



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

CONTROL DE ANTRACNOSIS EN AGUACATE (*PERSEA AMERICANA*) VARIEDAD 'HASS' POR TRATAMIENTOS DE IRRADIACIÓN UV-C

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO
DE INGENIERA EN ALIMENTOS

PRESENTA:

ANABEL RIVAS FUENTES

ASESORA: DRA. MA. ANDREA TREJO MÁRQUEZ.

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO

2008.



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.



DEDICATORIA

Esta tesis esta dedicada a la familia Rivas Fuentes, a quienes no se de que manera agradecer tanto amor y cariño que he recibido desde el día en que nací, por levantarme y darme ánimos cada vez que tropezaba porque sin su guía no hubiera realizado este gran sueño que hoy se vuelve realidad.

Muchas gracias, los amo y ahora tienen 2 profesiones (médico e ingeniera).



AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme cumplir este sueño, por darme una familia maravillosa que me ha apoyado y me ama, por ponerme en el camino a una persona maravillosa y tener tantos amigos que me quieren mucho.

A mis padres

Por esforzarse, preocuparse y sacrificarse todos los días para que nosotras tuviéramos todo, por darnos lo más valioso: el amor y educación, guiándonos y creyendo en nosotras en todo momento enseñándonos a ser mejores, siempre les estaré agradecida, los amo.

Mi papá Diego Rivas por enseñarme el valor de la responsabilidad, la humildad y honestidad; porque aún en momentos difíciles nos has mostrado el lado más sencillo para no dar marcha atrás y salir adelante, haciéndolo con empeño y dedicación.

Mi mamá Jovita Fuentes le agradezco por ser un ejemplo de grandeza, fortaleza y perseverancia; para nosotros, porque día a día luchas por mejorar y aprender cosas nuevas, inculcándonos a cumplir todas nuestras metas y no darnos por vencidas.

Mi hermana Idalia, tu has sido un gran ejemplo para mí, gracias por tus consejos y regaños, tu amor y alegría que transmites sin saber, por enseñarme que aún en momentos difíciles siempre sale el sol para quien se ama, siempre estaré orgullosa de ti, te quiero osito.

Fer, me has dado ánimos y lecciones de vida para que no me dé por vencida y logré mis metas, muchas gracias

Los peques de la familia, Yarelito y Dieguito los quiero mucho me han enseñado el amor más tierno y dulce, desde que llegaron me han alegrado más la vida, gracias a ustedes y por ustedes luché aún más, porque sigan teniendo un buen ejemplo y logren todos sus sueños; ya que algún día ustedes tendrán una profesión y yo estaré con ustedes, los quiero.

A Pepe, por estar conmigo siempre, apoyándome y comprendiéndome, dándome ánimos y enseñarme que la vida no es complicada, me has ayudado a cumplir mis metas levantándome cada vez que he caído, Dios nos unió y le estaré agradecida toda la vida porque conocí a una persona maravillosa, alegre, entusiasta que me ha comprendido, apoyado y dado su amor incondicionalmente a pesar de la distancia, hemos permanecido juntos y se que lo estaremos toda la vida, te amo corazón, este es un sueño cumplido ahora vamos por el tuyo.

A todos mis tíos, primos y abuelitos por estar siempre conmigo preocupándose y apoyándome para salir adelante; pero muy en especial a la familia Castro Fuentes, de la cual toda la vida he recibido un gran cariño y apoyo, muchas gracias.

Los lindos, Karmela, Dany y Yadhira muchas gracias por su amistad y enseñarme a tomar las cosas en doble sentido, las pláticas, parrandas y consejos, porque han estado apoyándome en todo momento a partir de que los conocí y enseñarme otras cosas de la vida.

Las viejas locas, Mimi, Clau, Yessy, Daris y Virus, desde primer semestre de la Facultad nos conocimos y a partir de ese momento hemos permanecido como grandes amigas, agradezco el haberlas conocido y compartir tantos momentos buenos y malos; porque siempre nos hemos apoyado para salir adelante y cumplir los sueños que se han comenzado a cumplir, las quiero.

A Marlen, hemos cimentado esa amistad que comenzó hace años y que hoy en día a pesar de la distancia nos mantiene unidas, teniendo la seguridad que cuando te necesite estarás conmigo, muchas gracias por tu amistad y tener un amigo más Esquivel, te quiero aunque te suene cursi.

Carmen, llevamos tanto tiempo juntas en los que hemos compartido buenos y malos momentos, agradezco tu amistad y apoyo incondicional que me das, te quiero amiga, se que nuestra amistad durará toda la vida.

A Jessy, porque tenemos una amistad muy sincera y fuerte que se sigue fomentando a diario, la cual nos ha ayudado a ser grandes amigas y compartir nuestras alegrías y tristezas, gracias por tu amistad, te quiero y aprecio mucho.

A Karen, porque encontré una gran amiga, en la cual he podido confiar, llorar, reír y compartir esta etapa de mi vida y estoy segura que todas las demás, gracias por brindarme tu amistad incondicional y sincera, que permanecerá toda la vida, te quiero vieja.

A mis amigos Joana, Lola, Pacheco, Juanita, Chino, Jorge, Jhon, Octavio, Brenda, Alison, Luz, guille y tantas personas que me brindaron su amistad durante nuestra formación académica.

A la Dra. María Andrea Trejo Márquez, por haberme invitado a formar parte de su grupo de tesis, por darme su tiempo, enseñanza y dedicación para la realización de esta meta, la cual sin su apoyo no se hubiera realizado; así como su amistad.

A IA. Guadalupe Pérez Loredó, por darme parte de su tiempo; así como la enseñanza y colaboración para el aislamiento y purificación del hongo, muchas gracias.

A la M. En C. Norma Camacho de la Rosa, por concederme de su tiempo para la enseñanza de muchas técnicas, logrando que se mejorara este proyecto,

A todos los integrantes del Laboratorio de Poscosecha, Ivon, Zaira, Adela, Selene, Gaby, Carlitos, Alison, Olivia, Julieta, Lupita Ramírez, Michelle, Carlos, Otor Carlos, Luz, Monze, Martha, Miriam, gracias por brindarme su amistad y hacer la estancia amena en el laboratorio.

“La gloria del mundo es transitoria, y no es ella la que nos da la dimensión de nuestra vida, sino la elección que hacemos de seguir nuestra leyenda personal, tener fe en nuestras utopías y luchar por nuestros sueños”.

Paulo Coelho



ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE CUADROS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
RESUMEN	I
INTRODUCCIÓN	1
1. ANTECEDENTES	4
1.1 <i>Historia.</i>	4
1.2 <i>Clasificación botánica.</i>	5
1.3 <i>Descripción.</i>	5
1.4 <i>Composición química y valor nutrimental.</i>	6
1.5 <i>Variedades de aguacate producidas en México.</i>	9
1.5.1 <i>Variedades.</i>	9
1.5.2 <i>Clasificación mexicana.</i>	10
1.6 <i>Producción y exportación de aguacate.</i>	15
1.6.1 <i>Estados productores.</i>	15
1.6.2 <i>Comercialización.</i>	17
1.7 <i>Cambios fisiológicos y bioquímicos asociados a la maduración del aguacate.</i>	19
1.7.1 <i>Respiración.</i>	21
1.7.1.1 <i>Producción de etileno.</i>	24
1.7.1.2 <i>Transpiración.</i>	24
1.7.2 <i>Enzimas involucradas en la maduración del aguacate.</i>	25
1.7.2.1 <i>Definición y función.</i>	27
1.7.2.2 <i>Pardeamiento enzimático.</i>	27
1.7.2.3 <i>Polifenoloxidasa.</i>	27
1.7.2.4 <i>Lipoxidasa.</i>	29
1.7.2.5 <i>Peroxidasa.</i>	30
1.7.3 <i>Compuestos fenólicos.</i>	30
1.8 <i>Principales pérdidas postcosecha en aguacate.</i>	31
1.8.1 <i>Daños mecánicos.</i>	31
1.8.2 <i>Plagas.</i>	33
1.8.3 <i>Desórdenes fisiológicos.</i>	35
1.8.4 <i>Enfermedades.</i>	35
1.9 <i>Antracnosis en aguacate.</i>	39
1.9.1 <i>Importancia.</i>	39
1.9.2 <i>Organismo causal.</i>	39
1.9.3 <i>Morfología.</i>	40
1.9.4 <i>Sintomatología.</i>	40
1.9.5 <i>Ciclo de vida.</i>	41
1.9.6 <i>Control cultural y químico.</i>	41
1.10 <i>Tratamientos postcosecha aplicados al aguacate.</i>	42
1.10.1 <i>Irradiación.</i>	45



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



1.10.1.1 Irradiación UV.	47
1.10.1.1.2 Irradiación UV-C.	48
1.10.1.1.3 Aplicaciones.	49
2. OBJETIVOS	51
2.1 Objetivo general.	52
2.2 Objetivos particulares.	52
3. MATERIALES Y MÉTODOS	53
3.1 Cuadro metodológico.	54
3.2 Material biológico.	55
3.3 Tratamiento de la muestra.	55
3.4 Características físicas, químicas y fisiológicas del aguacate.	56
3.5 Selección del sistema de tratamiento por irradiación UV-C.	56
3.6 Establecimiento de las condiciones de irradiación UV-C.	57
3.7 Efecto de los tratamientos de irradiación UV-C en el control de antracnosis.	58
3.7.1 Aislamiento, purificación e identificación del hongo <i>C. gloesporioides</i> .	58
3.7.2 Aislamiento del hongo.	58
3.7.3 Purificación del hongo.	60
3.7.4 Microcultivos.	60
3.8 Selección del método de inoculación.	61
3.8.1 Preparación del inóculo.	62
3.8.2 Inoculación por el método de frotación.	63
3.8.3 Inoculación por el método de inyección.	63
3.8.4 Inoculación por el método de zona específica.	63
3.9 Evaluación del efecto de tratamientos de irradiación UV-C en el control de antracnosis en aguacate.	64
3.10 Evaluación de los fenoles presentes en la piel de aguacate en el crecimiento del hongo <i>C. gloesporioides</i> a partir de pruebas <i>in vitro</i> .	64
3.10.1 Mantenimiento y crecimiento del hongo.	64
3.10.2 Obtención de fenoles totales a partir de frutos de aguacate.	64
3.10.3 Siembra y preparación de los bioensayos.	66
3.11 Métodos analíticos.	67
3.11.1 Parámetros químicos.	67
3.11.1.2 Determinación de humedad.	67
3.11.1.3 Determinación de grasa.	67
3.11.1.4 Determinación de proteína.	67
3.11.1.5 Determinación de cenizas totales.	68
3.11.2 Parámetros de calidad.	68
3.11.2.1 Determinación de pérdida de peso.	68
3.11.2.2 Firmeza.	68
3.11.2.3 Determinación de acidez total y Ph.	68
3.11.2.4 Determinación de color.	69
3.11.2.5 Índice de Decaimiento (IDC).	69
3.11.3 Parámetros fisiológicos.	70
3.11.3.1 Respiración.	70
3.11.4 Determinación de las actividades enzimáticas de Polifenoloxidasa (PPO) y Peroxidasa (POD).	70
3.11.4.1 Preparación de los extractos crudos.	70



3.11.4.2 Determinación de la actividad Polifenoloxidasa (PPO).	71
3.11.4.3 Determinación de la actividad Peroxidasa (POD).	71
3.11.5 Determinación de fenoles totales.	72
3.11.5.1 Preparación del extracto.	72
3.11.5.2 Cuantificación de fenoles totales.	72
3.12 <i>Análisis estadístico.</i>	72
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	73
4.1 <i>Caracterización, física, química y fisiológica del aguacate.</i>	74
4.2 <i>Aislamiento purificación e identificación del hongo C. gloesporioides.</i>	75
4.3 <i>Selección del método de inoculación.</i>	77
4.4 <i>Selección de los tiempos de exposición a las radiaciones UV-C que ayuden ala inactivación del hongo C. gloesporioides y no dañen la calidad del aguacate.</i>	80
4.4.1 Evaluación del efecto de tratamientos de irradiación UV-C en el control de antracnosis en aguacate.	80
4.5 <i>Evaluación de los efectos provocados por la antracnosis y los tratamientos de irradiación UV-C sobre los parámetros de calidad y fisiológicos del aguacate.</i>	83
4.5.1 Efecto en la respiración.	84
4.5.2 Efecto en Acidez.	86
4.5.3 Efecto en pH.	87
4.5.4 Efecto en la pérdida de peso.	88
4.5.5 Efecto en la firmeza.	89
4.5.6 Efecto en el color.	91
4.6 <i>Efecto de los tratamientos de irradiación UV-C en el control de antracnosis en aguacate variedad ‘Hass’.</i>	95
4.6.1 Efecto en el índice de decaimiento (IDC).	97
4.7 Cambios producidos por el tratamiento de irradiación UV-C en las enzimas PPO (polifenoloxidasa) y POD (peroxidasa) con la disminución de los síntomas de antracnosis del aguacate.	99
4.7.1 Efecto de la actividad Polifenoloxidasa (PPO) y Peroxidasa (PDO).	100
4.8 Identificación del efecto de los fenoles presentes en el aguacate variedad ‘Hass’ en el crecimiento del hongo <i>C.gloesporioides</i> a partir de pruebas <i>in vitro</i> .	104
4.8.1 Efecto de los fenoles en el crecimiento del hongo <i>C. gloesporioides</i> .	104
5. CONCLUSIONES	108
6. RECOMENDACIONES	110
7. ANEXOS	112
8. REFERENCIAS	116
ABREVIATURAS	128
GLOSARIO	129



ÍNDICE DE TABLAS

1.	Composición química del aguacate.	7
2.	Variedades de aguacate.	11
3.	Producción y superficie sembrada de aguacate por estado en el 2000.	15
4.	Cambios fisicoquímicos durante la maduración del aguacate.	26
5.	Principales plagas presentes en aguacate.	33
6.	Desórdenes fisiológicos más frecuentes en aguacate.	36
7.	Enfermedades más comunes del aguacate.	37
8.	Tratamientos aplicados al aguacate para su conservación.	43
9.	Escala de evaluación del índice de decaimiento (IDC).	70
10.	Composición química y fisicoquímica del aguacate cv. 'Hass'.	74
11.	Propiedades físicas del aguacate.	75
12.	Desarrollo del hongo en frutos de aguacate por inoculación.	78
13.	Métodos de inoculación.	79
14.	Desarrollo de antracnosis en frutos de aguacate cv. 'Hass' tratados con irradiación ultravioleta (UV-C) y almacenados a 20° C.	96
15.	Observaciones realizadas a la prueba <i>in vitro</i> sobre el crecimiento del hongo <i>C. gloesporioides</i> .	105
16.	Desarrollo del hongo <i>C. gloesporioides</i> , tras la aplicación de fenoles mediante pruebas <i>in vitro</i> .	106



ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Descripción del fruto de aguacate.	5
2.	Planta de aguacate.	6
3.	Aguacate variedad 'Hass'.	7
4.	Posibles centros de origen de las tres razas de aguacate.	9
5.	Aguacate variedad 'Hass'.	14
6.	Producción mundial de aguacate.	16
7.	Estados productores de aguacate en México.	17
8.	Circuito de comercialización.	18
9.	Desarrollo y crecimiento de frutos.	20
10.	Curvas de respiración de frutos.	22
11.	Esquema de intercambio de CO ₂ que se produce preferentemente a través de estomas de la cáscara en frutos de aguacate.	23
12.	Mecanismo de acción de Polifenoloxidasas (POD).	30
13 a)	Conidios de <i>C. gloesporioides</i> .	40
13 b)	Hifas del hongo <i>C. gloesporioides</i> .	40
14.	Daño en aguacate por hongo <i>C. gloesporioides</i> .	40
15.	Lesiones en fruto de aguacate por antracnosis.	41
16.	Espectro electromagnético.	45
17.	Símbolo de alimento irradiado.	48
18.	Aguacate variedad 'Hass'.	55
19.	Interior de la cámara de irradiación UV-C.	56
20.	Equipo de seguridad.	57
21.	Colocación de frutos de aguacate.	57
22.	Frutos con síntomas de antracnosis.	58
23.	Cortes del fruto.	59
24.	Desinfección de los cortes.	59
25.	Siembra en superficie.	59
26.	Cepa del hongo aislada.	60
27 a)	Bloques de agar.	61
27 b)	Obtención de la cepa.	61
27 c)	Siembra en bloques.	61
28.	Microcultivos.	61
29.	Fotografía microscópica del hongo.	61
30.	Preparación de solución de esporas.	62
31.	Hemacitómetro.	63
32.	Conteo en microscopio.	63
33.	Preparación del extracto fenólico a partir de piel de aguacate.	65
34.	Bioensayo para establecer el efecto del extracto fenólico en la inhibición del crecimiento de <i>C. gloesporioides</i> .	66
35 a)	Micelio aéreo blanquecino.	76
35 b)	Halo blanco.	76
35 c)	Halos grisáceos y salmón.	76
36.	Microcultivo en Agar Avena.	76
37 a)	Conidios de <i>C. gloesporioides</i> .	77
37 b)	Apresorios de <i>C. gloesporioides</i> .	77



ÍNDICE

38.	Respiración de los frutos de aguacate cv. 'Hass' sometidos a diferentes tiempos de irradiación UV-C.	80
39.	Índice de quemaduras en frutos de aguacate cv. 'Hass' sometidos a diferentes tiempos de irradiación UV-C.	82
40.	Efecto de los tratamientos UV-C sobre la respiración en frutos de aguacate cv.'Hass' infectados con <i>C gloesporioides</i> almacenados a 20° C.	85
41.	Efecto de los tratamientos UV-C sobre la acidez en frutos de aguacate cv. 'Hass' infectados con <i>C. gloesporioides</i> almacenados a 20° C.	86
42.	Efecto de los tratamientos UV-C sobre el pH en frutos de aguacate cv. 'Hass' infectados con <i>C. gloesporioides</i> almacenados a 20° C.	87
43.	Efecto de los tratamientos UV-C sobre la pérdida de peso en frutos de aguacate cv.'Hass' infectados con <i>C. gloesporioides</i> almacenados a 20° C.	89
44.	Efecto de los tratamientos UV-C sobre la firmeza en frutos de aguacate cv.'Hass' infectados con <i>C. gloesporioides</i> almacenados a 20° C.	90
45.	Efecto de los tratamientos UV-C sobre la luminosidad en pulpa de frutos de aguacate cv.'Hass' infectado con <i>C. gloesporioides</i> almacenados a 20° C.	92
46.	Efecto de los tratamientos UV-C sobre el tono en pulpa de frutos de aguacate cv.'Hass' infectado con <i>C. gloesporioides</i> almacenados a 20° C.	93
47.	Efecto de los tratamientos UV-C sobre la intensidad de color en pulpa de frutos de aguacate cv. 'Hass' infectado con <i>C. gloesporioides</i> almacenados a 20° C.	94
48.	Efecto de los tratamientos UV-C sobre el índice de decaimiento en frutos de aguacate cv.'Hass' infectados con <i>C. gloesporioides</i> almacenados a 20° C.	98
49.	Efecto de la exposición a diferentes tiempos de irradiación UV-C sobre la actividad de la PPO en pulpa de aguacate cv.'Hass' almacenado a 20° C durante su etapa de maduración.	101
50.	Efecto de la exposición a diferentes tiempos de irradiación UV-C sobre la actividad de la PDO en pulpa de aguacate cv.'Hass' almacenado a 20° C durante su etapa de maduración.	103



RESUMEN

Como una propuesta para reducir las pérdidas poscosecha en frutos de aguacate se evaluó el efecto que tiene la aplicación de tratamientos por irradiación UV-C en el control de la antracnosis y su efecto e la calidad del aguacate variedad 'Hass'.

El trabajo se realizó con frutos de aguacate variedad 'Hass' en estado preclimaterico provenientes del estado de Michoacán y adquiridos en la Central de abastos de la Ciudad de México, se realizaron experimentos para establecer las tiempos de irradiación seleccionando 10, 20, y 30 minutos a condiciones que no dañaran a los frutos. Para evaluar el efecto de los tratamientos de los frutos de aguacate en el control de antracnosis se inocularon con una solución de esporas del hongo *Colletotrichum gloesporioides*, previo a este se realizó un aislamiento, purificación e identificación del hongo a partir de frutos de mango y aguacate enfermos, posteriormente se seleccionó el mejor método de inoculación y condiciones de almacenamiento de los frutos inoculados, para ser almacenados durante 24 horas a 20 °C. se aplicaron los tratamientos de irradiación y se evaluó la presencia de la enfermedad a lo largo del proceso de maduración. Los parámetros de calidad (acidez, pH, firmeza y color), la respiración y el índice de decaimiento se determinaron durante la maduración de los frutos.

Se evaluaron las actividades enzimáticas (Polifenoloxidasa y Perxidasa) y el efecto de los fenoles presentes en la piel del aguacate variedad 'Hass' en el crecimiento del hongo *C. gloesporioides* a partir de pruebas *in vitro*.

De los resultados obtenidos, se comprobó que los tratamientos de irradiación fueron efectivos para inhibir el crecimiento del hongo, registrando menor daño a frutos a mayor tiempo de exposición (30 minutos) y moderado a 20 minutos. Con respecto a los parámetros de calidad, en donde se reflejó un mayor efecto fue en la pérdida de peso y la firmeza manteniéndola por un mayor tiempo durante el



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



RESUMEN

almacenamiento, el índice de decaimiento se observó un control importante sobre la antracnosis a los tres tiempos de irradiación.

Se concluye que los tratamientos de irradiación a 20 y 30 minutos ayudan a conservar por un tiempo más prolongado la firmeza y disminuir la pérdida de peso; mientras que a 40 minutos ocasionan quemaduras en la piel del aguacate y a 10 minutos no se tiene un efecto benéfico sobre el control de la antracnosis. La aplicación del tratamiento de UV-C por 30 minutos redujo la actividad del hongo *Colletotrichum gloesporioides*.

Los tratamientos de irradiación UV-C disminuyeron la actividad PPO durante la maduración y a PDO sólo de forma parcial. La aplicación de fenoles en el hongo *Colletotrichum gloesporioides* no resultó un método efectivo para la inhibición del hongo mediante pruebas *in vitro*, por lo que la causa de la disminución de los síntomas de antracnosis fue la irradiación UV-C.



INTRODUCCIÓN

El aguacate es un alimento que se consume preferentemente en fresco y tiene un gran valor nutrimental, porque contiene 7 de los aminoácidos esenciales requeridos por el organismo, contiene los ácidos grasos esenciales, además de la vitamina E, utilizado como antioxidante, predominan los ácidos grasos monoinsaturados e insaturados, por lo que no contiene colesterol (Ortega, 2003).

Los frutos de aguacate para consumo en fresco que se destina tanto para el mercado nacional, como al de exportación requieren que el proceso de conservación se lleve a cabo en las mejores condiciones posibles. Se tienen que tomar en consideración aspectos relacionados con el estado de madurez la maduración las temperaturas (límites máximos y mínimos) de conservación y transporte mismos que pueden alcanzar una variación en un porcentaje alto durante el trayecto y las maniobras de desembarque del cargamento en la bodega del cliente que puede prolongarse hasta días (Téliz y Mora, 2000).

Lamentablemente la producción de aguacate tiene muchas pérdidas postcosecha debido al manejo y control fitosanitario, almacenaje y distribución inadecuado que inciden en la calidad final del fruto; pero la principal pérdida de aguacate 'Hass' se debe a la enfermedad de la antracnosis causada por *Colletotrichum gloeosporioides*, que afecta la calidad de la producción hasta en un 80 y 90 %, expresando su daño principalmente en etapa postcosecha por medio de manchas oscuras que no aparecen hasta que se produce la maduración y para el control de la enfermedad se han usado ampliamente productos químicos que no controlan definitivamente la enfermedad y sigue produciendo pérdidas importantes que se ven reflejadas al exportar productos a los mercados de Europa y Japón; sin embargo el efecto contaminante de estos tratamientos se prolonga hasta el consumidor debido a que son aplicados en etapas próximas a la cosecha y en postcosecha, por este motivo se ha promovido el desarrollo de nuevos métodos de control con productos alternativos que resulten menos tóxicos y bajo este nuevo esquema de producción, ha sido necesario recurrir a procesos como la irradiación ionizante y no ionizante, el cual tiene varias funciones, pero la principal es la inactivación de microorganismos; ya que prolonga la vida y reduce el deterioro de la calidad de los alimentos, además de que no presentan efectos tóxicos y el valor nutritivo es similar al de los alimentos procesados por otros métodos .



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.



INTRODUCCIÓN

Además diversos estudios han demostrado que la irradiación ayuda a conservar por un tiempo más prolongado los frutos; así como la firmeza de los mismos. Como es el caso de los ajos y cebollas que al ser irradiadas se ha logrado inhibir la germinación, reducción de pérdidas por pudrición y peso, en mangos cortados se ha logrado mantener la firmeza, la calidad del producto y disminuir el índice de oscurecimiento (Alcántar *et al.*, 1999; Anderson, 2003; Blande *et al.*, 1990; Cárdenas *et al.*, 2001; Cepeda, 1998; Iglesias *et al.*, 2000; Iglesias y Salcines, 2000; Iglesia y Fraga, 2000; Iglesias y De hombre, 2000; INFOAGRO, 2006; González-Aguilar *et al.*, 2007; López y Cajuste, 1999; Reyes, 1996).

Como una propuesta para reducir las pérdidas poscosecha en frutos de aguacate debido a la antracnosis se estudiarán los efectos que tiene la aplicación de irradiación UV-C como medida para el control de la enfermedad. Por este motivo el objetivo del trabajo será la evaluación de la aplicación de tratamientos por irradiación UV-C en el control de la antracnosis y su efecto en la calidad del aguacate variedad 'Hass'.

ANTECEDENTES





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.



1. ANTECEDENTES

1.1 Historia.

El nombre de “aguacate” viene de la palabra náhuatl *ahuacatl* (INFOAGRO, 2006). Según pruebas arqueológicas, se ha determinado que México es el centro de origen del aguacate (*Persea americana* Mill.). La evidencia más antigua del consumo de esta fruta data de 10,000 años A. C. y fue encontrada en una cueva localizada en Coxcatlán, Puebla. El origen del aguacate tuvo lugar en las partes altas del centro y este de México, y partes altas de Guatemala (Tèliz, 2000).

Esta misma región está incluida en lo que se conoce como Mesoamérica, y también es considerada como el área donde se llevó a cabo la domesticación del mismo. Por otra parte en el Códice Mendocino existen jeroglíficos donde se indica el poblado Ahuacatlan como el “*lugar donde abunda el aguacate*” que está compuesto por un árbol con dentadura en el tallo “*ahuacacahuitl*” y un “*calli*” que significa poblado o lugar. En el caso de la matrícula de tributo que se daba al imperio Azteca y que se utilizaba para identificar la mercancía del poblado de Ahuacatlan era el “*ahuacacahuitl*” solo. Mientras que, en el código Florentino se mencionan tres tipos de aguacate: *aoacaquauitl*, *tlacacoloacatl* y *quillaoacatl*, los cuales, es posible que correspondan a las tres razas que son conocidas ahora. En la época colonial los españoles introdujeron el aguacate a otros países americanos y a Europa. A finales del siglo XIX y principios del XX el consumo de aguacate estuvo basado en la producción de plantas de las razas mexicanas y antillana. Posteriormente con la adopción de técnicas de propagación como el injerto y con el descubrimiento del aguacate “Fuerte” comenzó el establecimiento de las primeras huertas. En las décadas de los 50, 60 y 70’s comienza el cultivo de las variedades ‘Hass’, ‘Fuerte’, ‘Bacon’, ‘Rincón’, ‘Zutano’ y criollos raza mexicana. En 1963 se establecen los primeros viveros comerciales de la variedad ‘Hass’ con una producción potencial entre 18 y 20 mil plantas utilizando yemas certificadas procedentes de Santa Paula California, USA. Con el incremento de la superficie de la variedad ‘Hass’, México es actualmente el mayor productor y consumidor de aguacate en el mundo. Actualmente el aguacate mexicano tiene acceso a 19 estados del mercado Estadounidense (Sánchez-Colin *et al.*, 2001).



1.2 Clasificación botánica.

Tipo	<i>Fruta</i>
Nombre Común	<i>Aguacate</i>
Nombre científico	<i>Persea americana mill</i>
Origen	<i>América</i>
Familia	<i>Laurácea</i>
Género	<i>Persea</i>

Fuente: Asohofrucol (2003).

1.3 Descripción.

Origen: México, y luego se difundió hasta las Antillas.

Tipo: Baya.

Descripción: Exocarpio grueso, mesocarpio carnoso y una capa muy delgada de endocarpio próxima a la cubierta exterior de la semilla. La testa es dura.

Fruto: Baya unisemillada, oval, de superficie lisa o rugosa (Figura. 1). El envero sólo se produce en algunas variedades y la maduración del fruto no tiene lugar hasta que éste se separa del árbol (Asohofrucol, 2003).

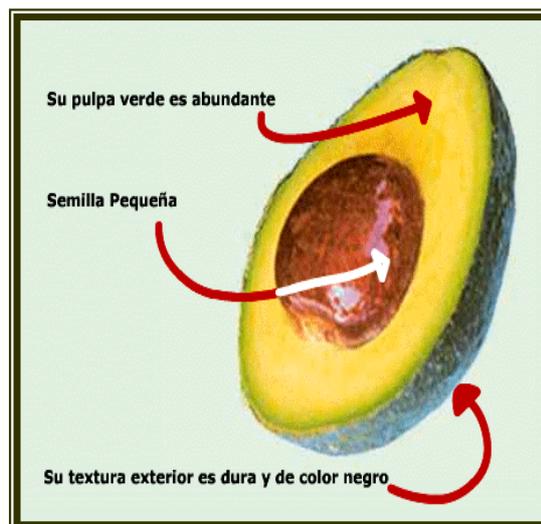


Figura 1. Descripción del fruto de aguacate.



