÓN 1250 Gy | | |
| IRRADIACIÓN 1500 Gy | | |
| IRRADIACIÓN 2000 Gy | | |

Figura 65. Papayas en dos estados de madurez $\frac{3}{4}$ verde ("A") y $\frac{2}{4}$ amarilla ("B"), inoculadas, sometidas a diferentes dosis de irradiación gamma (γ) y almacenadas a 12°C con transferencia a 20°C para el Día 7.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

| | ESTADO DE MADUREZ "A" | ESTADO DE MADUREZ "B" |
|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| TESTIGO | | |
| HIDROTÉRMICO | | |
| IRRADIACIÓN 500 Gy | | |
| IRRADIACIÓN 1000 Gy | | |
| IRRADIACIÓN 1250 Gy | | |
| IRRADIACIÓN 1500 Gy | | |
| IRRADIACIÓN 2000 Gy | | |

Figura 66. Papayas en dos estados de madurez $\frac{3}{4}$ verde ("A") y $\frac{2}{4}$ amarilla ("B"), inoculadas, sometidas a diferentes dosis de irradiación gamma (γ) y almacenadas a 12°C con transferencia a 20°C para el Día 14 (Día de transferencia).



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

| | ESTADO DE MADUREZ "A" | ESTADO DE MADUREZ "B" |
|------------------------|---|--|
| TESTIGO |  |  |
| HIDROTÉRMICO |  |  |
| IRRADIACIÓN 500 Gy |  |  |
| IRRADIACIÓN 1000 Gy |  |  |
| IRRADIACIÓN 1250 Gy |  |  |
| IRRADIACIÓN 1500 Gy |  |  |
| IRRADIACIÓN 2000 Gy |  |  |

Figura 67. Papayas en dos estados de madurez $\frac{3}{4}$ verde ("A") y $\frac{2}{4}$ amarilla ("B"), inoculadas, sometidas a diferentes dosis de irradiación gamma (γ) y almacenadas a 12°C con transferencia a 20°C para el Día 15.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

| | ESTADO DE MADUREZ "A" | ESTADO DE MADUREZ "B" |
|------------------------|---|--|
| TESTIGO |  |  |
| HIDROTÉRMICO |  |  |
| IRRADIACIÓN 500 Gy |  |  |
| IRRADIACIÓN 1000 Gy |  |  |
| IRRADIACIÓN 1250Gy |  |  |
| IRRADIACIÓN 1500 Gy |  |  |
| IRRADIACIÓN 2000 Gy |  |  |

Figura 68. Papayas en dos estados de madurez $\frac{3}{4}$ verde ("A") y $\frac{2}{4}$ amarilla ("B"), inoculadas, sometidas a diferentes dosis de irradiación gamma (γ) y almacenadas a 12°C con transferencia a 20°C para el Día 19.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.3. EFECTO DEL MÉTODO DE INOCULACIÓN Y CONCENTRACIÓN DE INÓCULO DE *Colletotrichum gloeosporioides* EN EL DESARROLLO DE LOS SÍNTOMAS DE ANTRACNOSIS

Para conocer el método de inoculación y la concentración de inóculo que presenten el desarrollo de síntomas de antracnosis en las papayas, se decidió estudiar dos diferentes métodos de inoculación así como diferentes concentraciones, ya que el método de zona específica aplicado en el primer objetivo no pudo ser evaluado adecuadamente debido a la microbiota superficial que presentaron las papayas provenientes del campo.

4.3.1. Establecimiento del método de inoculación zona específica (ZE) o frotación (F) que presente mayores síntomas de enfermedad

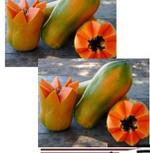
4.3.1.1. Incidencia de enfermedad, Índice de decaimiento y Severidad de la enfermedad.

En la Figura 69 (a) se puede observar que la tendencia de la incidencia de enfermedad fue ascendente, en donde todos los tratamientos aumentaron la incidencia en el día 3; la línea correspondiente a f-inóculo 2 (método de frotación con una concentración de inóculo 1×10^6 esporas/mL) fue la primera en llegar al 100% de incidencia cabe mencionar que también se mantuvo por encima de las demás líneas durante todo el tiempo de almacenamiento, siendo ze-inóculo1 (método de zona específica con una concentración de inóculo 5×10^5 esporas/mL) el que presentó los valores menores de la incidencia durante el tiempo de almacenamiento.

En la Figura 69(b) se puede observar que la tendencia del IDC fue ascendente, en donde todos los tratamientos mostraron un ascenso en el día 3, así como las líneas correspondientes al método de frotación presentó los valores más altos en cuanto al IDC durante todo el almacenamiento siendo ze-inóculo1 el más bajo.

En la Figura 69(c) se puede observar que la tendencia de la severidad de la enfermedad fue ascendente, en donde las líneas correspondientes al método de frotación quedan por arriba del método de zona específica durante el tiempo de almacenamiento y al final de este el f-inóculo 2 tuvo la mayor severidad de antracnosis.

En la Figura 69 (c) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en los días 3, 4, 5, 6 y 7 para f-inóculo2, no se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en los días 1 y 2.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

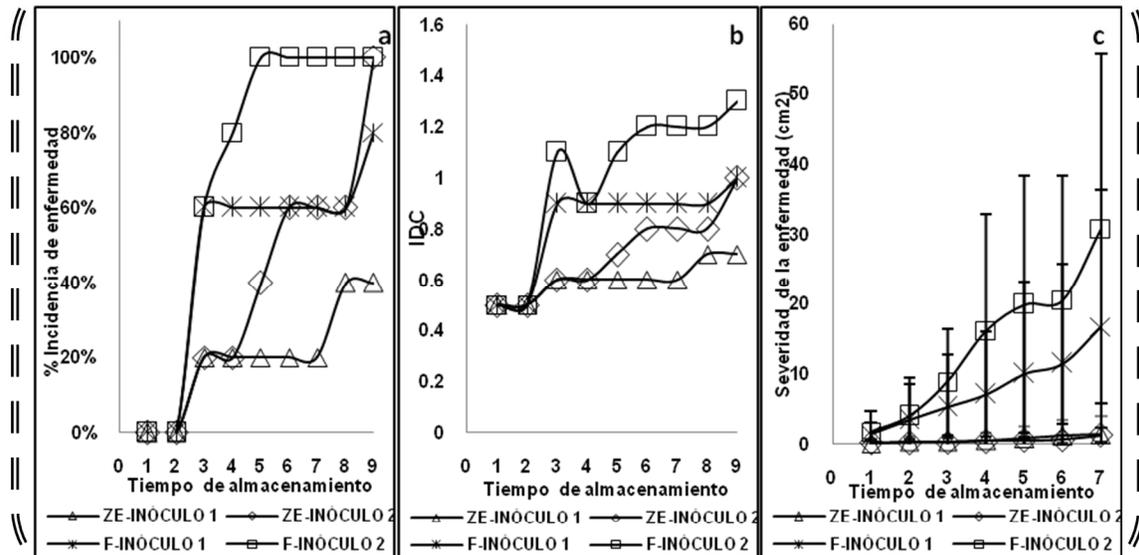


Figura 69. Efecto de diferentes métodos de inoculación así como diferentes concentraciones de inóculo en papaya 'Maradol' estado de madurez 2/4 amarilla en a) incidencia de enfermedad, b) índice de decaimiento y c) severidad de la enfermedad almacenadas a una $T = 20^{\circ}\text{C}$.

La enfermedad de la antracnosis medida a través del diámetro de la lesión se manifestó a partir de los dos y tres días después de la inoculación, sin embargo fue más evidente hasta los siete días y después se incrementó al prolongarse el período de almacenamiento (Acosta, 1999).

El método de frotación con la concentración más alta de inóculo (frotación inóculo 2) resultó ser el más eficiente al mostrar los valores más altos en el % de incidencia de enfermedad e índice de decaimiento; así mismo este método mostró diferencia significativa para la mayoría de los días de almacenamiento al evaluar la severidad de la enfermedad, debido posiblemente a que el método de frotación tiene un contacto más directo con la epidermis de la papaya, favoreciendo con una concentración más rica en conidios; y el método de zona específica no tuvo mayor IDC ya que es un método que tiene menor contacto en la epidermis además de que abarca un área más pequeña de la misma.

Las papayas fueron puestas en cámara húmeda para promover el desarrollo de la antracnosis. En las Figuras 70 y 71 se observó que en el día 3 se presentaron síntomas de antracnosis en las papayas utilizando el método de frotación para ambos inóculos, haciendo un comparativo del día 3 al día 6 se muestra un avance de la enfermedad en el método de frotación en ambas concentraciones además de la presencia de mohos oportunistas, del día 6 al día 8 se pueden observar ligeras zonas hundidas



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

correspondientes a la antracnosis para zona específica, sin embargo, en el método de frotación fueron más severos los daños por antracnosis; finalmente del día 8 al último día fueron más evidentes los daños por antracnosis en zona específica y en mayor cantidad para el inóculo 2, sin embargo para el método de frotación se observó que las zonas hundidas aumentaron notándose mayormente en el inóculo 2.

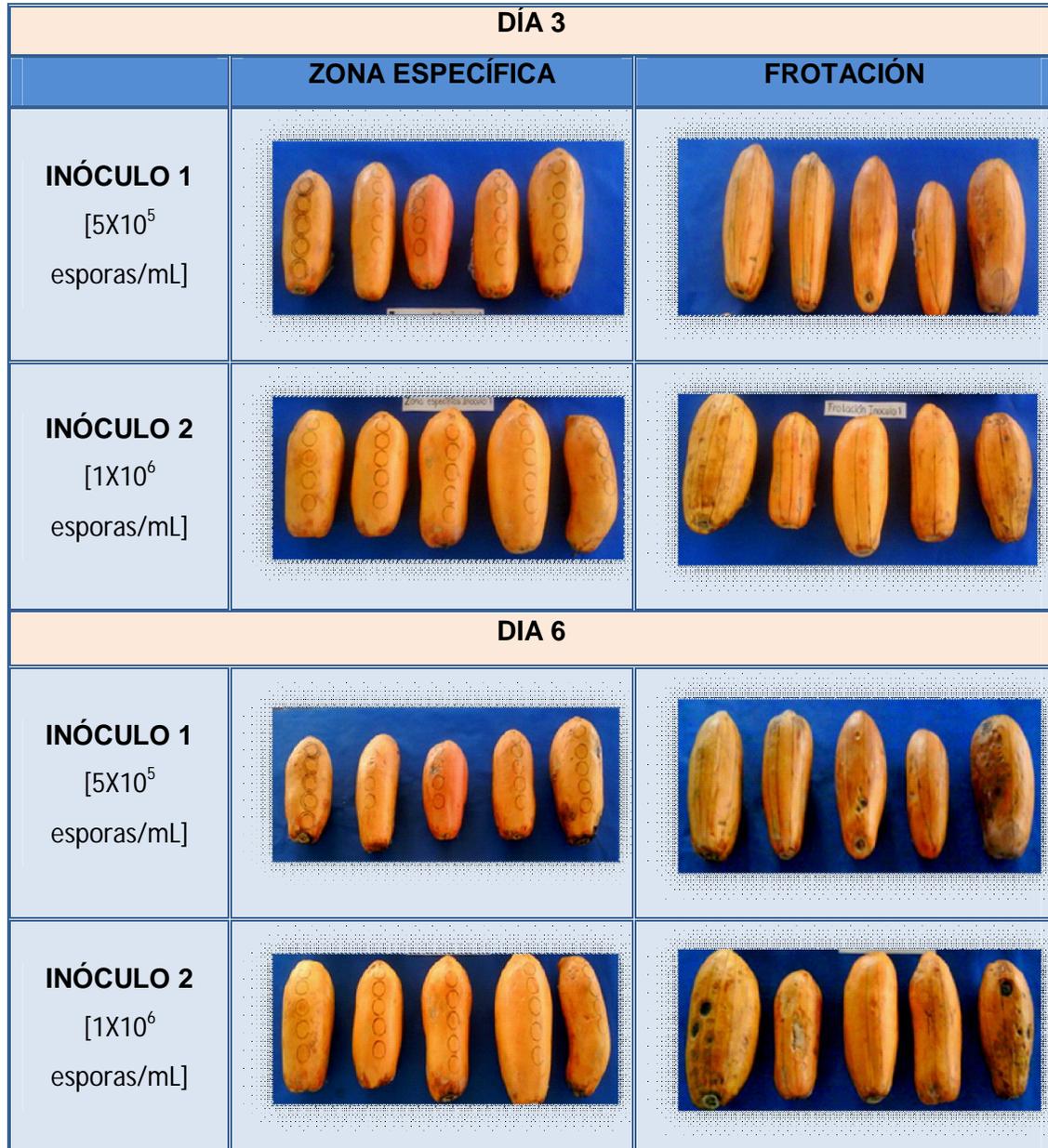


Figura 70. Papayas inoculadas con *Colletotrichum gloeosporioides* a dos diferentes concentraciones (5X10⁵ y 1X10⁶ esporas/mL) por medio de dos diferentes métodos de inoculación (Zona específica y Frotación) en para el Día 3 y 6.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

| DÍA 8 | | |
|--|-----------------|-----------|
| | ZONA ESPECIFICA | FROTACIÓN |
| INÓCULO 1 [5×10^5 esporas/mL] | | |
| INÓCULO 2 [1×10^6 esporas/mL] | | |
| DÍA 11 | | |
| INÓCULO 1 [5×10^5 esporas/mL] | | |
| INÓCULO 2 [1×10^6 esporas/mL] | | |

Figura 71. Papayas inoculadas con *Colletotrichum gloeosporioides* a dos diferentes concentraciones (5×10^5 y 1×10^6 esporas/ mL) por medio de dos diferentes métodos de inoculación (Zona específica y Frotación) en para el Día 8 y 11.

Finalmente se decide que el mejor método de inoculación fue el método de frotación con una concentración de inóculo de 1×10^6 esporas/mL; sin embargo esta concentración no mostró los síntomas de antracnosis como se pretendía, debido posiblemente a que la concentración para provocar síntomas en este tipo de fruto fue mayor, ya que como se ha mencionado la papaya de variedad 'Maradol' tiene una epidermis más resistente y los conidios no penetraron lo suficiente para ocasionar daños mayores de antracnosis ; adicionando que la humedad relativa y la temperatura tienen un gran efecto sobre la



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

incidencia y severidad de la antracnosis, las cuales no fueron las más adecuadas. Por lo que se propuso trabajar con una nueva concentración de inóculo que provocara mayor severidad de la enfermedad, así como mejorar las condiciones de incubación (mayor temperatura y % HR).

4.3.2. Establecimiento de la concentración que presente mayores síntomas de enfermedad

4.3.2.1. Incidencia de la enfermedad, Índice de decaimiento y Severidad de la enfermedad

En la Figura 72 (a) se puede observar que la tendencia de la incidencia de enfermedad fue ascendente, las papayas inoculadas presentaron la misma tendencia llegando en el día 2 hasta el 100%; por lo que la incidencia fue mayor que la del testigo a lo largo del tiempo de almacenamiento.

En la Figura 72 (b) se puede observar que la tendencia del índice de decaimiento fue ascendente, en donde el inóculo 2 muestra una tendencia mayor a lo largo del tiempo de almacenamiento, y el testigo quedando por debajo de ambos inóculos.

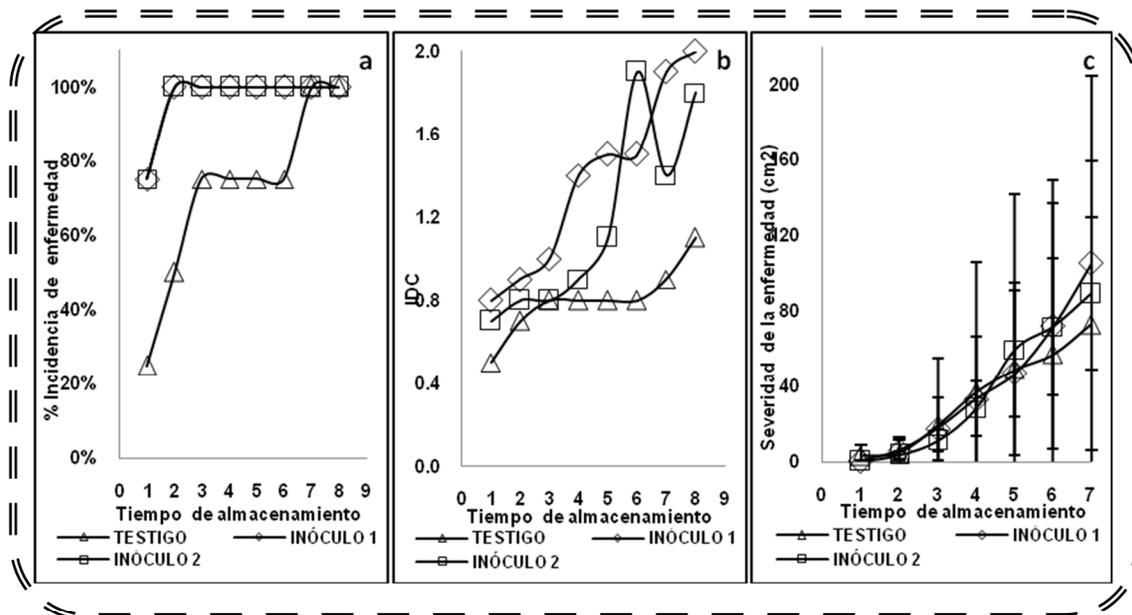


Figura 72. Efecto de diferentes concentraciones de inóculo en papaya 'Maradol' estado de madurez $\frac{3}{4}$ verde inoculadas por el método de frotación en la **a)** incidencia de enfermedad, **b)** índice de decaimiento y **c)** severidad de la enfermedad almacenadas a una T= 20°C.

En la Figura 72 (c) se puede observar que la tendencia de la severidad de la enfermedad fue ascendente, en donde se mostró un comportamiento muy similar aumentando su



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

severidad para el día 2 y al final del almacenamiento el inóculo 1 presentó la mayor severidad de antracnosis, quedando con la menor severidad el testigo. En el estado de madurez "A" (Figura 72c) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo para el día 19 a 1500 Gy. Además para el estado de madurez "B" (Figura 73c) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en el día 14 para el tratamiento hidrotérmico y el día 19 para 500 Gy. En la Figura 72 (c) se encontró que no hay diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con respecto al testigo en ninguno de los días de almacenamiento.

En la Figura 72 se observa un aumento en los síntomas de antracnosis a lo largo de los días de almacenamiento presentándose de la misma forma que indica (Bailey y Jeger, 1992) en donde inicialmente aparecen en los frutos lesiones superficiales después lesiones hundidas, redondas o angulares, en estas lesiones se pueden observar masas de conidios de color rosa salmón que después se tornan oscuras, el moho penetra hacia el interior de la pulpa la oscurece y le ocasiona un sabor desagradable.

Resultó que el lote testigo no presentó los mismos daños por antracnosis que para los lotes inoculados debido a que este patógeno se ve favorecido por las altas temperatura (mayor a 26°C) y humedades relativas (mayor a 95%) (Dodd *et al.*, 1997). Además se puede observar que no existió diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con respecto al testigo para ambos lotes inoculados.

En la Figura 73 se observa que a partir el día 2 se observaron los síntomas de antracnosis en ambas concentraciones de inóculo, del día 2 al 4, las misma zonas que presentaron antracnosis en el día 2 muestran presencia de mohos oportunistas, encontrándose mayormente en el inóculo 1; en el día 5 el lote testigo paso de presentar micelio de color blanco a grisáceo, en el inóculo 2 existe un crecimiento en las zonas hundidas. Del día 5 al día 8 para el lote testigo el micelio paso a un color negro, y en el inóculo 1 se observó un crecimiento de antracnosis acompañado de mohos oportunistas y finalmente para el inóculo 2 se presentó un mayor crecimiento de las lesiones hundidas así como el paso a micelio negro.