Planta: Árbol extremadamente vigoroso (tronco potente con ramificaciones vigorosas), pudiendo alcanzar hasta 30 m de altura (Figura. 2).

Altitud de siembra de árboles: 1400- 2000 msnm.

Hojas: Árbol perennifolio. Hojas alternas, pedunculadas, muy brillantes

Flores: Flores perfectas en racimos subterminales; sin embargo, cada flor abre en dos momentos distintos y separado; los órganos femeninos y masculinos son funcionales en diferentes tiempos, lo que evita la autofecundación. De acuerdo a ello, las variedades se clasifican con base en el comportamiento de la inflorescencia en dos tipos A y B. En ambos tipos, las flores abren primero como femeninas, cierran por un período fijo y luego abren como masculinas en su segunda apertura.



Figura 2. Planta de aguacate. Fuente: FAO (2008).

1.4 Composición química y valor nutrimental.

La composición química del aguacate se muestra en la Tabla 1. Este fruto es rico en grasa y carbohidratos, se considera una buena fuente de energía.



Tabla 1. Composición química del aguacate

Detalles	Porción comestible	Agua (g)	Cenizas (g)	Proteína (g)	Grasa (g)	Fibra (g)	CHOS (g)	Valor de energía	
								Kcal	KJ
Pulpa	53%	74.0	0.8	1.6	13.5	2.5	7.6	144	593

Fuente: Leyva y Ruiz (2004).

El Aguacate es un alimento que puede ser consumido en fresco, además de que aporta prácticamente todas las vitaminas requeridas por el organismo; a excepción de la vitamina B12 (Figura. 3). Pero se encuentra en una gran cantidad el ácido ascórbico que potencializa el poder antioxidante de los tocoferoles presentes en la vitamina E (Ortega-Tovar 2003).



Figura 3. Aguacate variedad 'Hass'.

Fuente: FAO (2008).

El aguacate contiene un bajo porcentaje de ácidos grasos saturados y mayoritariamente monoinsaturados que va del 66 al 72% en ácido oleico, aporta una mínima cantidad de hidratos de carbono, es pobre en sodio y rico en minerales como (Ortega-Tovar 2003):



- El potasio el cual ayuda a la generación del impulso nervioso y la actividad muscular.
- El magnesio, el cual ayuda al funcionamiento de intestino, nervios y músculo, forma parte de huesos y dientes, mejora la inmunidad y posee un suave efecto laxante.
- Destaca su contenido de vitamina E (antioxidante, interviene en la estabilidad de las células sanguíneas y en la fertilidad) y de ciertas vitaminas hidrosolubles del grupo B, como la B6 o piridoxina, que colabora en el buen funcionamiento del sistema nervioso.

Beneficios.

El aguacate por la cantidad de vitaminas, grasas monoinsaturadas y minerales que contiene, tiene efectos benéficos en el organismo en diferentes formas (Fresh California Avocados, 2007):

- Ayuda a la digestión ya que contiene fibra.
- Fortalece el cerebro.
- Calma los nervios.
- Ayuda a combatir reumatismo, gases, problemas renales y afecciones de la piel.
- Favorece la producción de glóbulos rojos.
- La cáscara es laxante en infusión.
- Las hojas en infusión combaten el cansancio, dolor de cabeza, menstruación irregular y trastornos respiratorios, resfriados, catarros, tos, ronquera, inflamación de la boca y garganta.
- El hueso seco, triturado y mezclado con miel, se puede utilizar para dolores musculares y articulares.

Consumirlo mezclado con miel pura de abeja es altamente energético con un aporte muy considerable de proteínas, siendo muy importante en el desarrollo de la fibra muscular, fortalece el cerebro, limpia el hígado, regula los niveles de colesterol, estabiliza la sangre



y es muy rico en vitamina “A”, ayudando en la formación de los huesos y dientes, bueno para la piel y los ojos.

1.5 Variedades de aguacate producidas en México.

1.5.1 Variedades.

El aguacate pertenece al género *Persea* de la familia de las *Lauraceas*, y se dividen en tres variedades botánicas ó razas: raza Mexicana, raza guatemalteca y raza Antillana.

Estas tres razas de aguacate, desde la antigüedad se fueron mezclando naturalmente entre ellas por medio de su propio sistema de reproducción. El resultado de estas fusiones; producidas por medio de “polinización cruzada”; dieron origen a incontables variedades Híbridas naturales indefinidas. A partir de principios del siglo pasado (1900) se comenzaron a seleccionar aguacates de excelentes atributos para ganar mercados consumidores, dando origen a los distintos cultivares que durante décadas lideraron los mercados mundiales; sin embargo actualmente se consideran a las tres razas dentro de la especie *Persea americana* Mill. El posible lugar de origen de estas razas se muestra en la Figura 4(Sánchez-Colin *et al.*, 2001).



Figura 4. Posibles centros de origen de las tres razas de aguacate.
Fuente: Sánchez (2001).



1.5.2 Clasificación mexicana.



Raza mexicana

Esta raza procede de los alrededores de las ciudades de Puebla y Atlixco (zona centro de México). La época de floración se da de diciembre a abril, con un periodo de maduración de 5-7 meses, realizando la recolección en verano (Tabla 2).

Características:

- Estos frutos presentan hojas más pequeñas que las otras razas y cuya diferencia la caracteriza por la esencia que desprenden parecido al anís.
- Los frutos son pequeños de 30 a 80 mm de longitud.
- El peso varía de 90-180 g.
- El pedúnculo es cilíndrico y delgado, de diámetro uniforme en toda su longitud.
- La cáscara o pericarpio es delgada, de 0.8-1.6 mm de espesor y de superficie exterior lisa.
- El mesocarpio está conformado por una pulpa no fibrosa, con un contenido de grasa entre 20 y 25% y un característico olor a nuez.

La forma del fruto es piriforme y el hueso de pequeño tamaño (Ibar, 1986 y Queralt, 1987).

Antes de 1963 la variedad de aguacate que predominaba en México era el criollo, altamente resistente a las plagas, pero a partir de ese año fue sustituido por algunas variedades injertadas al árbol endémico, entre ellas la del aguacate Hass, que cuenta con excelentes características de productividad, calidad (tanto en su contenido nutricional como en su presentación) y resistencia para su manejo comercial, por lo que ha llegado a ser el número uno en todo el país (Fig. 5). En Michoacán se cultivan alrededor de 90 mil hectáreas de este producto (Sánchez- Colin *et al.*, 2001).



Figura 5. Aguacate variedad Hass.
Fuente: Fresh California Avocados (2007).

En el caso de la variedad Hass cuenta con un 10-15% de genes de la raza mexicana y el resto de la raza guatemalteca. La resistencia de acoplarse a diversas altitudes y climas templados se lo confiere la raza mexicana; por lo que esta característica permite que se cultive todo el año en el país.

Características (Téliz, 2000):

- El peso varía entre 170 y 350 g.
- Pulpa cremosa de sabor excelente.
- Sin fibra.
- Presenta un contenido de aceite del 23.7%.
- Cáscara algo coriácea, rugosa, color púrpura oscura al madurar.
- Semilla pequeña y adherida a la cavidad.
- El fruto puede mantenerse en el árbol por algunos meses después de la madurez fisiológica.



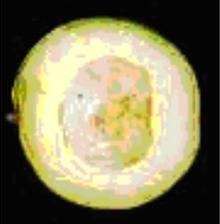
ANTECEDENTES

Tabla 2. Variedades de aguacate producidas en México.

Variedad	Tamaño	Tipo de flor	Características	Contenido promedio de aceite	Periodo de maduración	Principales estados productores
 Atlixco	Peso de aproximadamente 450 g y máximo de 700g.	A	Presenta un color verde oscuro, pulpa amarillenta de poca fibra con manchas moradas. Es de superficie áspera o ligeramente rugosa.	27.5%	Diciembre y en California de Abril a Junio.	Puebla, México y California.
 Bacon	Es un fruto de tamaño mediano, su peso varía entre 200- 400g.	B	Forma ovalada y cáscara verde casi lisa de buena calidad, presenta una semilla de mediana a grande, pulpa color amarilla verdosa. Esta especie es una de las más resistentes al frío.	20%	Noviembre a Marzo.	Se cultiva en California, Islas Canarias y España.
 Benedict	Frutos entre 80 y 200g en peso.	B	Ovalados o piriformes, de cáscara verde muy delgada y contienen un 15% en grasa.	15%	Septiembre- Octubre	México y California.

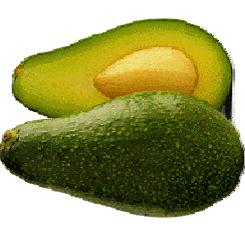


ANTECEDENTES

 <p>Duke</p>	<p>Tamaño regular y pesan entre 250 – 350g.</p>	<p>B</p>	<p>Es un fruto piriforme, de cáscara delgada y lisa, de color verde. Es muy resistente a las enfermedades fúngicas.</p>	<p>21%</p>		<p>California</p>
 <p>Perfecto</p>	<p>Produce frutos entre 600 – 850g de peso.</p>	<p>A</p>	<p>Los frutos son piriformes, anchos de corteza áspera, de color verde oscuro.</p>	<p>13.30%</p>	<p>La maduración de los frutos se realiza en California de Enero a Abril y en Florida a mediados de Octubre y finales de noviembre.</p>	<p>Originario de Atlixco.</p>
 <p>Puebla</p>	<p>Peso varía entre 220 y 280g.</p>	<p>A.</p>	<p>El color es castaño-morado brillante. La pulpa es de color amarillento cerca de la semilla y verde claro junto a la cáscara. Es de muy buena calidad y un característico olor a nuez. La semilla es grande y esta adherida al interior de la cavidad que la contiene. El fruto es ovoide, de aproximadamente 8 cm de longitud por 7 cm de ancho. Es la variedad mexicana más conocida.</p>	<p>20%</p>	<p>México</p>	<p>Originario de Atlixco.</p>



ANTECEDENTES

 <p>San Sebastián</p>	<p>Pesan entre 350–450 g.</p>	<p>B</p>	<p>Produce frutos de menor calidad de color morado oscuro.</p>	<p>21.5%</p>	<p>Marzo y de Octubre-Diciembre en California.</p>	<p>Originario de Querétaro.</p>
 <p>Topa – topa</p>	<p>Pesan entre 170 –290 g.</p>	<p>A</p>	<p>Su fruto es piriforme, alargado, oblicuo, de tamaño mediano. Son de color morado brillante y no son resistentes a la transportación, por lo que se destinan al mercado local. Sirve como porta injertos.</p>	<p>15-15.5%</p>	<p>Septiembre-Diciembre.</p>	<p>California</p>
 <p>Zutano</p>	<p>Peso entre 200 – 400 g.</p>	<p>B</p>	<p>Fruto de baja calidad, presenta forma de pera y de tamaño mediano. El color de la piel es brillante de color amarillo verdoso, con pulpa suave verde pálido. Cuando madura tiende a abrirse.</p>	<p>14%</p>	<p>Octubre-Marzo en California.</p>	<p>Desconocido</p>

A y B =árbol del tipo o grupo floral al que pertenece.

Fuente recopilada de: Queralt (1987); Fersini (1980); Rodríguez (1982); Fresh California Avocados (2007); Ibar (1986).

Figuras recopiladas de: Fresh California Avocados (2007); Chapingo (2008); FONAIAP (2008).



1.6 Producción y exportación de aguacate.

1.6.1 Estados productores.

Los principales estados productores son Michoacán, Nayarit, México, Puebla y Morelos, en los que se concentra la mayor superficie plantada, cosechada y la mayor producción (tabla 3).

De acuerdo con cifras oficiales, Morelos, Yucatán, Sinaloa, Baja California Sur, Jalisco y Veracruz han superado a Michoacán en la producción promedio por hectárea (8-12 ton), aunque la producción en la mayoría de esos estados no es con el cultivar Hass.

Tabla 3. Producción, superficie sembrada y cosechada de aguacate por estado en el 2006.

Estado	Sembrada	Cosechada	Volumen de producción
Miles de toneladas (Riego + Temporal)			
Michoacán	94.7	86.9	993.1
Morelos	2.5	2.5	26.1
México	2.2	2.8	18.8
Nayarit	2.8	2.2	22.9
Puebla	1.8	1.9	10.5
Subtotal	104.0	96.3	1,021.4
Otros	8.8	7.1	50.7
Total nacional	112.8	103.4	1,072.1

Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP/SAGARPA (2008).

México es el principal productor, exportador y consumidor de aguacates en el mundo; ya que el país produce aproximadamente un millón de toneladas de aguacate, de las cuales el estado de Michoacán participa con el 88.5% de la producción nacional de aguacate y la producción que se exporta a los Estados Unidos proviene de 12 municipios del estado de Michoacán.



Michoacán es el principal estado productor y exportador de aguacate Hass, producto que se consume tanto en México como en otros países, como Japón, Estados Unidos, Francia, la Unión Europea, Centroamérica, Canadá, Corea y China, entre otros mercados (Figura 6). (SIAP-SAGARPA 2008).

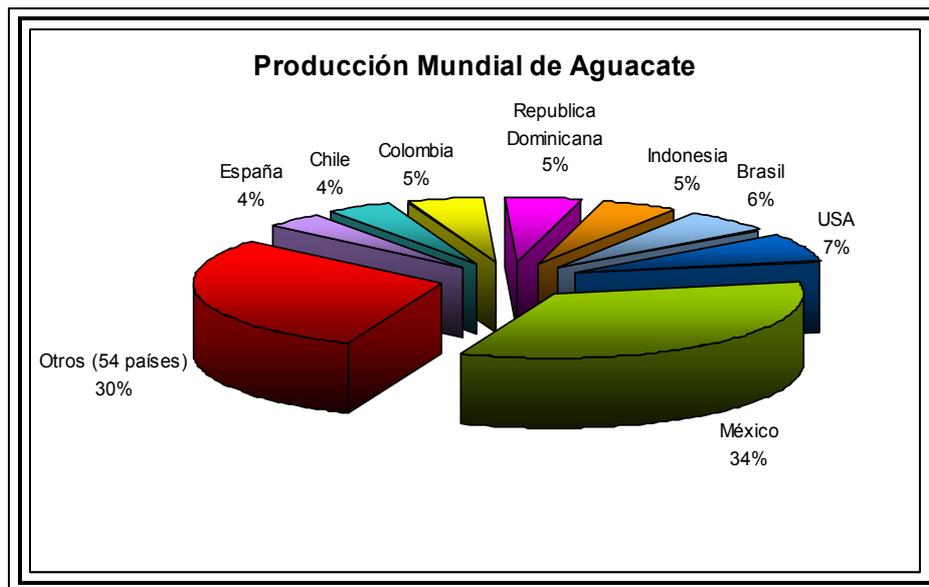


Figura 6. Producción Mundial de Aguacate.
Fuente: Elaborado con datos de IMA (2006).

El cultivo del aguacate genera aproximadamente 250 mil empleos directos e indirectos en Michoacán; para la cosecha 2005-2006 se exportaron 16 mil toneladas a 49 estados (Figura 7). Con la caída del muro fitosanitario se espera que las exportaciones alcancen las 200 mil toneladas.

En los últimos 10 años se han exportado casi 400 mil toneladas, sin ningún problema fitosanitario con los frutos de aguacate, ni rechazo de los embarques por parte de los países importadores.

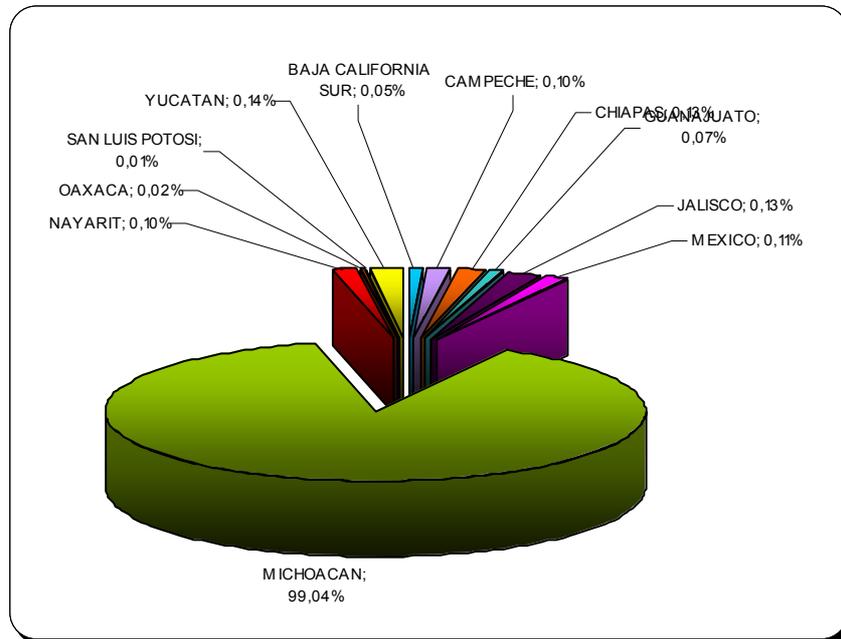


Figura 7. Estados Exportadores de aguacate en México.
Fuente: elaborado con datos de SIAP-SAGARPA (2008).

1.6.2 Comercialización.

La comercialización del aguacate en fresco sigue siendo la forma más común de distribuirlo. Por ello en temporada alta (Octubre-Febrero) y media (Marzo-Mayo) de abasto, se tiene la intervención de un gran número de medio mayoristas en la comercialización. Estos se encargan de distribuir entre los comerciantes detallistas del mercado, los vastos volúmenes que concentran los principales mayoristas (Figura. 8).

En cambio durante la temporada baja (Junio-Septiembre) cuando la oferta total representa entre el 64% y 54%, con respecto a la temporada media y alta, el grado de concentración se profundiza, ya que dejan de intervenir muchos de los medios mayoristas más destacados elevan su participación como proveedores de los detallistas que continúan comercializando el producto (SIAP-SAGARPA, 2008).

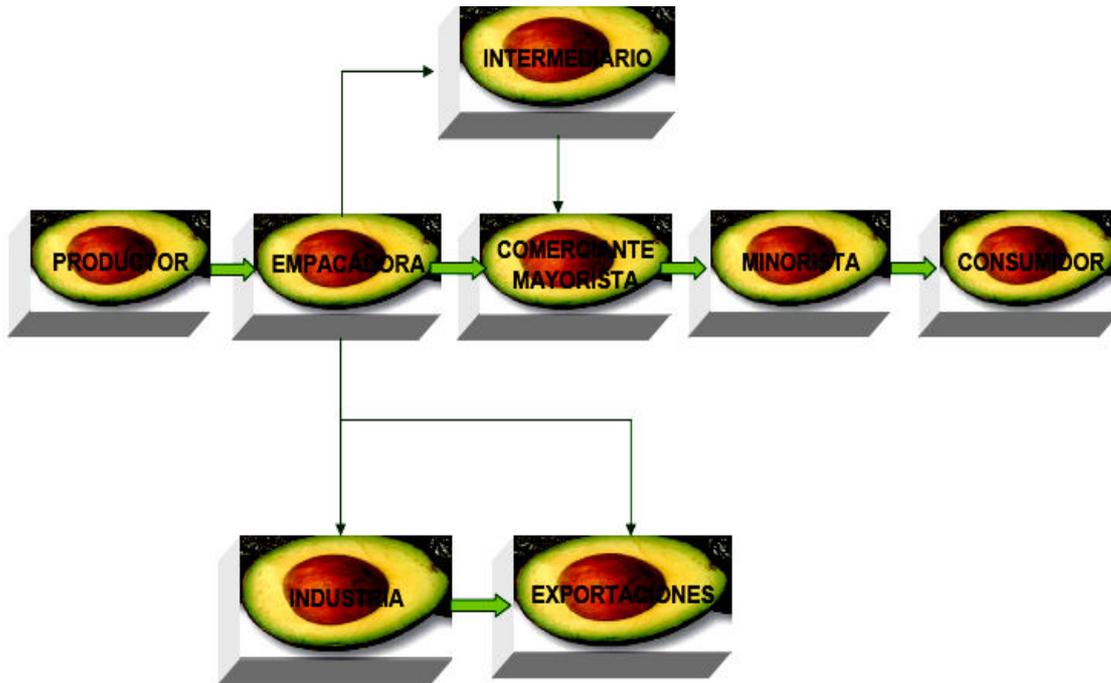


Figura 8. Circuito de Comercialización.

Fuente: SAGARPA con información de ACERCA (2004).

De acuerdo a la Coordinación General de Abastos y Distribución (Coabasto) se conocen cinco canales de comercialización:

- Intermediario local en cual se comercializa cerca del 64% de la producción total.
- Intermediario de otras ciudades que comercializa un 15%.
- Empacadoras locales, contribuyen con el 15%.
- Comisionistas, participan con el 3%.
- Vinculación directa entre productor y comerciante mayorista, el cual comercializa solo el 3%.



1.7. Cambios fisiológicos y bioquímicos asociados a la maduración del aguacate.

Cuando las frutas y hortalizas pasan de la etapa de crecimiento a la etapa de maduración ocurren diversos cambios fisiológicos y morfológicos que ocurren a diferente velocidad según la longevidad de cada órgano.

El tipo de fruto y su forma de consumo constituyen los parámetros que definen la etapa de maduración en que esta debe cosecharse; como el caso del aguacate que se cosechan cuando están en maduración fisiológica de tal forma que estas se puedan transportar o almacenar para que después alcancen su maduración de consumo (Díaz-Montenegro 2002).

El proceso de maduración es una serie de cambios físico-químicos que se presentan en el fruto y que determina que este llegue a tener un color, sabor y una determinada textura apta para su consumo. Para saber el tipo de maduración de los frutos necesitamos conocer el ciclo biológico del mismo: Formación del fruto (influyen la T, luz y hormonas), crecimiento del fruto, maduración del fruto y envejecimiento del fruto (senescencia).

Cuando comienza la maduración, ocurren varios cambios, pero los más evidentes son la relajación y el desglose de la pared celular y la hinchazón (Platt-Aloia y Thomson, 1981).

Los cambios asociados en la madurez del fruto de aguacate son:

- **Cambios de color:** hay disminución del color verde en las frutas (clorofila) debido a una disminución de su contenido de clorofila ya que se descompone durante la maduración; la degradación de la clorofila ocurre en los cloroplastos e implica la presencia de la enzima clorofilasa, cambios en el pH y reacciones de oxidación. Después de desaparecer la clorofila comienza un incremento en la síntesis de pigmentos de color amarillo, naranja y rojo (carotenoides y antocianinas).
- **Cambios de sabor:** esto es debido a la hidrólisis de los 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.



- **Cambios de textura:** en frutos de pulpa carnosa, este representa uno de los cambios más importantes, ya que este afecta la capacidad de ser almacenado o transportado. La pérdida de firmeza se debe a la pérdida de rigidez estructural de la pared celular que cambia en las frutas 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. Las frutas se tornan blandas y más susceptibles de ser dañadas durante su manejo. Los cloroplastos en los frutos de aguacate mantienen su integridad hasta después de la cosecha en contraste con otros frutos cuyos cloroplastos se desintegran antes de la cosecha (Blanke, 1992). Durante el desarrollo y crecimiento del aguacate sucede una serie de cambios que conllevan a la adquisición de las características típicas del aguacate (Figura 9).

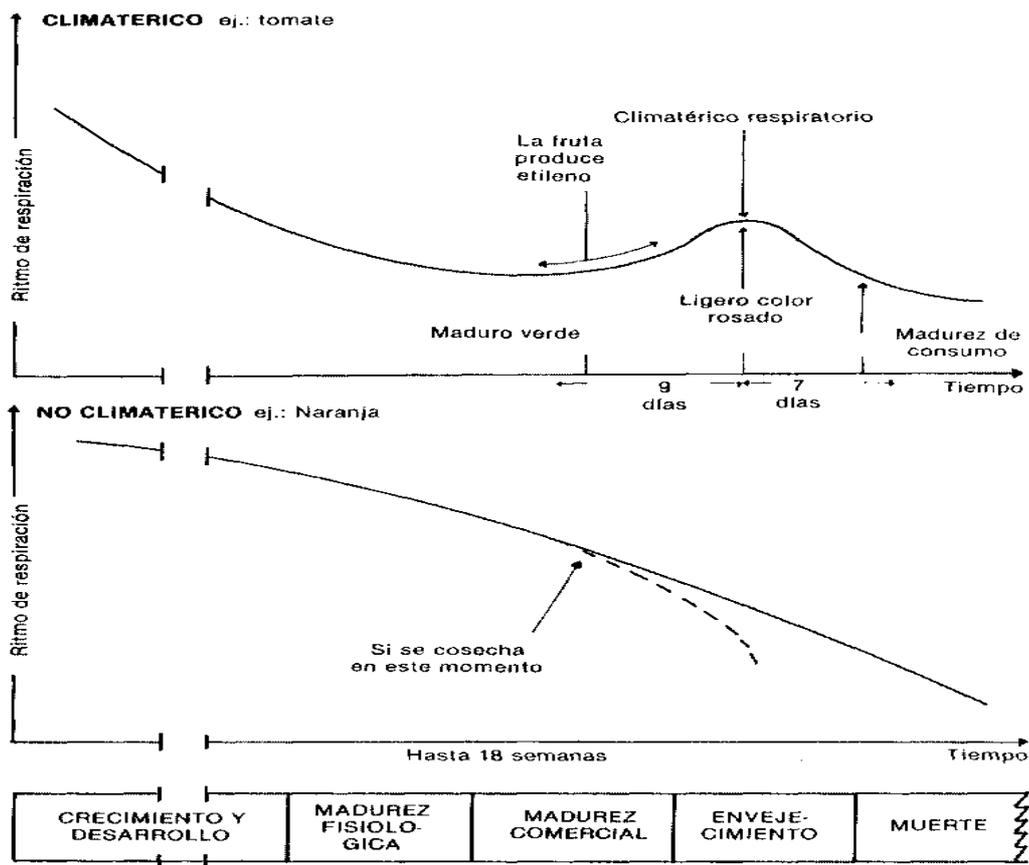


Figura 9. Desarrollo y crecimiento de frutos.
Fuente: FAO (1989).



Los cambios que presenta la pulpa y la semilla van acompañados por la variación de ácidos grasos, humedad y azúcares. Por tal motivo, estas características han sido propuestas como indicadores de la maduración del aguacate, o bien puede relacionarse con la variación de las propiedades físicas del producto durante el desarrollo (Leyva y Ruiz, 2004).

Los cambios a controlar en la post-recolección son:

- Respiración.
- Transpiración.
- Maduración (producción de etileno).

1.7.1. Respiración.

Las células vivas de un fruto respiran de un modo continuo durante todo su desarrollo. Mientras la fruta se encuentra en el árbol, los sustratos para la respiración se derivan principalmente de la fotosíntesis (Díaz-Montenegro 2002).

Durante la respiración la producción de energía proviene de la oxidación de las propias reservas de almidón, azúcares y otros metabolitos, Una vez cosechado, el producto no puede reemplazar estas reservas que se pierden y la velocidad con que disminuyen será un factor de gran importancia en la duración de la vida de poscosecha del producto. La respiración es necesaria para la obtención de energía, pero parte de esa energía produce calor que debe ser disipado de alguna manera, o de lo contrario el producto se calentará, sobreviniendo la degradación de los tejidos y la muerte. La importancia de la disipación del calor del producto fresco reside en el hecho que la respiración consiste en una serie de reacciones catalizadas por enzimas, cuya velocidad aumenta al incrementar la temperatura. En consecuencia, una vez que el producto comienza a calentarse, se estimula aun más la respiración y el calentamiento y de este modo se vuelve muy difícil de controlar la temperatura del producto (FAO, 1989).

Aun cuando todos los frutos respiran durante su desarrollo y maduración, la dinámica de esa respiración es diferente según la edad del fruto. Al inicio del crecimiento cuando hay mucha división celular, la respiración por unidad de peso es muy alta para después reducirse de manera gradual y mantenerse baja hasta que se inicia la maduración. A



partir de esta última etapa los distintos tipos de frutos muestran un diferente patrón de respiración dependiendo si son frutos climatéricos y no climatéricos.

En las frutas no climatéricas el proceso de madurez, es un proceso gradual pero continuo. En las frutas climatéricas, el proceso natural de madurez es iniciado de acuerdo a cambios en la composición hormonal. El inicio de la maduración climatérica es un proceso bien definido, caracterizado por un rápido aumento en la velocidad de la respiración y el desprendimiento de etileno por la fruta, en un momento de su desarrollo, conocido como respiración climatérica (FAO, 1989).

La cantidad de oxígeno a la que se exponen los frutos después de ser cosechados influirá en la cantidad y velocidad de respiración de los frutos. Conforme el contenido interno de oxígeno baja la respiración se reduce, y viceversa; en algunas especies como el aguacate, el incremento respiratorio es progresivo y alcanza un máximo cuando llega a 18% de oxígeno para después mantenerse ahí. Aun cuando los frutos climatéricos se distinguen por el aumento de respiración, la intensidad y duración de tal incremento resulta diferente dependiendo de la especie frutal, como el caso del aguacate que presenta una tasa de respiración muy pronunciada pero corta (Figura 10).

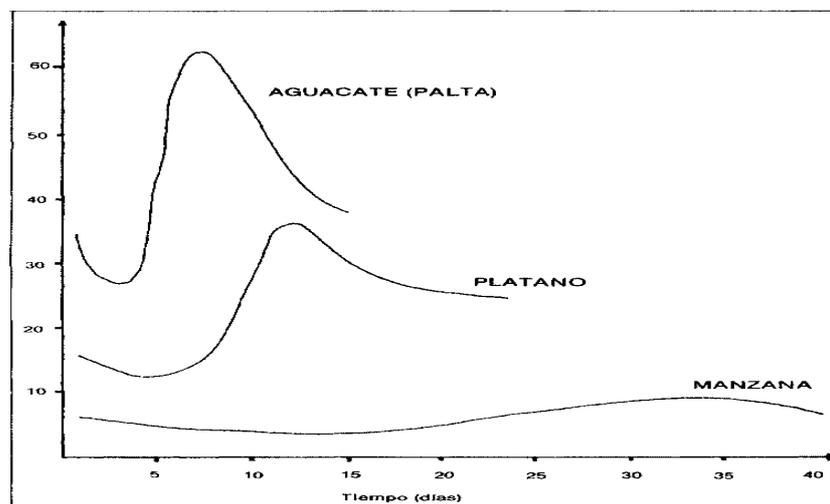


Figura 10. Curvas de respiración de frutos.
Fuente: FAO (1989).



En los frutos climatéricos el inicio del incremento de la respiración coincide con el momento en el que se alcanza el máximo tamaño del fruto y cuando se llega a la cima del aumento respiratorio es el momento que corresponde al estado óptimo de madurez de consumo o muy cercano a él o bien para almacenamiento y todos los eventos metabólicos de maduración de los frutos climatéricos pueden ocurrir tanto si el fruto está o no adherido al árbol. En algunos cultivares de aguacate no se dan cambios de maduración mientras el fruto está adherido al árbol y solo se inician cuando se le separan de la planta. Hay pérdidas de materia seca y del sabor dulce (por los azúcares que se han degradado). Al aumentar la respiración la degradación es más rápida (Díaz-Montenegro 2002; Coletto, 1989). En las celdas de la fruta el CO_2 de la respiración mitocondrial se disuelve, se acumula y se difunde. Dentro de la fruta la molécula de CO_2 tiene que superar varias resistencias de difusión de la mitocondria a través de la pared celular y el espacio intercelular antes de que pueda ser liberado a través de la piel (Blanke, 1992).

El fruto consume O_2 y desprende CO_2 , H_2O y calor, por esto es por lo que se aceleran todas las reacciones oxidativas. El agua se acumula en la superficie por lo que el producto está más expuesto a la acción de microorganismos (Figura 11).

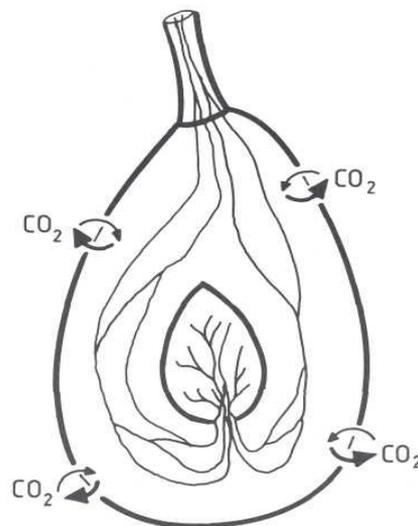


Figura 11. Esquema de intercambio de CO_2 que se produce preferentemente a través de estomas de la cáscara en frutos de aguacate.

Fuente: Blanke, 1992.



La respiración junto con la síntesis de etileno constituyen los procesos iniciadores de la maduración; inmediatamente después acontecen otros cambios bioquímicos (Díaz-Montenegro 2002).

1.7.1.1. Producción de etileno.

La formación de etileno en los frutos puede iniciarse en sitios específicos. En el caso del aguacate comienza en la parte distal del fruto lejos del pedicelo y de áreas de muchos haces vasculares. La cantidad de etileno que requiere el aguacate para su maduración es de $10 \mu\text{L} / \text{L}^{-1}$ de etileno. La producción auto catalítica de etileno en frutos climatéricos se puede ir aumentando en distintas dosis con lo que aumenta la respiración y se adelanta la maduración (Díaz-Montenegro, 2002).

1.7.1.2. Transpiración

Las frutas y hortalizas frescas se componen principalmente de agua (80% o más) y en la etapa de crecimiento tienen un abastecimiento abundante de agua a través del sistema radicular de la planta. Con la cosecha, este abastecimiento de agua se corta y el producto debe sobrevivir de sus propias reservas. Al mismo tiempo que ocurre la respiración, el producto cosechado continúa perdiendo agua hacia la atmósfera, tal como lo hacía antes de la cosecha, por un proceso conocido como transpiración. La atmósfera interna de frutas y hortalizas está saturada con vapor de agua, pero a la misma temperatura el aire circundante está menos saturado. Por ello existe un gradiente a lo largo del cual el vapor se mueve desde el producto al aire que lo rodea. El efecto neto de la transpiración es una pérdida de agua del producto cosechado, que no puede ser reemplazada. La velocidad con que se pierde esta, será un factor determinante en la vida de poscosecha del producto. La pérdida de agua causa una disminución significativa del peso y a medida que avanza, disminuye la apariencia y elasticidad del producto perdiendo su turgencia, es decir, se vuelve blando y marchito (FAO, 1989). A continuación se presentan algunos cambios fisicoquímicos que ocurren en los tejidos durante la maduración (tabla 4).



1.7.2. Enzimas involucradas en la maduración del aguacate.

Las frutas y vegetales durante su maduración adquieren una mayor importancia ya que presentan una serie de cambios de los que depende la calidad física, química y organoléptica del fruto.

Existen diversos tipos de hormonas, hay propias del fruto (llamadas naturales) pero también las hay sintéticas (fabricadas por el hombre e inyectadas en el fruto). El ablandamiento de la pulpa en los frutos carnosos es uno de los cambios más importantes durante la maduración, la cual afecta su comestibilidad, la capacidad de ser almacenado o transportado y en algunos casos su posible transformación (Díaz-Montenegro, 2002).

Durante la maduración de los frutos se presenta la pérdida de consistencia debida a la acumulación de agua y al debilitamiento de las paredes celulares. Este debilitamiento ocurre por la transformación de las protopectinas insolubles en pectinas solubles.

El etileno también actúa sobre la maduración de los frutos, presentando una síntesis baja durante el crecimiento, pero antes de que se inicien los cambios con la maduración (incluyendo respiración) se produce un aumento de la hormona y la formación de esta puede presentarse en lugares específicos como el caso del aguacate que comienza en la parte distal del fruto lejos del pedicelo y de áreas de muchas haces vasculares (Díaz-Montenegro, 2002). Se ha establecido la importancia de algunas enzimas que provocan la degradación de las paredes celulares como la celulosa y poligalacturonasa. También algunos frutos como es el caso del aguacate se pardean después de haber sufrido algún tipo de daño, corte, magulladura o infección, provocado principalmente por polifenoloxidasas y peroxidasas.

1.7.2.1. Definición y función de las enzimas.

La mayor o menor sensibilidad de las frutas y hortalizas al pardeamiento enzimático está influido por la especie y variedad, la edad del fruto, la naturaleza y cantidad de los sustratos fenólicos, la actividad de las enzimas oxidativas, la disponibilidad de O₂.



Tabla 4. Cambios fisicoquímicos durante la maduración del aguacate.

CAMBIOS	ATRIBUTOS PARA CALIDAD
Maduración de la semilla	
Cambios en pigmentación: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Degradación de clorofila ➤ Síntesis de carotenoides ➤ Síntesis de antocianinas 	Color
Pérdida de firmeza: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Cambios en composición de pectina. ➤ Alteración de otros componentes de la pared celular. ➤ Hidrólisis de compuestos almacenados. 	Consistencia
Cambios en composición de carbohidratos: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Conversión de almidón a azúcar. ➤ Interconversión de azúcares. 	
Producción de compuestos aromáticos	Sabor
Cambios en ácidos orgánicos	
Caída de fruto	
Cambio en el patrón respiratorio	
Cambios en la velocidad de síntesis de etileno.	Sabor
Cambios en permeabilidad de tejidos.	Sabor
Cambios en proteínas: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Cuantitativo ➤ Cualitativo 	
Desarrollo de ceras en la superficie.	

Fuente: Díaz-Montenegro (2002).



1.7.2.2. Pardeamiento enzimático.

Se denomina pardeamiento enzimático a la transformación enzimática en sus primeras etapas de compuestos fenólicos, en polímeros coloreados generalmente pardos o negros (Marshall *et al.*, 2000).

La aparición de pigmentos pardos ocasiona importantes modificaciones de las cualidades organolépticas y son de origen enzimático.

La puesta en contacto de los compuestos fenólicos (de localización vacuolar) con las enzimas de oxidación (citosólicas o de membrana). Para que tenga lugar el comienzo del pardeamiento se debe producir una modificación en la compartimentación subcelular; esta se da por muchos factores como: traumatismos mecánicos, choques térmicos o alteraciones fisiológicas. La mayoría de estos pardeamientos son de forma muy rápida y son ocasionados por la oxidación enzimática de los compuestos fenólicos debido a la acción de las polifenoloxidasas (PPO) y peroxidasas (PDO) (Billiot, 2002).

1.7.2.3 Polifenoloxidasas.

La polifenoloxidasas (E.C.1.11.1.7) es una enzima oxidoreductasa de importancia; ya que se relaciona con el pardeamiento enzimático en frutos y vegetales. En el pardeamiento enzimático los procesos de cambios de color de frutas que sufren un daño se debe a la presencia en los tejidos vegetales de enzimas como la ascórbico oxidasa y polifenoloxidasas, (que a mayor cantidad el fruto pardea más) (Patiño, 1996).

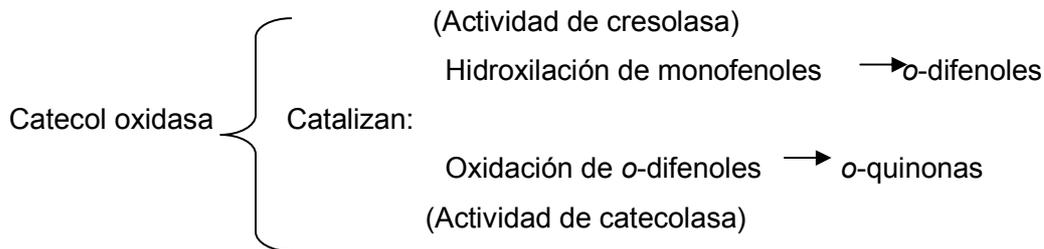
Para que se produzca el pardeamiento enzimático oxidativo es necesaria la presencia de tres componentes: oxígeno, enzima (PPO) y sustrato oxidable como tirosina, catecol, ácido gálico, hidroquinonas, antocianos, flavonoides, etc. Si cualquiera de estos componentes falta o se impide que actúe, se evitará el oscurecimiento.

Diversos artículos han expresado que de varios sustratos estudiados los oxidados más rápido por la enzima en aguacate era el ácido nordihidroguayarético, el catecol y la catequina, pensando que la enzima era una sola. Posteriormente se encontró que las fracciones enzimáticas extraídas del aguacate contenían por lo menos 6 isoenzimas, cada fracción presentaba cierta especificidad característica hacia algún sustrato en especial (Patiño, 1996)



El término Polifenoloxidasa se refiere a varias enzimas, las cuales tienen como principal característica su capacidad para usar el oxígeno molecular durante la oxidación de los compuestos fenólicos (González-Aguilar *et al.*, 2005 b). La PPO es una proteína que contiene cobre como grupo prostético y puede catalizar dos tipos de reacciones diferentes:

Las reacciones se dividen en dos grupos principales:



Estas reacciones se llevan a cabo en presencia de oxígeno molecular.

En el aguacate las enzimas más importantes en las reacciones de pardeamiento enzimático son las polifenoloxidasas y dentro de los sustratos sobre los cuales actúa, se encuentra principalmente el catecol seguido en orden decreciente por catequinas, ácido caféico, ácido clorogénico, dihidroxifenilalanina y quercetina (Tirilly y Bourgeois, 2001).

Las polifenoloxidasas del aguacate se caracterizan por tener un pH de actividad óptima entre 6.5 y 8.0. Existen varias formas de evitar este tipo de reacciones en el aguacate, pero todas ellas apuntan a inhibir la enzima o a eliminar el oxígeno ya que sobre el sustrato oxidable no es posible actuar (Soto, 1995).

1.7.2.4 Lipoxidasas.

Otro problema que es común es preservar la pulpa del aguacate, esto se debe a que el aguacate posee un alto contenido de aceite y se le conoce como oxidación de lípidos.

Los sustratos de estas reacciones son principalmente los ácidos grasos no saturados. Cuando están libres, estos ácidos se oxidan por lo general más rápidamente que cuando son parte de moléculas de triglicéridos o fosfolípidos. Pero sobre todo es el grado de insaturación el que influye en la velocidad de oxidación. Los ácidos grasos saturados sólo se oxidan a temperaturas superiores a los 60°C, mientras que los ácidos grasos



poliinsaturados se oxidan incluso durante el almacenamiento de los alimentos (Saavedra, 1995). En el aguacate se produce principalmente la rancidez del tipo oxidativa. En ella, los ácidos grasos de grandes cadenas no saturadas, al estar en contacto con enzimas lipoxidasas, pueden ser fragmentados en ácidos grasos de cadenas cortas los cuales poseen un olor característico y desagradable, siendo los primeros responsables del sabor rancio de los aceites expuestas al oxígeno (Saavedra, 1995).

Para evitar que un producto alimenticio se enrancie, existen varios compuestos que se pueden usar, sin embargo estos compuestos deben cumplir con una serie de requisitos: ser liposolubles; carecer de acción tóxica; no modificar los caracteres organolépticos de los productos sometidos a su acción; actuar en muy pequeñas concentraciones, generalmente entre 0,01 y 0,1%; y conservar su acción protectora el mayor tiempo posible (Soto, 1995).

2.7.2.5 Peroxidasa (POD).

La POD (EC -1.11.1.7; donador, Peróxido de hidrógeno oxidoreductasa POD); es una de las enzimas que controlan el crecimiento fisiológico de las plantas, su diferenciación y desarrollo. Esta enzima también puede contribuir al pardeamiento enzimático; ya que contiene un grupo prostético hemo que se asocia generalmente a procesos de cicatrización de heridas.

La función principal de la PDO es catalizar la oxidación de donadores de hidrógeno a expensas de peróxido de hidrógeno (H_2O_2), aceptando como donadores de hidrógeno a un amplio rango de polifenoles.

El mecanismo de reacción se basa en la formación de complejos de enzima-donador de hidrógeno y dos pasos de oxidación univalente. Los productos primarios provenientes de la oxidación de fenoles son quinonas similares a las obtenidas con la PPO.

A continuación se presenta la actividad de la POD:

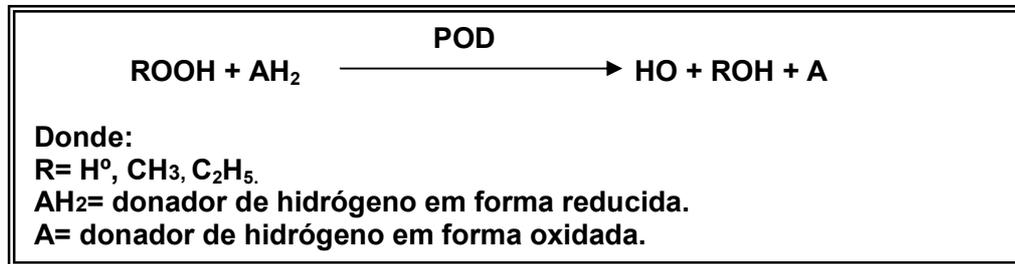


Figura 12. Mecanismo de acción de POD.

La actividad de POD esta limitada por el bajo nivel de H₂O₂ que existe en los vegetales; debido a ello no se le relaciona directamente con el pardeamiento. Aunque se ha propuesto que la PPO actúa como promotora de la actividad POD, ya que genera H₂O₂ durante la oxidación de algunos compuestos fenólicos en reacciones catalizadas por PPO (González-Aguilar *et al.*, 2005 b).

La POD se encuentra ampliamente distribuida en las plantas; sin embargo su papel dentro del pardeamiento enzimático en frutas y vegetales todavía se encuentra en duda, debido a la poca disponibilidad del peróxido de hidrógeno dentro de la célula.

1.7.3. Compuestos fenólicos.

Los compuestos fenólicos que presentan un grupo orto-difenólico se oxidan fácilmente por las polifenoloxidasas. Los principales sustratos de estas son las catequinas y los derivados hidroxicinámicos. En el aguacate se han encontrado fenoles como el 4-metilcatecol, ácido clorogénico, catequina, dopamina y ácido cafeico (Patiño, 2006).

Debido a la amenaza de la infección, plantas han desarrollado una multiplicidad de productos químicos y de estructuras que se incorporan en su tejido fino con el fin de la protección. Estas defensas pueden rechazar, disuadir o intoxicar incluyendo follaje, resina-cubierto o fibroso, conductos resina-llenados y cavidades o compuestos antimicrobianos (Bekker *et al.*, 2007). A estos componentes se les conoce como metabolitos secundarios y se han estudiado sus propiedades de algunos de ellos sirviendo como una alternativa de control biológico sobre el control de hongos fitopatógenos (Mendoza *et al.*, 2007).

La mayoría de los pardeamientos son debidos a la oxidación enzimática de los compuestos fenólicos por la acción de las polifenoloxidasas o de las peroxidases.



Las células vegetales contienen compuestos fenólicos que, en presencia de oxígeno, se oxidan fácilmente a quinonas por la acción de enzimas de las que principalmente son las polifenoloxidasas y peroxidadas. Las quinonas a su vez se oxidan, sin intervención de enzimas particulares y se polimerizan dando compuestos pardos que son los responsables de los pardeamientos superficiales o profundos que aparecen en ciertas condiciones; cuando se lesionan las células ocasionadas por un corte, contusión o ataque parasitario, la vacuola y el citoplasma se encuentran mezclados debido a que se rompió la membrana que los divide y en presencia de oxígeno se produce la reacción de los compuestos fenólicos apareciendo de esta manera los pardeamientos (Tirilly y Bourgeois, 2001).

1.8. Principales pérdidas postcosecha en aguacate.

Las pérdidas postcosecha de frutas alcanzan valores de 25-50% y son causadas principalmente por: mal manejo, deterioro por diferentes microorganismos y almacenamiento inadecuado.

1.8.1 Daños mecánicos.

Las frutas y hortalizas son alimentos muy perecederos, debido principalmente al elevado contenido de agua que presentan y si a esto no se le pone especial cuidado durante la cosecha, manipulación y transporte se dañan rápidamente y ocasionan muchas pérdidas al productor.

La manipulación negligente de los productos frescos ocasiona un deterioro en el fruto que provoca pudriciones y marchitamiento que causan un deterioro fisiológico anormal, hendiduras y grietas de la piel que aumentan rápidamente la pérdida de agua e infecciones en el fruto (FAO, 1989).

Las principales lesiones mecánicas se presentan en la norma NMX-FF-006-1982 (SCFI, 2008) y son:

1.- Prácticas de recolección poco adecuadas por parte de los agricultores que pueden ocasionar en el fruto:

- Impacto (golpe).
- Presión o compresión (movimiento físico).



- Magulladuras (reblandecimiento o manchas en la cáscara o pulpa ocasionadas por golpes, compresiones)

2.- Utilización para la cosecha de cajas inadecuadas, con astillas, clavos o grapas salientes.

- Picaduras (heridas más o menos profundas ocasionadas por medios mecánicos o por depredadores como aves, roedores u otros.)
- Raspaduras (lesiones causadas en la cáscara de las frutas, por un roce violento).

3.- Colocación excesiva o insuficiente de frutos en las cajas, que causa vibración durante el transporte, en la mayoría de las ocasiones por empaque sueltos.

4.- Manipulación poco cuidadosa durante la clasificación, transporte o comercialización, que provoca abrasión por el roce que se produce de unas con otras.

Las magulladuras ocasionadas por el mal manejo dejan la piel intacta y pueden no ser visibles por fuera y estas son causa de (Arcilla, 2003):

- Aumento del ritmo de respiración.
- Producción de calor.
- Decoloración interna como consecuencia de la decoloración de los tejidos.
- Cambios físicos de sabor
- Ablandamiento del tejido
- Maduración más temprana del fruto.
- Pérdida de peso (permeabilidad al vapor de agua)
- Facilidad de invasión de microorganismos.

1.8.2. Plagas.

Existe un complejo endémico de plagas que constituye uno de los factores limitantes para la obtención de frutos más sanos, repercutiendo este en el ámbito internacional al haber insectos cuarentenados que impiden la comercialización del fruto. Entre las plagas más comunes están las de las hojas, flores y frutos (Tabla 5).



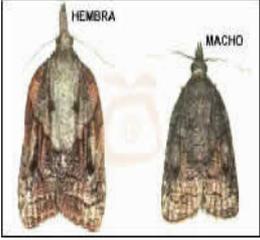
ANTECEDENTES

Tabla 5. Principales plagas presentes en aguacate.

Nombre	Agente Causal	Consecuencias	Tratamiento
 Taladrador del tronco	<p>(<i>Coptorimimus perseae</i> Gunthe)</p>	<p>Taladra el tronco, ramas y crecimientos nuevos, las partes afectadas desprenden serrín.</p>	<p>Poda y quema de ramas afectadas, se debe aplicar en los cortes una pasta con sulfato de cobre, cal, agua y aceite agrícola en la proporción 1:6:4:1. Si el ataque es pequeño, se puede aplicar piretroide en las perforaciones.</p>
 Taladrador de la semilla	<p>(<i>Heilipus lauri</i> Boh (Coleóptera: Curculionidae) <i>Heilipus pithieri</i> (Barber)</p>	<p>El adulto perfora la cáscara del frutos, deposita sus huevos, al nacer las larvas se introducen en la semilla de la cual se alimentan en su estado larvario, el fruto se cae o se pudre. Los insectos se alimentan de brotes, hojas y frutos</p>	<p>Se deben recoger los frutos que caen al suelo y enterrarlos bajo 40 cm de tierra, rociar insecticida, se puede controlar atomizando el fruto pequeño y el follaje cada 22 días con acetato o endulsofán, esto debe suspenderse 22 días antes de la cosecha.</p>
 Trip del aguacate	<p>(<i>Heliethrips haemorrhoidalis</i> (Bouche) (Thysanoptera: Thripidae)</p>	<p>Su ataque provoca que la epidermis de los frutos y de las hojas se engrose y se agriete.</p>	<p>Insecticidas como Diazinón, Malathion, acefato, monocrotofos, o piretroides.</p>
 Arragres o abeja congo	<p>(<i>Trigona silvestrianum</i> Vach) (Himenoptera: Apidae)</p>	<p>Dañan el follaje y los frutos</p>	<p>Quema de los nidos o colocación de insecticida granulado en la colmena, se puede atomizar el fruto y follaje con malathion o fenthion, teniendo presente suspenderlos antes de la cosecha.</p>



ANTECEDENTES

 <p>Perforador del fruto</p>	<p>(<i>Stenomema Catenier</i>)</p>	<p>La larva se introduce en el fruto cuando está en desarrollo y perfora la piel y la pulpa</p>	<p>Aplicaciones mensuales de carbaril cuando el fruto está recién cuajado, destrucción de frutos caídos.</p>
 <p>Gusano arrollador de la hoja</p>	<p>(<i>Plaatynota spp</i>)</p>	<p>Adhiere o pega las hojas, raspa su epidermis y las deseca, se puede extender a todo el follaje.</p>	<p>Se controla con insecticidas, cuando se inicia el brote de renuevos foliares, se utiliza oxidemeton-metil o el triclorfon.</p>

Fuente: INFOAGRO (2008); FAO (2008).



1.8.3. Desórdenes fisiológicos.

Los desórdenes fisiológicos de fruto se desarrollan después de que el fruto inicia la madurez y son más frecuentes en frutos que han sido almacenados o transportados en refrigeración (cerca de 5.5 °C) por periodos prolongados. Además de la nutrición, el cultivar, la madurez a la cosecha, la localidad, las prácticas de riego, el porta injerto y el rendimiento del árbol pueden afectar la susceptibilidad del fruto a los desórdenes internos (Salazar, 2007).

Los desórdenes fisiológicos de la pulpa del fruto del aguacate más frecuentes son (Tabla 6):

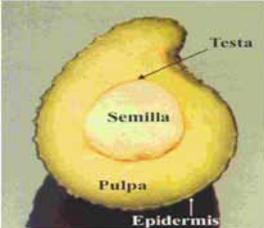
- Oscurecimiento de haces vasculares.
- Pulpa gris.
- Mancha de la pulpa.
- Daños por frío.
- Deficiencia o exceso de nutrimentos.

1.8.4 Enfermedades.

Existen muchas causas que provocan la pérdida postcosecha de los frutos de aguacate, como los daños mecánicos, desórdenes fisiológicos y las enfermedades, esta última resultando muy perjudicial para los productores porque hay algunas de las enfermedades que no se detectan a tiempo solo cuando es la cosecha o están maduros, lo cual repercute en la distribución y comercialización del fruto y la aplicación de productos químicos no resulta efectivo para su eliminación, ocasionando serias pérdidas de la fruta en términos de cantidad y calidad.



Tabla 6. Desórdenes fisiológicos más frecuentes en aguacate.

Desorden fisiológico	Causa	Síntoma
 <p>Oscurecimiento de las haces vasculares</p>	<p>Elevación de Ca⁺ Mg⁺ K en el suelo.</p>	<p>Su presencia aumenta en suelos de textura ligera (arenosos) y altamente lixiviados; así como la aplicación excesiva de Nitrógeno que puede incrementarlo.</p>
 <p>Pulpa gris y mancha de la pulpa.</p>	<p>Aguacates expuestos a 3-5 ° C (37-41°F)</p>	<p>Oscurecimiento interno de la pulpa (pulpa grisácea, pulpa manchada, pardeamiento de los haces vasculares), problemas para madurar y aumento de la susceptibilidad al ataque de microorganismos patógenos.</p>
 <p>Daño por frío.</p>	<p>De 0 –2 °C por más de 7 días.</p>	<p>El síntoma más común de daño por frío en aguacate es una decoloración café grisácea en la pulpa, especialmente en el tejido vascular, una maduración anormal, un picado, encafecimiento tipo escaldado y oscurecimiento de la cáscara y desarrollo de sabores y olores desagradables</p>
 <p>Deficiencia o exceso de nutrimentos</p>	<p>Deficiencias crónicas de B o de Zn</p>	<p>Durante las etapas tempranas de crecimiento del fruto, pueden causar deformación y pueden resultar en una tasa elevada de rechazo a momento de la cosecha.</p>

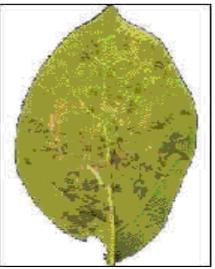
Fuente: Salazar (2007); FAO (2003); Yahia e Higuera (1992).



ANTECEDENTES

Dentro de las enfermedades más comunes en el fruto del aguacate se encuentran:

Tabla 7. Enfermedades más comunes del aguacate:

Nombre	Agente Causal	Consecuencias	Tratamiento
 <p>Pudrición de la raíz o marchitez del aguacate.</p>	<i>Phytophthora cinnamomi rands</i>	Amarillamiento de las hojas, las nuevas hojas brotan acucharadas y de color verde claro, al evolucionar la enfermedad el árbol muestra marchitez, las raíces se vuelven color oscuro y quebradizas, la producción disminuye en calidad y cantidad hasta desaparecer.	Buen drenaje, sembrar semilla certificada y tratada con agua caliente a 48°C y proveniente de semilleros desinfectados, evitar intercalar el cultivo con cultivos susceptibles al hongo (cítricos, frutales), eliminación total (de raíz) de árboles afectados, se puede aplicar fungicidas como clorotalonil, mancozeb, metalaxil tanto al suelo como al follaje.
 <p>Mancha negra o cercóspora</p>	<i>(Cercospora purpura Cooke)</i>	Ataca a las hojas y produce pequeñas lesiones de color marrón oscuro, puede causar su caída, en los frutos produce lesiones pequeñas y resquebrajamiento de la corteza, dichas lesiones facilitan la entrada de patógenos como <i>Colletotrichum</i> .	Aspersiones con fungicidas a base de cobre como oxiclورو de cobre, hidróxido de cobre o sulfato de cobre, ya sean solos o mezclados con otros como clorotalonil, benomilo, etc.
 <p>Mildiu polvoso</p>	<i>(Oidium sp)</i>	Inicialmente hay presencia de micelio blanco o grisáceo sobre las hojas y racimos de flores tiernas, las hojas se arrugan y deforman, produce quema y caída de frutos pequeños y flores y por las lesiones ingresan otros patógenos.	Usar dinocap, preparados de azufre, las atomizaciones deben hacerse antes y después de la floración, a intervalos de 8 a 15 días de acuerdo a la intensidad del ataque.