Se encontró que no existe diferencia significativa con respecto a la concentración de inóculo en cuanto a la severidad de la enfermedad, así como en las fotos observadas por lo que se propone trabajar con la concentración de inóculo mayor ya que se ha



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

encontrado en estudios anteriores con mango que a la concentración de 1×10^7 esporas/mL, se observó mayores síntomas de antracnosis. Con los resultados obtenidos anteriormente se decide trabajar solo con el estado de madurez "A" con un almacenamiento de 10 días con una temperatura de 12°C con transferencia a 20°C . Utilizando el método de frotación con una concentración de 1×10^7 esporas/mL.

Además de adicionar un tratamiento, el cual es la inmersión de los frutos en una solución de agua a temperatura ambiente con fungicida que funcionará como testigo químico para comparar con diferentes tratamientos (irradiación, hidrotérmico) como mejor opción en cuanto a daños ambientales; así mismo se decidió trabajar con la combinación de los tratamientos aplicados (hidrotérmico-irradiación) ya que en trabajos anteriores se ha reportado que la combinación del tratamiento de irradiación e hidrotérmico tienen mayor efecto en cuanto a los síntomas de antracnosis.

| MÉTODO DE FROTACIÓN | | | |
|---------------------|---|---|---|
| DÍA | TESTIGO | INÓCULO 1 [1×10^6 esporas/mL] | INÓCULO 2 [1×10^7 esporas/mL] |
| 2 |  |  |  |
| 4 |  |  |  |
| 5 |  |  |  |
| 8 |  <small>TESTIGO</small> |  |  |

Figura 73. . Papayas inoculadas con *Colletotrichum gloeosporioides* a dos diferentes concentraciones (1×10^6 y 1×10^7 esporas/mL) por medio del método de frotación.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.4. EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS: IRRADIACIÓN, HIDROTÉRMICO, LAVADO CON FUNGICIDA, Y COMBINADOS (H-F-500Gy, H-F-1000Gy) EN LOS PARÁMETROS DE CALIDAD, FISIOLÓGICOS Y SENSORIALES

4.4.1. Efecto en los parámetros fisicoquímicos

4.4.1.1. pH

En la Figura 74 se puede observar que la tendencia del pH en papaya 'Maradol' en estado de madurez $\frac{3}{4}$ verde ("A") almacenadas a 12°C y a 20°C fue descendente, en donde el valor de pH inicial fue de 6.2 para todos los tratamientos y el valor de pH final osciló de 6.6 a 6.9.

En los tratamientos tradicionales (Figura 74a), es decir el hidrotérmico y el lavado con aplicación de fungicida (han sido utilizados como cuarentenarios y para fines de exportación), se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en el día 1 para el lavado c/fungicida y en el día 15 para todos los tratamientos. En los tratamientos de irradiación (Figura 74b) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en el día 1 y 15 para las dosis de irradiación. En la combinación de tratamientos, (Figura 74c) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en el día 1 y 15 para H-F-1000 Gy.

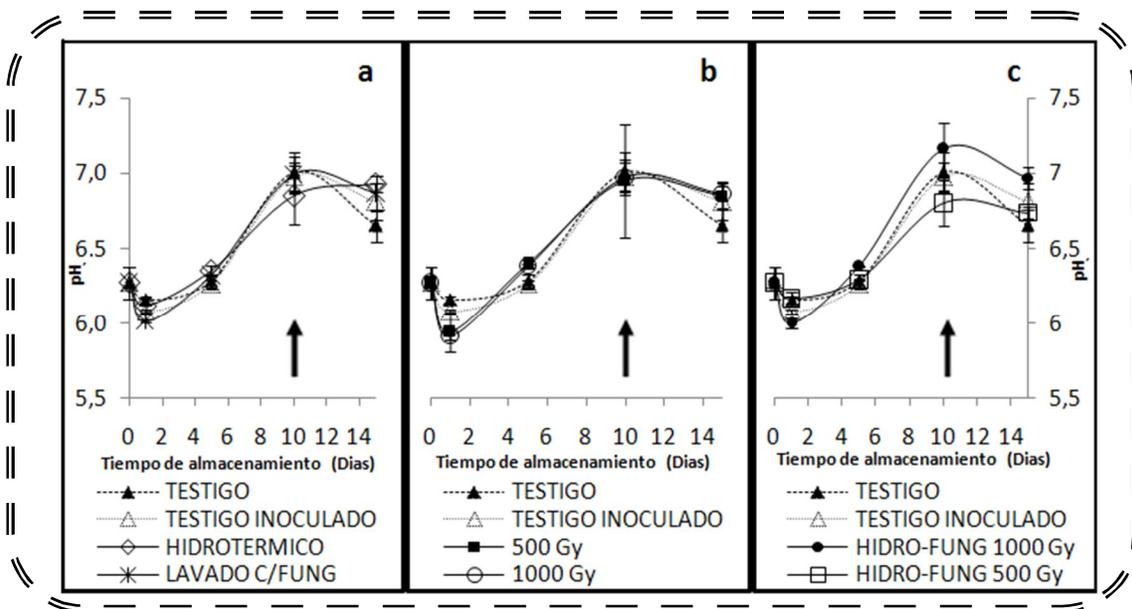


Figura 74. Efecto de diferentes tratamientos en el pH de papaya 'Maradol' almacenadas a 12°C y a 20°C: **a)** Hidrotérmico y lavado con fungicida **b)** Irradiación y **c)** Combinados. La flecha indica la transferencia de 12°C a 20°C.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En un estudio realizado por Sañudo (2008), en donde almacenó papaya 'Maradol' con un $\frac{1}{4}$ de madurez durante 9 días en condiciones de simulación de mercado encontró que el pH aumenta ligeramente. El pH inicial para este estudio se encontró entre 5.2 y 5.4 posteriormente mostro un aumento hasta el día 6 y al final del almacenamiento una disminución, pero el valor se mantuvo en este rango. Lo anterior coincide con los resultados obtenidos en cuanto a la tendencia del aumento del pH así como en su disminución para los diferentes tratamientos, sin embargo los valores iniciales fueron ligeramente más altos, ya que mostraron un valor inicial de 6.2; además se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) para la mayoría los días 1, 5 y 15 para el lavado con fungicida, dosis de 500, 1000 Gy y en la combinación de H-F-1000 Gy siendo este último tratamiento el de más alto valor para el día 15.

4.4.1.2. Acidez

En la Figura 75 la mayoría de los tratamientos siguieron la tendencia de aumento del día 0 al 1, posteriormente disminuyeron para el día 5 y después aumentaron para el día 10 y finalmente la mayoría se muestra constante hasta el día 15. El valor de la acidez inicial es 0.015% de ácido cítrico para todos los tratamientos, al final del almacenamiento el valor final osciló 0.011a 0.017% de ácido cítrico.

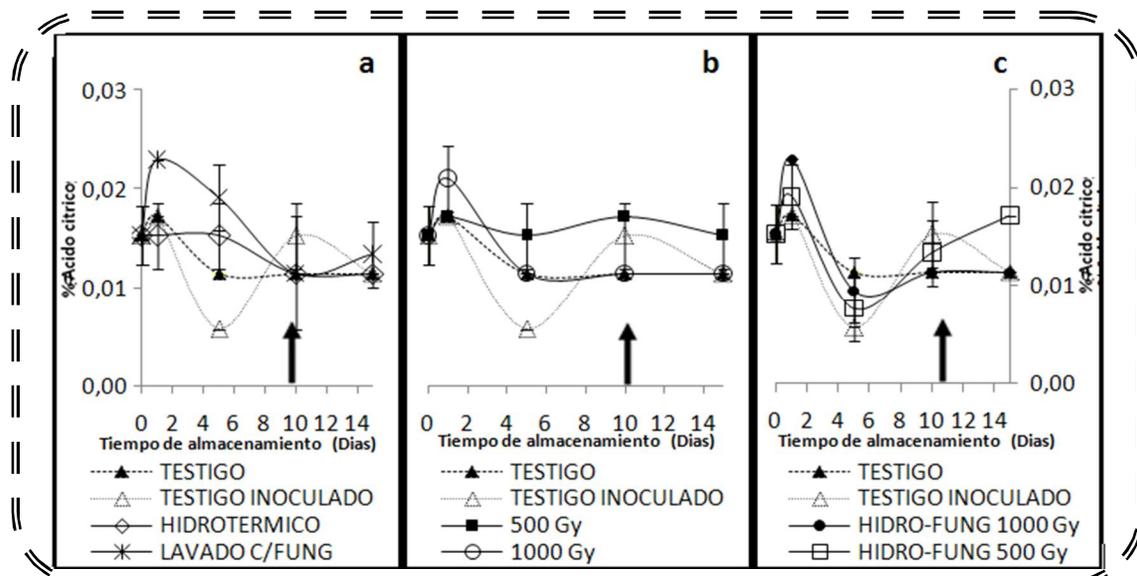


Figura 75. Efecto de los diferentes tratamientos en el % ácido cítrico de papaya 'Maradol' almacenadas a 12°C y a 20°C: **a)** Hidrotérmico y lavado con fungicida **b)** Irradiación y **c)** Combinados. La flecha indica la transferencia de 12°C a 20°C.

En los tratamientos simples (Figura 75 a) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en el día 1 para el tratamiento de lavado c/fungicida y en el día 5



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

para el testigo inoculado y lavado c/fungicida. En los tratamientos de irradiación (Figura 75b) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en el día 1 para 1000 Gy y en el día 10 y 15 para 500 Gy. En la combinación de tratamientos (Figura 75c) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en el día 1 para H-F-1000 Gy, en el día 5 para H-F-500 Gy e H-F-1000 Gy y en el día 15 para H-F- 500 Gy.

Los ácidos orgánicos antes de la maduración están en elevadas concentraciones y reducen su contenido en la medida que se desarrolla este proceso en particular cuando se inicia el aumento de azúcares libres (Almaguer, 1998; Díaz, 2002, Hobson, 1993, Pantastico; 1975 y Wills *et al.*, 1998). La reducción del contenido se debe a que se les utiliza como sustratos para la respiración o son convertidos en azúcares y a la formación final de nuevas estructuras químicas a base de carbono, así como a una dilución en cuanto a que el fruto tiene mayor tamaño una reducción de los ácidos orgánicos no significa necesariamente un aumento del pH (Díaz, 2002). Lo anterior explica el comportamiento mostrado en la Figura 53 específicamente entre los día 0 a 5, no encontrando diferencias significativas ($p \geq 0.05$) en todo el tiempo de almacenamiento para un mismo tratamiento, lo cual coincide con Miller y McDonald, (1998); demostraron que no hubo modificación de la acidez y pH en papayas que sufrieran efecto por el tratamiento de irradiación.

4.4.1.3. Sólidos solubles (°Brix)

En la Figura 76 se observan los cambios en el contenido de sólidos solubles de las papayas, encontrando ligeros aumentos y disminuciones en los valores durante el almacenamiento. Los sólidos solubles en el día 1 oscilaron entre 5.8 y 11.0, para el día 10 el tratamiento H-F-500Gy presentó el valor más alto. Para el final del almacenamiento el valor de los sólidos solubles osciló de 8.3 a 11.7 °Brix.

En los tratamientos tradicionales (Figura 76a) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en el día 10 y 15 para lavado c/fungicida e hidrotérmico. En los tratamientos de irradiación (Figura 76b) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en el día 1 para 1000 Gy y en el día 15 para las dosis de irradiación. En la combinación de tratamientos (Figura 76c) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en el día 1 para 15 H-F-1000 Gy y en el día 15 para ambas combinaciones.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

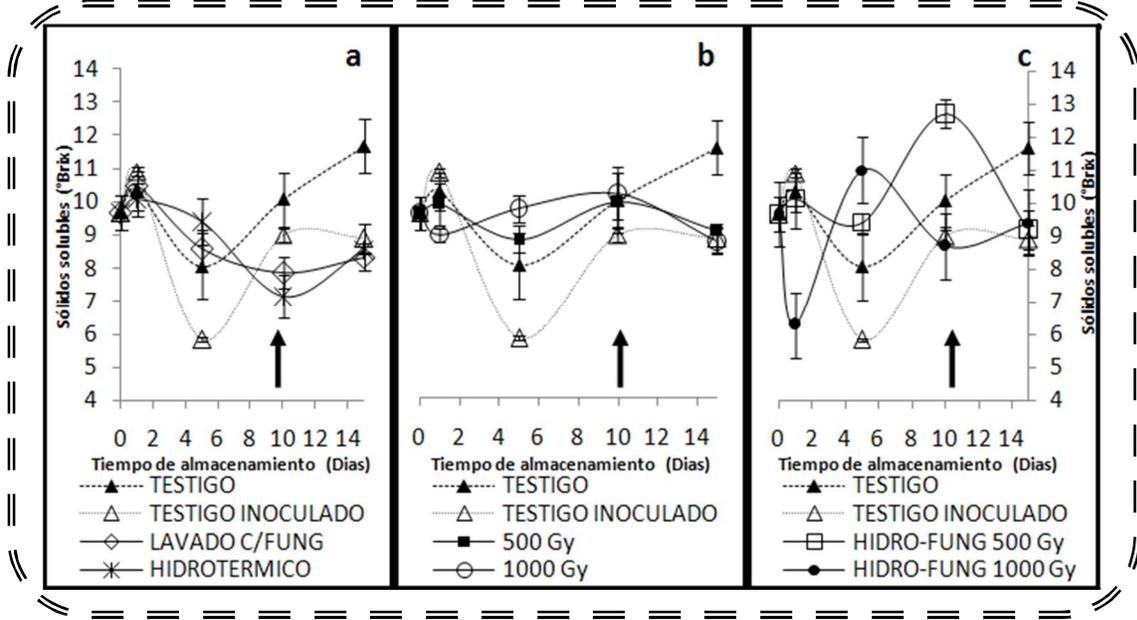


Figura 76. Efecto de los diferentes tratamientos en los sólidos solubles de papaya 'Maradol' almacenadas a 12°C y a 20°C: **a)** Hidrotérmico y lavado con fungicida **b)** Irradiación y **c)** Combinados. La flecha indica la transferencia de 12°C a 20°C.

Selvaraj *et al.* (1982) y Santamaría (2009) observaron que durante la maduración se reduce gradualmente el contenido sólidos insolubles, almidones y varios minerales, dicha reducción incrementa el contenido total de azúcares, lo que concuerda con la mayoría de los tratamientos.

Durante la experimentación se encontró diferencia significativa en todos los días de muestreo únicamente para la dosis de 1000 Gy y la combinación de hidro-fung-1000Gy; sin embargo no se encontró diferencia con respecto a la dosis de 500 Gy coincidiendo con Innocenzo (2001) quien realizó un estudio con frutos de papaya fisiológicamente maduros que fueron irradiados a 500 Gy y almacenados a $T = 22^{\circ}\text{C}$ con $\text{HR} = 90\%$ se observó que no fueron afectados los $^{\circ}\text{Brix}$.

4.4.2. Efecto en parámetros físicos

4.4.2.1. Firmeza

En la Figura 77 se observan varias fluctuaciones, pero la tendencia en su mayoría es de descenso del día 5 al 10 y de este al día 15 un ascenso. El valor inicial de firmeza presentó un valor de 13.0 kg/cm^2 , para el día 5 los valores oscilaron desde 8.5 a 13 kg/cm^2 . Los valores finales de firmeza oscilaron desde 9.5 a 13 kg/cm^2 .



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

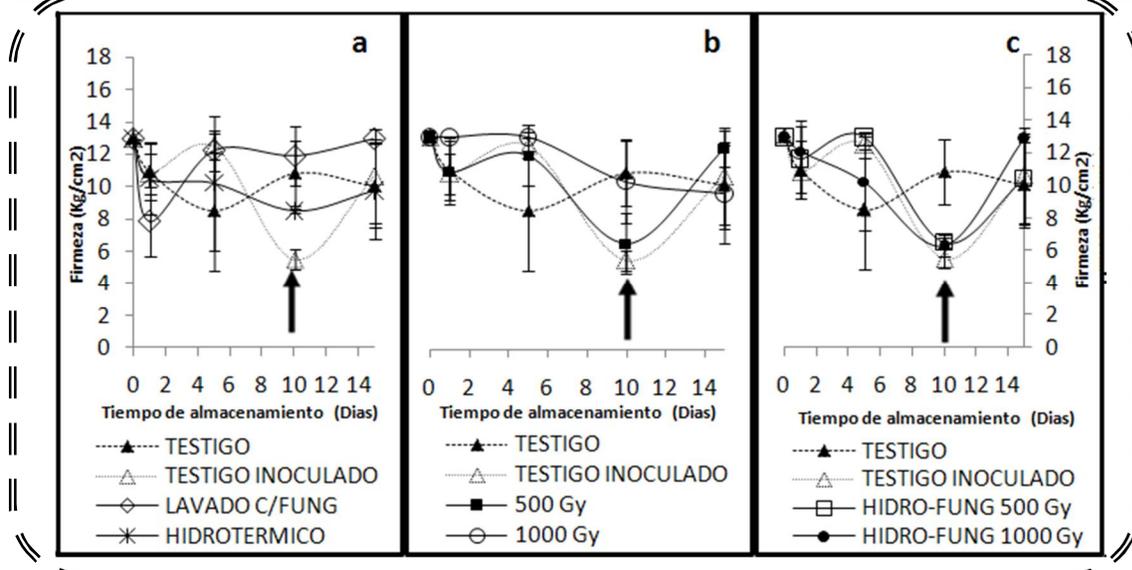


Figura 77. Efecto de los diferentes tratamientos en la firmeza de papaya 'Maradol' almacenadas a 12°C y a 20°C: **a)** Hidrotérmico y lavado con fungicida **b)** Irradiación y **c)** Combinados. La flecha indica la transferencia de 12°C a 20°C.

En los tratamientos tradicionales (Figura 77a) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en los días 1 y 10 para el tratamiento de lavado c/fungicida. y en el día 15 no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con respecto al testigo. En los tratamientos de irradiación y la combinación de tratamientos (Figura 89b y 89c) no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con respecto al testigo en los días 1 y 15.

Durante la maduración de frutos de papaya se reduce la firmeza por el cambio hidrolítico de la protopectina o de la pectina soluble y la polimerización enzimática hasta formar polímeros de bajo peso molecular, que pertenecen al grupo metodillo los cuales son insuficientes para mantener la firmeza (Kertesz, 1951). Lo anterior también fue demostrado por Santamaría (2009) y Sañudo (2008) en frutos de papaya 'Maradol'.

La papaya fisiológicamente madura e irradiada a 500 Gy con una 22°C y 90%HR almacenamiento, no presenta ningún efecto directo con este parámetro, además de que los frutos irradiados se mantuvieron 2 días más que los frutos normales Innocenzo (2001), coincidiendo con el comportamiento encontrado en el presente trabajo, en la cual no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) para ninguno de los tratamientos durante todo el tiempo de almacenamiento. Así mismo otros autores han encontrado que papayas irradiadas y almacenadas a 9.8°C son menos firmes, y al cambiar las condiciones de almacenamiento a temperatura ambiente a 24.8°C los frutos no irradiados son menos firmes que los irradiados (Camargo *et al.*, 2007), comportamiento que no coincide con lo



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

obtenido. También se ha encontrado que la firmeza de los frutos irradiados disminuye al aumentar la dosis de irradiación (Sudto *et al.*, 2005), lo que de igual forma no se presentó durante el experimento.

4.4.2.2. Pérdida de peso

En la Figura 78 se observa que la tendencia fue ascendente para la pérdida de peso durante el almacenamiento. En el día 1 los valores oscilaron entre 1.9 y 3%, para el día 10 los valores oscilaron de 4.6 a 6.4 y para el final del almacenamiento los valores oscilaron de 9.2 a 11.9.