ANTECEDENTES

 <p>Mancha negra o Atracnosis</p>	<p>(<i>Colletotrichum gloesporioides</i>)</p>	<p>El hongo infecta el fruto durante el periodo de desarrollo en el campo permaneciendo latente mientras el fruto tenga una consistencia dura. Durante la maduración del fruto la infección se extiende hacia la pulpa causando coloración oscura, con aparición de manchas circulares sobre el fruto y el centro de estas puede hundirse o agrietarse.</p>	<p>Fungicidas cúpricos que pueden controlar al hongo si se aplican en yema hinchada. Los fungicidas kocifol MCW, sulfato de cobre, hidróxido de cobre, maneb, entre otros dan buen resultado.</p>
 <p>Maya y Fusariosis</p>		<p>El follaje se seca homogéneamente, permaneciendo adherido a las ramas.</p>	<p>Destruir troncos viejos en descomposición, evitar acumulación de tierra y materia orgánica sobre el tallo, evitar heridas en tallos y raíces, quitar y quemar en el mismo lugar árboles infectados, desinfectar los hoyos con PCNB 75% en una concentración de 10 g / l y proporcionar buen drenaje al terreno.</p>
 <p>Anillameinto del pedicelio</p>		<p>La formación sobre el pedúnculo de un anillo color café rojizo en el lugar de la unión abarcando un tamaño desde 2 mm hasta 2 cm, con una zona seca y descortezada. Generalmente el fruto tiende a tomar forma redonda y una coloración púrpura en el pericarpio, en el caso de la cáscara este muestra una coloración oscura.</p>	<p>Aspersión de fungicidas</p>

Fuente: Téliz, 2000); INFOAGRO (2006).



1.9 Antracnosis en aguacate.

1.9.1 Importancia.

La antracnosis es una enfermedad endémica (se presenta cada año), que daña la apariencia del fruto y causa problemas en su comercialización. La enfermedad se ha observado con alta incidencia en el estado de Michoacán sobre la variedad 'Hass', México, Morelos y Guanajuato (Téliz, 2003).

Reino: *Fungi*
Filum: *Deuteromycota*
Clase: *Coleomycetos*
Orden: *Melanconiales.*
Familia: *Melanconiaceae*
Genero: *Colletotrichum*
Especie: *gloesporioides*



Fuente: Yousef-Carlstrom (2003).

El principal daño del fruto se da en la huerta, en el transporte, almacén o mercado. El hongo infecta a los frutos, durante el periodo de desarrollo en el campo, permaneciendo latente mientras el fruto tenga una consistencia dura. Una vez que el fruto inicia su ablandamiento el hongo invade la cáscara y la pulpa causando su pudrición.

Todas las Melanconiales están agrupadas en una sola familia-forma, las Melanconiáceas. Muchos de sus representantes son parásitos de plantas y causan un grupo de enfermedades denominadas antracnosis (Alexopolus, 1985).

1.9.2 Organismo causal.

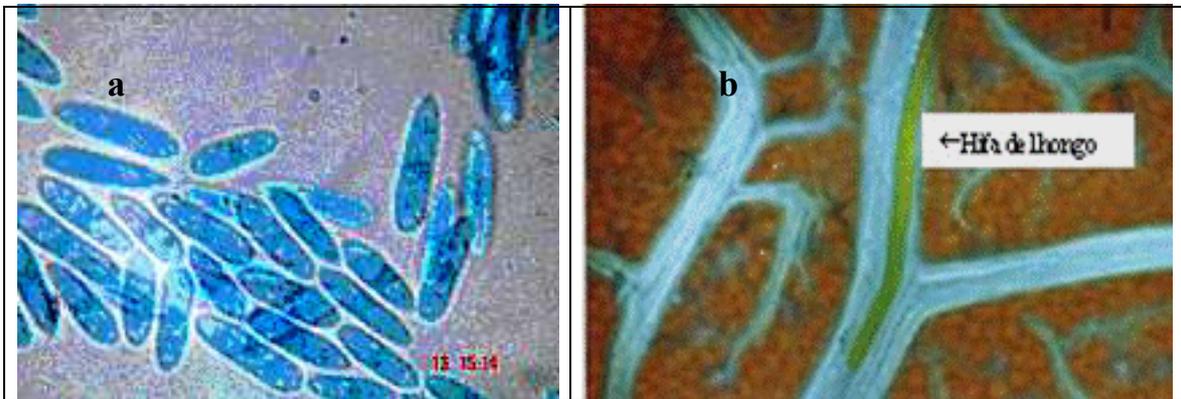
La antracnosis es causada por el hongo *Colletotrichum gloesporioides* (Penz.); que en su forma sexual corresponde a *Glomerella cingulata* (Stonem.). Uno de los géneros-forma que se encuentran con mayor frecuencia en las Melanconiales es el genero *Colletotrichum*. Existen formas especiales de *Colletotrichum* y *Gloesporium* causando antracnosis. Hasta el año de 1992 existían 9000 especies asignadas a *Colletotrichum* y cerca de 600 especies descritas para *C. gloesporioides* basándose en criterios culturales y morfológicos (Díaz, 2002).



1.9.3 Morfología.

Las colonias de *C. gloesporioides* son variables, de blanco grisáceo a gris oscuro, al reverso del color blanco a gris oscureciéndose especialmente con la edad. Micelio aéreo liso y fieltro o en mechón asociado con conidióforos. Conidios formados en masas de color salmón, su tamaño varía de 12-17 x 3.5-6.0 μm y de 16 a 18 μm de largo por 4 a 6 μm de ancho (Pluetz *et al.*, 1994).

El género *Colletotrichum* produce conidios típicamente alargados, hialinos, con extremos redondeados (Figura 13). Los conidios que son mas estrechos en la parte central que en los extremos (Martínez, 1998).



Figuras 13: a) Conidios de *C. gloesporioides* b) hifas del hongo *C. gloesporioides*

Fuentes: CENIAP, (2005) y Farrera *et al.*, (2007).

1.9.4 Sintomatología.

La enfermedad se observa en los frutos después de la cosecha. Apareciendo manchas circulares en el fruto, el centro de estas manchas puede hundirse ligeramente y agrietarse (Figura 14).



Figura 14. Daño en aguacate por hongo *C. gloesporioides*.

Fuente: INFOAGRO, (2006).



Con humedad alta, el centro de las manchas muestra un polvo y granos de color rosa, que son las esporas del hongo. Durante la maduración del fruto la infección se extiende hacia la pulpa y causa una coloración oscura (Figura 15). Durante el transporte o almacenamiento se desarrollan manchas oscuras que al fusionarse cubren áreas extensas; la infección ocurre generalmente en la floración pero se manifiesta hasta después de la cosecha (Téliz, 2000).

En lugares con mucha humedad se presentan hojas en forma de manchas de color café claro, también pueden llegar a presentarse necrosis café-oxidada que se inicia en el margen, posteriormente las hojas se caen.



Figura 15. Lesiones en fruto de aguacate por antracnosis.

Fuente: INFOAGRO, (2006).

1.9.5 Ciclo de vida.

La fuente de inóculo primario del hongo son los frutos momificados que se encuentran adheridos a las ramas o tirados en el suelo, la hojarasca y las ramas secas que se encuentran en el suelo adheridas al árbol, donde se forma la fase teleomorfa (sexual) del hongo (*Glomerella cingulata*) encontrándose peritecios con ascas y ascosporas a condiciones del 80% H.R y de 18 a 26° C ocasiona lesiones en cualquier parte de los órganos (ramas, hojas, flores, frutos), en donde se desarrolla la parte anamorfa (asexual) del hongo *Colletotrichum gloesporioides* (Téliz, 2000).

Los conidios que son estructuras asexuales inician lesiones secundarias y se reproducen cada 15 días. Los brotes se desarrollan a partir del mes de julio y son infectados por el hongo, coincidiendo así con la madurez fisiológica de la fruta con la floración y cuajado de la fruta loca, así como una nueva brotación vegetativa que presenta infecciones.



1.9.6 Control cultural y químico.

Como control cultural se tiene:

- Podar ramas secas e improductivas.
- Aclarar huertas sobrepobladas, para reducir humedad ambiental.

Como control químico:

- Fungicidas cúpricos que se aplican en yema hinchada.
- Kocifol MCW, oxiclورو de cobre, sulfato de cobre, hidróxido de cobre, thiabendazol, captan, zineb, entre otros (Téliz, 2000).

1.10 Tratamientos postcosecha aplicados al aguacate.

El nivel perecedero de frutas y hortalizas; aunado al mal manejo postcosecha y uso de tecnologías de almacenamiento y acondicionamiento inadecuadas, provoca elevadas pérdidas de la calidad durante su comercialización y distribución en los mercados. Pero en los últimos años se han desarrollado nuevas tecnologías postcosecha, que en conjunto con buenas prácticas de manejo del producto, permiten reducir las pérdidas por alteraciones fisiológicas, daños mecánicos y ataques de fitopatógenos; este último causando en los frutos de aguacate importantes pérdidas que llegan a un 75%.

Los tratamientos que utilizan atmósferas modificadas, controladas, temperaturas de acondicionamiento, encerado, baja presión, choque térmico y otros, son ampliamente usados para conservar la calidad y reducir diferentes desórdenes durante el almacenamiento; sin embargo en algunos casos se limita el uso por el tiempo requerido para el tratamiento y los daños que puede provocar en la calidad organoléptica del fruto (González-Aguilar *et al.*, 2005a).

Debido a ello se han desarrollado nuevas tecnologías que presenten cortos tiempos de aplicación, como una nueva alternativa para mantener la calidad de los frutos en estado fresco (Tabla 8).



Tabla 8: Tratamientos aplicados al aguacate para su conservación.

Tratamiento	Condición	Efecto	Control
AM (Atmósferas modificadas)	Aplicación de vacío con película Vacum-300.	Reduce pérdida fisiológica de peso.	Ayuda a prolongar vida de anaquel.
Microondas	Frecuencias de 2450 y 915 MHz de 10-70 s.	Rapidez y uniformidad en el tratamiento sin pérdida de componentes nutricionales.	Conservación del color original. Inactivación de PPO.
Intercambiador de superficie raspada (ICSR)	85° C X 4 min 73° C x 10 min		Mantiene pH y color. Desactivación de PPO.
Altas presiones HHP	21° C a 5%.	Evita desarrollo de m. o e insectos.	Modifica mecanismos de maduración y senescencia.
Radiaciones Gamma	Cobalto 60 0-100 KGy.	Incrementa sensibilidad y daña apariencia externa.	Aumenta contenido de proteína y sabor.



Tabla 8: Tratamientos aplicados al aguacate para su conservación, continuación.

Tratamiento	Condición	Efecto	Control
Agua caliente/ Vapor	46-55° C x 10-13 min.	Disminuye color de pulpa.	Mayor firmeza. Mayor tiempo de vida de anaquel. Disminuye pudrición por hongos como en C. gloesporioides.
Químico	B- tocoferol Ac. L-ascórbico Butilhidroxi-tolueno	Inhiben o retrasan la oxidación de otras moléculas	Retrasan degradación oxidativa de lípidos y mejoran calidad y valor nutricional.
Biológicos	Amicus-L .	Reducción de pudriciones y efecto antifúngico.	Inhibe C. gloesporioides.
Calor por Inmersión	Baño termostático de 50-55° C x 3-5 min.	Causaron suberificación de lenticelas y manchas marrones en piel.	Disminución de frutos podridos.
Enfriamiento rápido	Refrigeración ultra rápida por inmersión a 2.5 °C hasta alcanzar 3°C.	No hay diferencias.	Disminuye incidencia de pudrición en pedúnculo.
Película comestible	Inmersión en metil celulosa x 1 min a 20 °C, y secado por 10 min.	Retarda la maduración, alarga proceso de respiración.	Incrementa el tiempo de vida.

Fuente: Maftoonszad y Ramaswamy (2004); Hermoso y Farré (2003); Arévalo *et al.*, (2002).



1.10.1 Irradiación.

Su definición es la emisión y propagación de energía a través del espacio o de un medio material en forma de ondas (Satin, 1992).

La irradiación de alimentos es un método físico de conservación, comparable a otros que utilizan el calor o el frío. Consiste en exponer el producto a la acción de las radiaciones (radiación capaz de transformar moléculas y átomos en iones, quitando electrones) durante un cierto lapso, que es proporcional a la cantidad de energía que deseemos que el alimento absorba. Esta cantidad de energía por unidad de masa de producto se define como dosis, y su unidad es el Gray (Gy), que es la absorción de un Joule de energía por kilo de masa irradiada: 1000 Grays = 1 kilo Gray (Nutrinfo, 2000).

El espectro electromagnético presenta la totalidad del rango de frecuencias o longitudes de onda de la irradiación electromagnética (figura 16).

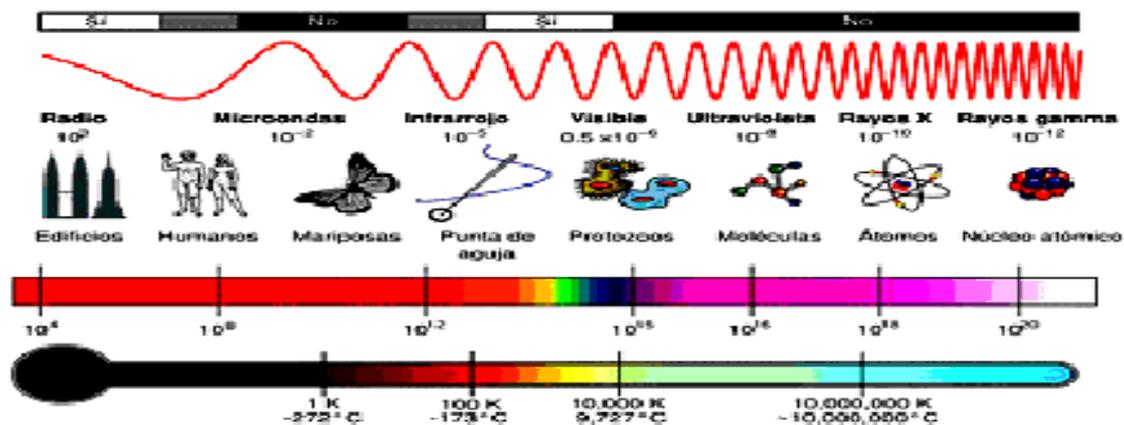


Figura 16. Espectro electromagnético.

Fuente: Wikipedia (2008).

Las aplicaciones de irradiación de alimentos pertenecen a cualquiera de los dos tipos básicos:

- Prevención de pérdidas de alimentos.
- Descontaminación microbiológica de los productos alimentarios o la inactivación de los parásitos humanos soportados por los alimentos.

La irradiación de los alimentos ha sido identificada como una tecnología segura para reducir el riesgo de ETA (Enfermedades Transmitidas por Alimentos), en la producción,



procesamiento, manipulación y preparación de alimentos de alta calidad. Es a su vez, una herramienta que sirve como complemento a otros métodos para garantizar la seguridad y aumentar la vida en anaquel de los alimentos. Cuenta con la aprobación de importantes organismos internacionales, la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización Internacional de Energía Atómica (IAEA).

Entre los beneficios que presenta la irradiación se encuentran:

- La irradiación es el tratamiento más rápido disponible.
- La velocidad del tratamiento es independiente del tamaño de la fruta.
- Reducción de la población microbiana.
- Prolongación de la vida útil de frutas y vegetales mediante la inhibición de la germinación.
- Prorrogar los plazos de conservación de productos frescos, mediante la destrucción de microorganismos que dan lugar a su descomposición.
- Los alimentos no son sometidos a la acción del calor y por lo tanto sus características organolépticas apenas si se modifican.
- Las necesidades energéticas del proceso son muy bajas.
- El proceso puede controlarse automáticamente y requiere poca mano de obra.

(Molins, 2004; Satin, 1992; Ramírez, 2002; Bande, 1990).

Existen dos tipos de irradiación : irradiación ionizante y no ionizante :

Irradiación ionizante.

Es una emanación de fotones con la energía suficiente para desplazar electrones de las moléculas sobre las que incide. Este tipo de irradiación se caracteriza por poseer un alto contenido de energía, gran poder de penetración y acción letal debida a su liberación a nivel molecular, como rayos alfa, rayos gamma y rayos x.

Para la aplicación de esta irradiación se utilizan 2 fuentes de energía ionizante :

- Rayos gamma de Cobalto radioactivo ^{60}Co .
- Rayos gamma de Cobalto radioactivo ^{137}Cs .



Irradiación no ionizante.

Es una onda o partícula que no es capaz de arrancar electrones de la materia que ilumina produciendo sólo excitaciones electrónicas. La luz visible está en este rango, por lo que es el menos dañino para los humanos, como microondas, infrarrojo, ultravioleta (CENIAP, 2009).

Entre las aplicaciones más importantes de este tipo de irradiación está la destrucción o reproducción de microorganismos mediante el daño que realiza sobre el material genético. El daño al material genético tiene lugar como resultado de una colisión directa entre la energía radiante y el material genético, la vida y reproducción depende de sus ácidos nucleicos, ADN (ácido desoxirribonucleico) y ARN (ácido ribonucleico); debido a que son macromoléculas grandes y complicadas son muy sensibles a la ionización, los leves cambios que origina son suficientes para impedir su crecimiento y reproducción; porque la doble hélice de ADN es incapaz de desplegarse impidiendo la duplicación celular (Molins, 2004; Satin, 1992).

1.10.1.1 Irradiación UV.

La radiación solar ultravioleta o radiación UV es una parte de la energía radiante del sol, se transmite en forma de ondas electromagnéticas y su longitud de onda fluctúa entre 100 y 400 nm. Estas ondas son absorbidas por la parte más alta de la atmósfera, especialmente por la capa de ozono (SMA, 2009).

La radiación UV se clasifica con relación a su comportamiento en la atmósfera terrestre en tres sub-bandas: UV-A, UV-B Y UV-C.

- **UV-A:** banda de 315-400 nm, es la más cercana al espectro visible, la que llega en mayor proporción y no es absorbida por el ozono.
- **UV-B:** banda de 280-315 nm, es absorbida casi totalmente por el ozono. Es un tipo de radiación energética y dañina, especialmente para el ADN.
- **UV-C:** su longitud de onda fluctúa entre los 100-280 nm, constituye la fracción más energética y la más letal de las UV para todas las formas de vida (rayos X, rayos gamma y rayos cósmicos) es absorbido absolutamente por el ozono y el oxígeno.



1.10.1.1.2 Irradiación UV-C.

La irradiación de alimentos ha sido estudiada por más de 50 años y esta aprobada por más de 40 países; así como que cuenta con la probación de la OMS (Organización Mundial de la Salud), FAO (Organización para la Alimentación y la Agricultura) y la IAEA (Organización Internacional de Energía atómica).



Figura 17. Símbolo de alimento irradiado.

Fuente: NTA (2007).

La irradiación de los alimentos ha sido identificada como una tecnología segura para reducir el efecto de ETA (enfermedades transmitidas por alimentos) y una de las aplicaciones es la luz ultravioleta C (UV-C); la cual es una radiación no ionizante con una longitud de onda de 100 a 280 nm; tiene un pico de emisión a 254 nm donde presenta la mayor acción germicida, por lo cual se ha estudiado en varios tejidos vegetales, la cual es su mayor aplicación en alimentos (Rivera *et al.*, 2007).

Las ventajas que presenta este tipo de aplicación son:

- Tratamiento alternativo para preservar frutas y verduras.
- No deja residuos.
- No afecta las características sensoriales (aroma y sabor).
- No produce alteraciones o favorece los procesos de deterioro del producto.



1.10.1.1.3 Aplicaciones.

El efecto germicida de la irradiación UV-C se emplea en diferentes alimentos como un método de desinfección superficial a temperatura ambiente que no deja residuos en el producto, por lo que es considerado una buena alternativa para la conservación de los alimentos, además, es de bajo costo y fácil aplicación (Tecnologías asociadas, 2008).

En función de la intensidad y longitud de onda, la irradiación UV puede inducir un estrés biológico en plantas y activar mecanismos de defensa en tejidos vegetales.

Alguno de los efectos benéficos atribuidos a la irradiación UV-C son (Rivera *et al.*, 2007):

- Inducción de mecanismos de defensa (síntesis de fitoalexinas), las cuales están relacionadas positivamente con las resistencia a diferentes patógenos y con la reducción de desórdenes fisiológicos que ocurren durante el almacenamiento en frío.
- Capacidad de mejoramiento de las propiedades nutraceuticas, debido al incremento en los compuestos bioactivos con capacidad antioxidante.
- Inactivación de enzimas relacionadas con los procesos de maduración y senescencia.
- Retraso de la maduración y senescencia.

Inactivación de microorganismos.

Se utiliza como una alternativa para la esterilización química, porque reduce el crecimiento de microorganismos en superficies inertes y en frutos (González- Aguilar *et al.*, 2005 a).

La aplicación de irradiación UV-C en frutas y hortalizas ha resultado un sistema efectivo para prolongar la vida útil de los productos por ser letal para la mayoría de los microorganismos, donde la velocidad de mortalidad varía entre patógenos, dosis aplicadas y tiempos de exposición; ha controlado en fresa la pudrición por *Botrytis cinérea*, pudrición en durazno por *Monilia fructicola*, *Penicillium* en mandarina, reducción de deterioro por *Erwinia* en tomates inoculados; entre otros (Rivera *et al.*, 2007).

Algunos reportes sugieren que la composición química y ordenamiento estructural propia del alimento, representa un papel importante en el daño causado por la irradiación UV-C en el ADN de los microorganismos, ya que dosis similares de UV-C tiene efectos



diferentes en el crecimiento de una misma especie microbiana, debido a esto es importante evaluar el tratamiento en los frutos de aguacate para establecer las condiciones óptimas de aplicación y posibles cambios de calidad.

Retraso de maduración y senescencia.

Se ha reportado que los tratamientos de irradiación UV-C en manzana y durazno han retrasado el proceso de maduración, el cual está relacionado a una mayor resistencia al deterioro, en tomate se ha logrado una mayor firmeza por reducción de las enzimas de la degradación de pared celular como poligalacturonasa, pectin metilesterasa, celulasa, etc (Rivera *et al.*, 2007).

Cambios en membrana y pared celular.

La pared y membrana celular son organelos blanco de a irradiación UV-C, ya que los componentes de la membrana (fosfolípidos y glicolípidos) y de pared (proteínas y ligninas) absorben energía en el rango ultravioleta; mientras que la irradiación genera especies reactivas de oxígeno que causan estrés oxidativo y afectan la estabilidad de la pared y la membrana celular y como respuesta a este efecto se involucra el aumento o activación de compuestos antioxidantes y la inactivación de enzimas. Aunque la sensibilidad de los tejidos al tratamiento con UV-C difiere en la función del genotipo, este tratamiento se ha estudiado como un tratamiento alternativo reciente para la preservación de frutas y hortalizas, como es en fresa, manzana, mango, durazno, nectarina, limón, entre otros (Rivera *et al.*, 2007).

La irradiación ultravioleta C se emplea como desinfectante de frutos y hortalizas frescos y al tomar en cuenta algunas respuestas naturales de defensa inducidas por la irradiación proporcionan un valor agregado al alimento.

El tratamiento de irradiación UV-C puede considerarse como una herramienta complementaria a la refrigeración y envasado para preservar la calidad organoléptica y nutricional y aumentar su comercialización.

OBJETIVOS





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.



2. OBJETIVOS

Objetivo General.-

Estudiar el efecto de tratamientos por irradiación UV-C en el control de la antracnosis en aguacate variedad 'Hass'; que permita alargar la vida útil y preservar la calidad del fruto.

Objetivo Particular 1.-

Realizar el aislamiento y caracterización del hongo *C. gloesporioides* del aguacate causante de la antracnosis en el fruto.

Objetivo Particular 2.-

Establecer el mejor método de inoculación del hongo *C. gloesporioides* en el aguacate variedad 'Hass' que permita contar con lotes de frutos con síntomas de antracnosis.

Objetivo Particular 3.-

Seleccionar los tiempos de exposición a las irradiaciones UV-C que ayuden a la inactivación del hongo *C. gloesporioides* y no dañen la calidad del aguacate.

Objetivo particular 4.-

Evaluar los efectos provocados por la irradiación UV-C en el control de la antracnosis y la calidad del aguacate (pH, acidez, firmeza, color, pérdida de peso).

Objetivo Particular 5.-

Relacionar los cambios en las enzimas PPO (Polifenoloxidas) y POD (Peroxidas) con la disminución de los síntomas de antracnosis en aguacate irradiados por UV-C.

Objetivo Particular 6.-

Identificar el efecto de los fenoles presentes en la piel del aguacate variedad 'Hass' en la inhibición del crecimiento del hongo *C. gloesporioides* a partir de pruebas *in vitro*.

MATERIALES Y MÉTODOS





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

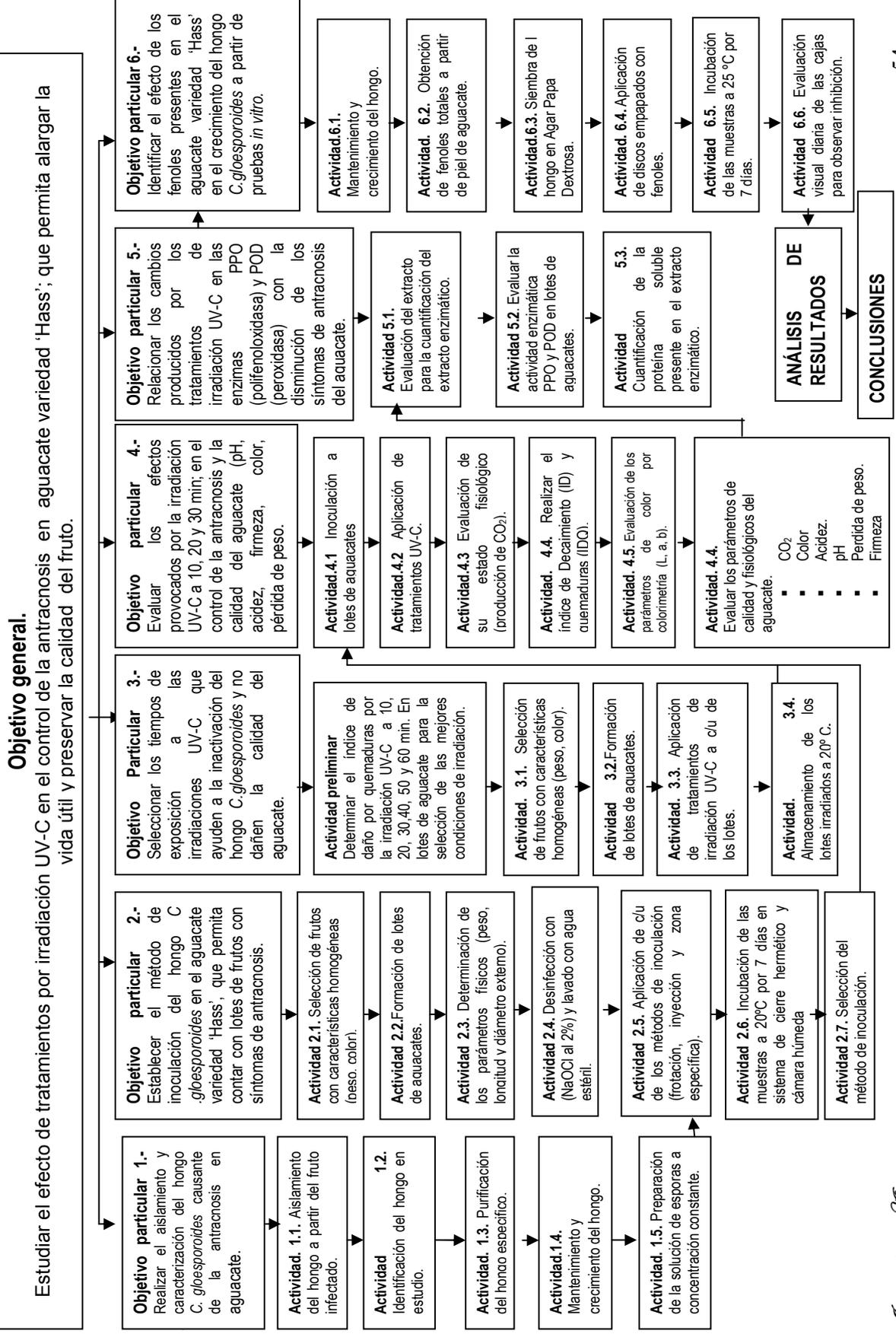
DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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.



3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL
3.1. Cuadro metodológico.





3.2 Material biológico.

Se emplearon aguacates variedad “Hass” adquiridos en la Central de abastos de la Ciudad de México, provenientes del estado de Michoacán en etapa preclimática y se transportaron en huacales de madera envueltos en papel de estraza al Laboratorio de Postcosecha de Productos Vegetales del Centro de Asimilación Tecnológica de la UNAM para su estudio (figura 18).



Figura 18. Aguacates variedad ‘Hass’.

3.3 Tratamiento de la muestras.

Para contar con lotes de frutos con características homogéneas se seleccionaron frutos en base al tamaño (diámetro longitudinal y ecuatorial) color, peso y sin evidencia de daños mecánicos, por insectos o enfermedades y con el mismo grado de desarrollo.

Los frutos se lavaron con agua para eliminar la suciedad y fueron secados con corrientes de aire, posteriormente fueron enumerados para facilitar su manipulación. Los frutos seleccionados se distribuyeron en 5 lotes de 22 frutos de aguacate cada uno.



3.4 Caracterización física, química y fisiológica del aguacate.

Para la evaluación de las características físicas, químicas y fisiológicas se utilizaron frutos en estado de madurez comercial a temperatura ambiente, a los cuales se les determinó los parámetros de calidad como son: pH, acidez titulable, textura, color; así como sus características químicas: proteína, grasa, cenizas totales y contenido de humedad. Las evaluaciones de los distintos parámetros se realizaron de acuerdo a las técnicas descritas en el apartado 3.11.

3.5 Selección del sistema de tratamiento por irradiación UV-C.

Para realizar los tratamientos por radiación UV-C se utilizó una cámara de 80 cm x 100 cm x 80 cm forrada en su interior con papel aluminio para una mayor efectividad del tratamiento. La cámara está provista de 2 lámparas germicidas (marca Sankyo Denki Modelo G15 T8) de 15 watts (figura 19). La radiación emitida por este tipo de lámparas representa alrededor del 82 % dentro de la región del UV-C; con longitud de onda de 250-280 nm (Erkan *et al.*, 2000). Dentro del espectro electromagnético la región de la irradiación UV-C se encuentra en la longitud de onda entre 100-280 nm (INM, 2006).



Figura 19. Interior de la cámara de irradiación UV-C.

Como medida de seguridad al realizar los tratamientos se utilizó una máscara industrial de policarbonato con filtros para gases y guantes (figura 20); se evitó el contacto con la luz UV-C, apagando la lámpara antes y después de abrir y cerrar la puerta.



Figura 20. Equipo de seguridad.

3.6 Establecimiento de las condiciones de irradiación UV-C.

Para la selección de los tiempos de irradiación ultravioleta (UV-C) se realizó un experimento previo para determinar cuales son las condiciones que no dañan al fruto, alarguen el tiempo de vida útil y controlen la antracnosis.

Para establecer las condiciones del tratamiento se realizaron 7 lotes de 12 aguacates cada uno y se realizaron pruebas de irradiación UV-C de acuerdo a las siguientes condiciones: 10, 20, 30, 40, 50 y 60 minutos y un lote sin tratamiento como control, los lotes fueron seleccionados, lavados, secados y enumerados, posteriormente fueron colocados en una superficie plana a una distancia de 15 cm entre cada lámpara (figura 21).

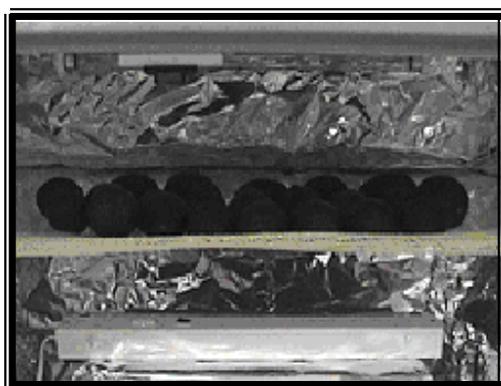


Figura 21. Colocación de frutos de aguacate dentro de la cámara UV-C.



Al concluir los tratamientos los frutos fueron colocados en una campana de extracción de gases para remover el ozono que puede ser generado durante la irradiación (Gonzalez-Aguilar *et al.*, 2004).

Posteriormente los lotes de aguacate fueron almacenados a 20 ± 1 °C y HR de 90 ± 5 % para ser observados durante 10 días y seleccionar las condiciones adecuadas para los tratamientos.

En cada uno de los tiempos de irradiación se procedió a evaluar la respiración y se tomaron muestras a lo largo del proceso de maduración para poder evaluar los parámetros de calidad (pH, acidez, color, firmeza), descritas en el apartado 3.11.2.

Los tiempos seleccionados fueron aquellos que no provocaron quemaduras de manera evidente en la superficie del fruto.

3.7 Efecto de los tratamientos UV-C en el control de antracnosis.

3.7.1. Aislamiento, purificación e identificación del hongo *C. gloesporioides*.

Para poder evaluar la aplicación de los tratamientos de irradiación UV-C en el control de antracnosis en aguacate se requiere aislar, purificar e identificar la cepa del hongo en estudio.

3.7.2. Aislamiento del hongo.

Para realizar el aislamiento del hongo *Colletotrichum gloesporioides* se adquirieron frutos (mango y aguacate) que presentaran síntomas de antracnosis como son: manchas negras y hundimientos en la superficie del fruto (figura 22).



Figura 22. Frutos con síntomas de antracnosis.



MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron cortes en las zonas del tejido enfermo de aproximadamente 1cm x 1cm con ayuda de un bisturí previamente flameado. Los cortes del tejido enfermo se sumergieron en una solución de NaOCl al 2% por un tiempo de 1 minuto y después en agua esterilizada para eliminar el exceso de NaOCl; esto con el fin de desinfectar superficialmente al tejido y disminuir el crecimiento de otros microorganismos (figura 23 y 24).



Figura 23. Corte del fruto.



Figura 24. Desinfección de los cortes.

Posteriormente se secaron en toallas estériles y se sembraron por el método de superficie (figura 25) en los medios de cultivo propuestos para su crecimiento que fueron: Agar Papa Dextrosa (PDA) y agar papa zanahoria (PZA) descritos en el anexo 1. Se incubaron a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ por un periodo de 7 días.

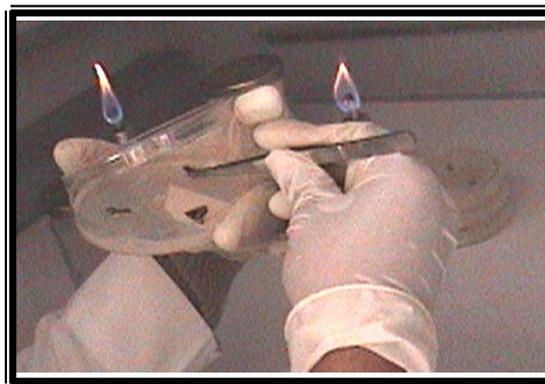


Figura 25. siembra en superficie.



3.7.3. Purificación del hongo.

A partir del aislamiento del hongo se procedió a realizar la purificación de las cepas que de acuerdo con la morfología correspondían al hongo causante de la antracnosis *C. gloesporioides*.

Para realizar la purificación con ayuda de una aguja de disección, se tomó una porción de la cepa obtenida a partir del aislamiento que presentará un micelio blanco y al fondo un color salmón (figura 26). Se realizó una siembra en tres puntos equidistantes de la caja por el método de superficie en medio agar papa dextrosa (PDA), al cual se le adicionaron previamente 50 mg de antibiótico Choramphenicol por cada 500 ml de Agar para evitar la contaminación de la cepa; así como ácido tartárico al 25% para ajustar el pH y se incubaron en foto periodo (12 horas de luz blanca y 12 horas de luz negra) a 25 °C por 7 días; para favorecer y estimular la esporulación del hongo.

Para realizar la identificación de las cepas obtenidas se observaron las características macroscópicas del hongo (figura 26), siguiendo las claves de Sutton (1980).

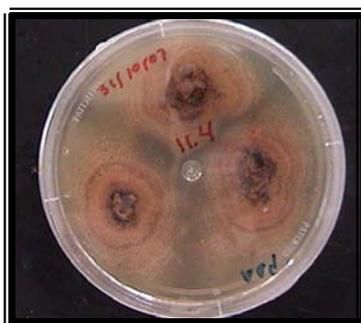


Figura 26. Ceba del hongo aislada.

3.7.4. Microcultivos.

Para realizar la identificación del hongo en estudio se realizaron microcultivos de las cepas aisladas de PDA; las cuales posteriormente se sembraron en agar avena.

Se cortaron pequeños cuadros al agar previamente solidificado de aproximadamente 1cm² con ayuda de un bisturí previamente flameado (figura 27a) y se colocaron sobre la superficie del agar, posteriormente se tomó una pequeña porción de la cepa con una aguja de disección y se sembró en las esquinas del bloque de agar (figura 27b y 27c) después con ayuda de pinzas estériles se tomó un cubreobjetos, se sumergió en alcohol,



MATERIALES Y MÉTODOS

se flameó, se dejó enfriar y se colocó sobre el bloque de agar previamente inoculado, se incubaron en foto periodo a 25 °C por 2 días.

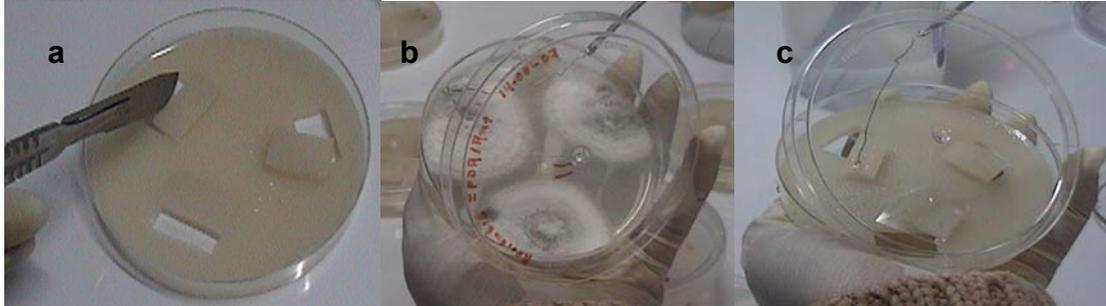


Figura 27. Preparación de microcultivos: a) bloques de agar, b) obtención de la cepa, c) siembra en bloques

Para la identificación del hongo, los cubreobjetos se colocaron sobre un portaobjetos, agregando previamente una gota de alcohol polivinílico y se observó al microscopio a 40x para verificar si existía la formación de apresorios (figura 28)..

El objetivo de realizar microcultivos fue propiciar la formación de apresorios que nos permitiera la identificación del hongo *Colletotrichum gloeosporioides* (figura 29).

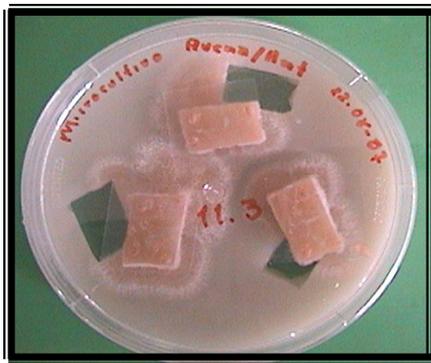


Figura 28. Microcultivos.

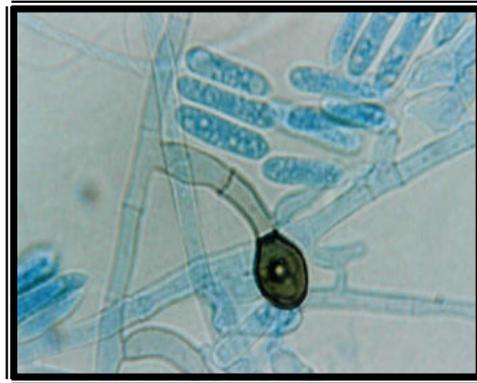


Figura 29. Fotografía microscópica del hongo.

3.8 Selección del método de inoculación.

Para la determinación del método de inoculación más eficaz se realizaron pruebas preliminares en frutos de aguacate para seleccionar cual de los tres métodos de inoculación (frotación, inyección y zona específica) a dos diferentes condiciones de almacenamiento (cámara húmeda y cierre hermético) desarrollaban mejor la



MATERIALES Y MÉTODOS

sintomatología de la antracnosis causada por el hongo *Colletotrichum gloesporioides*. Para ello se realizaron 8 lotes de 14 aguacates cada uno, acomodados de la siguiente manera:

Método de frotación (7 en cámara húmeda y 7 en cierre hermético), método de inyección (7 en cámara húmeda y 7 en cierre hermético), método de zona específica (7 en cámara húmeda y 7 en cierre hermético) y control (7 en cámara húmeda y 7 en cierre hermético).

Para la realización de esta etapa se seleccionaron los frutos, se lavaron, secaron y etiquetaron.

3.8.1 Preparación del inóculo.

Se realizó la siembra de las cepas previamente purificadas en Agar Papa Dextrosa (PDA) y se incubaron en foto periodo a 25 °C por 7 días, posteriormente se realizó la preparación de la solución de esporas.

Para la preparación de la solución de esporas se adicionaron 5 ml de tween al 0.5% (para reducir la tensión superficial del agua) sobre las cajas para arrastrar las esporas y con ayuda de un bisturí previamente flameado se raspó toda la superficie de las colonias filtrando el sobrenadante por medio de una gasa y un embudo, realizando este procedimiento en cada caja por duplicado (figura 30).



Figura 30. Preparación de solución de esporas.

A partir de la solución de esporas preparada se obtuvo la concentración, para esto se realizaron conteos en un hemacitómetro (figura 31), el cual está formado por 4 campos de dimensiones conocidas; al realizar los conteos se obtuvo la concentración de esporas por mililitro de la suspensión inicial.



MATERIALES Y MÉTODOS

Para realizar el conteo se colocó una gota de la solución de esporas en el centro del hemacitómetro y un cubreobjetos evitando la formación de burbujas y el derrame de la muestra, para posteriormente contar en el microscopio (figura 32).



Figura 31. Hemacitómetro.



Figura 32. Conteo en microscopio.

Para obtener la concentración deseada se realizaron diluciones con tween al 0.5% en la solución de esporas hasta obtener la concentración final que fue 1×10^6 esporas por mililitro (Ardi *et al.*, 1998); la cual se estableció mediante referencias bibliográficas.

3.8.2 Inoculación por el método de frotación.

El método por frotación se realizó con ayuda de una gasa previamente empapada de inóculo a la concentración deseada. Los frutos se pusieron en contacto con la solución esporas y se frotaron con la gasa en toda la superficie cuidando de no maltratarlo.

3.8.3 Inoculación por el método de inyección.

El método por inyección se realizó por medio de una jeringa estéril, tomando 1ml del inóculo e inyectando poco a poco en la zona del pedúnculo de los frutos dejando penetrar toda la solución en el fruto lentamente.

3.8.4 Inoculación por el método de zona específica.

Para el método por zona específica se realizó marcando una zona en el fruto y por medio de una jeringa estéril se tomó 1ml del inóculo y se dejó caer sobre la zona marcada hasta que penetró poco a poco.



3.9 Evaluación del efecto de tratamientos de irradiación UV-C en el control de antracnosis en aguacate.

Para evaluar la efectividad del tratamiento de irradiación en el control de antracnosis se formaron 5 lotes de 22 aguacates y se inocularon por el método de frotación a concentración de 1×10^6 conidios/ml almacenados en cámara húmeda e incubados por un periodo de 24 horas a 25 °C. Posteriormente se irradiaron a 10, 20 y 30 minutos respectivamente y cada día se evaluó el índice de decaimiento descrito en el apartado 3.11.2.5.

Para determinar el efecto del tratamiento en la fisiología y vida útil del fruto se evaluaron los parámetros de calidad en cada etapa de maduración (E₁: preclimaterio, E₂: inicio del climaterio, E₃: máximo climaterio y E₄: postclimaterio) como son: pH, acidez, color, CO₂, pérdida de peso, firmeza).

También se evaluó el efecto del tratamiento sobre la actividad PPO (Polifenoloxidasas) y POD (Peroxidasas) por medio de las técnicas descritas en el apartado 3.8.

3.10 Evaluación de los fenoles presentes en la piel de aguacate en el crecimiento del hongo *C. gloesporioides* a partir de pruebas *in vitro*.

3.10.1 Mantenimiento y crecimiento del hongo.

Para la realización de las pruebas *in vitro* se requirió mantener al hongo en estudio; se preparó agar papa-dextrosa (PDA) como medio de crecimiento para el hongo *C.gloesporioides* y se sembró de acuerdo al anexo 1; posteriormente se incubó en foto periodo durante 7 días a 25 °C hasta formar los apresorios.

3.10.2. Obtención de fenoles totales a partir de frutos de aguacate.

Consecutivamente se realizó la obtención de los fenoles totales utilizando el reactivo Folin-Ciocalteu (ácido fosfomolibdicosfotúgstico) de acuerdo al método descrito por Slinkard y Singleton (1977), con ligeras modificaciones, descrito en el apartado 3.11.5.

A partir de los extractos obtenidos se midió la absorbancia y se calcularon los mg de ácido gálico / g de peso fresco presentes en la muestra y se ajustaron las muestras a 3 concentraciones diferentes (23, 40 y 80 mg / ml), esto con el fin de conocer a que concentración se puede inhibir el crecimiento del hongo *C. gloesporioides* y se realizó



MATERIALES Y MÉTODOS

evaporando a baño maría hasta obtener los miligramos necesarios y aplicarlos en los bioensayos; así como una solución de ácido gálico a las mismas concentraciones; esto con el fin de poder utilizar un fenol sintético que sirviera como patrón y poder establecer las concentraciones de los extractos crudos del aguacate que ayuden a la inhibición del hongo.

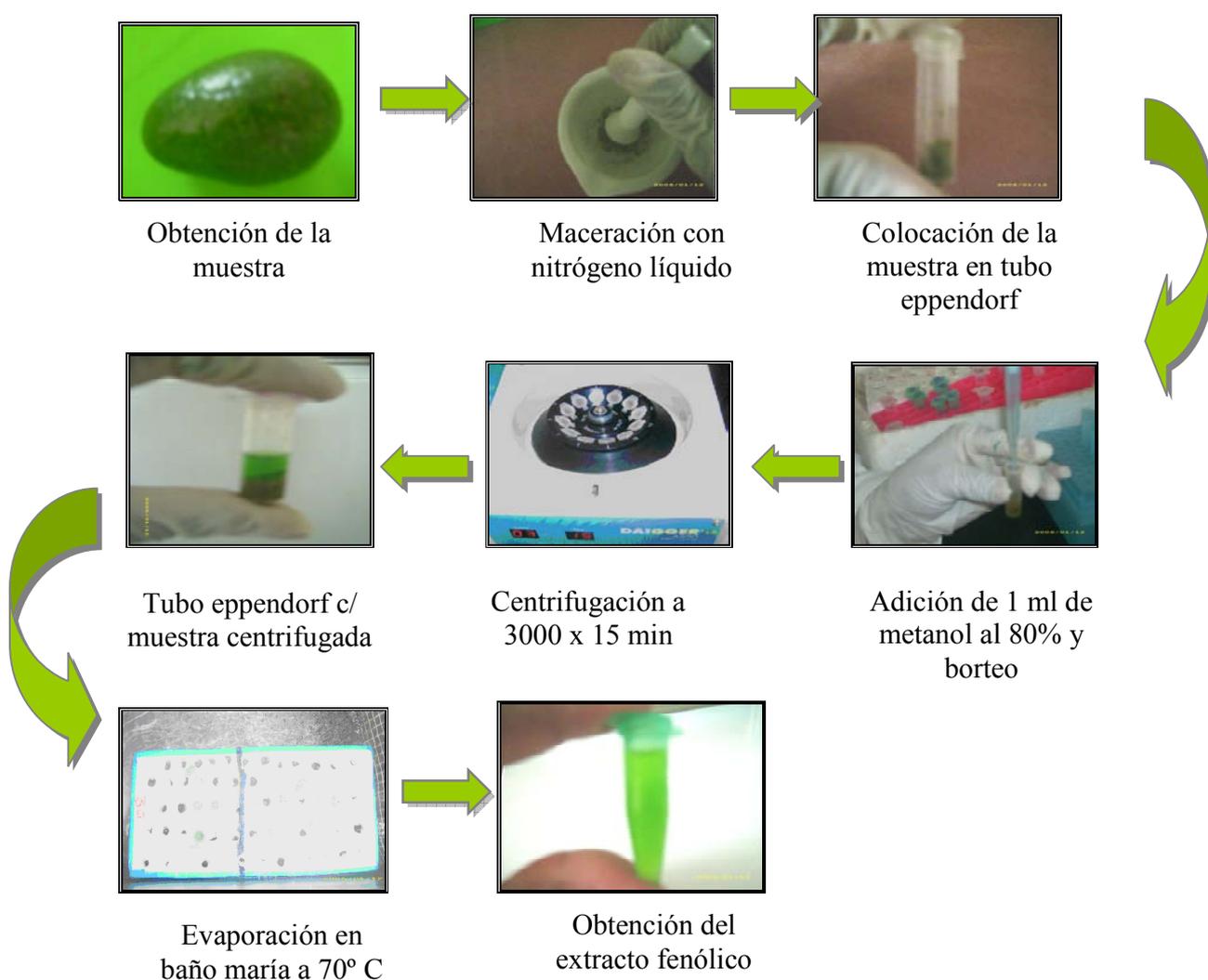


Figura 33. Preparación del extracto fenólico a partir de piel de aguacate.



3.10.3 Siembra y preparación de los bioensayos.

Después del periodo de incubación y la obtención de los fenoles totales se realizaron los bioensayos siguiendo el método utilizado por (Mendoza *et al.*, 2007) con ligeras modificaciones.

Para la preparación de los bioensayos se cortaron pequeños biodiscos de papel filtro, se colocaron en bolsas de papel estraza y se esterilizaron. Después por medio de un sacabocados, se extrajeron discos de 1.5 cm del cultivo puro y se trasladaron a nuevas cajas con PDA, las cuales se prepararon previamente para ser utilizadas como medio de aislamiento del cultivo puro del hongo *C. gloesporioides*, posteriormente se colocaron los biodiscos en diferentes cajas petri estériles para incorporarles a cada uno 100 μ l del extracto fenólico a las diferentes concentraciones.

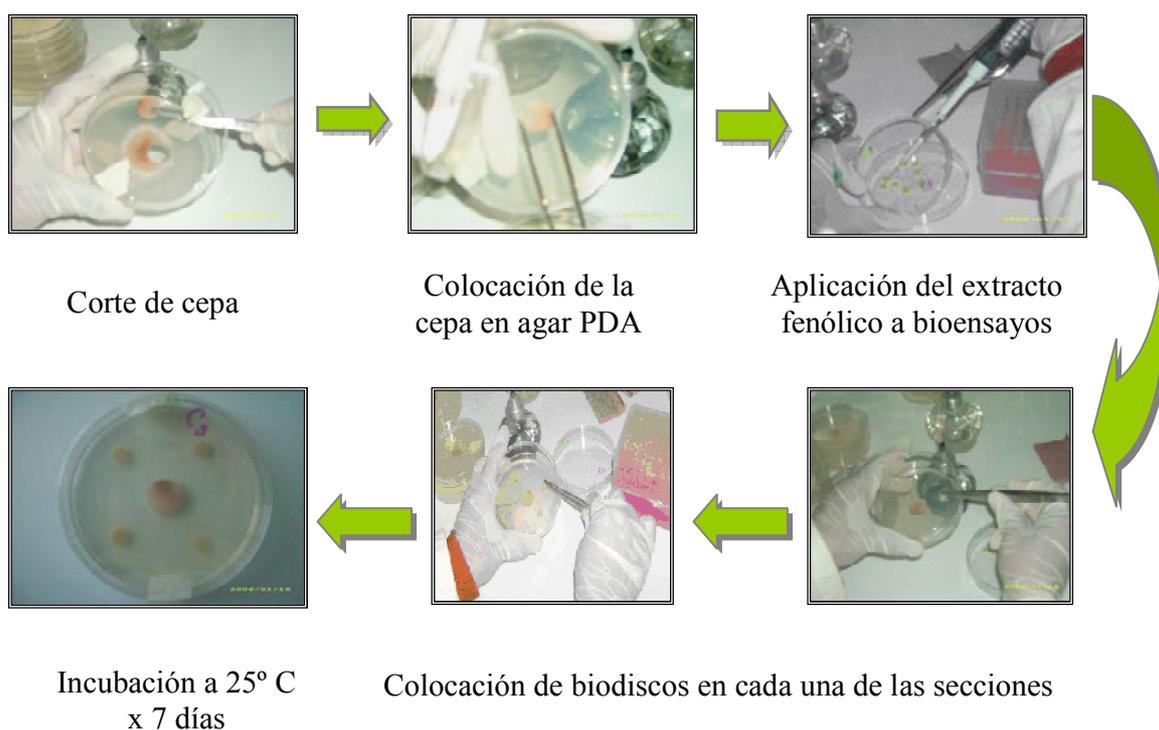


Figura 34. Bioensayo para establecer el efecto del extracto fenólico en la inhibición del crecimiento de *C. gloesporioides*.



En las cajas petri con el cultivo de *C. gloesporioides* activado, se delimitaron 4 secciones; en cada una de estas se colocó un disco de papel filtro estéril previamente empapado del extracto fenólico. Se realizaron tres repeticiones para cada una de las concentraciones propuestas; así como un control para cada una de las mismas. Los cultivos se incubaron durante 7 días es foto periodo (12 horas de luz blanca y 12 horas de luz negra) a 25°C, realizando una evaluación visual diaria de la actividad del extracto sobre el hongo en estudio.

3.11 Métodos Analíticos.

3.11.1 Parámetros químicos.

3.11.1.2 Determinación de humedad.

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

4.11.1.3 Determinación de grasa.

El contenido de grasa se determinó por el método de Soxhlet (Pearson, 1998), en el cual la grasa 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/100 g de muestra.

3.11.1.4 Determinación proteína.

El contenido de proteína presente en la muestra se determinó por el método de Lowry *et al.*, (1951), donde las proteínas reaccionan con el Cobre en solución alcalina y mediante reducción del reactivo Folin-Ciocalteau, que se reduce a heteromolibdeno azul por la oxidación de aminoácidos aromáticos que es catalizada por cobre. La reacción se lleva a



MATERIALES Y MÉTODOS

cabo en medio alcalino (pH 10.0- 10.5), tomando como estándar albúmina sérica bovina, para la realización de la curva patrón. Los valores de concentración de proteína se determinaron por interpolación gráfica de la curva patrón obtenida de una longitud de onda a 720 nm.

3.11.1.5 Determinación de cenizas totales.

Las cenizas totales se determinaron por el método de Klemm (Pearson, 1998), fundamentado en la obtención de del residuo inorgánico resultante de la calcinación e incineración de la materia orgánica a 550°C. Los resultados se expresaron en g / 100 g de muestra.

3.11.2 Parámetros de calidad.

3.11.2.1 Determinación de pérdida de peso.

La pérdida de peso se determiné utilizando una balanza (marca OHAUS serie 800) con la cual se obtuvo la variación del peso inicial del fruto y el peso en cada estadio de maduración. La diferencia entre el peso inicial y el peso final de los frutos se expresó como el porcentaje de pérdida de peso de los frutos.

3.11.2.2 Determinación de Firmeza.

La firmeza se obtuvo de acuerdo a la fuerza necesaria para ocasionar la ruptura de la piel y la penetración del fruto por medio de un penetrómetro manual (modelo FT 327) sobre una de las caras laterales del fruto y la fuerza de ruptura de la piel, expresando los resultados en Kg / cm².

3.11.2.3 Determinación de Acidez total y pH.

La acidez titulable se determinó por titulación directa de NaOH 0.1 N de acuerdo al método AOAC (1990); se pesaron 10 g de muestra diluida en 90 ml de agua destilada, se homogenizó y filtro la solución, posteriormente se tomó una alícuota de 20 ml, a la cual



MATERIALES Y MÉTODOS

se le adicionaron 3 gotas de fenofaleína como indicador y se tituló. El porcentaje de acidez se expresó como acidez como porcentaje de ácido málico.

El pH fue medido con un potenciómetro manual digital (marca HANNA instruments, mod.HI98127) por inmersión del electrodo en la muestra anteriormente preparada a temperatura ambiente.

4.11.2.4 Determinación de color.

El color en los frutos se midió por medio de un Colorímetro (MINOLTA, modelo CR300) realizado por el sistema Hunter Lab, el cual mide el grado de Luminosidad (L) y a^*b^* la cromaticidad. El sistema Hunter Lab representa la cromaticidad en coordenadas rectangulares, en donde L^* indica la luminosidad o reflectancia, dando valores de $L=0$ tonalidades en color negro y $L=100$ representa el color blanco, los valores de a^* representan la gamma de color desde el color verde para valores negativos y para valores positivos el color rojo; los valores de b^* representan la gamma de color desde el azul para valores negativos y amarillo para valores positivos. Los valores de a^* y b^* representan las coordenadas de la cromaticidad (croma) o de la saturación de color y estas son utilizadas para evaluar el tono al calcular el ángulo Hue el cual va de valores de $0=$ rojo-púrpura, $90=$ amarillo, $180=$ azul-verde y $270=$ azul para cada uno de los frutos en sus cuatro estadios de maduración tanto en piel como en pulpa (McGuire, 1992).

3.11.2.5 Índice de decaimiento (IDC).

Para evaluar la efectividad del tratamiento, se utilizaron escalas de grados de enfermedad, basados en la apreciación subjetiva de la infección por parte de un observador (Smoot y Segall, 1963). Los daños causados por las irradiaciones, así como por condiciones de almacenamiento en los frutos se evaluaron visualmente de acuerdo al porcentaje de la siguiente escala:

**Tabla 9. Escala de evaluación del IDC**

ESCALA	NIVEL DE DAÑO
1	Para frutos que no presentan daño
2	Frutos con daño que no excedan del 25%
3	Frutos con daño del 25-50%
4	Frutos con daño >50%<75%
5	Frutos daños severos 75-100%

$$IDC = \frac{\sum (Nivel.de.daño) \times (Nùmero.de.frutos.del.nivel)}{Nùmero.de.frutos.totales}$$

3.11.3 Parámetros fisiológicos.

3.11.3.1 Respiración.

Se determinó la respiración de los frutos tomando en cuenta la producción de CO₂ generado por las muestras, utilizando el sistema cerrado. Los frutos de aguacate se colocaron en un recipiente sellado, después de un periodo de 1 hora, para evitar dañar el fruto por agotamiento de O₂ y acumulación de CO₂, en la atmósfera que lo rodea, se midió la acumulación de CO₂ en la atmósfera del recipiente sellado. La producción de CO₂ se registró al conectar a la salida de ventilación del contenedor el analizador de gas (ANALYZER Nitec, LLC). Los resultados se expresaron en mg CO₂ Kg⁻¹ h⁻¹.