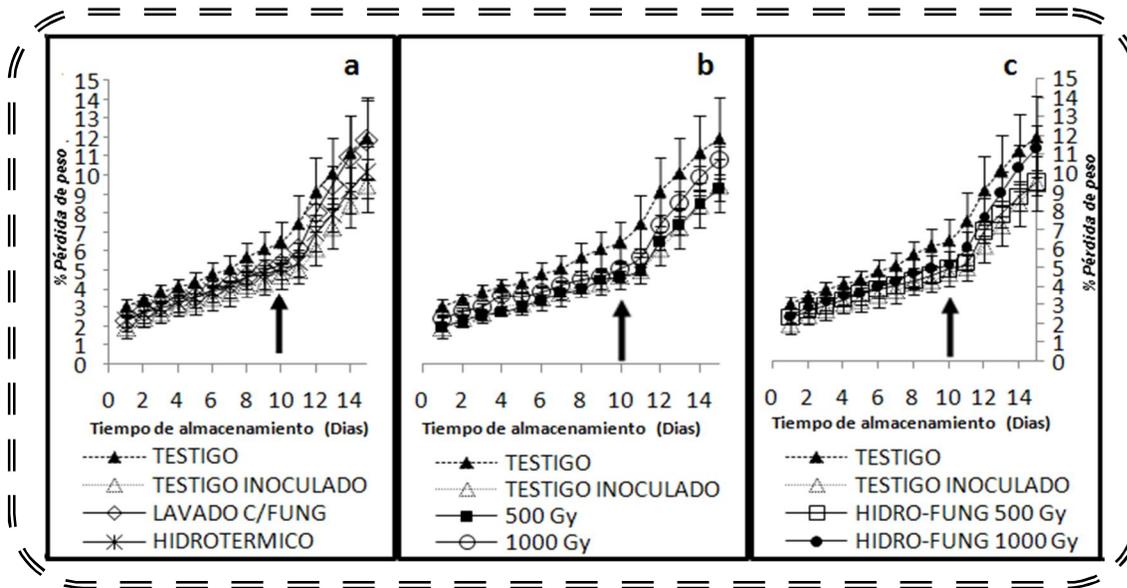


Figura 78. Efecto de los diferentes tratamientos en la pérdida de peso de papaya 'Maradol' almacenadas a 12°C y a 20°C: **a)** Hidrotérmico y lavado con fungicida **b)** Irradiación y **c)** Combinados. La flecha indica la transferencia de 12°C a 20°C.

En los tratamientos tradicionales (Figura 78 a) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en el día 1 para el testigo inoculado, lavado c/fungicida e hidrotérmico y en el día 15 para el testigo inoculado e hidrotérmico. En los tratamientos de irradiación (Figura 78 b) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en el día 1 y 15 para 500 y 1000 Gy. En la combinación de tratamientos (Figura 78 c) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en el día 1 para H-F-500 e H-F-1000 Gy y en el día 15 para H-F-500 Gy. Así mismo los tratamientos que presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo para todos los días de almacenamiento fueron testigo inoculado, hidrotérmico, 500 e H-F-500 Gy.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las papayas fueron perdiendo más peso conforme transcurría el tiempo de almacenamiento debido a que la fruta cosechada pierde agua por transpiración de manera irreversible. Como consecuencia el producto, sufre una serie de alteraciones fisiológicas que aceleran los procesos de senescencia, síntesis de etileno y deterioro de tejidos. Esto, conjuntamente con los síntomas externos de marchitez y arrugamiento del producto, afectan seriamente su calidad comercial. En general, se puede decir que un 5% de pérdida de agua es aproximadamente el valor permisible en frutas. La pérdida de agua por transpiración es mayor a temperaturas altas y humedad relativa baja (Arias, 2000); sin embargo se presentaron valores mayores del 5% alcanzando casi un 12%.

La irradiación puede romper los enlaces químicos, aumentar la permeabilidad de la membrana y la actividad metabólica lo que conducirá a un mayor movimiento de vapor de agua hacia el espacio intercelular y luego a través de la cutícula aumentar la transpiración (Maxie *et al.*, 1971). Sin embargo, en trabajos de Meirelles y Melges (2004) no encontraron un efecto en la pérdida de masa debido a la irradiación en los tres estadios de madurez analizados; lo que coincide con los datos obtenidos en la Figura 78.

Además las lesiones mecánicas pueden acelerar considerablemente las pérdidas de agua sufridas por los tejidos. La abrasión y el magullamiento dañan la organización de la superficie de los tejidos y permiten un flujo gaseoso más rápido a través del área dañada. Así mismo las superficies tisulares lesionadas por enfermedades incrementa la pérdida de agua; si se liberan sobre la herida concentraciones elevadas de solutos, estos pueden atraer vapor de agua y, en consecuencia se pueden formar gotículas sobre las superficies dañadas, estas gotículas siguen aumentando de volumen si la humedad relativa es alta y sigue saliendo producto osmótico de los tejidos dañados lo que facilitará la germinación de las esporas fúngicas y el crecimiento y esporulación del micelio, debido a la disponibilidad de agua libre y nutrientes (Wills *et al.*, 1998), lo anterior explica porque el testigo presenta los mayores % de pérdida de peso ya que no se le aplicó ningún tratamiento que ayudara a disminuir los síntomas de la antracnosis.

4.4.2.3. Tono

En la Figura 79 se puede observar que la tendencia del tono fue descendente en la mayoría de los casos conforme transcurren los días de almacenamiento hasta el día 10 correspondiente a la transferencia de temperaturas, posteriormente se observa que



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

algunos tratamientos aumentan y otros disminuyen. El valor del tono en el día 1 el oscilo de 72 a 85, para el día 5 los valores oscilaron de 71 a 80, para el día 10 los valores oscilaron de 64 a 77 y en el día final del almacenamiento los valores oscilaron de 65 a 79.

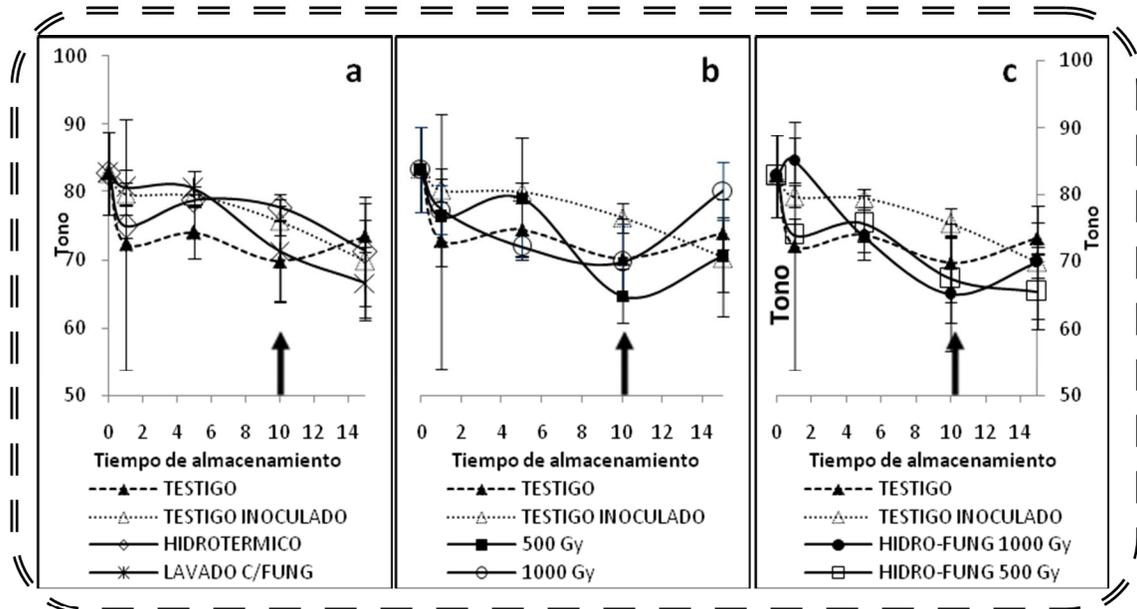


Figura 79. Efecto de los diferentes tratamientos en el tono en la papaya 'Maradol' almacenadas a 12°C y a 20°C: **a)** Hidrotérmico y lavado con fungicida **b)** Irradiación y **c)** Combinados. La flecha indica la transferencia de 12°C a 20°C.

En los tratamientos tradicionales (Figura 79a) no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con respecto al testigo en el día 1 y en el día 15 se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo para el testigo inoculado. En los tratamientos de irradiación (Figura 79b) no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con respecto al testigo en el día 1 y en el día 15 se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo para 1000 Gy. En la combinación de tratamientos (Figura 79c) no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con respecto al testigo en los días 1 y 15.

Los ángulos del tono en la variedad 'Maradol' se ha visto que tienden a disminuir durante el proceso de maduración y senescencia de los frutos (Cano *et al*, 1993; Sañudo, 2008), así mismo Santamaría, (2009) también observó que el color de la piel de la fruta cambia de verde a naranja durante la maduración, como se muestra en un cambio en el ángulo de tono de 125 a 74 lo que concuerda con la tendencia que se observa en la Figura 94 ya que las papayas van cambiando de un verde a un amarillo.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.4.2.4. Croma

En la Figura 80 se observó que la tendencia para la mayoría de los tratamientos fue ascendente hasta el día 5 y posteriormente descenden hasta el día 10 y para finalmente aumentar hasta el día 15. En el día 1 los valores oscilaron de 41 a 49; para el día 5 los valores oscilaron de 49 a 58; para el día 10 correspondiente a la transferencia de temperaturas los valores oscilaron de 35 a 52 y para el final del almacenamiento los valores oscilaron de 36 a 55.

En los tratamientos tradicionales (Figura 80 a) no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con respecto al testigo en el día 1 para ningún tratamiento y se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en el día 10 para el testigo inoculado, lavado c/ fungicida, e hidrotérmico.

En los tratamientos de irradiación (Figura 80 b) no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con respecto al testigo en el día 1 para ningún tratamiento y se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en el día 5 para 1000 Gy y en el día 10 para 500 y 1000 Gy.

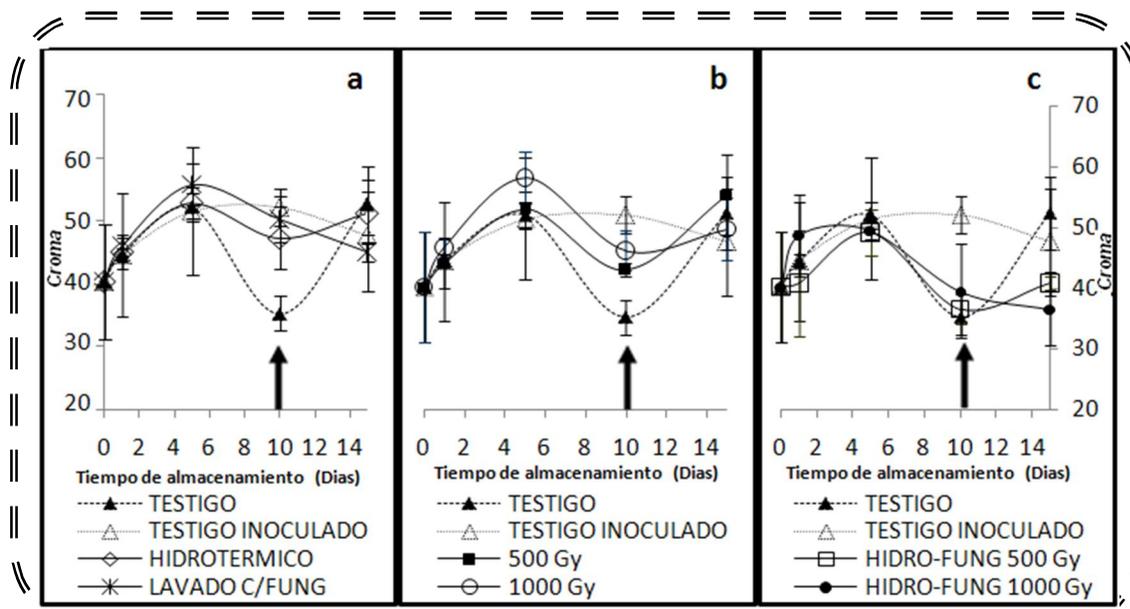


Figura 80. Efecto de los diferentes tratamientos en el croma de la papaya 'Maradol' almacenadas a 12°C y a 20°C: **a)** Hidrotérmico y lavado con fungicida **b)** Irradiación y **c)** Combinados. La flecha indica la transferencia de 12°C a 20°C.

En la combinación de tratamientos (Figura 80 c) no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con respecto al testigo en el día 1 para ningún tratamiento y se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en el día 15 para H-F-500 e H-F-1000 Gy.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se observa en la Figura 80 el croma presentó algunos aumentos en los primeros días de almacenamiento y después comenzó a disminuir, comportamiento que coincide con lo obtenido por Sañudo (2008) quien observa que para la cromaticidad la tendencia es a aumentar.

4.4.2.5. Luminosidad

En la Figura 81 se puede observar que la tendencia es ligeramente ascendente y posteriormente del día 10 al 15, se observan algunos descensos en algunos tratamientos. Para el día 1 los valores oscilan de 55.56 a 61.77 y en el día de la transferencia de temperatura los valores oscilan de 53.19 a 60.25.

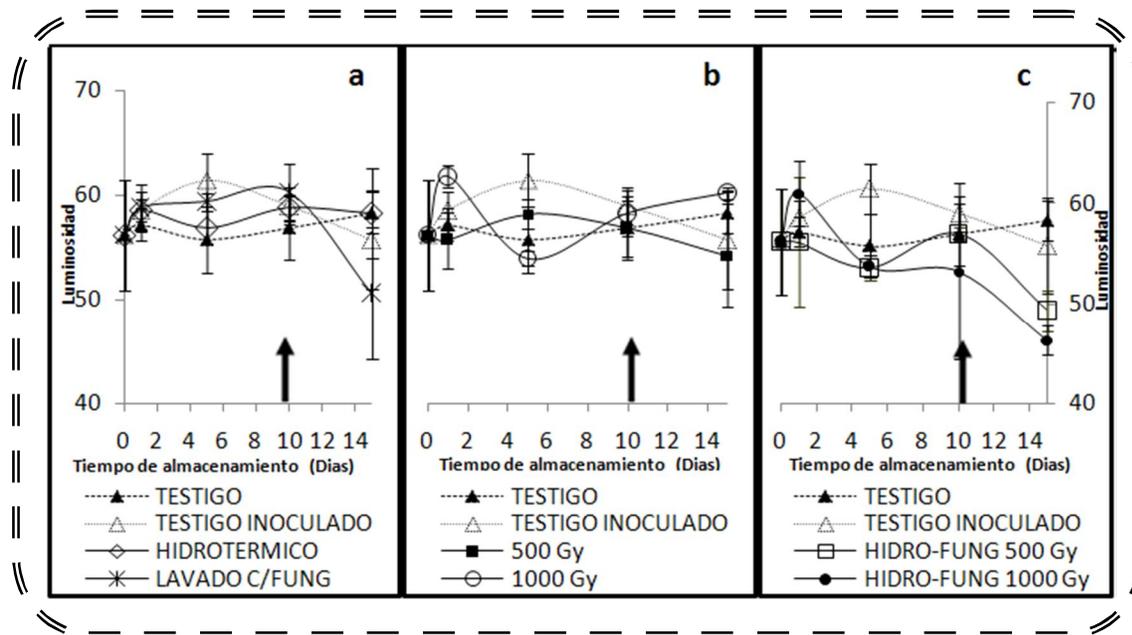


Figura 81. Efecto de los diferentes tratamientos en la luminosidad de la papaya 'Maradol' almacenadas a 12°C y a 20°C: **a)** Hidrotérmico y lavado con fungicida **b)** Irradiación y **c)** Combinados. La flecha indica la transferencia de 12°C a 20°C.

En los tratamientos tradicionales (Figura 81 a) no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con respecto al testigo en el día 1 para ningún tratamiento y se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en el día 5 para el testigo inoculado, lavado c/fungicida., y en el día 15 para el lavado c/ fungicida. En los tratamientos de irradiación (Figura 81 b) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en el día 1 para 1000 Gy y en el día 5 para 500 Gy. En la combinación de tratamientos (Figura 81 c) no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con respecto



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

al testigo en el día 1 para ningún tratamiento y se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en el día 15 para H-F-500 e H-F-1000 Gy.

Los cambios iniciales en la papaya 'Maradol' se observaron por el aumento de la luminosidad (Acosta, 2001), lo cual también observó Sañudo (2008) en papaya 'Maradol' durante nueve días de almacenamiento; encontrando que la luminosidad aumenta durante los primeros tres días y posteriormente disminuye, lo que coincide con el ligero aumento que se muestra al inicio del tiempo de almacenamiento para la mayoría de los tratamientos y su posterior descenso.

Finalmente se puede decir que los diferentes parámetros que se relacionan con el color no obtuvieron diferencia significativa para algún tratamiento a lo largo del tiempo de almacenamiento coincidiendo con Meireles y Melgues (2004); Zhao *et al.* (1996), Moy *et al.* (1973) y Akamine y Wong (1966); quienes en sus respectivos estudios mostraron que la irradiación no inhibió el cambio de color. Sin embargo otros estudios demuestran lo contrario ya que mencionan que cuando el croma y la luminosidad se analizaron, hubo diferencias entre las muestras irradiadas y las no irradiadas. Las irradiadas lograron más ligero color antes de que el testigo no irradiado, dando la impresión de que el color amarillo se desarrollo más rápidamente (Meireles y Melgues, 2004). Ramli y Yusof (1992) y el Instituto de Tecnología de Alimentos (1987) también observaron que la papaya irradiada, madura de manera más homogénea ya que persiste un menor número de zonas verdes.

4.4.3. Efecto en los parámetros fisiológicos

4.4.3.1. Respiración

En la Figura 82 se puede observar que la tendencia de la respiración de los frutos fue ascendente, en donde el valor de respiración inicial osciló de 7.8 a 22.9 mgCO₂/Kgh; el punto máximo de climaterio se encuentra entre los días 13 y 14 y los valores de respiración al final del almacenamiento oscilaron entre 12.3 y 50.3 mgCO₂/Kgh.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los tratamientos tradicionales (Figura 82a) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en el día 1 y 13 para el hidrotérmico. En los tratamientos de irradiación (Figura 82b) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en el día 1, 10 y 13 para 500 y 1000 Gy. En la combinación de tratamientos (Figura 82c) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en el día 1 para H-F-500 Gy. En el día 15 se encontró diferencia en todos los tratamientos.

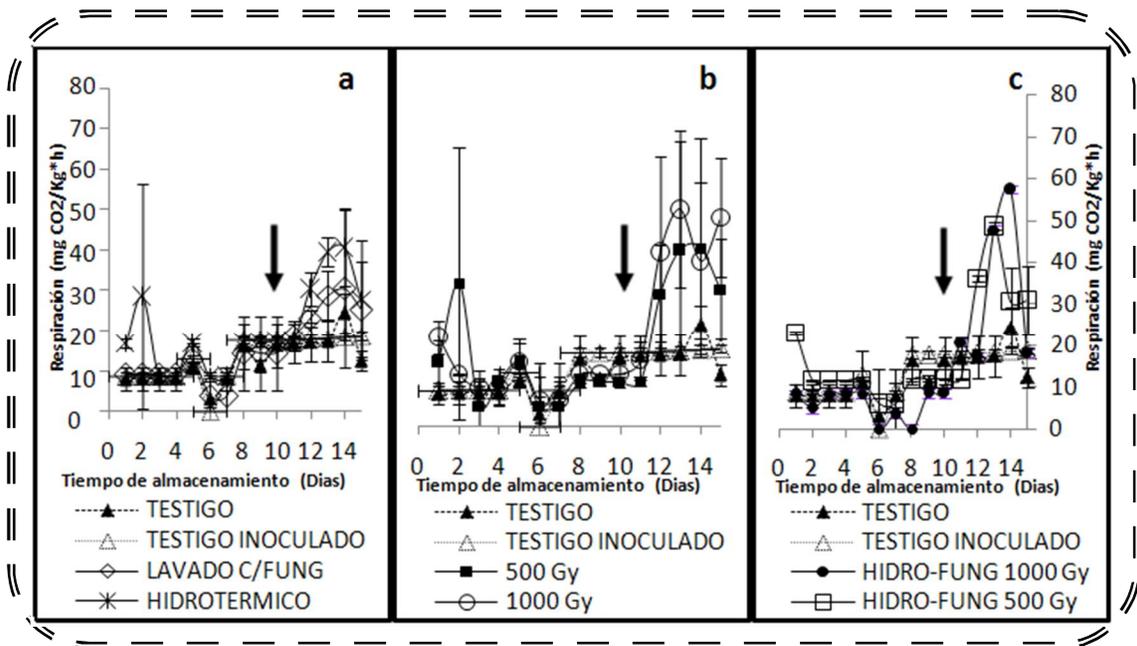


Figura 82. Efecto de los diferentes tratamientos en la respiración de papaya 'Maradol' almacenadas a 12°C y a 20°C: **a)** Hidrotérmico y lavado con fungicida **b)** Irradiación y **c)** Combinados. La flecha indica la transferencia de 12°C a 20°C.