3.11.4 Determinación de las actividades enzimáticas de Polifenoloxidasa (PPO) y Peroxidasa (POD).

3.11.4.1 Preparación de los extractos crudos.

El extracto crudo enzimático se preparó de acuerdo al método propuesto por Cano *et al.* (1990) con algunas modificaciones. Se pesaron 200 mg de pulpa de aguacate, se maceraron utilizando nitrógeno líquido, posteriormente la muestra homogeneizada se colocó en microtubos (marca eppendorf) a los cuales se les adicionó 1 ml de solución buffer fosfato 0.2 M con polivinilpirrolidina (PVP) a pH 6.5, agitándolos durante 1 minuto



MATERIALES Y MÉTODOS

en agitador de velocidad constante (marca Lab-line, modelo 1195), después fueron centrifugados a 14,000 rpm durante 15 minutos en microcentrifuga (marca Daigger 4350). Terminado el tiempo se extrajo el sobrenadante y se descartó el pellet. Por último estas muestras fueron filtradas con microfiltros (marca Gelman laboratory 4317) y membranas de nylon (marca SUPELCO PARK 58067) para obtener de esta forma el extracto utilizado para las actividades enzimáticas de PPO, PDO y el contenido de proteína de las muestras, manteniendo las muestras almacenadas a -20° C.

3.11.4.2 Determinación de la actividad Polifenoloxidasas (PPO).

La actividad enzimática se determinó de acuerdo al método propuesto por Cano *et al.* (1990) con algunas modificaciones.

Se utilizó buffer fosfato 10 mM a pH 6.5 y 0.07 M de dopamina hidroclicorada (marca SIGMA), y se incubó a 55° C C por 2 minutos, posteriormente se agregaron a una celda 1.45 ml de la disolución y 100 μ l del extracto enzimático, se agitó para homogeneizar la muestra. Los cambios de absorbancia ocasionados por la acción de la PPO provocando la oxidación de la dopamina se registraron en un espectrofotómetro (marca Termo Spectronic, modelo Genesis 10 UV) a 420 nm por un periodo de 4 minutos. La actividad específica enzimática se calculó con base en la pendiente lineal de la curva a 420 nm contra el tiempo y se expresó como $\Delta A_{420} \text{ min}^{-1} \text{ mg proteína}$.

3.11.4.3 Determinación de la actividad Peroxidasa (POD).

La actividad enzimática se determinó de acuerdo al método propuesto por Cano *et al.* (1990) con algunas modificaciones.

Se mezcló 1.35 ml de buffer fosfato 0.04 M pH 6.5, 100 μ l de *p*-fenildiamina, 50 μ l de H_2O_2 . y 100 μ l de extracto enzimático.

Los cambios de absorbancia ocasionados por la oxidación de la *p*-fenildiamina en presencia de la enzima POD se determinó por la medición del aumento de la velocidad de la absorbancia a 485 nm por un periodo de 4 minutos y a 25° C en un espectrofotómetro (Termo Spectronic, modelo Genesis 10 UV). La actividad enzimática se calculó con base en la pendiente lineal de la curva a 485 nm contra el tiempo, se expresó como $\Delta A_{485} \text{ min}^{-1} \text{ mg proteína}$.



3.11.5 Determinación de Fenoles Totales.

3.11.5.1 Preparación del extracto.

Se determinó el contenido de fenoles totales utilizando el reactivo Folin-Ciocalteu (ácido fosfomolibdicofosfotúngstico) por el método sugerido por Slinkard y Singlanton (1977) ligeras modificaciones. Se obtuvo el extracto tomando 200 mg de pulpa ó piel, posteriormente las muestras fueron trituradas en un mortero utilizando nitrógeno líquido y la muestra homogenizada se colocó en microtubos (marca eppendorf), a los cuales se les agrego 1 ml de metanol al 80%, después se agitaron por un periodo de 1 minuto en un agitador de velocidad constante (marca Lab-line, modelo 1195), centrifugándose a 3000 rpm por 15 minutos en una microcentrifuga (marca Daigger 4350). De cada uno de los microtubos se extrajo el sobrenadante (primera extracción), y al pellet se le adicionó 0.5 ml de metanol al 100% y se repitió el procedimiento, tomando el segundo sobrenadante y mezclándolo con el primero, para finalmente ajustar el volumen del extracto a 1.5 ml con metanol.

3.11.5.2 Cuantificación de Fenoles Totales.

Para la determinación del contenido de fenoles totales, se tomó una alícuota de 200 μ l del extracto y se colocó en tubos de ensaye, posteriormente se le agregaron 1500 μ l de agua destilada y 100 μ l del reactivo Folin-Ciocalteu, después se adicionaron 200 μ l de Na_2CO_3 al 20% y se agitaron a velocidad constante, dejándolo reposar por un periodo de 30 minutos , pasado este lapso se procedió a medir la absorbancia en un espectrofotómetro (marca TERMO SPECTRONIC, modelo GÉNESIS 10 UV) a una longitud de onda de 765 nm. El contenido de fenoles totales se calculó con base en la pendiente de la proporción lineal de la curva a 765 nm, expresándolos como mg de ácido Gàlico / g de peso fresco.

3.12 Análisis estadístico.

Los experimentos se realizaron por triplicado con el fin de obtener resultados significativos y con ello poder realizar un análisis estadístico confiable y representativo. Se aplicó a los resultados obtenidos el análisis estadístico (ANOVA) , llevando a cabo este análisis por medio del programa estadístico SPSS 9.0 for Windows Student Version.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización física, fisicoquímica y química del aguacate.

Debido a que los frutos presentan cambios durante su maduración y estos influyen en las características fisicoquímicas y químicas del producto; se realizó la caracterización del fruto en estudio.

Para la evaluación de las características físicas, químicas y fisiológicas se utilizaron frutos de aguacate en estado de madurez comercial almacenados a temperatura ambiente. Los frutos presentan los siguientes parámetros de calidad: pH, acidez titulable, textura y las características químicas: proteína, grasa, cenizas totales y contenido de humedad (tabla 10).

Tabla 10. Composición química y fisicoquímica del aguacate cv. 'Hass'.

Parámetros	
Proteína (%) ^a	1.6
Grasa (%) ^b	19.63
Cenizas (%) ^c	1.84
Humedad (%) ^d	71.24
pH	9.2
Acidez (% ác. Málico)	0.5

^a método de Lowry; ^b método de shoxlet ^c método de Klemm; ^d método de secado en estufa.

Del análisis químico se puede observar que presentan un alto contenido de humedad y grasa, que no son grasas sino aceites, ya que estos permanecen líquidos a la temperatura ambiente. La proteína es de gran valor nutrimental, ya que tiene presentes en su amino grama, siete de los aminoácidos esenciales, los cuales no pueden ser sintetizados por el organismo y deben de ser incluidos en la dieta en forma regular.

El aguacate presenta ácidos grasos monoinsaturados e insaturados que contienen vitaminas liposolubles en cantidad suficiente y que no presentan colesterol (Ortega, 2003).

Se llevó a cabo una caracterización física de los frutos de aguacate para conocer el material en estudio y obtener lotes similares. Se midió el peso, la longitud ecuatorial y polar, los cuales proporcionaron una idea del estado fisiológico, siendo el tamaño, color y forma una de características típicas del fruto.

El aguacate presentó los siguientes parámetros físicos (tabla 11):



Tabla 11. Propiedades físicas del aguacate.

Fruto	Promedio
Diámetro axial	13.05 ± 1.15
Diámetro ecuatorial	21.47 ± 0.97
Peso	217.50 ± 33.77

Los valores muestran la media de tres replicas ± desviación estándar.
Los valores mostrados son la media de 110 frutos.

Por lo que se observa que de acuerdo a la norma del Codex Alimentarius (2009) para el aguacate (CODEX STAN 197-1995, EMD. 1-2005), los frutos presentaron calibre 18, perteneciendo a la categoría II, dentro de la clasificación extra. El calibre del aguacate nos da un importante criterio de calidad que puede ser medido fácilmente con sólo obtener el peso.

4.2 Aislamiento, purificación e identificación del hongo *C. gloesporioides*.

Para poder evaluar la aplicación de los tratamientos de irradiación UV-C en el control de antracnosis en aguacate se requirió aislar, purificar e identificar la cepa del hongo en estudio; por lo que a partir de frutos infectados (mango y aguacate) se realizó el aislamiento del hongo *C. gloesporioides* descrita en el anexo 2, utilizando como medio de crecimiento el agar Papa Dextrosa, debido a que en este medio se desarrollo mejor la cepa del hongo; se dejó incubar en fotoperiodo durante 8 días a 25° C, presentando las siguientes características: al inicio la colonia presentó crecimiento de micelio aéreo en el centro en color blanco algodonoso, después fue tornándose de color café al centro con crecimiento a las orillas de color blanquecino y al reverso un color salmón y al final del crecimiento éste presentaba halos grisáceos y de color salmón, como se muestra en la figura 31 a, 31 b y 31 c.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN



Figura 35 a) Micelio aéreo blanquecino, b) Halo blanco c) Halos grisáceos y salmón.

Para la purificación del hongo se observaron las colonias que presentaron las características del hongo *C. gloesporioides* para la purificación del mismo.

Posteriormente para confirmar la identificación del hongo en estudio se realizaron microcultivos en agar papa avena como se muestra en la figura 36.



Figura 36. Microcultivo en agar avena.

Los conidios fueron observados al microscopio presentando forma ovoide, unicelulares. El micelio presentó hifas septadas (divisiones) color hialino (figura 37 a y 37 b), lo cual confirma que se trata del hongo *C. gloesporioides* y se corrobora con lo reportado por la bibliografía (Sutton, 1980).



Figura 37. A) Conidios de *C. gloesporioides* y B) Apresorios de *C. gloesporioides*

Posteriormente se realizaron resiembras de la cepa purificada para que el hongo esporulara, para esto se incubaron en fotoperiodo (12 horas de luz blanca y 12 horas de luz negra) por un periodo de 8 días a 25° C.

4.3 Selección del método de inoculación.

Para seleccionar el método de inoculación que presentara mejor la sintomatología de la antracnosis causada por el hongo *Colletotrichum gloesporioides*, se realizaron pruebas con tres métodos diferentes de inoculación: frotación, inyección y zona específica, almacenados en cámara húmeda y cierre hermético.

La concentración de esporas se estableció mediante referencias bibliográficas a concentración de 1×10^6 conidios/ ml. Posteriormente se realizó el conteo y se inocularon los frutos de aguacate utilizando los tres diferentes métodos descritos en el apartado 3.8 de materiales y métodos. Cada uno de los métodos fueron evaluados visualmente cada día por un periodo de 7 días a 20° C.

El método de inoculación por inyección resultó más difícil de aplicar en los frutos, debido a que la solución de esporas penetró muy lentamente por la zona del pedúnculo; además de que sólo penetraron 0.2 ml de toda la solución y debían colocarse en las canastas de forma vertical par evitar la caída del mismo. En el caso de la inoculación por zona específica se tuvo que marcar zonas homogéneas en los frutos, ya que conforme maduran los aguacates cambian de color verde a negro-violáceo, lo cual no permite distinguir los cambios en la epidermis. Además presentaron una difícil penetración de la solución de esporas, debido a que se dejaba caer gota por gota en la zona marcada y se



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

debía esperar a que esta penetrará completamente para seguir inoculando, lo cual representó mayor tiempo de trabajo y una incompleta penetración de la solución. Los resultados se observan en la tabla 12 y 13. Los frutos presentaron las siguientes características:

Tabla 12. Desarrollo del hongo en frutos de aguacate por inoculación.

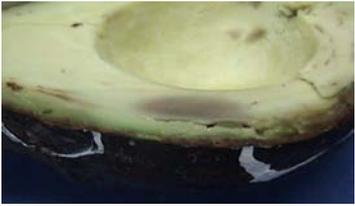
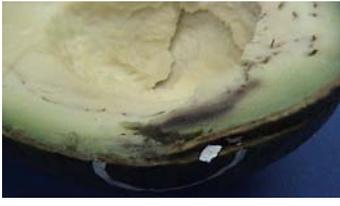
Método	Observaciones	
	Cámara húmeda	Cierre hermético
Inyección	<p>D₁. No hay presencia de hongo.</p> <p>D₂. Presencia de manchas pardas.</p> <p>D₅. Deshidratación en piel y hundimiento de la pulpa.</p>	<p>D₁. No hay presencia de hongo.</p> <p>D₂. Presencia de micelio blanco cercano al pedúnculo.</p> <p>D₅. micelio blanco en toda la superficie del fruto, por causa de anaerobiosis, con desprendimiento de compuestos volátiles ocasionando mal olor.</p>
Frotación	<p>D₁. No hay presencia de hongo.</p> <p>D₂. Presencia de ablandamiento en algunas zonas del fruto, micelio blanco cercano al pedúnculo.</p> <p>D₅. Deshidratación en piel y hundimiento de la pulpa.</p>	<p>D₁. No hay presencia de hongo.</p> <p>D₂. Presencia de micelio blanco cercano al pedúnculo.</p> <p>D₅. micelio blanco en toda la superficie del fruto, por causa de anaerobiosis, con desprendimiento de compuestos volátiles ocasionando mal olor.</p>
Zona específica	<p>D₁. No hay presencia de hongo.</p> <p>D₂. Presencia de ablandamiento en algunas zonas del fruto.</p> <p>D₅. Deshidratación en piel y poca presencia de antracnosis.</p>	<p>D₁. No hay presencia de hongo.</p> <p>D₂. Presencia de micelio blanco cercano al pedúnculo.</p> <p>D₅. micelio blanco en toda la superficie del fruto, por causa de anaerobiosis, con desprendimiento de compuestos volátiles ocasionando mal olor.</p>

D₁= día 1, D₃= día 3 y D₅= día 5.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 13. Métodos de inoculación

Método de inoculación	Síntomas	
	Cámara Húmeda	Cierre Hermético
Inyección	Aparición de manchas color café en toda la pulpa y aparición de micelio blanco en pedúnculo.	Se observaron inicios de los síntomas en la zona del pedúnculo, con aparición de micelio blanco.
		
Frotación	Presentaron síntomas de ablandamiento en la piel, micelio blanco en la zona del pedúnculo, manchas color café.	El desarrollo de los síntomas de antracnosis fue mas lento, comenzando en la zona del pedúnculo.
		
Zona Específica	Hay pocos indicios de síntomas de antracnosis.	Aparición de mal olor y micelio blanco en la cáscara, aparición de manchas color café.
		

Las imágenes muestran que el método de inoculación por frotación y el almacenamiento en cámara húmeda fueron las mejores condiciones para inocular los frutos de aguacate, debido a que desarrollaron los síntomas de antracnosis en la pulpa de aguacate y fue el método más sencillo para inocular los mismos.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La selección del método de inoculación permitió contar con condiciones aptas para la evaluación de los tratamientos en la calidad de vida de los frutos de aguacate.

4.4 Selección de los tiempos de exposición a las irradiaciones UV-C que ayuden a la inactivación del hongo *C. gloesporioides* y no dañen la calidad del aguacate.

4.4.1 Evaluación del efecto de tratamientos de irradiación UV-C en el control de antracnosis en aguacate.

Para evaluar la efectividad del tratamiento de irradiación en el control de antracnosis se realizó un experimento previo descrito en el apartado 3.5 de materiales y métodos, para conocer las 3 condiciones de irradiación que pueden alargar el tiempo de vida útil del aguacate y controlar la antracnosis.

El parámetro de respiración se evaluó diariamente para conocer si el tratamiento de irradiación retardaba la maduración y por lo mismo prolongaba el tiempo de vida útil de aguacate.

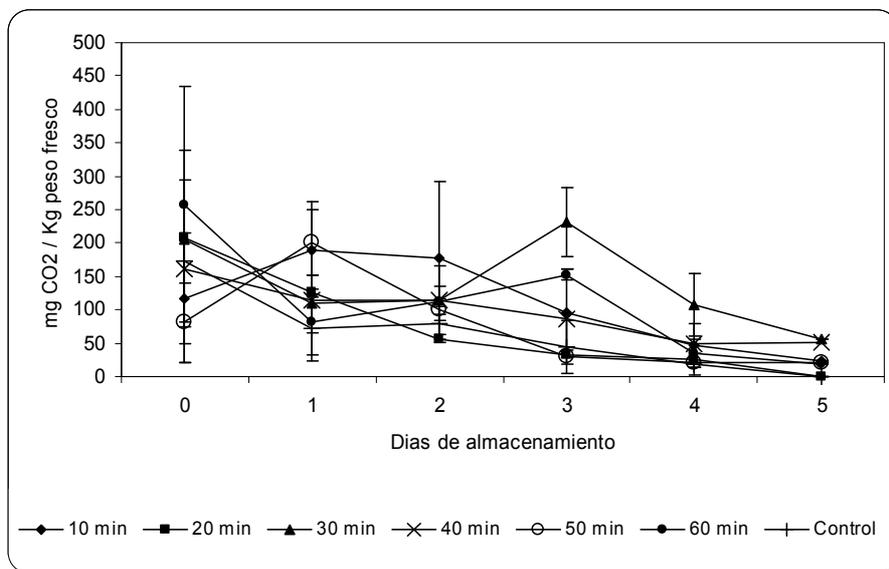


Figura 38. Respiración de los frutos de aguacate cv. 'Hass' sometidos a diferentes tiempos de irradiación UV-C.

De los resultados obtenidos de respiración se observa en la figura 38, que los frutos presentaron un comportamiento climatérico. La menor respiración la presentaron los frutos control, con respecto a los tratados; esto debido a que los frutos sufrieron un estrés



durante el tratamiento lo cual provocó el aumento de la tasa respiratoria, Arévalo (2002), observó que la dosis de irradiación provocó un incremento inmediato en la intensidad respiratoria en frutos de aguacate cv. Hass, permaneciendo mayor que en los frutos testigo; asimismo Young (1965) reportó que la irradiación en frutos de aguacate variedad fuerte en estado preclimaterico provocó incremento en la intensidad respiratoria y producción de etileno inmediatamente después del tratamiento permaneciendo de 18-36 h. Los tratamientos de 10, 20, 40 y 50 minutos presentaron el máximo climaterio al tercer día, decreciendo posteriormente; mientras que los frutos de 30 y 60 minutos lo presentaron al cuarto día, alargando de esta manera el tiempo de vida útil de los frutos de aguacate, como en estudios planteados por Robles *et al.* (2007) que reportaron un el efecto positivo en el retraso de la maduración de tomates convencionales “ Pitenza” durante 21 días.

El incremento en la producción de etileno en frutos irradiados puede deberse a la estimulación en la actividad ACC sintasa (ácido 1-aminociclopropano 1-carboxílico sintasa) y la posterior disminución pudo ser consecuencia del efecto de la irradiación en la membrana celular, que inhibió la formación del etileno (Arévalo, 2002). En diversos estudios se ha observado la efectividad del tratamiento por irradiación UV-C, la cual de acuerdo al tipo de fruto o vegetal y tiempo de exposición. En muchos productos se puede presentar un incremento de la sensibilidad, debido a la degradación de algunos componentes químicos (Siller, 1995).

Índice de Quemaduras (IDQ).

En la figura 39 se muestra el IDQ en frutos de aguacate para los diferentes tiempos de exposición del tratamiento. Los aguacates control no recibieron tratamiento, por los que los valores de IDQ mostraron un avance de la enfermedad poco después del inicio.

En base a la escala de daño; se puede apreciar que en el IDC en todos los frutos tanto tratados como controles , no presentaron síntomas de daño tan severo el primer día ubicándose en la escala mínima de 1, en la cual los frutos no presentan daños aparentes, sin embargo a partir del día 2, el tratado por 50 minutos presentó un mayor daño rebasando el 25%, siguiéndole el de 40 minutos; presentándose los primeros síntomas de



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

la enfermedad, concordando con pequeñas lesiones en la pulpa de los frutos; mientras que los que permanecieron iguales fueron los de 10, 20, 30 y 60 minutos con el mismo valor.

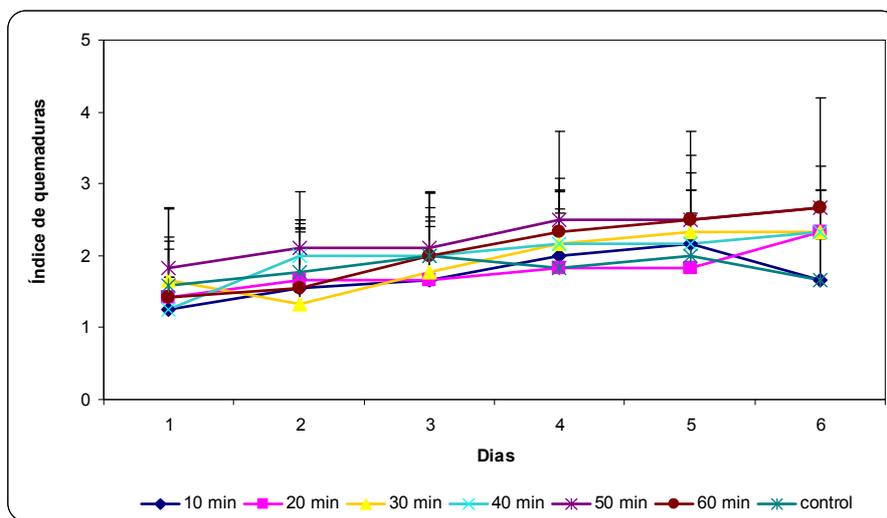


Figura 39. Índice de quemaduras en frutos de aguacate cv. 'Hass' sometidos a diferentes tiempos de irradiación UV-C.

Para el día 3 se presenta un aumento del daño en el tratado por 60 minutos y permaneciendo igual el de 50 y 40 minutos y disminuyendo el tratado por 30 minutos. Mientras que durante el día 4 aumento la severidad del daño en los tratados por 60 minutos llegando al 50%, ocurriendo lo mismo con el de 50 minutos.

Para el último día de almacenamiento la mayor severidad se presentó en los mayores tiempos de exposición e inversamente con el menor tiempo; para los tiempos de 20, 30 y 40 minutos estos permanecieron con un nivel de daño menor al 50%.

En la figura 39 se observa que los tratamientos por 40, 50 y 60 minutos presentaron los valores más altos de quemaduras provocadas por la irradiación UV-C, ocasionando daños en la superficie del tejido como son manchas rojizas en la cáscara del fruto y deshidratación del mismo; debido a que la exposición a la irradiación fue muy prolongada. La irradiación UV-C puede provocar efectos adversos cuando la intensidad es superior a la tolerada por el producto (Rivera *et al.*, 2007). En tomates el aumento de la dosis a un



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

nivel de $2 \times 10^4 \text{ kgf s}^{-2}$ causó maduración anormal, pardeamiento del exocarpio y decoloración indeseable en el endocarpio (Liu *et al.*, 1993).

Los frutos de aguacate presentaron durante la etapa de almacenamiento manchas de color marrón que se fueron extendiendo rápidamente ocasionadas por el hongo que se encontraba de forma natural en los frutos, principalmente en el control, mientras que en los tratados estos no se acrecentaron a un mayor tiempo de exposición

A pesar de que el exocarpio, en los frutos de aguacate es más grueso a comparación de otros frutos como los mangos, duraznos, nectarinas, tomates, uva, etc a los cuales se les ha aplicado dosis de irradiación UV-C, estos presentaron susceptibilidad a dosis mayores de 30 minutos. Los tratamientos de irradiación seleccionados fueron los tiempos de 10, 20 y 30 minutos en los cuales los frutos no presentaron ningún daño. El tiempo de vida de los frutos se alargó y aunque la tasa respiratoria de los aguacates con tratamientos por 10 y 20 minutos aumento drásticamente a comparación de los frutos control, estos tratamientos conservaron la calidad del fruto. Asimismo, se observó una disminución progresiva del daño a un mayor aumento de exposición no excediendo de 30 minutos.

4.5 Evaluación de los efectos de los tratamientos por irradiación UV-C sobre los parámetros de calidad, fisiológicos del aguacate y control de antracnosis.

El alto carácter perecedero de las frutas y hortalizas, aunado al mal manejo poscosecha y uso de tecnologías de acondicionamiento y almacenamiento inadecuadas, se traduce en elevadas pérdidas de la calidad durante su comercialización y distribución en los mercados (Rivera *et al.*, 2007).

Para esto se han empleado diversos métodos físicos y químicos que reduzcan estas pérdidas como son: el empleo de compuestos químicos (antimicrobianos, insecticidas, inhibidores de la germinación, irradiación, entre otros (González-Aguilar *et al.*, 2007 c).

Diversos estudios han demostrado que la irradiación ayuda a conservar por un tiempo más prolongado los frutos; así como la firmeza de los mismos. Como es el caso de los ajos y cebollas que al ser irradiadas se ha logrado inhibir la germinación, reducción de pérdidas por pudrición y peso, en mangos cortados se ha logrado mantener la firmeza, la calidad del producto y disminuir el índice de oscurecimiento (Alcántar *et al.*, 1999;



Anderson, 2003; Blande *et al.*, 1990; Cárdenas *et al.*, 2001; Cepeda, 1998; Iglesias *et al.*, 2000; Iglesias y Salcines, 2000; Iglesia y Fraga, 2000; Iglesias y De hombre, 2000; INFOAGRO, 2006; González-Aguilar *et al.*, 2007; López y Cajuste, 1999; Reyes, 1996).

La evaluación de la calidad de los productos tratados con radiaciones ultravioleta (UV-C) ha resultado benéfico, ya que no daña al fruto, como es el caso del aguacate que es sensible a diversos tratamientos (Arévalo *et al.*, 2002).

Como una propuesta para reducir las pérdidas poscosecha en frutos de aguacate debido a la antracnosis se estudiaron los efectos que tiene la aplicación de irradiación UV-C como medida para el control de la enfermedad.

4.5.1 Efecto en la respiración.

Uno de los principales propósitos de las tecnologías aplicadas en poscosecha para la conservación se frutas y hortalizas, es el retraso de la maduración y senescencia; que se encuentra bajo el control de reguladores del crecimiento como son el etileno y las poliaminas (Rivera *et al.*, 2007).

La respiración es un parámetro importante que se debe evaluar al aplicar un tratamiento poscosecha, ya que este nos determina la vida de anaquel que tendrá el fruto, así como las condiciones a las que debe de ser almacenado.

En la figura 40 se aprecian los cambios producidos en la respiración medida en función de la producción de CO₂ de frutos de aguacates infectados con el hongo *C. gloesporioides* y un lote control; observando que durante el preclimaterio (E₁) la mayor producción de CO₂ lo presentaron los frutos irradiados 30 minutos con un valor de 266 mg CO₂/ Kg peso fresco*h con una diferencia con respecto al control del 43.3%, siguiéndole los frutos irradiados 20 minutos con 171.32 mg CO₂/ Kg peso fresco*h. Hulme (1971) explica que la radiación induce a un incremento inmediato en la respiración de frutos. Para el día 1 se presentó el inicio del climaterio (E₂) para el control infectado la producción fue de 177 mg CO₂/ Kg peso fresco*h y para el control así como tratados, estos decrecieron observándose claramente en el tratado por 20 minutos (135.51 mg CO₂/ Kg peso fresco*h), como lo ha reportado López *et al.* (1996) la aplicación de radiaciones ionizantes en aguacate 'Colin' ocasionó en las etapas iniciales un descontrol en los mecanismos de



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

la respiración, observándose un incremento de los niveles de CO_2 en el primer día para después descender y continuar posteriormente hasta lograr el máximo climaterio. El día 2 se presentó el máximo climaterio (E_3) con valores de $311.31 \text{ mg CO}_2/\text{ Kg peso fresco}\cdot\text{h}$ para los irradiados 30 minutos, aumentando de esta manera su tasa respiratoria con respecto al control 59%, para 20 minutos aumentó un 7.4% con respecto al control. Los resultados concuerdan con lo reportado por Briseño *et al.* (2008); ya que la irradiación UV-C en mangos almacenados a 20°C incrementaron la respiración con respecto al control.

El control infectado presentó un aumentó en la respiración con respecto al control. Trabajos de Hulme (1971) muestran que la elevación de la producción de carbono ocasionada por la irradiación en frutos persiste por varios días. En el postclimaterio (E_4) lo presentaron todos los frutos al 4to día, al igual que el control y se extendió hasta el final del almacenamiento donde comenzó la senescencia del fruto.

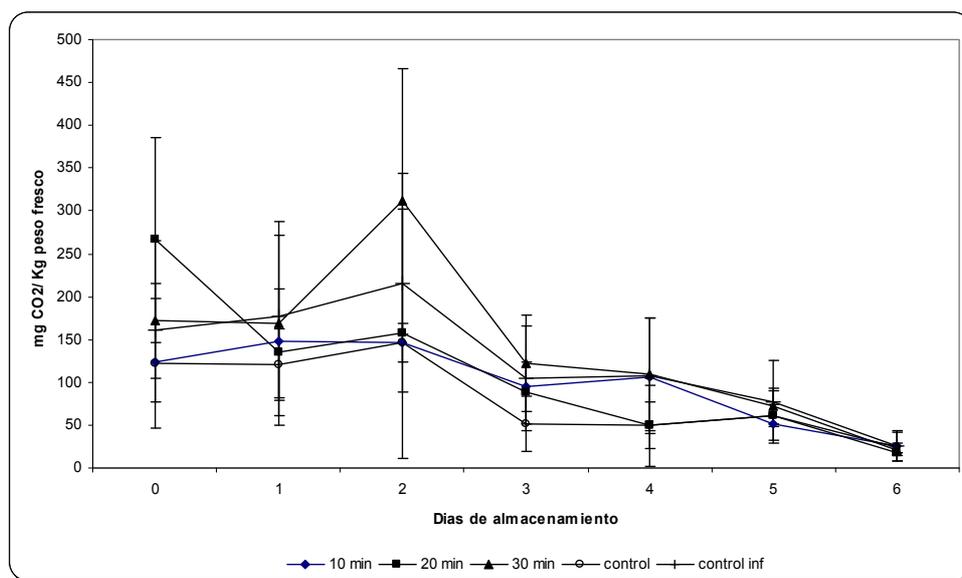


Figura 40. Efecto de los tratamientos UV-C sobre la respiración en frutos de aguacate cv. 'Hass' infectado con *C. gloesporioides* almacenados a 20°C



4.5.2 Efecto en Acidez.

El aumento de pH esta relacionado con los cambios en el contenido de acidez titulable. En frutos de aguacate el ácido predominante es el ácido málico presentándose en frutos en estado de madures fisiológica del 0.33% (García, 2004).