En la Figura 82 se muestra un incremento en la actividad respiratoria en todos los tratamientos debido a que la fruta obtiene la energía necesaria para desarrollar una serie de procesos biológicos indispensables. El proceso respiratorio ocurre a expensas de las sustancias de reserva (azúcares, almidones, etc.), las que son oxidadas con el siguiente consumo de oxígeno (O_2) y producción de dióxido de carbono (CO_2) adicionalmente la respiración genera calor que al ser liberado al medio que rodea a la fruta puede afectar al fruto cosechado (Arias, 2000). En general en cuanto a mayor es el ritmo respiratorio del producto, menor es su vida útil de almacenamiento. Al respecto la papaya posee un ritmo respiratorio bajo. Para el día 13 y 14 se observan los máximos valores de respiración lo cual corresponde al punto máximo de climaterio de los frutos el cual se da por aumento significativo de la actividad respiratoria asociada al final del proceso de maduración, este periodo de respiración climatérica es una fase de transición entre la maduración y la



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

senescencia (Blandón, 2008), lo anterior coincide con lo obtenido por Sañudo (2008) quien experimentó con papaya 'Maradol' con $\frac{1}{4}$ de madurez (color amarillo-naranja con un 25% de la cáscara) a 20°C y HR=85% durante 10 días de almacenamiento se observa un aumento en la producción de CO₂ durante los primeros 4 días y después un descenso volviendo a mostrar un segundo aumento para el día 8 y finalmente una disminución de los valores el pico más alto corresponde al día 4.

Los valores máximos en la tasa de respiración lo obtuvo la dosis de irradiación de 1000 Gy así como la combinación con esta misma dosis lo que concuerda con Akamine y Goo (1971) quienes encontraron las tasas de respiración más altas en papayas irradiadas cerca del pico crucial por otro lado Arevalo *et al.* (2002), encontró que a dosis de irradiación de 100 y 150 Gy se provoca un incremento inmediato en la intensidad respiratoria que permanecieron mayor que en los frutos testigo.

4.4.4. Efecto en los parámetros nutricionales

4.4.4.1. Vitamina C

En la Figura 83 se puede observar que la tendencia del contenido de vitamina C fue en la mayoría de los casos descendente, en donde el valor de vitamina C inicial fue de 31.9 para todos los tratamientos, se observan mayores oscilaciones en el día 5; al final del almacenamiento el contenido de vitamina C osciló entre 15.5 a 52.

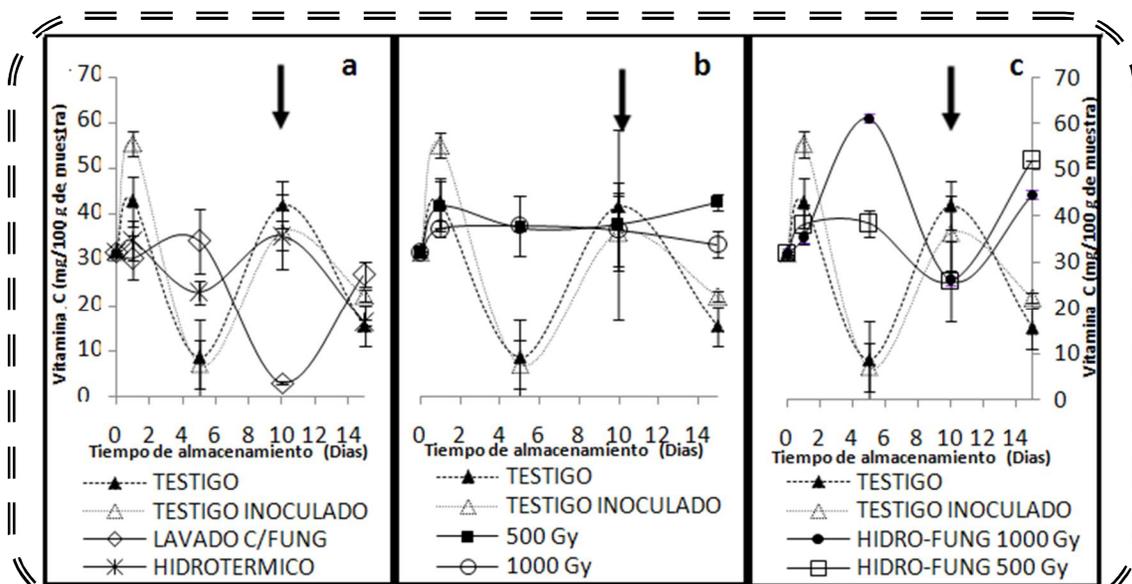


Figura 83. Efecto de los diferentes tratamientos en la vitamina C de papaya 'Maradol' almacenadas a 12°C y a 20°C: **a)** Hidrotérmico y lavado con fungicida **b)** Irradiación y **c)** Combinados. La flecha indica la transferencia de 12°C a 20°C.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los tratamientos tradicionales (Figura 83a) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en el día 1 para el testigo inoculado, lavado c/fungicida e hidrotérmico; y en el 15 para el testigo inoculado y lavado c/fungicida. En los tratamientos de irradiación (Figura 83b) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en el día 1 para 1000 Gy y en el día 15 para las dosis de irradiación. En la combinación de tratamientos (Figura 83c) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en el día 1 y 15 para ambas combinaciones.

En poscosecha, la pérdida de la calidad nutrimental de las frutas, especialmente el contenido de vitamina C, puede ser de magnitud considerable y se incrementa con los daños físicos, almacenamientos prolongados, altas temperaturas, baja humedad relativa y daños por frío (Corrales, 1993 y Acosta, 1997). Lo anterior se relaciona con los resultados obtenidos en donde el lavado con fungicida presentó diferencia significativa para todos los días de almacenamiento debido a que no controló los síntomas de la antracnosis y el fruto se vio dañado físicamente por los mohos al debilitar estos la epidermis y dejar expuesta la pulpa al medio ambiente. El ácido ascórbico se encuentra en la papaya con un valor de 62 mg/100g (INEGI, 1995), el valor anterior coincide únicamente con el valor de H-F-1000Gy en el día 5 el cual fue de 61.3.

La irradiación a una dosis de 500 Gy no mostró efecto significativo sobre la vitamina C mientras que la dosis de 1000 Gy y las combinaciones de tratamientos si son significativas para este parámetro en la mayoría de los días de almacenamiento lo cual concuerda con que la vitamina C es relativamente sensible a la radiación y en las condiciones óptimas, las pérdidas vitamínicas en alimentos irradiados en dosis por debajo de 1000 Gy son insignificantes; además de que en dosis más altas, el efecto de la irradiación es importante pero depende fuertemente del tipo de vitamina, la temperatura, la dosis, el alimento y el envasado (Raventos, 2003). Efecto contrario a estudios realizados en cebolla y en ajo irradiados a 1000 Gy en donde no se han mostrado pérdidas significativas (Wilkinson, 1985).

La irradiación de frutas puede dar alguna ligera reducción de la vitamina C pero a las dosis permitidas estas serán pequeñas en relación a la variación natural en el contenido de vitamina C. Además, es probable que muchos estudios publicados han sobre



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

estimado la pérdida de vitamina C a través de dejar de lado la conversión del lado del ácido ascórbico en ácido dehidroascórbico (Kilcast, 1994).

4.4.5. Efecto en la actividad enzimática (Pectinmetilesterasa)

En la Figura 84, la tendencia de la actividad enzimática para la mayoría de los casos es la de aumentar en el primer día y posteriormente se muestra un decremento hasta el día 10 correspondiente a la transferencia de temperaturas, finalmente se observó un ascenso para la mayoría de los casos o en su defecto se mantuvo constantes. En el día 1 los valores oscilan de 128.4 a 569.7%, en el día 10 los valores oscilan de 44.3 a 134.4% y para el día final del almacenamiento los valores oscilaron de 68.9 a 276.8%.

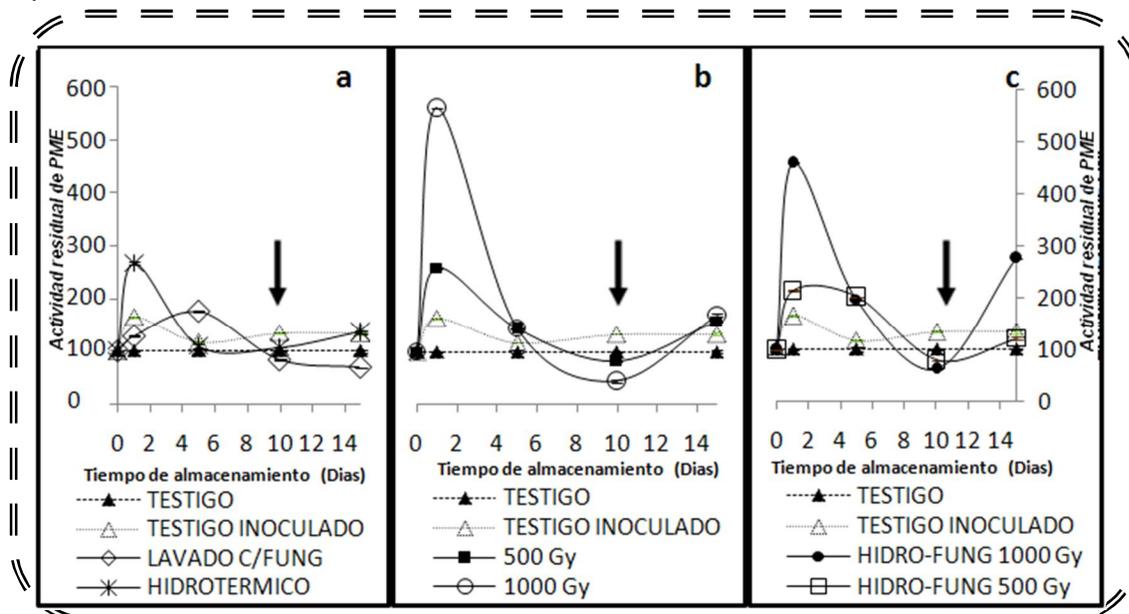


Figura 84. Efecto de los diferentes tratamientos en la actividad residual (PME) de papaya 'Maradol' almacenadas a 12°C y a 20°C: **a)** Hidrotérmico y lavado con fungicida **b)** Irradiación y **c)** Combinados. La flecha indica la transferencia de 12°C a 20°C.

En los tratamientos tradicionales simples (Figura 84a) no se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en el día 1 y 15 para ninguno de los tratamientos. En los tratamientos de irradiación (Figura 84b) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en el día 1 para 1000 Gy y en el día 15 no se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo por el tratamiento de irradiación. En la combinación de tratamientos (Figura 84c) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en el día 1 para H-F-1000 Gy y en el día 15 no se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo por las combinaciones de tratamiento.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La despolimerización de la pectina de la fruta durante la maduración, se ha demostrado que se debe en gran parte a las enzimas pectinolíticas, incluyendo poligalacturonasa y pectinmetilesterasas. Los estudios han demostrado que estas enzimas no son las determinantes primarias del ablandamiento aunque la participación en los cambios de textura durante las últimas etapas de maduración parecen evidentes (Huber *et al*, 2001). La pectinmetilesterasa provoca pérdida de textura y calidad (Cox, 1987, Holdsworth, 1988). En un experimento realizado por Innocenzo (2001) por frutas de papaya almacenadas a 22°C e irradiadas a 500 Gy, este encontró que la actividad de la pectinmetilesterasa fue mayor para el testigo que para los irradiados. D´Innocenzo (1996), explicó que la irradiación de papaya causa disminución en la actividad de las enzimas de PME responsables de la solubilización de pectinas que preservan la firmeza del fruto a lo largo del proceso de maduración; caso contrario a lo obtenido ya que se encontró diferencia significativa en la enzima para los días 1, 10 y 15 para el tratamiento hidro-fung-1000Gy, en donde el día 15 obtuvo el mayor valor.

4.4.6. Efecto en los parámetros sensoriales (prueba hedónica y aceptación general).

En la Figura 85 se observa que el lavado con fungicida presentó la menor aceptación en apariencia, color, aroma y textura con excepción del sabor, que lo mostró la combinación H-F-500Gy; por otro la mayor aceptación lo mostró el testigo en cuanto a apariencia, el testigo inoculado en cuanto a color y aroma, el testigo y la combinación H-F-500Gy en textura y finalmente el testigo y el testigo inoculado para el sabor.

En los tratamientos tradicionales (Figura 85 a) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en el color y textura para lavado c/fungicida, en el aroma para el testigo inoculado, lavado c/fungicida, hidrotérmico y en el sabor para lavado c/fungicida e hidrotérmico. En los tratamientos de irradiación (Figura 85b) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en la apariencia, color, aroma y sabor para 1000 Gy y en textura para 500 Gy. En la combinación de tratamientos (Figura 85c) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en apariencia para H-F-1000 Gy, en color para H-F-500 e H-F-1000 Gy, en aroma y sabor para H-F-500 Gy.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

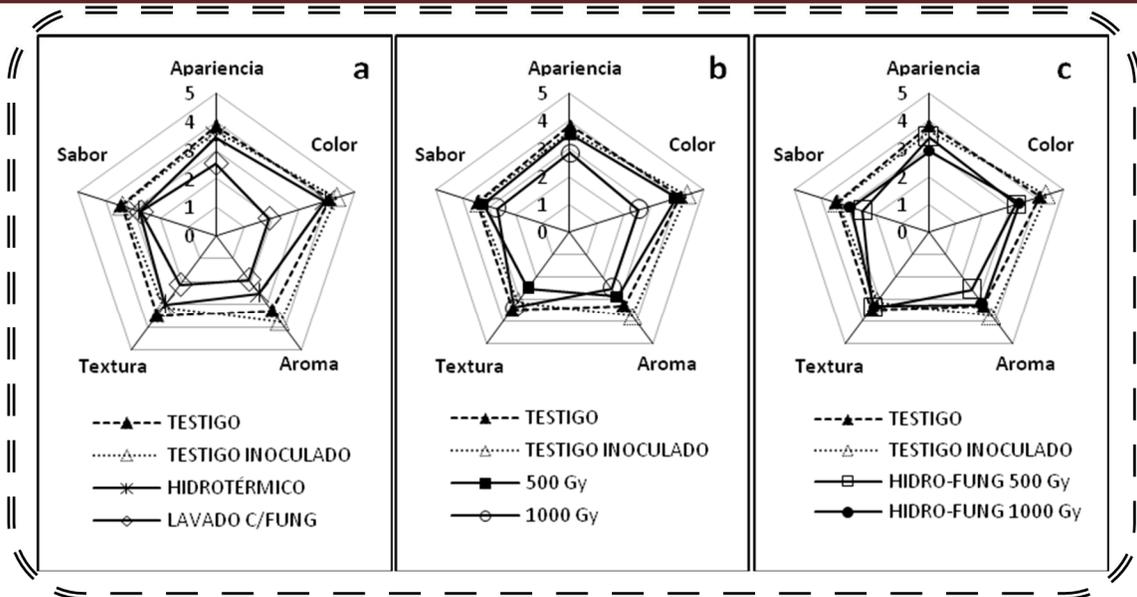


Figura 85. Efecto de los diferentes tratamientos en los atributos sensoriales de la papaya 'Maradol' almacenadas a 12°C y a 20°C: **a)** Hidrotérmico y lavado con fungicida **b)** Irradiación y **c)** Combinados. La flecha indica la transferencia de 12°C a 20°C.

En la Figura 86 se observa que la mayor calificación corresponde al testigo con un valor de 8 y la menor calificación para el lavado con fungicida e H-F-500Gy con un valor de 5.4. En la Figura 86, se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en todos los tratamientos.

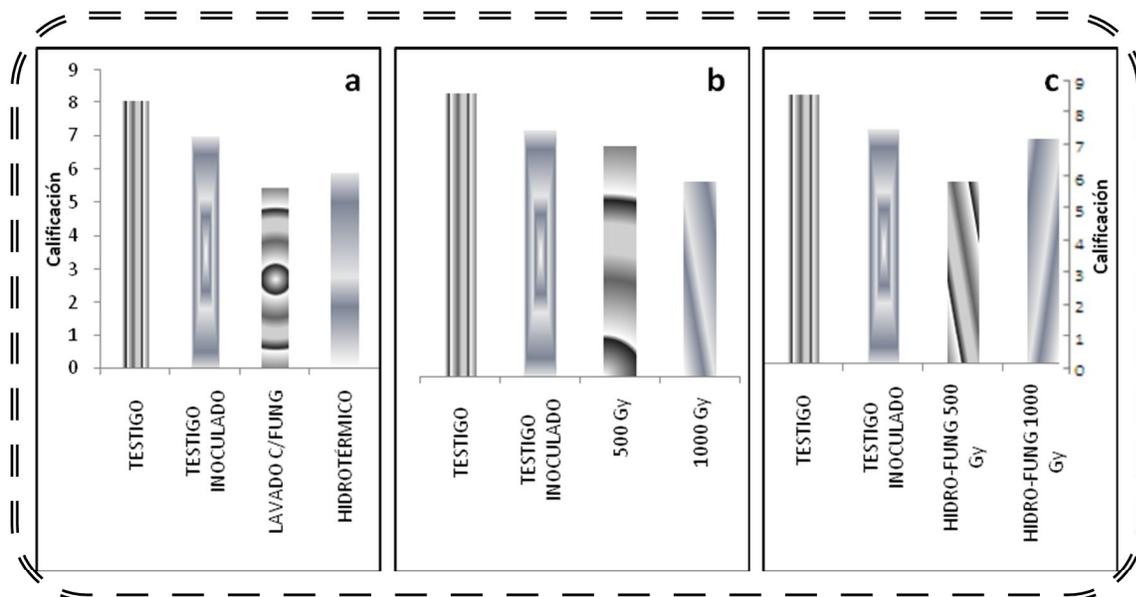


Figura 86. Efecto de los diferentes tratamientos en la aceptación general de la papaya 'Maradol' almacenadas a 12°C y a 20°C: **a)** Hidrotérmico y lavado con fungicida **b)** Irradiación y **c)** Combinados. La flecha indica la transferencia de 12°C a 20°C.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los sustratos disminuyen y los compuestos volátiles y aromáticos aumentan, mostrando aromas y perfumes evidentes (Blandón, 2008), siendo este comportamiento característico del lote testigo.

La irradiación puede romper los carbohidratos de alto peso molecular en unidades más pequeñas.

Este proceso se hace responsable del ablandamiento de frutos a través de descomposición de los materiales de la pared celular, por ejemplo la pectina.

El efecto depende de una serie de factores como el tipo, variedad y madurez de la fruta; los cambios en algunos componentes químicos así como en unas propiedades sensoriales aumentan cuando incrementa la dosis de irradiación y son los cambios en las propiedades sensoriales los que normalmente limitan la dosis de irradiación empleada (Kilcast, 1994), como en el caso de la dosis de 1000 Gy que mostró diferencias significativas en apariencia, color, aroma y sabor no coincidiendo con Moy y Wong (2002), quienes demostraron que la irradiación no tuvo ningún efecto sobre la evaluación sensorial.

Se ha observado una diferencia significativa en el color de cada fruta asignadas a la irradiación, al igual se observó que para la dosis de 1000 Gy y las combinaciones de 500 Gy y 1000 Gy mostraron diferencia significativa.

Dentro de los atributos de calidad el sabor es uno de los más importantes ya que involucra la producción de una mezcla compleja de compuestos volátiles que interaccionan con la producción de otros constituyentes mayoritarios, especialmente carbohidratos, ácidos orgánicos y compuestos fenólicos en donde el almacenamiento incorrecto y la sobre maduración de los frutos puede inducir la formación de componentes con sabores desagradables (Hobson, 1993).