En la gráfica 41 se aprecia que durante el preclimaterio (E_1) el control estadísticamente presenta diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto a los tratados y el control infestado teniendo el mayor porcentaje de acidez de 0.46%, mientras que los tratados oscilan entre 0.36%. Para el inicio del climaterio (E_2) el menor valor de pH lo presentan los tratados por 20 y 30 minutos y durante el máximo climaterio (E_3) el grupo control, el control infestado e irradiado 30 minutos presentaron una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto a los tratados con valores de 0.46%, 0.30% y 0.30% respectivamente y finalmente para el postclimaterio (E_4) tanto los tratados como el control y control infestado no presentaron diferencia entre ellos. La aplicación de irradiación UV-C a manzanas 'Red Delicious' no ocasionó diferencias con respecto al testigo (Hemmaty *et al.*, 2007).

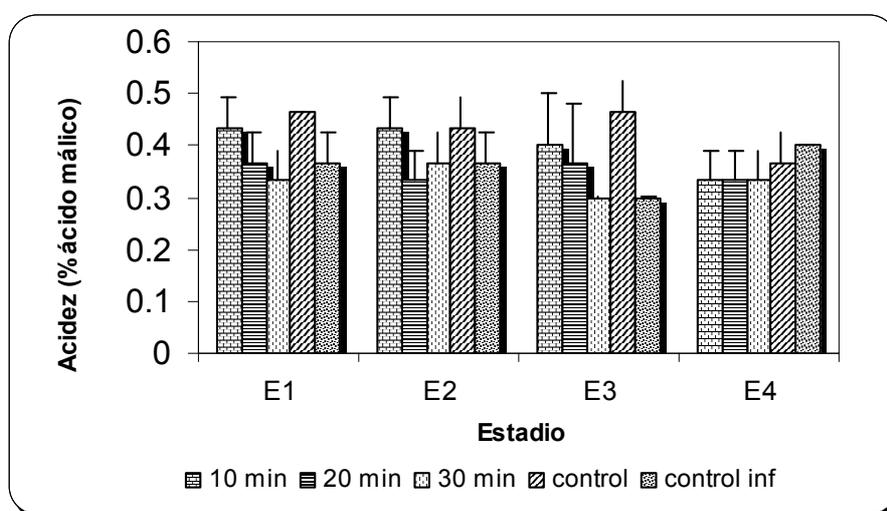


Figura 41. Efecto de los tratamientos UV-C sobre la acidez en frutos de aguacate cv. 'Hass' infectado con *C. gloesporioides* almacenados a 20°C.



4.5.3 Efecto en pH.

El pH nos da una medida de la acidez o alcalinidad en un fruto. La irradiación UV-C sobre el pH durante las etapas de maduración de frutos de aguacate no presentó efecto como se aprecia en la figura 42. Los frutos control y control infectado no presentaron diferencias significativas ($p \geq 0.05$) entre los tratamientos, datos que concuerdan con lo reportado por Hemmaty *et al.* (2007) para manzanas 'Red Delicious' no afectó significativamente el pH del jugo de manzana. Los valores mayores se presentaron durante el máximo climaterio (E_3), que es el momento en donde el fruto adquiere su madurez, mientras que en los primeros estadios (E_1 y E_2) no existe un cambio drástico ya que el hongo en sus primeras etapas de crecimiento aún no penetraba la piel y pulpa del aguacate y por lo tanto no existía disponibilidad de los nutrimentos necesarios para su óptimo desarrollo. En trabajos de Espinosa y Hernández (2006) se observó que en los últimos estadios los parámetros de calidad se vieron afectados cuando la severidad de la infección se presentó en todo el mango y la disponibilidad de los nutrimentos para el hongo *C. gloesporioides* fue más accesible.

El pH permaneció constante durante toda la etapa de maduración con valores que oscilan alrededor de 7.3, aumentando ligeramente en E_3 llegando a valores de 7.4, por lo que este parámetro no se vio afectado por la exposición a las irradiaciones UV-C a los tres diferentes tiempos de exposición sin diferencia significativa.

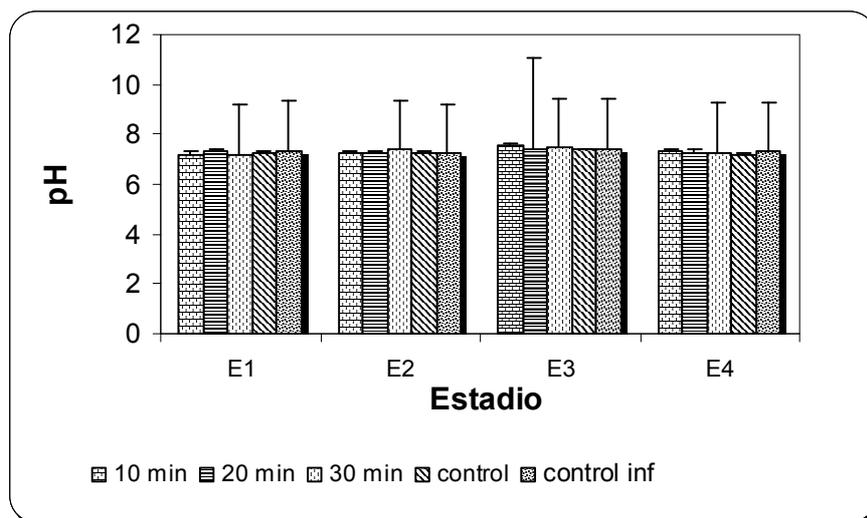


Figura 42. Efecto de los tratamientos UV-C sobre el pH en frutos de aguacate cv. 'Hass' infectado con *C. gloesporioides* almacenados a 20°C.



4.5.4 Efecto en Pérdida de peso.

El principal componente de las frutas frescas, las hortalizas y los productos vegetales para ornamentación es el agua, por ello las pérdidas de agua equivalen a pérdidas de peso comercial y su valor en el mercado. La pérdida de peso se asocia con la deshidratación, la cual se ocasiona por pérdida de agua liberada en forma de vapor. (Wills, 1998).

Como se aprecia en la figura 43 la mayor pérdida de peso se presentó en el control infestado) con un 4.57%, mientras que para el control fue del 3.93% al final del proceso de maduración, presentándose diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre ellos.

Para el caso de los tratados por 10 minutos estos presentaron una mayor pérdida de peso con respecto al control de un 4.41%, para 20 minutos este fue de 4.09% y con respecto al tratado 30 minutos su pérdida de peso fue menor a comparación del control con un porcentaje del 3.53%, observándose diferencia significativa entre los tratamientos; así como de los controles; ya que a mayor tiempo de exposición la pérdida de peso es menor. Después del almacenamiento se observó que los frutos tratados con UV-C por 30 minutos presentaron una menor pérdida de peso, como en el caso de mango cv.'Keitt' a irradiaciones mayores a 10 minutos presentaron una menor pérdida de peso (González-Aguilar *et al.*, 2005); pero en otros casos como la radiación a 10 minutos que resultó ser menos efectiva, ya que la susceptibilidad del tejido vegetal al tratamiento de irradiación difiere significativamente entre variedades, estados fisiológicos, composición y grosor de la piel del fruto (Rivera *et al.*, 2007) y probablemente porque la cáscara del fruto de aguacate es más gruesa que otros frutos que se han estudiado se requieren mayores tiempos de exposición UV-C.

Por los que se apreciaba que a mayor tiempo de exposición de los frutos de aguacate a la irradiación UV-C, se presenta una menor liberación de agua; por lo que es un método efectivo para mantener este parámetro de calidad.

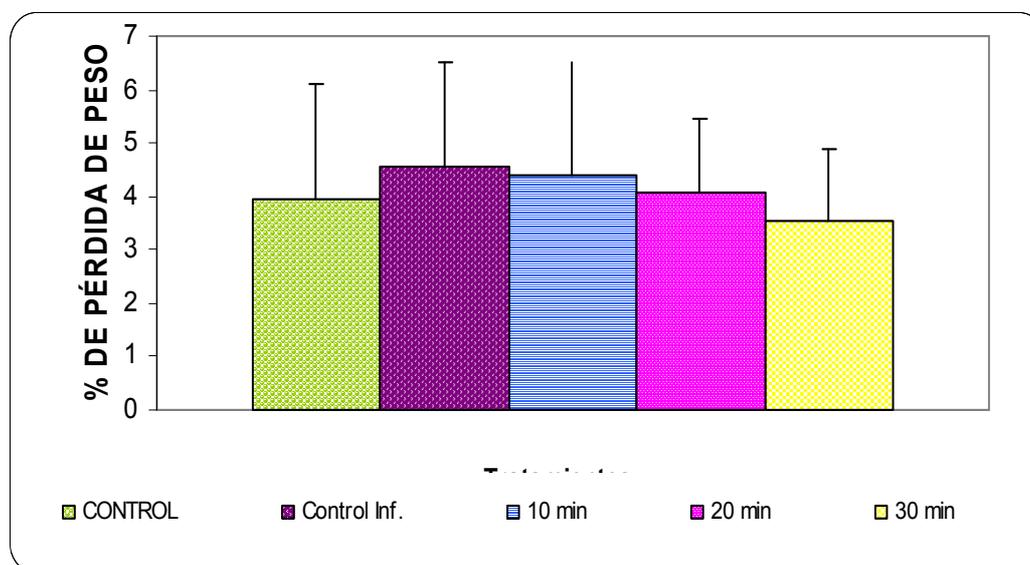


Figura 43. Efecto de los tratamientos UV-C sobre la pérdida de peso en frutos de aguacate cv. 'Hass' infectado con *C. gloesporioides* almacenados a 20°C.

4.5.5 Efecto en la firmeza.

Las frutas y hortalizas varían en su textura, esta depende de la turgencia, la cohesión, forma y tamaño de las células, la presencia de tejidos de sostén y de la composición de la planta. Los tejidos de sostén hacen variar la textura de las frutas y hortalizas; en los aguacates, la cutícula gruesa, combinada con el colénquima, da dureza a las capas exteriores (Pantástico, 1975).

El efecto que provoca la radiación sobre los frutos depende y difiere entre las diversas variedades Murray (1990) reportó que en aguacate se observó un retraso de 24 días la maduración en la variedad 'Ethinger', mientras que en la 'Fuerte' solo fue de 3 a 8 días.

Como se aprecia en la figura 44 la pérdida de firmeza en frutos de aguacate infectados con *C. gloesporioides* presentó una tendencia al descenso, tanto para frutos infectados como para el lote control, desde el preclimaterio (E_1) el lote control infectado presentó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al lote control, como en papaya maradol roja,



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

la enfermedad ocasionada por *C. gloesporioides* provocó disminución en la firmeza de la cáscara (Baños *et al.*, 2004)

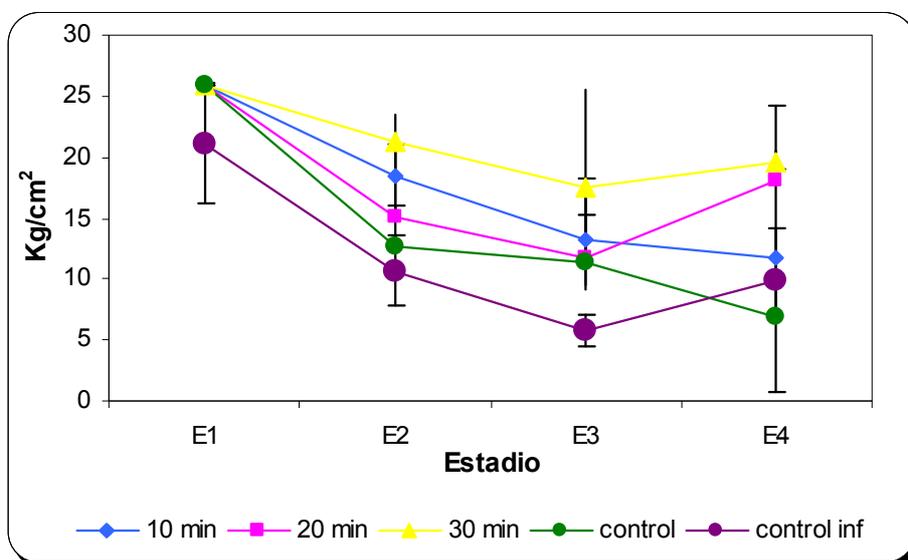


Figura 44. Efecto de los tratamientos UV-C sobre la firmeza en frutos de aguacate cv. 'Hass' infectado con *C. gloesporioides* almacenados a 20°C.

Para el inicio del climaterio (E_2) se presentó la misma tendencia del control infestado con respecto al lote control; mientras los frutos irradiados 30 minutos presentaron la mayor firmeza, así como para los otros 2 tratamientos, con valores de 21 Kg/cm² presentando una firmeza 40% mayor que el control. En el máximo climaterio (E_3) los frutos irradiados por 10 minutos mostraron un descenso importante del 22%, presentando diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto control; mientras los aguacates infectados presentaron una tendencia descendente en comparación al lote control, debido a que posiblemente el ablandamiento de los tejidos por la pérdida de agua y el efecto que tiene el hongo sobre la pulpa durante el paso del máximo climaterio al postclimaterio (Espinosa y Hernández, 2006). En este estadio tanto los frutos tratados como el lote control infectado presentaron una tendencia similar exhibiendo la mayor pérdida de firmeza comparados al control. En el postclimaterio (E_4) el lote control presentó una pérdida de firmeza de (E_3) a (E_4) del 39% mostrando con ello una diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con respecto a los demás.

Los frutos tratados por 10 minutos presentaron una pérdida de firmeza del E_1 al E_4 del 54%, mientras que los tratados por 20 minutos fue de un 30% y los tratados por 30



minutos presentaron un 26% de pérdida comparados con el control y control infestado que presentaron una pérdida de firmeza superior al 70%, confirmando de esta manera que los

tratamientos de irradiación UV-C resultan un sistema efectivo para prolongar la vida útil de frutas y hortalizas por ser letal para la mayoría de microorganismos (Rivera *et al.*, 2007). Esta tecnología ayuda a conservar uno de los principales parámetros de calidad, esto se corrobora en estudios hechos cebollas, tomates, manzanas, lechuga, mango, aguacate Hass, nectarina, durazno, entre otros (Iglesias y De Hombre, 2000; Allende *et al.*, 2001; Hemmaty *et al.*, 2007; Arévalo *et al.*, 2002; Robles *et al.*, 2007; González-Aguilar *et al.*, 2005).

4.5.6 Efecto en el Color.

Los tres atributos básicos de color son: luminosidad, tono y croma.; la luminosidad esta asociada con la brillantez, el tono indica la tonalidad del matiz y da una idea más clara del color y croma nos da el grado de saturación del tono o la intensidad de este.

Luminosidad.

La luminosidad (L) esta asociada con la brillantez, que depende del flujo luminoso que es transmitido por la muestra; a escala de 0 (negro) a 100 (blanco). El incremento de la luminosidad en la pulpa se presentó conforme avanzó la etapa de maduración de los frutos de aguacate (figura 45), presentando valores de L^* de 85 durante el preclimaterio (E1) hasta de 99 en el postclimaterio (E4), a través del cual se observó que a medida que los frutos maduraron fueron presentando una mayor claridad en la pulpa. El parámetro de a^* presentó valores negativos durante toda la etapa de maduración, desde -11.50 hasta de -3.00 indicando la predominancia del color verde; mientras que para b^* estos iniciaron con valores positivos de +42.50 hasta de +1.70 en el postclimaterio presentando un predominio del color amarillo.

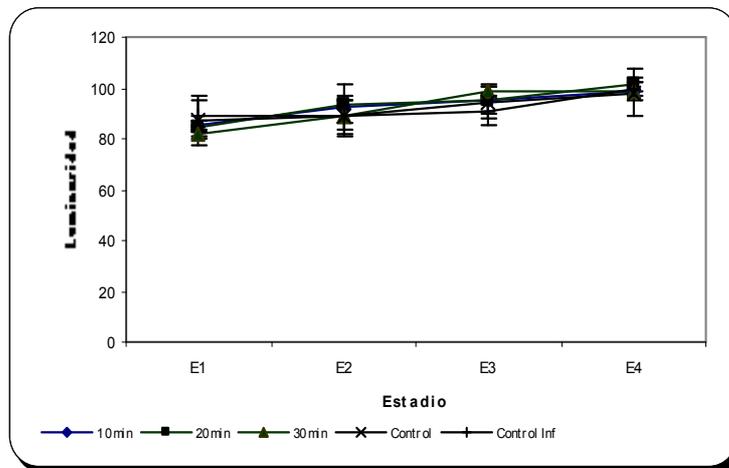


Figura 45. Efecto de los tratamientos UV-C sobre la luminosidad en pulpa de frutos de aguacate cv.'Hass' infectado con *C. gloesporioides* almacenados a 20° C.

En el caso de los frutos tratados con radiación UV-C estos presentaron durante el preclimaterio e inicio del climaterio una menor luminosidad con respecto al control, para 10 minutos fue del 2%, 20 minutos del 3% y para 30 minutos del 5% menor; pero durante el máximo climaterio y postclimaterio aumentó su luminosidad con respecto al control, presentando un mayor incremento por el tratado 30 minutos con un 4.5% arriba del grupo control; en el caso del control infestado este se comportó como el control, sólo para el máximo climaterio presentó el valor mas bajo de luminosidad de 90, pero en el postclimaterio termino en 99. Sin embargo no se presentaron diferencias significativas ($p \geq 0.05$) entre los frutos tratados con respecto al control y control infestado.

Tono.

El ángulo °HUE indica la tonalidad del matiz, nos da una idea más clara del color, es decir la impresión visible del color del fruto. Los valores van desde 0°= rojo-púrpura, 90°= amarillo, 180°= azul-verde y 270°= azul.

En el caso del tono, la pulpa se mantuvo en coloraciones amarillas, presentando valores de 76 durante el preclimaterio (E₁) y llegando hasta el 70 en los frutos tratados, ya que para el control infestado durante el máximo climaterio y el postclimaterio este decreció (figura 46) debido a que en estas etapas el hongo invadió al fruto y comenzó a presentar coloraciones pardas en la pulpa, llegando al postclimaterio con valores de 56, esto apareció con manchas pardas en la pulpa de los frutos, lo cual no es agradable a la vista



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

y es ocasionado por la infección que produce el hongo; mientras que los tratados por 10, 20 y 30 minutos fueron de 76 y 69, mientras que para 30 minutos llegó a 83, el cual está dentro de las tonalidades amarillas y va de acuerdo a la madurez del fruto respectivamente, mientras que el control presentó valores de 72.

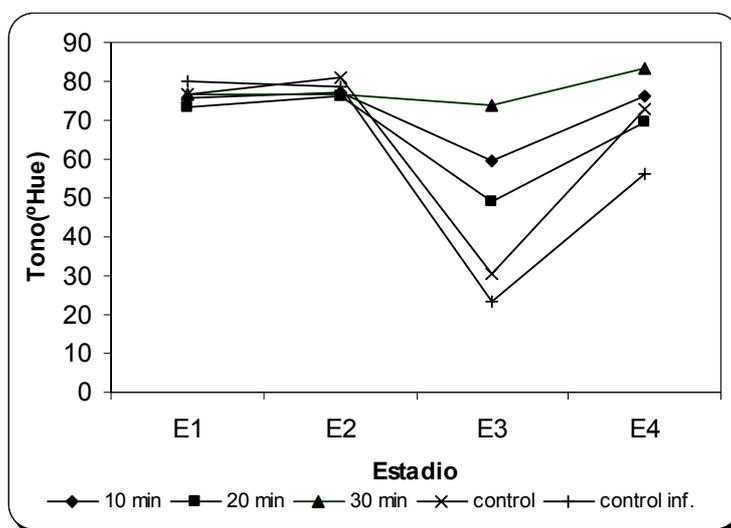


Figura 46. Efecto de los tratamientos UV-C sobre el tono en pulpa de frutos de aguacate cv.'Hass' infectado con *C. gloesporioides* almacenados a 20° C.

Para el caso de los tratados durante (E_1 y E_2) presentaron la misma tendencia con respecto al control, pero posteriormente durante el máximo climaterio (E_3) se aprecia un decremento, tanto para tratados como para el control y control infestado; presentándose una diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre los tratados por 10, 20 y 30 minutos conservando un mejor color con un 48%, 37% y 58% respectivamente, arriba del grupo control; mientras que el control infestado presentó valores menores que el control, ya que durante esta etapa el hongo alcanzó su máxima extensión. Costa *et al.* (2006) reportaron que en brócoli pretratado con UV-C se produjo un descenso del ángulo Hue tras 4 días de almacenamiento a 20 °C. Para el postclimaterio (E_4) vuelve a aumentar llegando finalmente a 4 y 14% para 10 y 30 minutos respectivamente por arriba del grupo control y para 10 minutos y control infestado fue del 4 y 22% por debajo del control. Presentando una diferencia significativa ($p \geq 0.05$) de los frutos tratados con respecto a los frutos control, porque en este último estadio los frutos comenzaron a presentar coloraciones pardas en color café. Al final presentaron un aumento de E_1 a E_4 para 10 y 30 minutos del 1 y 9%,



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

mientras que para 20 minutos y los frutos control e infestado hubo un descenso del 7, 7 y 30% respectivamente.

Cromaticidad.

Croma nos indica el grado de saturación del tono o la intensidad de este ; también muestra que tanto un color difiere del gris (McGuirre,1992). Para los valores de croma o intensidad del color, todos presentan la misma tendencia desde el preclimaterio (E₁) con valores de 40, hasta el postclimaterio (E₄) con 4, presentando la mayor intensidad de color (verde) durante E₁, para posteriormente degradarse y llegar a coloraciones amarillas en la pulpa (figura 47).

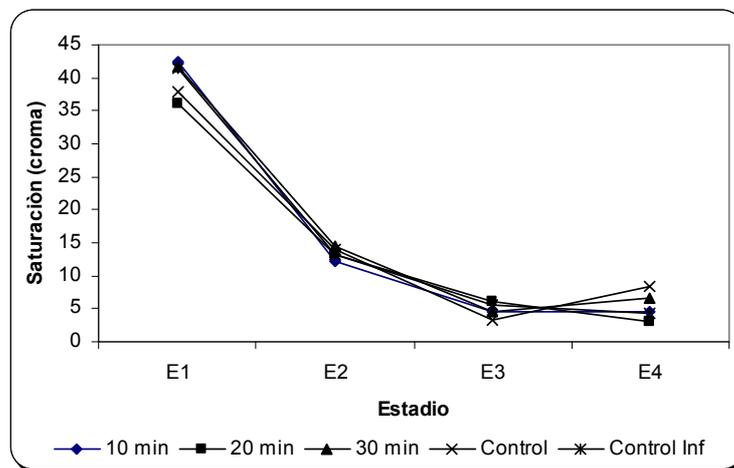


Figura 47. Efecto de los tratamientos UV-C sobre la intensidad de color en pulpa de frutos de aguacate cv.'Hass' infectado con *C. gloesporioides* almacenados a 20° C.

Durante E₁ se encontraron un poco más abajo los frutos tratados por 20 minutos y control con respecto a los demás, pero durante los 2 estadios siguientes no presentaron diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con respecto al control.

En los tratados la tendencia de la intensidad de color fue similar al grupo control hasta el máximo climaterio; ya que en el postclimaterio los tratados descendieron su color, teniendo valores de 47, 65 y 23% para 10, 20 y 30 minutos respectivamente, mientras el infestado fue de un 48% abajo del control, por lo que el hongo no afectó este parámetro.

Dichos resultados confirman el retraso en la maduración ya que menores valores de Croma reflejan una menor saturación de color (Robles *et al.*, 2007).



4.6 Efecto de los tratamientos de irradiación UV-C en el control de antracnosis en aguacate variedad 'Hass'.

Los frutos de aguacate son frutos climatéricos, altamente sensibles y evolucionan rápidamente hacia la maduración y decaen fisiológicamente debido al incremento repentino de la velocidad de respiración, acompañado a su vez de un cambio en la composición incrementándose la aceptabilidad del producto al consumidor (Iglesias *et al.*, 2000). Estas características hacen que los frutos presenten serios problemas para su conservación postcosecha por lo que es importante considerar nuevas alternativas para conservar su calidad y vida de anaquel; el uso de tecnologías emergentes como la irradiación ultravioleta UV-C ha sido considerada como un tratamiento alternativo para preservar la calidad de frutas y hortalizas ya que reduce el crecimiento de organismos vegetativos (González-Aguilar *et al.*, 2005 b).

La antracnosis es una de las enfermedades número uno que afecta a los frutos de aguacate desde sus primeras etapas de desarrollo y acentuándose cuando el fruto alcanzó su madurez fisiológica (Reyes, 1996), que es cuando han perdido la capacidad para sintetizar el compuesto antifúngico dieno; ya que esta sustancia es la que constituye la base de la resistencia a la antracnosis en frutos inmaduros (Téliz y Mora 2007). La enfermedad en etapa postcosecha se manifiesta por medio de manchas oscuras en la superficie de la cáscara y en condiciones óptimas el hongo penetra a través de la pulpa causando pudrición firme (Salgado, 1993).

En la tabla 14 se aprecia como el hongo va presentándose durante la etapa de maduración del fruto de aguacate (E₁-E₄), en la superficie del fruto aparecen lesiones necróticas y al remover la epidermis se observan manchas oscuras con círculos concéntricos que se extienden hacia la pulpa.

Pero en el caso de los frutos tratados, el hongo tardó en abarcar toda la pulpa de los frutos de aguacate y a mayores tiempos de irradiación ultravioleta (UV-C) se obtuvieron reducciones de la infección provocada por el hongo, en mangos se obtuvieron reducciones significativas de la infección de antracnosis aplicando dosis de irradiación (Pantástico, 1975); aunque no se ha podido tener un control total por radiación sobre patógenos fúngicos causantes de podredumbre post-recolección en frutos como plátanos, mangos y papayas (Molins, 2004).



Tabla 14. Desarrollo de antracnosis en frutos de aguacate cv.'Hass' tratados con irradiación ultravioleta (UV-C) y almacenados a 20°C

	Día 0	Día 5	Día 10	Día 15
10 minutos				
20 minutos				
30 minutos				
Control				
Control Infestado				

Los frutos tratados con irradiación ultravioleta (UV-C) mostraron un menor índice de daño ocasionado por la antracnosis comparados con el lote control y observando una amplia diferencia con el control infestado; ya que este desde los primeros días presentó los síntomas.



4.6.1 Índice de deterioro.

El nivel de daño presentado durante los días de almacenamiento de aguacates infectados con *C. gloesporioides*, se aprecia en la figura 48, donde todos los lotes tanto tratados como control y control infectado comienzan en 1, representando este valor en la escala subjetiva a frutos que no presentaron daño, pero entre el día 1 y 2 el control infectado comienza a presentar síntomas de daño, mostrándose un 17% arriba del lote control, mientras que los tratados no presentaron diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con respecto al control. En el tercer día, se presentó un cambio evidente en el lote control exhibiendo un mayor nivel de daño de 1.5 y para el control infectado aumentó a 2 (frutos con daño que no excedan del 25%), a partir de este día se comienza a presentar un incremento del daño causado por el hongo *C. gloesporioides* en el mismo; mientras que para los tratados estos no presentan diferencia significativa ($p \geq 0.05$).

Al cuarto día, se presentó una ampliación del daño en el tratado 10 minutos, con respecto a 20 y 30 minutos, presentando daño de 1.5 igual al control, mientras que el lote control infestado rebasa el 25% de daño; en el quinto día el tratado 30 minutos presentó una diferencia significativa con respecto al control con un menor nivel de daño del 28%.

Para el sexto y séptimo día el lote control infestado presentó niveles de daño mayores al 50%, mientras el control presentó niveles de daño del 25% al 50%, lo mismo sucedió en el caso del tratado 10 minutos, entre tanto los tratados 20 y 30 minutos aún no exceden el 25% en daño.

El último día de almacenamiento los tratados 20 y 30 minutos presentaron diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con relación al control de 28% y 40% respectivamente, mientras que el control infestado presentó un aumento en relación al control del 21%, Los primeros síntomas de la enfermedad son de carácter visual al intensificarse la presencia del hongo sobre el fruto y estos síntomas van apareciendo paulatinamente desde el inicio del climaterio (E_2) como pequeñas manchas de color negro-parduzco y también con hundimientos sobre la piel del fruto, que se expanden conforme madura hasta propagarse en su mayor extensión en el postclimaterio (E_4) (Espinosa y Hernández, 2006).