Se ha visto que el contenido de los sabores son más altos para cada uno de los frutos irradiados, aunque estas diferencias no fueron estadísticamente significativas según Boylston *et al.* (2002) caso contrario a lo obtenido en la experimentación en donde el tratamiento H-F-500Gy fue el menos aceptado en cuanto al sabor y color; parámetros que probablemente tuvieron mayor influencia sobre la calificación ya que este tratamiento fue el menos aceptado, además se cree que no solo la irradiación afectó este valor si no que



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

la fruta utilizada estaba menos madura que la de los demás tratamientos lo cual puede observarse en la Figura 86 en el día 15 de muestreo.

4.4.7. Efecto en los síntomas de antracnosis

4.4.7.1. Incidencia de enfermedad

En la Figura 87 se puede observar que la tendencia de la incidencia de enfermedad fue ascendente, en donde los primeros tratamientos en aumentar esta incidencia fueron el testigo y la dosis de 1000 Gy siendo la última en aumentar la combinación H-F-500Gy; así como la dosis de 1000 Gy fue la primera en llegar al 100% de incidencia, y los tratamientos que no llegaron al 100 % de incidencia de enfermedad fueron el hidrotérmico y las combinaciones H-F-1000 Gy y H-F-500 Gy quedando esta última con la menor incidencia.

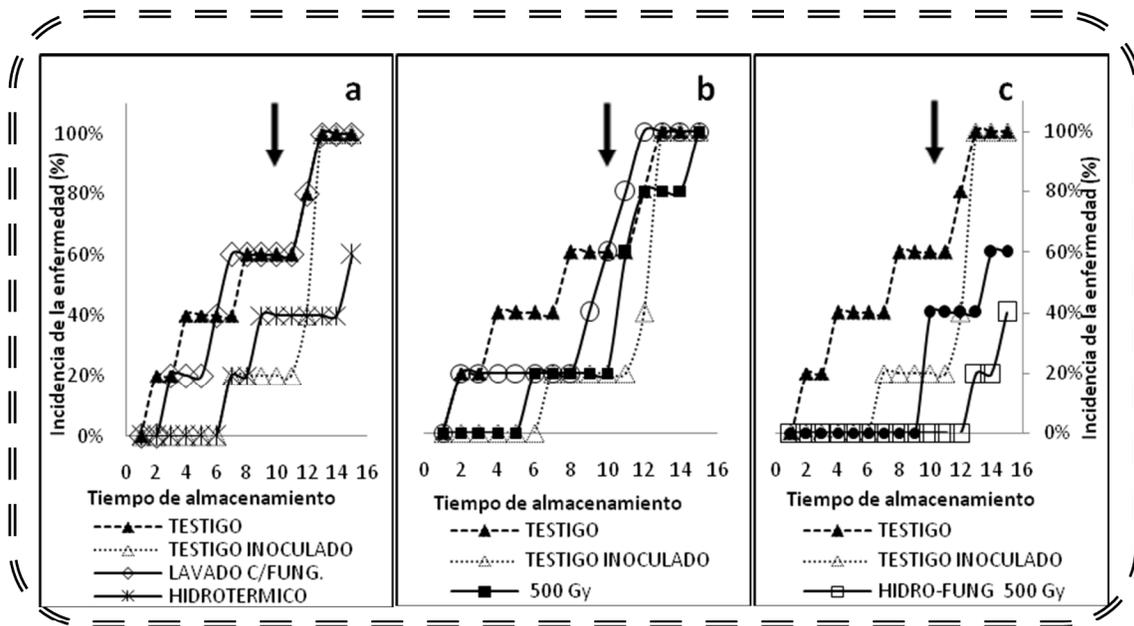


Figura 87. Efecto de los diferentes tratamientos en la incidencia de la antracnosis en la papaya 'Maradol' almacenadas a 12°C y a 20°C: **a)** Hidrotérmico y lavado con fungicida **b)** Irradiación y **c)** Combinados. La flecha indica la transferencia de 12°C a 20°C.

4.4.7.2. Índice de decaimiento

En la Figura 88 se puede observar que la tendencia del IDC fue ascendente, en donde los primeros tratamientos en mostrar un ascenso fueron el lavado c/fungicida, testigo y la dosis de 1000 Gy, y la última en presentar un ascenso fue la combinación de H-F-500Gy; el testigo se mantuvo por arriba de los tratamientos durante la mayoría de los tratamientos aunque en los días finales del almacenamiento el lavado c/fungicida presentó valor mayor



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

IDC que el testigo; y la combinación H-F-500 Gy mostro el menor IDC durante el almacenamiento.

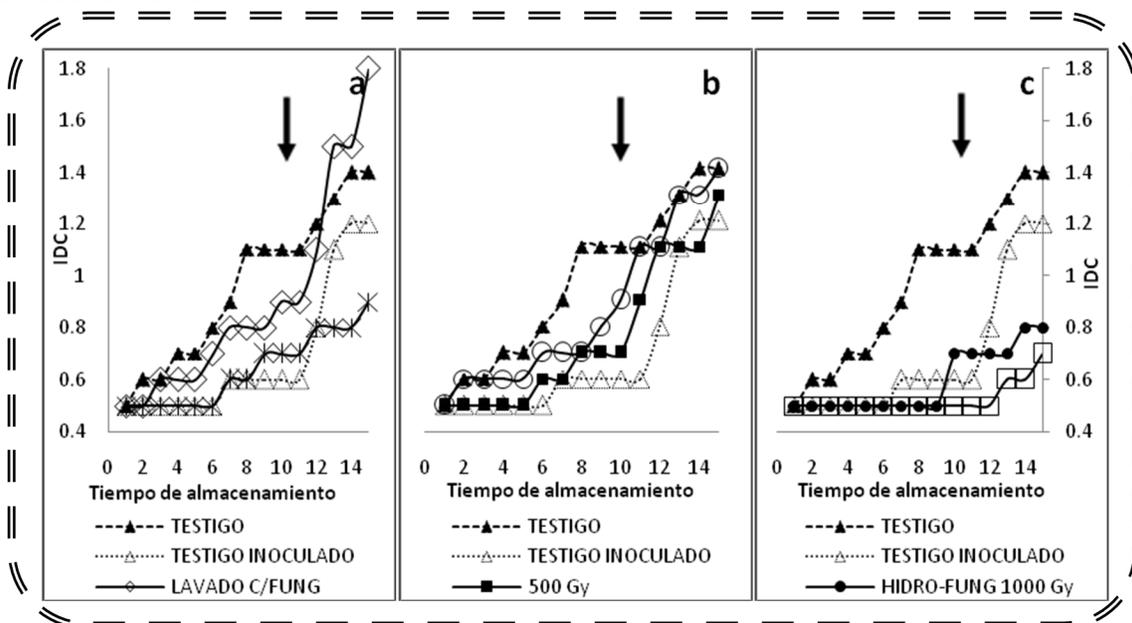


Figura 88. Efecto de los diferentes tratamientos en el IDC de la papaya “Maradol” almacenadas a 12°C y a 20°C: a) Hidrotérmico y lavado con fungicida b) Irradiación y c) Combinados. La flecha indica la transferencia de 12°C a 20°C.

4.4.7.3. Severidad de la enfermedad

En la Figura 89 se puede observar que la tendencia de la severidad de la enfermedad fue ascendente, en donde el primer tratamiento en mostrar un ascenso en la severidad fue el testigo y el último en presentar este ascenso fue la combinación H-F-500Gy; al final del almacenamiento el tratamiento que presentó la mayor severidad fue el lavado c/fungicida siendo la combinación H-F-500 Gy el que presentó el valor menor.

En los tratamientos simples (Figura 89a) se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al testigo en el día 15 para el tratamiento de lavado c/fungicida.

Se observó que el tratamiento de irradiación con una dosis de 1000 Gy llegó al 100% de la enfermedad y mostró los primeros valores de índice de decaimiento, además se ha estudiado en otros experimentos que la irradiación de la papaya no ha sido eficiente en el control fitosanitario ya que no se encontró diferencia entre las muestras no irradiadas (Meirelles y Melges, 2004; Moy *et al.*, 1973 y Akamine y Wong, 1966) quienes obtuvieron un buen control fitosanitario solo por la combinación de la irradiación y la inmersión del agua caliente, lo que demuestra la combinación de tratamientos, lo anterior concuerda con lo obtenido en la evaluación de la antracnosis en donde se encontró que el



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

tratamiento hidro-fung-500Gy presentó el menor % de incidencia de enfermedad, así como el menor índice de decaimiento y el menor valor de la severidad de la enfermedad resultando ser el tratamiento que controló más los síntomas de antracnosis.

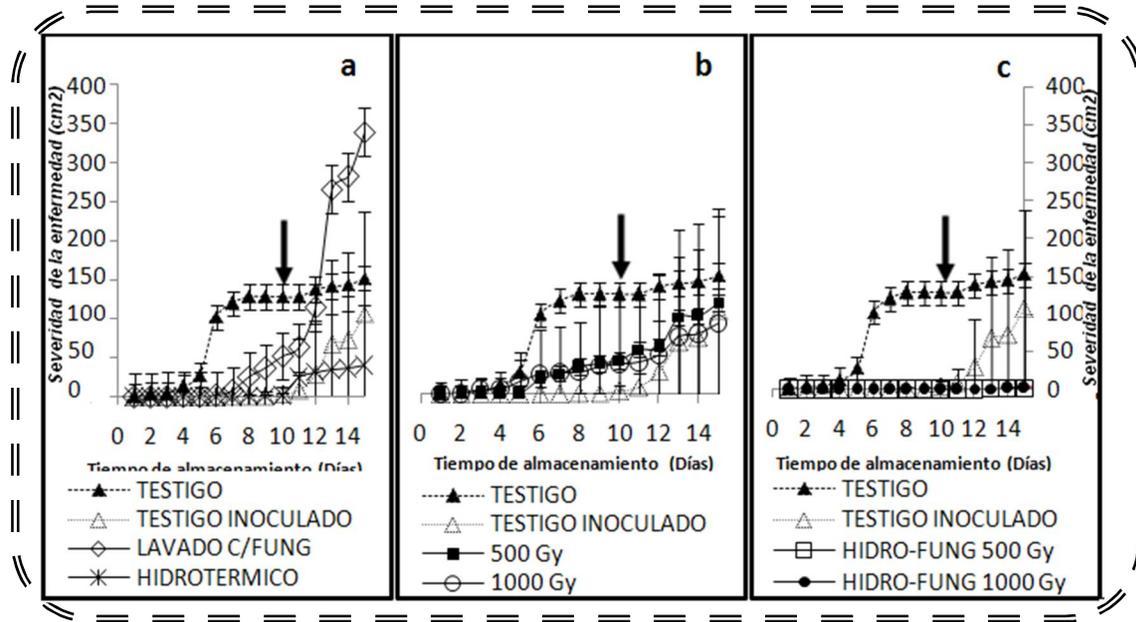


Figura 89. Efecto de los diferentes tratamientos en la severidad de la antracnosis en la papaya 'Maradol' almacenadas a 12°C y a 20°C: **a)** Hidrotérmico y lavado con fungicida **b)** Irradiación y **c)** Combinados. La flecha indica la transferencia de 12°C a 20°C.

La aplicación de fungicidas en poscosecha debe realizarse en combinación con otras estrategias de control como el tratamiento hidrotérmico para evitar la adquisición o desarrollo de la resistencia en la población del patógeno y así como mantener niveles de eficiencia entre 95 y 98%, como sugiere Droby (2000), esto apoya a que se observó que el tratamiento de lavado con fungicida por sí solo no muestra eficacia en el control de la antracnosis.

En las Figuras 90, 91, 92, 93 y 94 se puede observar que las papayas en el día 1 para todos tienen algunas diferencias en cuanto a su homogeneidad de color además se observa un ligero daño en la dosis de 1000 Gy y en la combinación hidro-fung-500Gy debido al tratamiento aplicado. Haciendo un comparativo entre el día 1 al día 5 en cuanto a la maduración (coloración) del fruto se observaron algunos cambios para ciertos frutos, así como quemaduras más notables en 1000Gy y en hidro-fung-500 Gy y se comenzaron a hacer visibles en el hidrotérmico.

Del día 5 al día 10 se observó en cuanto al color que comienzan a notarse más el cambio, en el testigo también fueron evidentes los síntomas de antracnosis severos y algunos



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

síntomas en 1000 Gy. Del día 10 al día 11 se observó que la antracnosis se hace más notoria e incluso que empiezan a invadir mohos oportunistas en el testigo.

Del día 11 al último día de almacenamiento, se intensificó más la enfermedad donde en la mayoría (testigo, lavado con fungicida, 500 Gy y 1000 Gy) de los tratamientos se hicieron evidentes los síntomas de antracnosis, añadiendo que en el lavado con fungicida se afectó la epidermis de la papaya al igual que en el testigo; además se hicieron más notorias las quemaduras para los frutos tratados, cabe destacar que en el testigo, testigo inoculado y lavado con fungicida pareciera que los frutos estuviesen quemados; sin embargo esto se debió a la manipulación diaria de los frutos



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

| | ESTADO DE MADUREZ "A" |
|----------------------|--|
| TESTIGO |  |
| TESTIGO INOCULADO |  |
| HIDROTÉRMICO |  |
| LAVADO CON FUNGICIDA |  |
| IRRADIACIÓN 500 Gy |  |
| IRRADIACIÓN 1000 Gy |  |
| HIDRO-FUNG-500Gy |  |
| HIDRO-FUNG-1000Gy |  |

Figura 90. Papayas sometidas a diferentes tratamientos (irradiación gamma (γ), hidrotérmico, lavado con fungicida y la combinación de estos) .almacenadas a 12°C con transferencia a 20°C para el Día 1.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

| | ESTADO DE MADUREZ "A" |
|----------------------|--|
| TESTIGO |  |
| TESTIGO INOCULADO |  |
| HIDROTERMICO |  |
| LAVADO CON FUNGICIDA |  |
| IRRADIACIÓN 500 Gy |  |
| IRRADIACIÓN 1000 Gy |  |
| HIDRO-FUNG-500Gy |  |
| HIDRO-FUNG-1000Gy |  |

Figura 91. Papayas sometidas a diferentes tratamientos (irradiación gamma (γ), hidrotérmico, lavado con fungicida y la combinación de estos) .almacenadas a 12°C con transferencia a 20°C para el Día 5.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

| | ESTADO DE MADUREZ "A" |
|----------------------|--|
| TESTIGO |  |
| TESTIGO INOCULADO |  |
| HIDROTERMICO |  |
| LAVADO CON FUNGICIDA |  |
| IRRADIACIÓN 500 Gy |  |
| IRRADIACIÓN 1000 Gy |  |
| HIDRO-FUNG-500Gy |  |
| HIDRO-FUNG-1000Gy |  |

Figura 92. Papayas sometidas a diferentes tratamientos (irradiación gamma (γ), hidrotérmico, lavado con fungicida y la combinación de estos) .almacenadas a 12°C con transferencia a 20°C para el Día 10 (Día de la transferencia).



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

| | ESTADO DE MADUREZ "A" |
|----------------------|--|
| TESTIGO |  |
| TESTIGO INOCULADO |  |
| HIDROTERMICO |  |
| LAVADO CON FUNGICIDA |  |
| IRRADIACIÓN 500 Gy |  |
| IRRADIACIÓN 1000 Gy |  |
| HIDRO-FUNG-500Gy |  |
| HIDRO-FUNG-1000Gy |  |

Figura 93. Papayas sometidas a diferentes tratamientos (irradiación gamma (γ), hidrotérmico, lavado con fungicida y la combinación de estos) .almacenadas a 12°C con transferencia a 20°C para el Día 11.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

| | ESTADO DE MADUREZ "A" |
|----------------------|--|
| TESTIGO |  |
| TESTIGO INOCULADO |  |
| HIDROTERMICO |  |
| LAVADO CON FUNGICIDA |  |
| IRRADIACIÓN 500 Gy |  |
| IRRADIACIÓN 1000 Gy |  |
| HIDRO-FUNG-500Gy |  |
| HIDRO-FUNG-1000Gy |  |

Figura 94. Papayas sometidas a diferentes tratamientos (irradiación gamma (γ), hidrotérmico, lavado con fungicida y la combinación de estos) almacenadas a 12°C con transferencia a 20°C para el Día 15.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 95 de papayas vista desde la parte central se puede observar que en el testigo se notan ligeros síntomas de antracnosis lo cual perjudica la pulpa de la papaya. Sin embargo en el testigo inoculado no se observaron daños por la antracnosis y como se ha estudiado la antracnosis se desarrolló cuando el fruto es maduro. Para el tratamiento hidrotérmico se presentó una papaya inmadura no se observaron daños por tratamiento ni por enfermedad, en el tratamiento de lavado con fungicida se tiene una papaya madura con daños de antracnosis principalmente en el pedúnculo, la papaya de irradiación de 500 Gy es un fruto maduro y no se observaron daños por el tratamiento, en la dosis de 1000 Gy se presentaron daños en la pulpa debido a los síntomas de la antracnosis. Para finalizar en ambas combinaciones los frutos no se presentaron daños por la enfermedad, ni por el tratamiento.

Finalmente se tomaron fotos de las papayas muestreadas en 3 diferentes días (5, 10 y 15) con la finalidad de hacer notar que los daños en la Figura 96 no son únicamente por daños en los diferentes tratamientos si no que también por la manipulación de estas; ya que en estas fotos se colocan las que no fueron manipuladas diariamente en las cuales se observan que en la epidermis no se ven daños como de marchitamiento intenso sino que los daños que muestran son sumamente ligeros, además que en el tratamiento hidrotérmico, y ambas combinaciones de tratamientos (hidro-fung-500Gy, hidro-fung-1000Gy) no se observan síntomas de antracnosis en las fotos anteriores.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

| | ESTADO DE MADUREZ "A" |
|----------------------|--|
| TESTIGO |  |
| TESTIGO INOCULADO |  |
| HIDROTÉRMICO |  |
| LAVADO CON FUNGICIDA |  |
| IRRADIACIÓN 500 Gy |  |
| IRRADIACIÓN 1000 Gy |  |
| HIDRO-FUNG-500Gy |  |
| HIDRO-FUNG-1000Gy |  |

Figura 95. Papayas sometidas a diferentes tratamientos (irradiación gamma (γ), hidrotérmico, lavado con fungicida y la combinación de estos) .almacenadas a 12°C con transferencia a 20°C para el Día 15 vistas desde la parte central.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

| | DÍA 5 | DÍA 10 | DÍA 15 |
|----------------------|---|--|---|
| TESTIGO |  |  |  |
| TESTIGO INOCULADO |  |  |  |
| HIDROTERMICO |  |  |  |
| LAVADO CON FUNGICIDA |  |  |  |
| IRRADIACIÓN 500 Gy |  |  |  |
| IRRADIACIÓN 1000 Gy |  |  |  |
| HIDRO-FUNG-500Gy |  |  |  |
| HIDRO-FUNG-1000Gy |  |  |  |

Figura 96. Papayas en estados de madurez $\frac{3}{4}$ verde ("A"), inoculadas por frotación a 1×10^7 esporas/mL, sometidas a diferentes tratamientos (irradiación gamma (γ), hidrotérmico, lavado con fungicida y la combinaciones de estos) almacenadas a 12°C con transferencia a 20°C. Utilizadas para el muestreo de los días 5, 10 y 15 sin ser manipuladas diariamente



CONCLUSIONES



CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Con base en los resultados anteriores, se concluye lo siguiente:

- ✦ El estado de madurez $\frac{2}{4}$ amarillo de la papaya presentó mayor susceptibilidad a los diferentes tratamientos aplicados y al desarrollo de los síntomas provocados por antracnosis; siendo las papayas $\frac{3}{4}$ de verde el estado recomendado para la aplicación de tratamientos poscosecha como la irradiación, térmicos o la combinación de estos.
 - ✦ El método de inoculación por frotación fue el más adecuado para utilizarlo en las pruebas de reto en los diferentes tratamientos poscosecha aplicados a papaya.
 - ✦ Las condiciones recomendadas para la comercialización de la papaya fueron 10 días a $T=12^{\circ}\text{C}$ con transferencia a $T=20^{\circ}\text{C}$ para lograr su completa maduración.
 - ✦ El tratamiento hidrotérmico a 50°C por 5 minutos, disminuyó los síntomas de antracnosis en papaya, y no presentó alteraciones en los parámetros de calidad ni sensoriales del fruto.
 - ✦ El tratamiento de irradiación gamma provocó una mayor pérdida de peso a dosis altas (1250 Gy) en papaya, mostrando una alta tasa respiratoria en las 3 dosis más altas (1250, 1500 y 2000 Gy), y no contribuyeron a disminuir los síntomas de la antracnosis; además en los parámetros sensoriales las dosis más altas fueron las menos aceptadas por los panelistas (2000 Gy).
 - ✦ La inmersión de los frutos en una solución de agua a temperatura ambiente con fungicida no controló los síntomas de la antracnosis afectó la firmeza y los atributos sensoriales de las papayas.
 - ✦ Los tratamientos combinados hidrotérmico-lavado con fungicida-irradiación (500 Gy) fue el mejor tratamiento para el control de la antracnosis y permitió alargar la vida útil, así como el mantener la calidad del fruto para su exportación
 - ✦ Los tratamientos por irradiación, hidrotérmico y combinados afectaron significativamente la firmeza de la papaya, así como la actividad residual de la enzima PME inmediato al tratamiento aplicado. Sin embargo, no se observó una relación directa entre la pérdida de la firmeza y la actividad de esta enzima.
-



RECOMENDACIONES



RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES

Con base en los resultados del presente trabajo se recomienda lo siguiente:

- Evaluar diferentes fungicidas en distintas concentraciones con la combinación de los tratamientos Hidrotérmico-Irradiación para el control de la antracnosis.
 - Evaluar dosis más bajas de irradiación en combinación con el tratamiento Hidrotérmico para el control de la antracnosis, con la finalidad de disminuir los costos.
 - Evaluar el efecto de la razón de dosis de irradiación gamma para el control de la antracnosis y calidad de los frutos.
 - Evaluar el efecto de los tratamientos de irradiación gamma sobre la actividad de la enzima polifenol oxidasa (PDO) y peroxidasa (PPO).
 - Evaluar el efecto de los tratamientos de irradiación en la síntesis de fitoalexinas y su relación con el control de enfermedades en papaya.
-



ANEXOS



ANEXOS

ANEXO 1

RECOMENDACIONES DE BUENAS PRÁCTICAS PARA PRODUCTORES

- ④ La calidad de los productos se desarrolla en el campo y no en el transporte o almacén. Por muy bueno que sea el manejo poscosecha, la calidad lograda en campo ya no se mejorará y en el mejor de los casos solo se logrará mantener por algún período de tiempo, por lo que se recomienda aplicar BPA.
 - ④ Los frutos provengan de una huerta certificada la cual asegure el buen mantenimiento de los plantíos de papaya, el uso de fertilizantes y pesticidas.
 - ④ En plantaciones tecnificadas y en donde el destino principal de la fruta es para el mercado internacional, el corte se efectúa con navajas o cuchillos., bien afilados, para efectuar el corte al ras de la planta, y posteriormente recortar el pedúnculo para evitar daños por el roce entre los frutos. Las herramientas de corte deben desinfectarse, para evitar la transmisión de patógenos de una planta a otra.
 - ④ Los frutos deberán cosecharse en madurez fisiológica ya que de no ser así los frutos podrían correr el riesgo de no madurar.
 - ④ La fruta debe de recolectarse de dos a tres veces por semana, dependiendo de las condiciones ambientales y del grado de madurez requerido, efectuándose en las horas más frescas de la mañana y protegiéndola de los rayos solares directos. Los frutos se deben colocar en la sombra, para evitar sobrecalentamiento y quemaduras del sol (Anónimos, 1992).
 - ④ El personal debe ser entrenado sobre la clasificación por calidad y control de los productos clasificados.
 - ④ Para la protección del personal que participa en las labores de corte se sugiere el uso de guantes y de ropa de protección, ya que el látex que segrega el fruto puede causar irritaciones y quemaduras en la piel.
-



ANEXOS

- Ⓢ Efectuar una preselección en campo y separar aquellos frutos que están visiblemente dañados, sobre maduros o que no cumplan con las características de calidad para su comercialización (Medlicott, 2001).
 - Ⓢ Una vez que el fruto es separado de la planta se procede a envolverlo en papel periódico, con la finalidad de protegerlo de daños mecánicos y evitar el manchado por látex. Las frutas desechadas en campo, no deben dejarse tiradas en el terreno, se deben sacar de la plantación para evitar el desarrollo de fuentes de infección e infestación de enfermedades y plagas (Anónimo, 1992).
 - Ⓢ Cumplir todas las normas legislativas desde el punto de vista de los materiales de fabricación. Los envases o cajas de campo utilizados para el traslado de los frutos al centro de acopio deben de ser preferentemente de plástico que cumplan con las siguientes características: fabricados con materiales resistentes, que permitan una fácil manipulación, con diseño apropiado para el lavado y desinfección, y que sean durables (Anónimo, 1992).
 - Ⓢ La papaya es un fruto que requiere de bastante cuidado durante su cosecha y transporte, ya que cualquier golpe, sobrepresión o herida exterior, repercute en la maduración, originándose ennegrecimientos o quemaduras que aunque no lleguen a afectar la pulpa, desmerecen su calidad comercial. Se deben evitar las cargas mixtas de productos incompatibles.
 - Ⓢ Para el control de la antracnosis, se requiere de aplicaciones frecuentes de fungicidas durante el desarrollo del cultivo, asegurando así los rendimientos esperados, la inmersión de los frutos recolectados en agua caliente con fungicidas, ayudan a eliminar infecciones quiescentes y mantienen la presentación de los frutos (Prior *et al.*, 1992).
 - Ⓢ Para el tratamiento hidrotérmico, se recomienda que la temperatura del agua oscile entre 50 y 55°C; los frutos se deben introducir en períodos que van de dos a tres minutos, estos factores varían de acuerdo al tipo de fruto y sensibilidad del patógeno (Dodd *et al.*, 1991).
-



ANEXOS

- Ⓢ El preenfriamiento es una técnica consistente en el enfriamiento rápido del producto una vez recolectado para eliminar el denominado “calor de campo”, y, así, conseguir disminuir las actividades fisiológicas y patológicas, lo cual permite conseguir una óptima calidad en los productos y un mejor almacenamiento y transporte de los mismos. Es esencial para los cultivos hortícolas más perecederos, puesto que el deterioro ocurre mucho más rápidamente en temperaturas altas que bajas, mientras se retire más pronto el calor del campo después de la cosecha, más tiempo se puede mantener el producto en condiciones comerciables en almacenamiento.

 - Ⓢ Durante el almacenamiento de los frutos es necesario controlar la temperatura así como el no exceder la temperatura crítica del producto.

 - Ⓢ Como se ha visto anteriormente, el frío no puede considerarse como un agente esterilizante, si el producto está ya inicialmente contaminado por microorganismos, ni como destructor de enzimas. Así pues, al cesar la acción del frío, las reacciones degradativas vuelven a producirse e incluso con una mayor intensidad. De aquí la necesidad de mantener el frío apropiado de forma lo más constante posible y al nivel adecuado, a lo largo de todo el proceso global de los productos perecederos, desde su recolección, sacrificio o captura (según los casos), hasta el momento de su consumo.

 - Ⓢ Los distintos eslabones que forman esta cadena serían los siguientes: almacenes frigoríficos situados en las zonas productoras; vehículos de transporte frigoríficos; almacenes frigoríficos generales, comerciales y de consumo; transportes frigoríficos urbanos; cámaras y muebles frigoríficos de establecimientos públicos o institucionales, de supermercados y de los detallistas; refrigerador doméstico.

 - Ⓢ Las frutas tropicales deben ser desinfectadas por algún tipo de tratamiento de cuarentena antes de su envío al territorio continental de Estados Unidos. La aceptabilidad de la irradiación de frutas tropicales se basa en la demostración de la mejora en la calidad, vida útil, y la disponibilidad del producto en comparación con las alternativas de tratamiento de cuarentena (Boylston *et al.*, 2002).
-



ANEXOS

ANEXO 2

EXPORTACIÓN

La papaya es un producto que está en la lista de productos admisibles al mercado de los Estados Unidos y posee grandes oportunidades comerciales. Si se desea conocer qué productos son admisibles en Estados Unidos o confirmar si la papaya está en la lista visite la dirección de APHIS-USDA:

Disponible en: http://www.aphis.usda.gov/ppq/manuals/port/pdf_files/20Fruits_and_Vegetables.pdf

2.1. Especificaciones técnicas del producto

Nombre del Producto en Español: Papaya

Nombre del Producto en Inglés: Papaw

Familia: *Cariaceae*.

Nombre Científico: *Carica Papaya L.*

2.2. Manejo agrotécnico

a. Suelos Recomendados

El papayo se desarrolla en cualquier tipo de suelo siempre que sean suelos ligeros, fértiles (ricos en humus), blandos, profundos y permeables. Al tener sus tallos y raíces blandas y esponjosas, no deben cultivarse en terrenos demasiado húmedos y compactos con mal drenaje, ya que se pudrirán las raíces.

b. Distancia de Siembra

Los marcos de plantación son reales a una distancia de tres metros, en hoyos con una profundidad de 80 cm y una anchura de 50 cm. Las plantas se colocarán de forma que el cuello esté al nivel del suelo para que el tallo no se pudra.

c. Clima

Para este cultivo el clima es de suma relevancia. La humedad y el calor son las condiciones esenciales para el buen desarrollo del papayo, requiere temperatura de 20-22°C, aunque puede resistir fríos ligeros. Si no tiene la cantidad suficiente de calor, se desarrolla mal y los frutos no llegan a madurar. No se debe cultivar en áreas propensas a



ANEXOS

heladas o temperaturas por debajo de la congelación ya que provocarían la muerte del vegetal. Las noches frescas y húmedas ocasionan que la fruta madure lentamente y resulte de mala calidad.

d. Duración del ciclo vegetativo:

Aproximadamente de 1 año según la variedad.

2.3. Manejo integrado de plagas y enfermedades

a. Plagas que afectan durante el ciclo vegetativo

Los nemátodos, la araña roja, la mosca de la fruta del Mediterráneo *Ceratitis capitata*

Mosca *Toxotrypana curvicauda*

Pulgón verde del melocotonero *Myzus persicae*

Oruga del lepidóptero *Erinnyis spp.*

b. Cumplimiento a Legislación de Residuos Químicos

Para que los productos ingresen al mercado de los Estados Unidos debe asegurarse que cumplan con la legislación de residuos químicos establecida en la EPA (Agencia para la Protección del Ambiente de los EE.UU).

c. Se pueden utilizar plaguicidas siempre y cuando estén aprobados.

2.4. Estándares de calidad

A. Forma: La papaya es baya ovoide-oblonga, periforme o casi cilíndrica, grande, carnosa, jugosa, ranurada longitudinalmente en su parte superior, de color verde amarillento, amarillo o anaranjado amarillo cuando madura, de una celda, de color anaranjado o rojizo por dentro con numerosas semillas parietales y de 10 - 25 cm o más de largo y 7-15 cm o más de diámetro. Las semillas son de color negro, redondeadas u ovoides y encerradas en un arilo transparente, subácido; los cotiledones son ovoide-oblongos, aplanados y de color blanco.



ANEXOS

2.5. Estándares de empaque

Manga de malla de espuma en cada fruta, almohadilla de espuma en el fondo de la caja, o envoltura en papel. Capa única, caja de plancha de fibra de una pieza, conteo de 6-12, 4.05 Kg (10 lbs).

2.6. Transporte

- a) Vida de tránsito y almacenamiento: 1-3 semanas.
- b) Temperatura y humedad relativa: 7-13°C (45-55°F), 85-90%. Daños por enfriamiento por debajo de 7°C (45°F). El magullamiento produce etileno.
- c) El transporte es por contenedores aéreos, remolque de carretera y transporte combinado de carretera- ferrocarril, contenedores furgón.

2.7. Tramites nacionales para la exportación

- a) Trámites de certificación fitosanitaria para productos agrícola. Para certificar productos para la exportación la instancia encargada.
- b) Trámites para el registro cómo exportador.

2.8. Requisitos para cumplir con los requerimientos establecidos en la ley de bioterrorismo de los Estados Unidos

Es un requisito indispensable de cada exportador que desee exportar a los Estados Unidos registrarse previamente en un padrón de exportadores manejado por la FDA. El registro de las instalaciones se tendrá que realizar solamente una vez y no tiene ningún costo. Sin embargo, se advierte que si existe alguna modificación de la información presentada en el registro inicial, la misma debe ser actualizada de inmediato para no presentar problemas en los procesos.

Notificación previa, consiste en llenar un formulario que debe ser recibido y confirmado por la FDA, no más de cinco días antes de la llegada del embarque. El tiempo mínimo para recibir las notificaciones dependerá del medio de transporte:

Establecimiento y mantenimiento de registros, para el mejor control y vigilancia de los productos que se comercializan, en los Estados Unidos, la FDA solicita establecer y



ANEXOS

mantener registros relacionados con: manufactura, procesamiento, empaque, distribución, recepción, almacenamiento e importación. Este requisito rige para las personas (individuos, sociedades, corporaciones y asociaciones) que elaboran, procesan, envasan, transportan, distribuyen, conservan o importan alimentos, así como para los extranjeros que transportan alimentos a EE.UU, los demás están exentos.

Detención administrativa, consiste en que la FDA podrá retener/ incautar administrativamente alimentos, si tiene pruebas o información creíble o fi dedigna de que los alimentos representan una amenaza de consecuencias negativas y graves para la salud o de muerte de personas o animales en EE.UU.

Embalajes de madera, entró en vigencia el 16 de septiembre del 2005. La regulación define que los embalajes de madera utilizados para el comercio internacional deben ser tratados, para impedir el alojamiento de plagas, así mismo deben presentar una marca que demuestre que han sido tratados.

Registro de marca, esto solo en caso de que quiera vender papaya con marca registrada. USPTO Es la oficina de marcas y patentes de los Estados Unidos, que es parte del departamento de comercio. Aquí se registran las diferentes marcas para los productos y las marcas registradas tienen una validez por 15 años, una vez cumplida la fecha deben ser registradas nuevamente.

Cuotas de importación, para el rubro Papaya no se establecen cuotas de importación.

Aranceles, para el rubro Papaya el costo de los aranceles es de: US\$ 0.0.



BIBLIOGRAFÍA



BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Acosta, R.M. (1999). Calidad y tolerancia en frutos de papaya (*Carica papaya* L.) a la inoculación del hongo *Colletotrichum gloeosporioides penz.* *Horticultura.* 7(1): 119-130.
 - ❖ Acosta, R. M. (1997). Calidad de tres cultivares de papaya (*Carica papaya* L.) Cera, Maradol y Sunset, y la susceptibilidad a la antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz.) en postcosecha. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
 - ❖ Acosta, R.M., Nieto, A. D., Dominguez, A. J.L., Delgadillo, S. F. (2001). Calidad y tolerancia en frutos de papaya (*Carica papaya* L.) a la inoculación del hongo *Colletotrichum gloeosporioides* Penz. en postcosecha. *Rev. Chapingo Ser. Hort.* 7: 119-130
 - ❖ Agrios, G. N. (1989). *Fitopatología.* Limusa. México, D.F. 802 p.
 - ❖ Akamine, E. K. y R. T. E., Wong (1966). Extending the shelf life of papayas with gamma irradiation, *Hawaii Farm Sci.* 15:4-8.
 - ❖ Akamine, E. K. y T.GOO. (1969). Effect of Gamma Irradiation on Shelf Life Extension of Fresch Papayas, Vol. 1, Report NVO-374-17, U.S. Atomic Energy Commission, p. 34.
 - ❖ Akamine, E.K. y T. GOO. (1971). Respiration of gamma-irradiated fresh fruits. *J. Food Sci.* 36, 1074-1077.
 - ❖ Akamine, E.K. y T. GOO. (1977). Respiration, ethylene production, and shelf life extension in irradiated papaya fruit after storage and simulated shipping condition, *Hawaii Agric. Exp. Stn. Tech. Bull.* 93: 12-18.
 - ❖ Almaguer, V., G. (1998). *Principios de fruticultura.* Mundi-Prensa, México, D.F
 - ❖ Alvarez, A. M. y W.T. Nishijima (1987). Postharvest diseases of papaya. *Plant. Dis.* 71: 681-686.
 - ❖ Alvarez, A. M. y M. G. Nelson. (1982). Control of *Phytophthora palmivora* in papaya orchardas with weekly sprays of chlorothalonil. *Plant. Dis.* 66:37-39.
-



BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Alvarez, A. MW. Hyliny J. N. Ogata. (1977). Postharvest disease of papaya reduced by biweekly orchard sprays. *Plant. Dis. Rep.* 61: 731-735.
 - ❖ Alves, R. E H. A. C. Filgueiras, H.A.C., Menezes, J.B., Assis, J.S., . Lima, M.A.C., Amorim. T.B.F. y A.G. Martj s. (2002). Colheita e pós-colheita.
 - ❖ Anónimo. (1982). Recomendaciones para el cultivo de lechosa. Noticias agrícolas. Fusagri, Venezuela. IX. 35.
 - ❖ Anónimo. (1992). La papaya. El campo. México. p. 22-30.
 - ❖ AOAC (1980). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. Horwitzs, W. Washington
 - ❖ AOAC (1984). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. Horwitzs, W. Washington
 - ❖ Aragaki, M., Kimono, W. S., y J.Y. Uchida, (1981). Limitations of hot water treatment in tile control of *Phytophthora* fruit roto of papaya. *Plant Disease* 65: 744-745.
 - ❖ Araujo, J. E. (1965). Seleccione sus papayas por medio de la flor. *Agricultura en el Salvador*. No. 6: 35.
 - ❖ Arauz, L. F. (1992). Elementos básicos de patología postcosecha de frutos y hortalizas. En: Reunión Latinoamericana de tecnología postcosecha. UAM-Iztapalapa México. D.F. 234 p.
 - ❖ Arauz, L. F. (2000). Mango anthracnose: Economic impact and current options for integrated management. *Plant disease*. 84:600-611.
 - ❖ Arévalo, G. L., Saucedo, V. C., Bustos, R. E., y H.H. González (2002). Maduración de frutos de aguacate Hass tratados con radiación gamma. Texcoco, México. *Agrociencia*. 36:667-673
 - ❖ Arias, C. (1992). Programa de pérdidas de postcosecha de frutas en los países menos desarrollados de la FAO Organización de Naciones Unidos para la Agricultura y Alimentación. Roma, Italia. 183 p.
-



BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Arias, Velázquez. C. J. (2000). Manual de manejo postcosecha de frutas tropicales (papaya, piña, plátano, cítricos). FAO. TCP/PER/6713.
 - ❖ Arriola, M. C.; Calzada, J. F.; Menchu, J. F.; Rolz, C.y R. García (1980). Papaya, pp. 11-12. *In: Nagy and Shaw, P.E. (eds.). Tropical and Sub-Tropical Fruits.* AVI Publishing, Westport, Connecticut, USA.
 - ❖ ASERCA. (1998). La producción de plátano en México, alcances y perspectivas. *Claridades Agropecuarias.* N°.58. Junio. SAGAR. México.pp.36.
 - ❖ ASERCA. (1999). La papaya, un mercado en expansión. *Claridades Agropecuarias.* SAGAR .México. 44 p.
 - ❖ Avilés, O. A. (1971). Estudio agroindustrial de la papaya. Tesis de licenciatura.UACH, Chapingo, México.
 - ❖ Bailey, A. J. y J.M. Jeger (1992). *Colletotrichum: biology, pathology and control.* *British Society for Plant Pathology.* C. A. B. International. 388 p.
 - ❖ Barkai-Golan, R. y D.J. Phillips (1991). Postharvest heat treatment of fresh fruits and vegetables for decay control. *Plant Disease.* 75:1085-108.
 - ❖ Barret, M. D.; Somgyl, L; Ramaswamy, H, (2005). Ionizing Radiation processing of fruits and fruits products. En: *Processing Fruits, Science and Technology.* CRC Press. United States. Chapter 11, pp 221-259.
 - ❖ Beyers, M., Thomas, A. C. y A. J. Van Tonder (1979). Gamma irradiation of subtropical fruits. I. Compositional tables of mango, papaya, strawberry and litchi fruits at the edible ripe stage, *J. Agric. Food Chem.* 27: 37-41.
 - ❖ Biale, J. B. (1960). The postharvest biochemistry of tropical and subtropical fruits. *Adv. Food. Res.* 10:293-354
 - ❖ Blandón, N.S. (2008). Eco fisiología de postcosecha de frutas y hortalizas. Consultado 9 de febrero del 2011. Disponible en: www.slbn.files.wordpress.com/2008/09/unidad-ii_ing-posc_sesion3.ppt.
-



BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Bolkan, H. A.; Cupertino, F.P., Dianese, J.C., y A. Takatsu. (1976). Fungi associated with pre-and postharvest fruit rots of papaya and their control in central Brazil. *Plan Dis. Rep.* 60:605-609.
 - ❖ Boscán, N. (2001). Métodos cuarentenarios de control de la mosca de las frutas. FONAIAP, Centro de Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Maracay, Venezuela.
 - ❖ Boylston, T. D., Reitmeier, C. A., Moy, J. H., Mosher, G. A. y Taladriz, L. (2002). Sensory Quality and Nutrient Composition of Three Hawaiian Fruits Treated by X-Irradiation. Hawaii. *Journal of Food Quality* 25:419-433.
 - ❖ Briseño, C., y Z. Vargas (2008). Efecto de la aplicación de tratamientos con irradiación UV-C sobre la actividad de la polifenol oxidasa y peroxidasa en mangos de variedad "Ataulfo" almacenados a bajas temperaturas. Tesis de ingeniería en alimentos. UNAM. México.
 - ❖ Brodrick, H. T. y Van Der Linde, H.J. (1981). Technological feasibility studies on combination treatments for subtropical fruits, in *Combination Processes in Food Irradiation*, International Atomic Energy Agency, Vienna, pp. 141-157.
 - ❖ Brodrick, H. T., Thomas, A. C., Visse, F., y M. Beyers, (1976). Studies on the use of gamma irradiation and hot water treatments for shelf life extension of papayas, *Plant Dis. Rep.* 60:749-752.
 - ❖ Bruhn, C. M. y J. Noell. (1987). Consumer In-Store Response to Irradiated Papayas: *Food Technology*, 41 (9):83.
 - ❖ Burg, S. P. y E. A. Burg. (1967). Molecular requirements for the biological activity of ethylene. *Plant Physiol.* 42:144-152.
 - ❖ Bustos, M.E., y F. Rocabado (1991). Irradiación de Alimentos, Memoria del Seminario Nacional Realizado en México, DF, Noviembre de 1990, OPS/OMS/SSA/ININ, México.
 - ❖ Camargo, R. J., Tadini, C. C. y S.F. Sabato (2007). Physical-chemical analyses of irradiated papayas (*Carica papaya L.*). Sao Paulo, Brazil. *Radiation Physics and Chemistry.* 76: 1866-1868.
-



BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Cano, M.P.; Lozada, L. y C. Fuster (1993). Actividades enzimáticas de la peroxidasa y polifenoloxidasas en frutos de papaya. Cambios durante la maduración y procesado. Instituto del Frío. Madrid, España. pp. 696-701.
 - ❖ Carrillo, Larriva, C. J. (1999). Efecto del tiabendazol, envoltura plástica y preacondicionamiento en la fisiología y calidad de frutos de toronja Ruby Red. Universidad Autónoma de Chapingo. pp 86.
 - ❖ Casarrubias, C. U. E., Cárdenas, S.; Nieto A. y J. G. Gutiérrez (2002). Histopatología de frutos de papaya (*Carica papaya* L.) infectados por *Colletotrichum gloeosporioides* Penz. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 20:88-93.
 - ❖ Cia, P. (2006). Efectos de la irradiación gamma y rayos UV-C en la poscosecha de control de la antracnosis de papaya. Escuela superior de agricultura.
 - ❖ Considine, D. W. (1976). *Van Nostrand's Scientific Encyclopedia*. New York: Van Nostrand Reinhold Co.
 - ❖ Cook, A. A. (1975). *Diseases of tropical and subtropical fruits and nuts*. Hafner Press. New York. 317 pp.
 - ❖ Corrales, G., J. (1993). Cosecha y transporte a centros de acopio. Memorias de la I Reunión Lationamericana de Tecnología Postcosecha. Universidad Autónoma Metropolitana- Iztapalapa. México.p. 70-77.
 - ❖ Corrales, G. J. (1994). Calidad y normas de los frutos. En Primera reunión internacional y segunda reunión nacional de Frutales nativos e introducidos con demanda nacional e internacional. Memoria, Montecillo, edo. Méx. pp. 223-234.
 - ❖ Couey, H. M.; Alvarez, A.M. y M. G. Nelson. (1984). Comparison of hot water spray and immersion treatment for control of postharvest decay of papaya. *Plant Dis*. 68:436-437.
 - ❖ Couey, H.M. (1989). Heat treatment for control post-harvest disease and insect pest of fruits. *HortScience* 24:198-202.1989.
-



BIBLIOGRAFÍA

- ❖ COVECA. (2004). Perfil de papaya. Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria. Gobierno del estado de Veracruz. Consultado 22 Marzo de 2010. Disponible en: <www.coveca.gob.mx/documentos/papaya.pdf>
 - ❖ Cox, P. M. (1987). *Ultracongelación de alimentos: Guía de la teoría y práctica*. Acribia, Zaragoza, España.
 - ❖ Crop, K.M.(2005). Crop Knowledge Master Home Page (en línea). Hawai, US. Consultado 26 octubre de 2009. Disponible en <http://www.extento.hawaii.edu/kbase/crop/crop.htm>
 - ❖ Chan, H. T. y S. C. M. Kwok (1975). Importance of enzyme inactivation prior to extraction of sugar from papaya, *J. Food Sci.*, 40, 770.
 - ❖ Chau, K. F. y A. M. Álvarez. (1979). Role of *Mycosphaerella* ascospores in stem-end rot of papaya fruit. *Phytopathology*. 64:500-503.
 - ❖ Chau, K. F. y A. M. Álvarez. (1983). A histological study of anthracnose on *Carica papaya*. *Phytopathology*. 73:1113-1116.
 - ❖ D'innocenzo, M. (1996) Comportamento de enzimas da parede celular e textura da polpa relacionados ao tratamento de irradiação de mamões (*Carica papaya* L. Cv solo) durante o amadurecimento. Piracicaba: USP/ESALQ, 1996. 85p. (Dissertação - Mestrado).
 - ❖ Dacus, R. y Flores, M. (1991). Efecto de tratamientos térmicos de alta temperatura sobre la calidad y fisiología poscosecha de frutas. Facultad de ciencias exactas. Buenos Aires. 235p.
 - ❖ De Arriola, M. C., De Madrid, M.C., y C. Rolz. (1975). Some Physical and chemical changes in papaya during it storage, *Proc. Trop. Res. Am. Soc*, Hr.No. vol. pp.120
 - ❖ De Arriola, M. C., De Calzada, J. F., Menchu, J.F., Rolz, C. y R. García. (1980). Papaya. In: Nagy, S. y Shaw, P. E. (Eds.) *Tropical and Sub-Tropical Fruits*,., AVI Publishing, Westport, Connecticut. USA.
-



BIBLIOGRAFÍA

- ❖ De los Santos, F.; Becerra, E.; Mosqueda, R.; Vásquez A.; y A.B.Vargas (2000). Manual de producción de papaya en el estado de Veracruz. INIFAP-CIRGOC-SAGAR. Folleto Técnico Núm. 17. Veracruz, México.
 - ❖ Díaz, M. D. (2002). *Fisiología de árboles frutales*. AGT Editor, México, D. F
 - ❖ Dickman, M. B. (1993). *Colletotrichum gloeosporioides*. Department of Plant Pathology. CTAHR. Universidad of Hawaii at Hilo. (en línea). Consultado 19 de enero de 2006. Disponible en: http://www.extento.hawaii.edu/Kbase/crop/type/c_gloeo.htm.
 - ❖ Dickman, M. B, y A.M. Alvarez (1983). Latent infection of papaya caused by *Colletotrichum gloeosporioides*. *Plant Disease* 67:748-750.
 - ❖ Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria- D.G.E.T.A. (1990). Producción del Papayo (*Carica papaya L.*) Variedad Maradol en Yucatán (resultados preliminares). Instituto Tecnológico Agropecuario Ing. José Alberto Navarrete Ruiz. Secretaría de Educación Pública. Conkal, Yucatán. 18p.
 - ❖ Dodd, J. C., A. Estrada y M. J. Jeger. (1991). Epidemiology of *Colletotrichum gloeosporioides* in the tropics. In: J. A. Bailey y M. J. Jeger. (Eds.). *Colletotrichum: Biology, pathology and control*. CAB Internacional. Wallingford. UK. pp. 308-325.
 - ❖ Dollar, A. M. y M. Hanaoka, (1973). Commercial disinfestations treatment of fruit by ionizing radiation, in *Radiation Preservation of Food*, International Atomic Energy Agency, Vienna, pp. 617-628
 - ❖ Dollar, A.M., Hanaoka, M., McGlish, G. A. y J.H. Moy (1971). Semicommercial scale studies on irradiated papaya, in *Disinfestation of Fruit by Irradiation*, International Atomic Energy Agency, Vienna, pp. 137-148.
 - ❖ Dollar, A.M., Hanaoka, M., Moy, J.H., Cinnamon, A. D., Hamill, E., Helber, D., Hsia, T., y N. Wenkam (1970). Physiological, chemical, and physical changes during ripening of papaya, in *Hawaii Food Irradiation Program for the Period June 1, 1968-June 30, 1969*, Vol. 1, USAEC Report NVO-374-17, pp. 85-106.
 - ❖ Dom, R. O. (2005). Effects of gamma and UV-C irradiation on postharvest control of papaya anthracnose. *Phytopatology*. 2: 139.
-



BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Domínguez, A.M., López, J.C., y M. P. García. (1998). Effects of hot water treatments on postharvest quality and ethylene synthesis of bananas. *Acta Horticulturae* 490:529-535.
 - ❖ Droby, S. (2000). Biologically and physically-based methods for the control of postharvest decay of fruits. pp. 182-201. XVI Congresso Brasileiro de Fruticultura. Ceara, Brasil. 322p.
 - ❖ Durán, A., Ramírez, L. y D. Mora. (1998). Requerimientos de humedad relativa y tiempos de incubación para la infección de conidios de *Colletotrichum gloeosporioides* en frutos de papaya. *Agronomía Mesoamericana* . 9(1):81-85.
 - ❖ Eckert, J. W. y J. M. Ogawa. (1985). The chemical control of postharvest diseases: Subtropical and tropical fruits. *Annu. Rev. Phytopathol.* 23:421-454.
 - ❖ Elesbao-Alves R., H. A. Cubha-Filgueiras. (1999). Avances en tratamientos hidrotérmicos en frutos de papaya. In: Saucedo-Veloz, y R. Báez-Sañudo. Tratamientos físicos de cuarentena en frutos tropicales y subtropicales. La Habana, CYTED/RITEP. pp. 19-24.
 - ❖ Fallik, E. (2004). Prestorage hot water treatments (immersion, rinsing and brushing). *Postharvest Biology and Technology* 32: 25-134.
 - ❖ Fallik, E., S. Grinberg, M. Gambourg, J.D. Klein, S. Lurie. (1995). Prestorage heat treatment reduces pathogenicity of *Penicillium expansum* in apple fruit. *Plant Pathology* 45:92-97.
 - ❖ Fariñas, M. E. y Mejias Y. (1990). El cogollo arrepollado que afecta el cultivo del papayo. Transmisión, distribución y microscopía en cortes histológicos. Simposio XX Aniversario de la ENSA. La Habana.
 - ❖ FDA. (1986). Irradiation in the Production, Processing, and Handling of Food; Federal Register, 51:13376.
 - ❖ Fennema, R. (1993). *Química de los Alimentos*. 2da. Acribia ., Zaragoza.
 - ❖ Flores, A. (2000). *Manejo postcosecha de frutos y hortalizas en Venezuela*. UNILLEZ., Venezuela. pp.224.
-



BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Fontan, M. (1992). Consideraciones económicas en postcosecha de productos hortofrutícolas. En. I Reunión Latinoamericana de Tecnología Postcosecha. Memorias. México, D. F. 234 pp.
 - ❖ Glazener, J. A.; H. M. Couey; Am M. Alvarez, (1984). Effect of postharvest treatments on *Stemphylium* rot of papaya. *Plant Dis.* 68:986-988.
 - ❖ Gómez, R.; R. Pedrero. (2000). *Generalidades de la producción de papaya en México (Trabajo referativo)*. Plantaciones Modernas. Año 5. No. 1. Enero-Junio 2000. Editorial Año Dos Mil. México. p. 27-34
 - ❖ Gorini, F. (1989). La salvaguardia della qualità dopo la raccolta. *Frutticoltura.* 7:7-12.
 - ❖ Gutiérrez, A.J. (2004). Manejo integrado de la antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz y Sacc., del mango (*Magnifera indica* L.) durante la postcosecha. *Fitopatología.* 22: 395- 402.
 - ❖ Guzmán, D. G. (1998). Guía para el cultivo de la papaya (*Carica papaya* L.). Serie: Cultivos no tradicionales. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José, Costa Rica. 50 p.
 - ❖ Hagerman, A.E. y P.J. Austin. (1986). Continuous spectrophotometric assay for plant pectin methyl esterase. *J. Agric. Food Chem.* 34:440-444.
 - ❖ Hardenburg, R.E.; A.E. Watada; Yi Wang Chien. (1988). Almacenamiento comercial de frutas, legumbres y existencias de floristerías y viveros. San José, Costa Rica. IICA. 150 pp.
 - ❖ Hilker, D. M. y R.L. Young (1966). Effect of ionizing radiation on some nutritional and biochemical properties of papaya, *Hawaii Farm Sci.* 15:9-15.
 - ❖ Hine, R. B.; O. V. Holtzmann; R. D. Raabe. (1965). Disease of papaya (*Carica papaya* L.) in Hawaii. *Hawaii Agric. Exp. Stn. Bull.* 136.26p.
 - ❖ Hobson, G. E.(1993). Maduración del fruto. pp. 463-477. In: Azcon- Bieto, J. y M. Talon (ed.). *Fisiología y Bioquímica Vegetal*. Mc Graw Hill, Madrid, España.
-



BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Holdsworth, S. D. (1998). Conservación de frutas y hortalizas. Acribia, Zaragoza, España.
 - ❖ Holliday, Paul. (1984). Fungus diseases of tropical crops. New York. 607 pp.
 - ❖ Huber, D. J., Karakurt, Y. y J. Jeong (2001). Pectin Degradation in Ripening and Wounded Fruits. USA. R. Bras. Fisiol. Veg., 13:224-241.
 - ❖ Hulme, A. C. 1983. *The Biochemistry of fruits and their products*. Vol. 2. Academic Press, Londres.
 - ❖ Hunter, J. E. y I. W. Buddenhagen. (1972). Incidence epidemiology and control of fruit diseases of papaya in Hawaii. Trop. Agric. (Trinidad).
 - ❖ Hunter, J. E., Buddenhagen, I. W., y S. J. Evelyn (1969). Efficacy of fungicides, hot water, and gamma-irradiation for control of post harvest rots of papaya, *Plant Dis. Rep.* 53:279- 282.
 - ❖ IAEA (2010). Agencia Internacional de Energía Atómica sobre efecto de radiaciones ionizantes en artrópodos. Disponible en: <http://www.ididas.iaea.org/IDIDAS/default.htm>.
 - ❖ Innocenzo, D.M. (2001). Effect of gamma irradiation on softening changes and enzyme activities during ripening of papaya fruit. *Food Biochemistry*. 25: 425-438
 - ❖ Instituto de Tecnología de Alimentos- ITAL (1987). Conservação de mamão por meio da radiação gama de cobalto 60. Campinas: 77p.
 - ❖ Instituto Nacional de Estadística y Geografía-INEGI, (1995). Estudio de factibilidad para la instalación de una planta productora de néctar a base de naranja-papaya. México.
 - ❖ Jacobi, K., McRae, A. y Hetherington, E. (2001). Postharvest hot desinfestation treatments of mango fruit. *Scientia Horticulturae*, 89-193.
 - ❖ Jiravatana, V., Cuevas, J. F. y B.D. Koffman (1970). Extension of storage life of papayas grown in Puerto Rico by gamma radiation treatment, *J. Agric. Univ. Puerto Rico*. 54:314-321.
-



BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Kader, A.A. (1985). Quality Factors: Definition and evaluation for fresh horticultural crops. In: Kader, A. A.; Kasmire, R.F.; Mitchel, F. G.; Reid, Ms.; Sommer, N.F and J.F. Thompson. (Eds.). Postharvest technology of horticultural crops. Coop. Ext. Univ. of Calif. Special Pub. 3311, pp. 118-121.
 - ❖ Kader, A. A. (2000). Banano (Plátano). Recomendaciones para mantener la calidad postcosecha. Consultado 23 de Junio de 2010. Disponible en: <http://postharvest.ucdavis.edu/ProduceFacts/español/Banano.html>.
 - ❖ Kertesz, Z. I. (1951). The pectic substances. Interscience. New York, USA. 620 p.
 - ❖ Kilcast, D. (1994). Effect of irradiation on vitamins. *Food Chemistry* 49:157-164.
 - ❖ Korsten, L., De Villiers, E. E., y Lonsdale, J. H. (1993). Biological control of mango postharvest disease in the packhouse. *South African Mango Growers Association Yearbook* 14: 57-56
 - ❖ Kovács, E. y Keresztes, Á. (2002). Effect of gamma and UV-B/C radiation on plant cells. *Micron* 33: 199-210.
 - ❖ Lacroix, L.M., Lapointe, M., Latreille, B. y M. Gagnon (1991). Effect of gamma irradiation combined with hot water dip on the chemical and nutritional qualities of mangoes, *Microbial. Aliment. Nutr.*9:247-256.
 - ❖ Lacroix, M., Bernard, L., Jobin, M., Milot, S. y M. Gagnon (1990). Effect of irradiation on the biochemical and organoleptic changes during the ripening of papaya and mango fruits, *Radiat. Phys. Chem.* 35:296-300.
 - ❖ Lagunas, L., De Villiers, E.E., Wehner, F.C y J.M. Kotzé (1997). Field sprays of *Bacillus subtilis* and fungicides for control of preharvest fruit diseases of avocado in South África. *Plant Dis.* 81:455-459.
 - ❖ Lajolo, F. M., D'innocenzo, M. (2001). Effect of gamma irradiation on softening changes and enzyme activities during ripening of papaya fruit. *Journal of food Biochemistry.* 25:425-438.
 - ❖ Lassoudiere, A. (1969). The papaya crop packaging for shipment, changes in products for export, *Fruits.* (Frecg).pp.491
-



BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Lira S., R. (1994). *Fisiología vegetal*. Trillas, México.
 - ❖ Lowry, O. H.; Rosebrough, N. J.; Farr, A. L. y R. J. Randall (1951). Protein measurement with the folin phenol reagent. *Journal Biology and Chemistry*, 193: 265-275.
 - ❖ Luchsinger, L.; Miranda, P. y G. Reginato (2001). Tasa de producción de etileno y su relación con la maduración del fruto en variedades tempraneras de nectarinos *Tecnología poscosecha*, 2:185-194.
 - ❖ Machain, L., De los Santos, F. Mariscal, R. y Martínez, C. (1979). Marco de referencia de Fruticultura "Mango y Papaya". SARH-INIA. Campo Agrícola Experimental Cotaxtla. México. Mimeografiado.
 - ❖ Malan, E. F. (1953). The production of papaw. Reprint 57. Farming in South Africa.
 - ❖ Mandujano, B. R. A. (1998). El papayo. Agronomía Frutícola. Folleto Técnico Xalapa, Ver. 37 p.
 - ❖ Mandujano, B., H. López-Moctezuma y R. R. Sandoval. (1999). Aspectos fenológicos de papaya (*Carica papaya L.*) "Maradol Roja" en la costa de Veracruz. *Horticultura Mexicana*. Vol 7 Núm. 1
 - ❖ Manoa, M. W. (1996). Effect of gamma- irradiation on ripening papaya pectin. *Food Science and Human Nutrition*. 3:190.
 - ❖ Mapson, L.W. (1970). Vitamins in fruit. In: Hulme, A.C. (Ed.) Biochemisrty of fruits and thier products, Vol. 1. Chapter XIII, . Academic Press. London. pp. 369-383.
 - ❖ Marín, M.A. y M.P. Cano. (1992). Patterns of Peroxidase in ripening mango (*Mangifera Indica, L.*) Fruits, J. *Food Sci.* 57:690-692 p.
 - ❖ Marroquin, L. (1996). Apuntes de fruticultura especial. Maestría de Fitotecnia. UACH, Chapingo, México.
 - ❖ Mattoo, A. K y V. Mody (1969). Biological Aspects of ripeining and chilling in jury in mango fruit. *Proceeding of the conference on tropical and subtropical fruit, tropical products institute*. Sep 15-19. London, 11-115.
-



BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Maxie, E.C. y Sommer, N.F. (1968), Changes in some chemical constituents in irradiated fruits and vegetables, in *Preservation of Fruits and Vegetables by Radiation*, International Atomic Energy Agency , Vienna, pp.39-56.
 - ❖ Maxie, E.C., Sommer, N.F., Mitchell, F.G. (1971). Chemical, economic, physical and physiological limitations to irradiation of fruits. In: International Atomic Energy Agency. *Disinfestation of fruit by irradiation* Vienna: IAEA, 1971. pp. 93-100.
 - ❖ McGuire, R.G. (1992). Reporting of objective color measurements, *HortScience*, 27:1254-1255.
 - ❖ Medicott, A. (2001). Postharvest handling of papaya. Editorial, ciudad de impresión
 - ❖ Medicott, P. y K. Thompson(1985). Analysis of sugars and organic acids in ripening mango fruit (*Mangífera indica* L. var. Keitt) by high performance liquid chromatography. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 36:561-566.
 - ❖ Meirelles, R y J. M. Melges (2004). Gamma radiation in papaya harvested at three stages of maturation. *Brazil. Sci. Agric.* 2:146-150.
 - ❖ Mendrano, V.A. (2004). Tecnología de cosecha en frutales papaya (*Carica papaya* L.), Chapingo, México.
 - ❖ Mentzer, M.J. (1997). Irradiating Ground Beef To Enhance. *Food Safety*.20: 33-37.
 - ❖ Miller, W.R., y R.E. McDonald, (1998) Irradiation, stage of maturity at harvest and storage temperature during ripening affect papaya fruit quality. *HortScience*, 34:1112-1115.
 - ❖ Mirafuentes, H. F. (1998). Cómo producir más de 100 toneladas de papaya por hectárea con tecnología INIFAP. 500 Tecnologías llave en mano. Serie 1998. Tomo 2. INIFAP-Produce. México.p.57-58.
 - ❖ Mirafuentes, H.F. (1996). Manual para producir papaya en Tabasco. Folleto para productores No. 9. INIFAP-CIARGOC, Campo Experimental Huimanguillo, Tabasco, México 24 p.
 - ❖ Miranda, N. H. (1982). Determinación del Índice de Cosecha de Dos Tipos Mexicanos de Papaya (Cera y Mamey) y de Dos Variedades Cubanas (Maradol
-



BIBLIOGRAFÍA

- Roja y Maradol Amarilla); Su utilización en postcosecha. Tesis de químico Farmacobiólogo Facultad de Química. UNAM. México.
- ❖ Mitra, S. K. (1997). *Postharvest Physiology and Storage of Tropical and Subtropical Fruits*. CAB International. New York, USA. pp 585.11: 9-10
 - ❖ Molins, A.R. (2004). *Irradiación de alimentos*. Acribia. España. pp 490.
 - ❖ Montes, B. R. (1992). Identificación de hongos fitopatógenos. CIIDIR, Oaxaca. IPN. 149p.
 - ❖ Moreno, N. P. (1980). Caricaceae Flora de Veracruz Fascículo No. 10. INIREB. Xalapa, Veracruz, México, p. 17.
 - ❖ Mosqueda, V. R. (1985). Enfermedades de papaya (*Carica papaya L.*). Taller de Fitopatología Tropical. CEIDADES, C. P. Chapingo, México. 319-344 pp.
 - ❖ Mosqueda, V. R. y Molina, G. J. (1973). Formas sexuales, sus frecuencias y sus relaciones con otras características en *Carica papaya L.* *Agrociencia* (11): 78-83.
 - ❖ Moy, J. H. (1983). Radurization and radication. Fruits and vegetables. In: , Josephson, E. S. and Peterson, M. S. (eds). *Preservation of Food by Ionizing Radiation*, Vol. 3, , CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 83-108.
 - ❖ Moy, J. H., Akamine, E.K., Wenkan, N., Dollar, A.M., Hanaoka, M., Kao, Y. Y., Liu, W.L. y L. M. Revetti. (1973). Tolerance, quality and shelf life of gamma-irradiated papaya grown in Hawaii, Taiwan, and Venezuela. *In: Radia. Preservation of Food*. Intl Atomic Energy Agency, Vienna. pp: 375-387.
 - ❖ Moy, J.H. y L. Wong (2002). The efficacy and progress in using radiation as a quarantine treatment of tropical fruits - a case study in Hawaii. *Radiation Physics and Chemistry*. 63: 665-675.
 - ❖ Nakasone, H. Y. (1974). *Evaluation and naming of two new Hawai papaya fines, Higgin and Wilder*. H.A.E.S. Res. Bull. 167.
 - ❖ Nakasone, H. Y. y R.E. Paull (1998). *Tropical fruits*. CAB International. New York, USA. 27p.
-



BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Nishijima, K. A., Couey, H. M., y A.M. Alvarez (1987). Internal yellowing, a bacterial disease of papaya fruits caused by *Enterobacter cloacae*. *Plant. Dis.* 71:1029-1034
 - ❖ Orr, K.J. Dennings, H. y C.D. Miller. (1953). The sugar and ascorbic acid content of papayas in relation to fruit quality. *Food Res.*, 18:532.
 - ❖ Padwal- Desai, S. R., Ghanekar, A. S., Thomas, P. y A. Sreenivasan (1973), Heat-radiation combination for control of mold infestation in harvested fruits and processed cereal foods, *Acta Aliment.* 2:189-197.
 - ❖ Pantastico, B. E. (1984). *Fisiología de la postrecolección, manejo y utilización de frutas y hortalizas tropicales y subtropicales*. CECOSA. México. 663 p.
 - ❖ Paull, R. E; Gross, K. y Y. Qiu. (1999). Changes in papaya cell walls during fruit ripening. *Postharvest Biology and Technology* 16, 79-89.
 - ❖ Paull, R. E; y W. Chen. (1997). Minimal processing of papaya (*Carica papaya*.) and the physiology of halved fruit. *Postharvest Biology and Technology* 12, 93-99.
 - ❖ Pearson, D. (1989). *Técnicas de Laboratorio para el análisis de los alimentos*. Acribia, Zaragoza, España. 320 pp.
 - ❖ Pérez, G. M. y Ramírez, O. L. (2010). Efecto del tratamiento por irradiación gamma en los parámetros de calidad del mango manila para exportación. Tesis de ingeniería en Alimentos, UNAM. México.
 - ❖ Ponce de León, L., Bósquez, M. E., Pérez-Flores, L., Díaz de León, S. F. Kerbel, L.C., Muñoz-Cadena, C. E., Pérez-Salinas, L. Trinidad, V. M., L.S. Esparza (1996). Fisiología de conservación de la calidad de mango hidrocalentado. Memorias del segundo seminario nacional de calidad de mango. EMEX, A. C. p 11-15.
 - ❖ Prior, C., Elango, F. y A. Whitwell. (1992). Chemical control of *Colletotrichum* infection in mangoes. In: *Colletotrichum*. Biologu, pathology and control. British Society for plant Pathology.
 - ❖ PRODUCE (2003). Fundación Produce, Chiapas. Programa estratégico de necesidades de investigación y transferencia de tecnología del estado de Chiapas. .Instituto Tecnológico de Estudios Supriores de Monterrey Campus Chiapas. Abril
-



BIBLIOGRAFÍA

- del 2003. Consultada en diciembre del 2004. Disponible en. <http://www.sistemaproductopapaya.com/información/papayamaradolchiapas.doc>.
- ❖ Protrade, (1993). Manual de exportación frutas tropicales y hortalizas-papaya. Eschborn, PROTRADE/GTZ.
 - ❖ Raabae, R. D.; O. V. Holtzmann. (1964). Studies on the control of papaya anthracnose. *Hawaii Farm Science*. 13:1-2.
 - ❖ Ramli, H. bin; Yusof, N. binti. (1992) Effects of irradiation on the organoleptic quality and ripening process of papaya. *Journal Sains Nuklear Malaysia*, .10.:25-35.
 - ❖ Raventós, M. (2003) Industria alimentaria. Tecnologías emergentes. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona. pp 210.
 - ❖ Reyes, D.A. (2008). Caracterización patológica de cepas del hongo *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.), en plantas de mango y papaya, y servicios realizados en la estación ICTA-CISUR, Cuyuta, Escuintla. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 119 p.
 - ❖ Rodríguez, N. A. y R. S. Corrales. (1969). El papayo `Maradol´. Dirección Nacional de Frutales. Cuba. INRA. 74 p.
 - ❖ Romero, C. S. (1980). Hongos Fitopatógenos. UACH. México. 347 pp.
 - ❖ Rondon, O., y S.N. Albarracín (2006). Control hidrotérmico de *Colletotrichum gloeosporioides* Penz en mango (*Mangifera Indica* L.). *Agricola*. 78: 76-79.
 - ❖ Ruíz, C.V., D.S.A, y S.N.A., (1999). Impactos actuales y potenciales de las enfermedades de los cultivos perennes de la amazonia y posibilidades de control para el desarrollo sostenible de la región.Venezuela.DGIS.191pp.
 - ❖ Samson, J.A. (1991). *Fruticultura tropical*. Limusa. México, D.F.396 pp
 - ❖ Sankat, C. K. y R. Maharaj. (1997). Papaya. pp. 167-189. *In: S. K. Mitra (ed.) Postharvest Physiology and Storage of Tropical and Subtropical Fruits*. Nadia, West Bengal, India.
-



BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Santamaría, B.F. (2009). Postharvest ripening and maturity indices for maradol papaya. *Interciencia*. 34(8): 583-588.
 - ❖ Sañudo, B.A. (2008). Control de la maduración en frutos de papaya (*Carica papaya* L.) con 1-Metilciclopropeno y ácido 2- cloroetil fosfónico. *Fitotecnia*. 31(2):141-147.
 - ❖ Satin, M. (2000). *La irradiación de los alimentos*. Acribia. España. pp 175.
 - ❖ Saucedo, V. C. y G. M. L. Arévalo. (1993). Impacto de la tecnología postcosecha en la calidad de frutas tropicales. En VI curso de actualización Frutícola. "Tópicos selectos para el desarrollo de la fruticultura". Fundación Salvador Sanchés Colín CICTAMEX, S. C. CONACYT. México. pp. 196-203.
 - ❖ Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación-SAGARPA (1982). Productos alimenticios no industrializados para uso humano. Fruta fresca. Determinación de tamaño con base al peso unitario.
 - ❖ Secretaría de Desarrollo Rural de Yucatán. (1997). Experiencias obtenidas en el cultivo de papaya Maradol en el estado. Gobierno del estado de Yucatán. Mérida, Yucatán, México. 115 p.
 - ❖ Secretaría de Salud (2006). Memoria documental. Aportes normativos en el ejercicio del derecho de la salud. 2001-2006.
 - ❖ Selvaraj, Y. Pal, D.K. Subramanyam, M.D. and C. P. A. Iyer. (1982). Changes in the chemical composition of four cultivars of papaya (*Carica papaya* L.) during growth and development. *J. Hortic. Sci.* 57:153-143.
 - ❖ Semillas del Caribe. (2000). Manejo postcosecha de papaya Maradol Roja. La Semilla del Caribe. Consultado 14 de abril de 2010 .Disponible en: <http://www.semilladelcaribe.com.mx>.
 - ❖ Shellie, K.C., y R. L. Mangan. (1994). Postharvest quality of 'Vakencia' orange alter exposure to hot, moist forced air for fruit fly disinfestations. *HortScience* 29: 1524-1527.
 - ❖ SIACON (1997) Sistema de Información Agropecuaria de Consulta.
-



BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Snowdon, L. A. (1990). A color Atlas of postharvest diseases and disorders of fruit and vegetables. Vol. 1: General Introductions and fruits. Wolfe Scientific, London. pp. 93-103.
 - ❖ Sommer, N. F. y M.L. Arpaia. (1992). Postharvest handling systems: Tropical fruits. In: Kader, A. (Ed.) *Postharvest technology of horticultural crops*. Publication 3311. University of California. USA.P.241-251.
 - ❖ Spalding, D. H., y W. F. Reeder. (1986). Decay and acceptability of mangos treated with combinations of hot water, imazalyl, and irradiation. *Plant disease* 70:1149-1151
 - ❖ Sponholz C., Batista, U.G., Zambolim, L., Salomao, C.C. y A.A. Cardoso. (2004). Efeito do tratamento hidrotérmico e químico de frutas de banana 'Prara' no controle da antracnose em pós-colheita. *Fitopatología Brasileira* 29:480-485.
 - ❖ Stanghellini, M. E.y M. Aragoki. (1966). Relation of periderm formation an calose deposition to anthracnose resistance in papaya fruit. *Phytopathology*. 56:444-450.
 - ❖ Storey, W. B. (1969). Papaya in ferwerda and with Outlines of perennial crop breeding in the topics. Wageningen.
 - ❖ Strydom, G.J. y C.S. Whitehead (1990). The effect of ionizing radiation on ethylene sensitivity and postharvest ripening of banana fruit, *Sci. Hortic*. 41:293-304.
 - ❖ Sudto, T., Uthairatanakij, A., Jitareerat, P. y S. Vongheheeree (2005). Effects of gamma irradiation on ripening process of 'Morn-Thong' durian. Bangkok, Thailand. International Symposium "New Frontier of Irradiated food and Non-Food Products"
 - ❖ Thatcher, V. F. (1971). The New Webster Encyclopedic Dictionary of the English Language. Chicago: Consolidated Book Publishers.
 - ❖ Thomas, A. C. y Beyers, M. (1979). Gamma irradiation of subtropical fruits. III.A comparison of the chemical changes occurring during normal ripening of mangoes and papayas whit changes produced by gamma irradiation, *J.Agric. Food Chem*. 27:157- 162.
-



BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Thomas, P. (1986). Radiation preservation of foods of plant origin. III. Tropical fruits: Bananas, mangoes, and papayas, *CRC Critic. Rev. Food Sci. Nutr.* 23: 147-206.
 - ❖ Thomas, P., Bhushan, B., Joshi, M.R. y Ramamurthy, M.S. (1997). Comparative studies on the efficacy of gamma irradiation, heat, refrigeration and combined treatments as quarantine treatment for mango fruit, in *Food Irradiation with Emphasis on Process Control and Accetance in Asia*, IAEA-TECDOC-871, International Atomic Energy Agency, Vienna, pp. 299-314.
 - ❖ Thomas, P., Dharkar, S.D., y Sreenivasan, A. (1971). Effect of gamma irradiation on the postharvest physiology of five banana varieties grown in India, *J. Food Sci.* 36: 243-248
 - ❖ Trigiano, R. N., Windham, M. T. y A. S. Windnam(2004). *Plant pathology. Concepts and Laboratory* CRC. Press, Boca Raton, London. 413 pp.
 - ❖ Trujillo, E. E. y F. P. Obrero. (1969). Antracnose of papaya leaves caused by *Colletotrichum gloeosporoides*. *Plant Dis. Rep.* 53:323-325.
 - ❖ Ubina, F. (2009). Determinación no destructiva de parámetros De calidad de frutas y hortalizas mediante Espectroscopia de reflectancia en el Infrarrojo cercano. Universidad de córdoba.
 - ❖ USDA (2004). United States Department of Agriculture. Estadística Agrícola de Estados Unidos. Economic Research Service.
 - ❖ Wenkam, N.S. y A.P. Moy (1969). Nutritional composition of irradiated fruit. 1. Mangoes and papaya, in *Dosimetry. Tolerance, and Shelf Life Extension Related to Desinfestation of Fruits and Vegetables by Gamma Irradiation*, U.S. Atomic Energy Commission UH-235-P54, pp.126-145.
 - ❖ WHO (1981). Wholesomeness of Irradiation Foods Technical. Report Series 659, Geneva.
 - ❖ WHO (1999) "Irradiación a altas dosis: Inocuidad de alimentos con dosis superiores a 10 kGy". Ginebra. Suiza. TRS 890, pp. 198.
-



BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Wilkinson, V. M. (1985). *Effect of Irradiation on the Nutrient Composition of Food*. (Scientific and Technical Survey No. 151). Leatherhead Food Research Association, Leatherhead, Surrey, UK.
 - ❖ Wills, R., B. McGlasson, D. Graham, y D. Joyce. (1998). *Introducción a la fisiología y manipulación postcosecha de frutas, hortalizas y plantas ornamentales*. editorial, ciudad de edición
 - ❖ Yahia, E.M. y C.I. Higuera (1992). *Fisiología y Tecnología Postcosecha de productos Hortícolas*. Limusa, México.
 - ❖ Yee, W., Sekioka, T. T., Nakasone, H. Y., Ikehara, D. K. y J.J. Ooka (1980). Evaluation of papaw line and cultural practices of Moloua. Island of Kauai, Hawaii. Circular college of Tropical Agriculture and Human Resource, University of Hawaii. No. 497. p. 20.
 - ❖ Zabala, M. J. (2004). Control postcosecha de la antracnosis en papaya y sensibilidad de colletotrichum gloeosporioides (Penz). Sacc. con fungicidas organosintéticos, *Chapingo*. 2:251-255.
 - ❖ Zambrano, J., y W. Materano (1998). Efecto del tratamiento de inmersión en agua caliente sobre el desarrollo de daños por frío en frutos de mango (*Mangifera indica* L.). *Agronomía Tropical*. 49 (1): 81- 92.
 - ❖ Zhao, M., Moy, J. and R.E. Paull (1996). Effect of gamma-irradiation on ripening papaya pectin. *Postharvest Biol. Technol.* 8, 209-222.
-



ABREVIATURAS



ABREVIATURAS

ABREVIATURAS

| | |
|---------------------|--|
| Gy | Gray |
| KGy | Kilograys |
| PME | Pectin Metil Esterasa |
| f-inóculo1 | Frotación inoculo 5×10^5 |
| f-inóculo2 | Frotación inoculo 1×10^6 |
| ze-inóculo1 | Zona específica inoculo 5×10^5 |
| ze-inóculo2 | Zona específica inoculo 1×10^6 |
| H-F- 500 Gy | Combinación de tratamientos (Hidrotérmico-Lavado con fungicida- Irradiación a una dosis de 500 Gy) |
| H-F- 1000 Gy | Combinación de tratamientos (Hidrotérmico- Lavado con fungicida- Irradiación a una dosis de 1000 Gy) |
| IDC | Índice de decaimiento |
| APHIS | “Por sus siglas en inglés”, Animal and Plant Health Inspection Service- International Services |
| FDA | “Por sus siglas en inglés”, Food and Drugs Administration |
| FAO | “Por sus siglas en inglés”, Food and Agriculture Organization |
| GMPs | “Por sus siglas en inglés”, Good Manufacturing Practices |
| IAEA | “Por sus siglas en inglés” International Atomic Energy Agency |
| SAGARPA | Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación |
| SIACON | Sistema de información agroalimentaria y de consulta |
| SIAP | Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera |
| OMS | Organización Mundial de la Salud |
| WHO | “Por sus siglas en inglés”, World Health Organization |
| EDB | Dibromato de etileno |
| AA | Ácido ascórbico |
| DHA | Ácido deshidroascórbico |
| PVP | Polivinilpirrolidona |