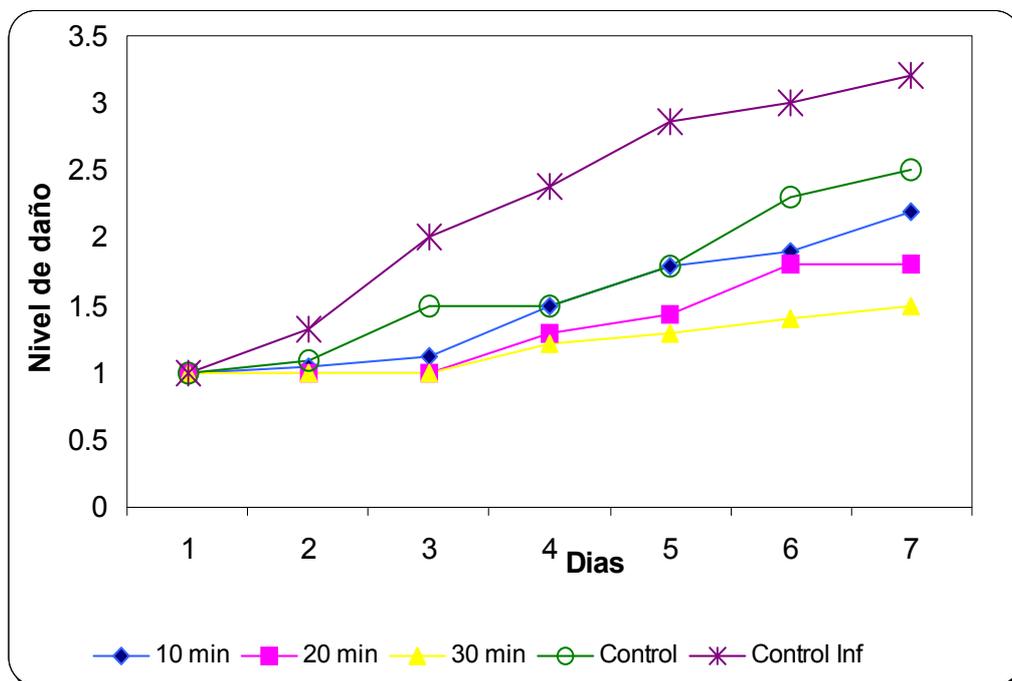


Figura 48. Efecto de los tratamientos UV-C sobre el índice de decaimiento en frutos de aguacate cv. 'Hass' infectado con *C. gloesporioides* almacenados a 20°C.

Al final del almacenamiento el nivel de daño en el tratamiento de 10 minutos fue del 54%, para 20 minutos de 44%, a 30 minutos fue del 33%, en el caso del control el daño llegó al 60% dato comparado con papaya cv. Maradol su testigo presentó severidad del 60-62% y para el control infestado fue del 69% (Zavala-León *et al.*, 2005). En el caso de los tiempos del tratamiento, estos indujeron un control efectivo ya que redujeron la severidad de la antracosis en los frutos de aguacate, los resultados son consistentes con los reportados por González-Aguilar *et al.*, (2005 a); González-Aguilar *et al.*, (2007) la aplicación de irradiaciones UV-C redujo los síntomas de deterioro en durazno, mango cv. 'Haden', mango cv. 'Keitt' y nectarina; aunque no rebasaron ni el 70%. Cabe destacar que al hongo *C. gloesporioides* se le proporcionaron todas las ventajas posibles para su desarrollo, como fueron:

- * Inoculación de un aislamiento con una aptitud parasítica alta, representada por una germinación rápida y elevada, esporulación alta y crecimiento micelial rápido (Gutiérrez-Alonso *et al.*, 2001), las cuales representan



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

características que ayudan a incrementar su capacidad de supervivencia y el desarrollo de enfermedades subsecuentes.

- ★ Densidad de inoculación elevada (1×10^6 conidios/ml).

- ★ Inoculación 24 h antes de la aplicación de los tratamientos, lo cual probablemente favoreció la penetración de hifas infectivas y la formación de haustorios dentro de los tejidos, además de la formación de apresorios que son estructuras de supervivencia, resistentes a la acción de agentes externos.

- ★ Almacenamiento adecuado a 20°C provocando un microambiente con condiciones de humedad relativa alta, que es un factor principal para el establecimiento de infecciones por *C. gloesporioides* (Gutiérrez-Alonso *et al.*, 2004).

4.7 Cambios producidos por el tratamiento de irradiación UV-C en las enzimas PPO (polifenoloxidasas) y POD (peroxidasa) con la disminución de los síntomas de antracnosis del aguacate.

Las enzimas que intervienen en la oxidación de los compuestos fenólicos son las polifenoloxidasas y las peroxidasa, las cuales catalizan la oxidación de los fenoles propios de las células a quinonas, las cuales son altamente reactivas con proteínas, ácidos nucleicos, flavonoides y otras quinonas; estas reacciones, además de generar colores pardos, reducen las propiedades sensoriales de textura, color y sabor, disminuyendo la actividad nutricional del fruto y desembocan la muerte del mismo (Baquero *et al.*, 2005).

Se determinó la actividad residual de dos enzimas responsables del pardeamiento enzimático en frutos, en la cual se determina la actividad enzimática de los frutos tratados con respecto al control durante la etapa de maduración.



4.7.1 Efecto de la actividad Polifenoloxidasa (PPO) y Peroxidasa (PDO).

- * Efecto en la actividad enzimática de la Polifenoloxidasa (PPO).

Las PPO son metaloproteínas que contienen cobre, estas se encuentran localizadas principalmente en los plastos, en las membranas de los tilacoides. Los principales sustratos naturales de las PPO en los órganos vegetales son las catequinas y los derivados hidroxicinámicos y especialmente los derivados cafeicos (Tirilly y Bourgeois, 2001).

Para la evaluación de la PPO se utilizó como sustrato dopamina, ya que se realizaron evaluaciones previas para conocer cual sustrato era el más adecuado para la enzima; así también se ajustó el pH y la temperatura seleccionando el pH de 6.5 y la temperatura de 50° C.

Como se aprecia en la figura 49 la actividad de la Polifenoloxidasa se evaluó de forma residual, en la cual se determina la actividad enzimática de los frutos tratados con respecto a los frutos control durante toda su etapa de maduración

La actividad residual que presenta la enzima PPO en pulpa de aguacate cv.'Hass' sometido a diferentes tiempos de irradiación UV-C, muestra que durante la etapa del preclimaterio E₁ todos los tratamientos presentaron una mayor actividad con respecto al control; ya que para 10 minutos la actividad residual aumentó un 11%, para 20 minutos aumento un 33%, en el caso de 30 minutos fue del 20% arriba de los frutos control y para el control infestado este fue de un 11%.

En el inicio del climaterio E₂, se comenzó a observar una disminución de la actividad residual de los tratados de un 9,18% respectivamente en comparación con E₁ e inclusive un 6% abajo en el caso de 30 minutos con respecto al control. Las muestras de aguacate sometidas a tratamiento por microondas presentaron una mayor velocidad de inactivación de PPO, debido principalmente la difusión de calor y tiempo de exposición (Jiménez *et al.*, 2004).



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el máximo climaterio tanto los tratados como el control infestado presentaron una disminución de la actividad residual con respecto al control, destacando el control infestado mostrando una disminución drástica del 31 % abajo del control y 10 minutos un 29% menor al control.

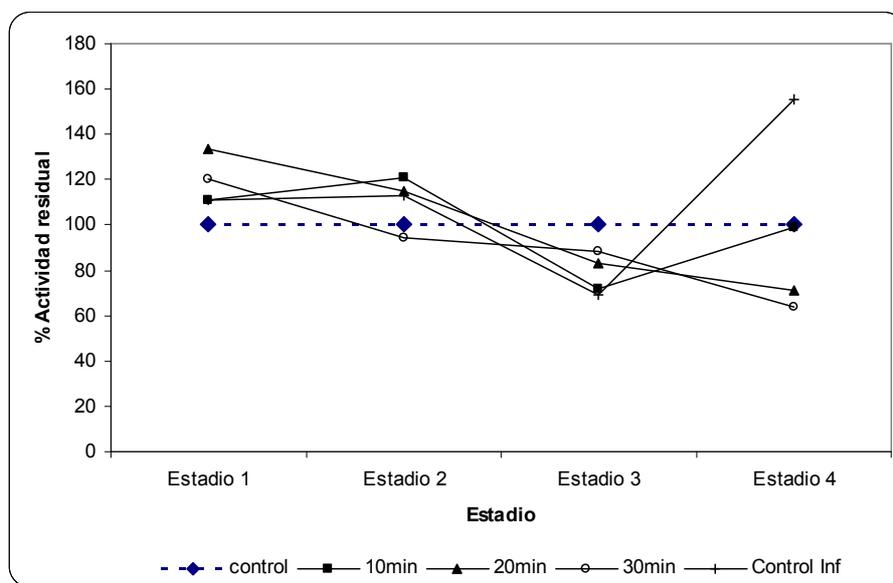


Figura 49. Efecto de la exposición a diferentes tiempos de irradiación UV-C sobre la actividad de la PPO en pulpa de aguacate cv.'Hass' almacenado a 20° C durante su etapa de maduración: E₁ preclimaterio, E₂ inicio del climaterio, E₃ máximo climaterio y E₄ postclimaterio.

En el postclimaterio, la enzima siguió disminuyendo su actividad en los frutos tratados por debajo a las del fruto control. Para 10, 20 y 30 minutos la actividad disminuyó un 2, 29 y 37% respectivamente debajo del grupo control, lo cual indica que la radiación tiene un efecto inhibitorio sobre la actividad de la PPO al incrementar los tiempos de exposición, mientras que el grupo control infestado presentó su máxima actividad con un 55% por arriba del grupo control. La actividad PPO decreció significativamente con el incremento del tiempo de exposición al tratamiento térmico (Youssef *et al.*, 2002).

Para el caso de la actividad residual PPO en la pulpa de aguacate cv.'Hass' la figura 43 muestra como durante toda la etapa de maduración del fruto y a causa de la exposición a las radiaciones UV-C la actividad va disminuyendo hasta llegar al estadio E₄; mientras que para el control infestado esta aumentó debido a que el hongo degrada tejido ocasionando



una modificación en la compartimentación subcelular produciendo que la membrana que separa a la vacuola del citoplasma (lugar donde se localizan las enzimas) se rompa y se mezclen los fenoles y las enzimas (Tirilly y Bourgeois, 2001).

★ Efecto en la actividad de la Peroxidasa (PDO).

La peroxidasa es una oxidorreductasa la cual tiene la capacidad de degradar el H_2O_2 a expensas del consumo de sustancias de tipo fenólico, aunque con la generación de sustancias pardas, razón por la cual a sido ubicada dentro del sistema enzimático antioxidante (Baquero *et al.*, 2005).

En el caso de la POD, se utilizó como sustrato a la p- fenildiamina, porque aunque en referencias bibliográficas se ha citado que el mejor sustrato ha sido catecol, este no presento la mayor actividad; de igual manera se seleccionó el pH de 6.5 y la temperatura de 25 °C.

Para el inicio del climaterio (E_1) todos los tratamientos presentaron un aumento de la actividad residual de PDO inmediato al tratamiento de irradiación; destacando el tratado 30 minutos debido a que presenta un 70% de actividad por arriba del control, mientras que el control infestado solo presenta un 6% más de actividad que el control. Desde el inicio del climaterio el tratado 30 minutos presenta un aumento de la actividad hasta el máximo climaterio (E_4), Undurraga *et al.*, 2003 reporta que la PDO en tejido sano de aguacate fue mayor que en el tejido con daño fisiológico; lo cual explica que la participación de la PDO no está directamente relacionada con la acción oxidativa en el fruto.

Durante el inicio del climaterio E_2 se da una inactivación parcial de la enzima PDO, ya que el tratado 10 minutos presentó un 29 % menos de actividad, casi lo mismo que el control infestado con un 31% y 20 minutos un 10% menos con respecto al control, mientras que para el tratado a 30 minutos descendió un 58% con respecto al E_1 .

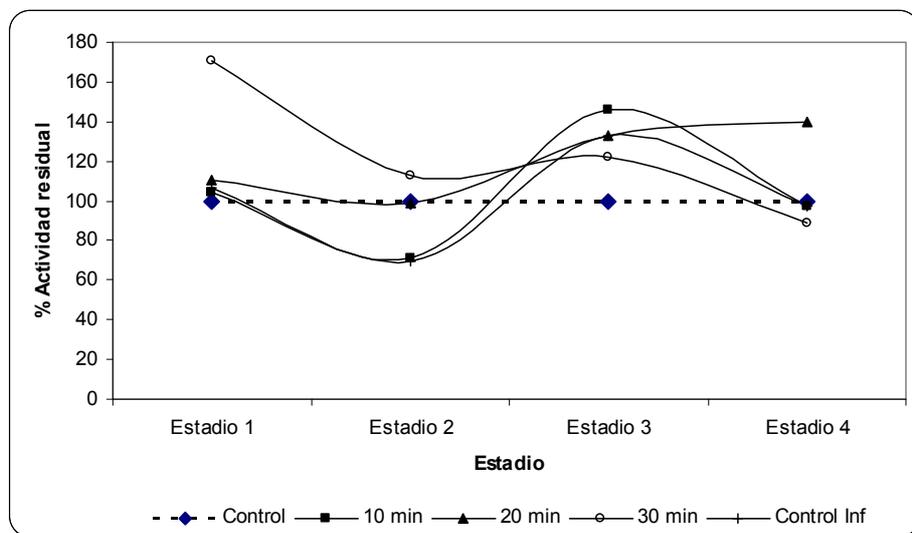


Figura 50. Efecto de la exposición a diferentes tiempos de irradiación UV-C sobre la actividad de la PDO en pulpa de aguacate cv.'Hass' almacenado a 20° C durante su etapa de maduración: E₁ preclimaterio, E₂ inicio del climaterio, E₃ máximo climaterio y E₄ postclimaterio.

Para la etapa del máximo climaterio (E₃), tanto los tratados como el control infestado presentaron un aumento de la actividad residual, para 10 minutos fue un 46%, en 20 minutos 33%, 30 minutos un 22% y para el control infestado un 32% con respecto al control.

Finalmente para el postclimaterio 10, 30 minutos y control infestado presentaron una disminución de la actividad, excepto el tratado 20 minutos con un 6% más que en el máximo climaterio. Durante esta etapa el tratado 30 minutos presentó la menor actividad con un 12% menos que el grupo control, mientras que los otros fueron de un 4%.

El comportamiento general de la PDO progresa conforme al envejecimiento de las células y aumenta conforme a la maduración normal de frutos de mango, debido a que la activación de enzimas oxidativas por efecto de la irradiación puede ocasionar la activación de una enzima latente debido a los cambios conformacionales de la enzima (Briseño *et al.*, 2008).



4.8 Evaluación del efecto de los fenoles presentes en el aguacate variedad 'Hass' en el crecimiento del hongo *C. gloesporioides* a partir de pruebas *in vitro*.

Las plantas producen compuestos con propiedades antimicrobianas que son empleadas para controlar diferentes enfermedades en productos hortofrutícolas. La obtención de los extractos vegetales y el estudio de sus compuestos activos en condiciones *in vitro* inhiben el crecimiento de los patógenos; así como la esporulación y germinación de las esporas ayudando de esta manera a controlar las enfermedades de frutos y hortalizas (Hernández *et al.*, 2007). Diversos productos derivados de las plantas han mostrado un efecto antimicrobiano; entre estos compuestos destacan los flavonoides, fenoles, terpenos, aceites esenciales, alcaloides, lecitinas y polipéptidos (Hernández *et al.*, 2007).

4.8.4 Efecto de los fenoles en el crecimiento del hongo *C. gloesporioides*.

Durante el periodo de incubación se realizó una evaluación visual diaria de las cajas por un periodo de 7 días, para determinar la presencia o ausencia de una zona de inhibición del crecimiento micelial del hongo *C. gloesporioides*, observando lo siguiente:

De los extractos fenólicos totales obtenidos a partir de frutos de aguacate cv.'Hass' sobre el crecimiento *in vitro* del hongo *C. gloesporioides*, ninguna concentración presentó inhibición del crecimiento micelial (tabla 15 y 16), ya que la actividad antifúngica difiere entre los extractos, como lo han reportado Hernández *et al.* (2007) quienes a partir de 18 extractos vegetales evaluados sobre el desarrollo de *C. gloesporioides*, solo los de ajo, acuyo, guayaba y eucalipto blanco redujeron significativamente el crecimiento micelial en 54, 48, 47 y 39 %, respectivamente.

Diversos estudios se han realizado observando que la actividad antifúngica difiere entre los extractos acuosos y los polvos; así como la especie de la planta y del patógeno; ya que a pesar de que todas las plantas contienen metabolitos secundarios estos difieren de acuerdo al entorno en el que se encuentren como lo reportaron Gutiérrez *et al.* (2003) en pruebas *in vitro* los agentes biológicos de *B. licheniformis* tuvieron una capacidad antagónica importante sobre *C. gloesporioides*; mientras que en pruebas *in vivo* tuvieron un control limitado a temperatura ambiente y en condiciones de refrigeración no hubo efecto. Un total de 93 extractos etanólicos obtenidos a partir de 37 especies vegetales se evaluaron a concentración de 25000 mg/ml sobre el crecimiento *in vitro* de *Phytophthora*



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

palmivora y *C. gloesporioides* sin encontrar ninguna muestra de inhibición micelial (Mendoza *et al.*, 2007).

Tabla 15. Observaciones realizadas a la prueba *in vitro* sobre el crecimiento del hongo *C. gloesporioides*.

Concentración	Observaciones			
	Día 1	Día 3	Día 5	Día 7
23 mg / ml	Limpia	Comienza a crecer.	Expansión e invasión de discos.	Cajas invadidas sin presencia de inhibición.
40 mg / ml	Limpia	Comienza a crecer y expandirse.	Expansión sin presencia de halo de inhibición.	Cajas invadidas sin presencia de inhibición.
80 mg / ml	Limpia	Comienza a crecer.	Expansión e invasión de discos.	Cajas invadidas sin presencia de inhibición.
Control	Limpia	Comienza a crecer y expandirse hacia la periferia	Expansión e invasión de discos.	Cajas invadidas sin presencia de inhibición.
23 mg / ml AG	Limpia	Comienza a crecer.	Expansión del hongo y principios de invasión de discos.	Cajas invadidas sin presencia de inhibición.
40 mg / ml AG	Limpia	Comienza a crecer.	Expansión del hongo y principios de invasión de discos.	Cajas invadidas sin presencia de inhibición.
80 mg / ml AG	Limpia	No hay crecimiento.	Expansión sin presencia de halo de inhibición.	Cajas invadidas sin presencia de inhibición.
Control AG	Limpia	Comienza a crecer.	Expansión e invasión de discos.	Cajas invadidas sin presencia de inhibición.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 16. Desarrollo del hongo *C. gloesporioides*, tras la aplicación de fenoles mediante pruebas in vitro.

	Día 1	Día 3	Día 5	Día 7
23 mg / ml				
40 mg / ml				
80 mg / ml				
Control				
23 mg / ml AG				
40 mg / ml AG				
80 mg / ml AG				
Control AG				



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La relación antagonista-patógeno esta influenciado por algunas propiedades superficiales del hospedante como es la actividad bioquímica, estructuras superficiales, nutrientes y agua (Gutiérrez *et al.*, 2004). Por lo que es necesario realizar extractos con diversas partes de la planta del aguacate a diferentes concentraciones y diferentes técnicas de extracción para obtener compuestos fenólicos puros y poder ser aplicados sobre pruebas *in vitro* e *in vivo* para la inhibición del crecimiento micelial de diversos hongos fotopatógenos.

Baños *et al.*(2004) realizaron estudios de pruebas *in vitro* de hueso y tejido seco de aguacate (*Persea americana*) para la inhibición de *C. gloesporioides* en papaya maradol roja no encontrando un efecto inhibitorio, con un crecimiento micelial en el 5to día de 25.43 cm².

La aplicación de bacterias *B. licheniformis* y *B. subtilis* también han sido reportadas por diversos autores como antagonistas efectivos contra *C. gloesporioides* en frutos de mango y aguacate tanto en precosecha como en postcosecha (Gutiérrez *et al.*, 2003). Baños *et al.* (2004) encontraron que los extractos que indujeron la inhibición de *C. gloesporioides* fueron el ajo, hierba santa y eucalipto mostrando un efecto consistente durante el ensayo de 54.34, 48.82 y 39.03% respectivamente. Los extractos de hojas de anona roja (*Annona reticulata* L.) de papaya y semillas de papaya combinados con quitosano (2.5%) observaron un control significativo en el desarrollo de la antracnosis en papaya (Bautista *et al.*, 2003). Para frutos almacenados de curuba (*Pasiflora mollisima* Barley) se demostró una reducción significativa de *C. gloesporioides* al aplicar extractos de semillas de toronja (Hernández *et al.*, 2007).

La inhibición de patógenos que atacan frutos en postcosecha mediante extractos de plantas, indican su potencial para ser usados en tratamientos en poscosecha (Hernández *et al.*, 2007), por lo que es importante continuar desarrollando investigaciones que descubran los compuestos activos responsables del efecto antifúngico en otros frutos; ya que se pueden encontrar especies de plantas que contengan metabolitos secundarios con actividad biológica específica en organismos fitopatógenos diferentes (Mendoza *et al.*, 2007).

La enorme riqueza vegetal que se encuentra en México puede ser aprovechada para obtener la mayor cantidad de compuestos con efecto antifúngico y utilizarse en frutos y vegetales para controlar enfermedades postcosecha, porque representa una alternativa como tratamiento natural contra hongos fitopatógenos.

CONCLUSIONES





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



5. CONCLUSIONES

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

- Los tratamientos por irradiación UV-C superiores a los 40 minutos no fueron efectivos para ser aplicados en aguacate; ya que provocaron quemaduras en el fruto, mientras que los tratamientos por irradiación menores a 10 minutos no fueron efectivos en el control de antracnosis.
- Los tratamientos de irradiación UV-C a 20 y 30 minutos ayudaron a reducir el efecto negativo sobre los parámetros de calidad (pH, acidez y color).
- Los tratamientos de irradiación UV-C ayudaron a conservar por un tiempo más prolongado la firmeza en los frutos de aguacate, disminuir la pérdida de peso y por ende el índice de decaimiento en los mismos.
- La aplicación de tratamientos de irradiación UV-C en frutos de aguacate, fue un método afectivo para reducir o inactivar al hongo *Colletotrichum gloesporioides*, al ser aplicado por tiempos de 30 minutos
- Los tratamientos de irradiación UV-C aplicados a 10 minutos o menos en frutos de aguacate no son efectivos en el control de antracnosis.
- Los tratamientos de irradiación UV-C ayudaron a disminuir la actividad de la enzima PPO durante toda la etapa de maduración, evitando de esta manera el pardeamiento del fruto de aguacate, mientras que para POD solo se inactivó de forma parcial.
- La presencia de fenoles procedentes de la piel de aguacate sobre el crecimiento *in vitro* para inhibir su desarrollo, no fue efectivo, ya que no redujo su crecimiento.

RECOMENDACIONES





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.



6. RECOMENDACIONES.

En base a los resultados se recomienda lo siguiente:

- ★ Aplicar tratamientos de irradiación UV-C a frutos y hortalizas que presenten enfermedades postcosecha como la antracnosis, ajustando los tiempos de acuerdo a sus características.
- ★ Realizar una combinación de tratamientos con la irradiación UV-C, como las películas comestibles como medida de control de enfermedades y desordenes fisiológicos en aguacate.
- ★ Identificar los compuestos fenólicos presentes en el aguacate que sean sustrato para las oxidorreductasas en aguacate, para lograr una mayor inhibición de las enzimas.
- ★ Realizar más estudios referentes a las enzimas presentes en frutos de aguacate responsables del pardeamiento sometido a diferentes condiciones de conservación.
- ★ Obtener compuestos fenólicos de otras partes del aguacate (hojas, tallo); así como de otros frutos, para la aplicación sobre el hongo *C.gloesporioides* y lograr su inhibición.

ANEXOS





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

**ANEXO 1****PREPARACIÓN DE MEDIOS DE CULTIVO****AGAR PAPA – DEXTROSA**

Este medio se utilizó para el crecimiento del hongo *Colletotrichum gloeosporioides*.

Material:

- Papas
- Agua destilada
- Dextrosa anhidra polvo ($C_6H_{12}O_6$)
- Agar bacteriológico
- Antibiótico (Choramphenicol)

Procedimiento:

Se lavaron 200 g de papas, se picaron en pequeños trozos y se hirvieron en 500 ml de agua destilada por un periodo de 30 minutos. Posteriormente se filtró a través de una manta de cielo y se colocaron 300 ml en un matraz, al cual se le adicionaron 10 g de dextrosa y 7.5 g de agar bacteriológico; se aforó hasta 500 ml calentando y agitando hasta homogeneizar la mezcla, se cubrió con un tapón de algodón y gasa y se tapó perfectamente con papel aluminio. Se esterilizó en autoclave durante 20 minutos a 121°C. Se desinfectó previamente toda la área de trabajo con alcohol evitando corrientes de aire y polvo, se colocaron mecheros en el área, se desinfectaron las manos y se utilizaron cofia, guantes y cubre bocas para evitar contaminaciones.

Se enfrió el medio y se vertió en cajas petri estériles para posteriormente dejarlas solidificar, finalmente se sellaron con parafilm y se apilaron para realizar las pruebas de esterilidad.



AGAR DE AVENA

Este medio de cultivo se utilizó para identificar los apresorios del hongo *Colletotrichum gloesporoides*.

Material:

- Avena
- Agua destilada
- Extracto de levadura
- Agar bacteriológico

Procedimiento:

Para la preparación del medio de cultivo se colocaron 60 g de avena en 50 ml de agua destilada y se hirvieron por un periodo de 30 minutos. Se filtró a través de una manta de cielo y se colocaron 300 ml en un matraz al que previamente se le adicionaron 12 g de agar y 1 g de extracto de levadura, se aforo hasta 500 ml, se agitó y se esterilizó en autoclave por un periodo de 20 minutos a 121° C. Se desinfectó previamente toda la área de trabajo con alcohol evitando corrientes de aire y polvo, se colocaron mecheros en el área y se desinfectaron las manos y para evitar contaminaciones se utilizaron cofia, guantes y cubre bocas.

Se enfrió el medio de cultivo y se vertió en cajas petri estériles y se dejaron solidificar, posteriormente se sellaron con parafilm y se apilaron para la prueba de esterilidad.



AGAR PAPA- ZANAHORIA

Este medio de cultivo favorece la esporulación del hongo *Colletotrichum gloesporioides*.

Material:

- Papas
- Agua destilada
- zanahorias
- Agar bacteriológico
- Antibiótico (Choramphenicol)

Procedimiento:

Se lavaron las papas y zanahorias, se picaron en pequeños trozos y se hirvieron en 500 ml de agua destilada por un periodo de 30 minutos. Posteriormente se filtró a través de una manta de cielo y se colocaron 300 ml en un matraz, al cual se le adicionaron 10 g agar bacteriológico; se aforo hasta 500 ml calentando y agitando hasta homogeneizar la mezcla, se cubrió con un tapón de algodón y gasa y se tapó perfectamente con papel aluminio. Se esterilizó en autoclave durante 20 minutos a 121° C y se desinfectó previamente toda la área de trabajo con alcohol evitando corrientes de aire y polvo, se colocaron mecheros en el área y se desinfectaron las manos y para evitar contaminaciones se uso cofia, guantes y cubre bocas.

Se enfrió el medio y se vertió en cajas petri estériles y se dejaron solidificar, posteriormente se sellaron con parafilm y se apilaron para realizar la prueba de esterilidad.

El medio de cultivo agar papa- zanahoria con antibiótico se elaboró como se describió anteriormente agregando 50 mg de antibiótico (clindamicina) para evitar así la contaminación de cepas del hongo *Colletotrichum gloesporioides* inhibiendo el crecimiento de otros microorganismos.

REFERENCIAS





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.

**8. REFERENCIAS**

- * Ahmed E. Yousef; Carolyn, C. (2003). *Microbiología de los alimentos: manual de laboratorio*. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza (España). pp. 223.
- * Alcántar, J; Anguiano, J; Coria, V.M; Hernández, G; Ruiz, J.A. (1999). Áreas potenciales para cultivo del aguacate (persea americana cv. Hass) en el estado de Michoacán, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 5:151-154.
- * Alexopolus, C.J. (1985). *Introducción a la micología*. Ediciones Omega, S.A. Barcelona. pp.70.
- * Anderson, A. (2003). Influencia del patrón y de la nutrición mineral sobre el desarrollo de la antracnosis en el aguacate 'Hass'. 5to. *Congreso Mundial del aguacate*. Anexo. A-207 pp. 008-009.
- * AOAC (1990). *Official methods of analysis of the association of official analytical chemists AOAC, food composition; additives; natural contaminants*, Volumen II, publicado por the association of official analytical chemists, Inc. Arlington, Virginia, USA, 15ª edición, pp. 1298.
- * Arcilla, P. (2003). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Tema: Manejo y fisiología postcosecha de vegetales. Disponible en: <www.cipasla.org/>.
- * Ardi, I; Kobilier, B; Jacoby, N; Keen, N.T y Prusky, D. (1998). Involvement of epicatechin biosynthesis in the activation of the mechanism of resistance of avocado fruits to *Colletotrichum gloeosporioides*. *Physiological and molecular plant pathology*. 53(17): 269-285.
- * Arévalo, L; Saucedo, C; Bustos, E; González, H. (2002). Maduración de frutos de aguacate 'Hass' tratados con irradiación gamma. *Agrociencia*. 36 (006): 667-673.



- * Asohofrucol. (2003). Frutas y Hortalizas de Colombia para el Mundo. Disponible en:< <http://www.frutasyhortalizas.com.co>>
- * Bande, A.L; Franco, C.M; Centeno, J.A; Quinto, E.J y Cepeda,A. (1990). Aplicación de la irradiación de alimentos: diversos aspectos relacionados. *Revista Alimentaria*. **214** (27):23-28.
- * Baños, P.E; Zavaleta, E; Colinas, M.A; Luna, I; Gutiérrez, J.G. (2004). Control biológico de *Colletotrichum gloesporioides* [(Penz.) Penz. Y Sacc.] en papaya Maradol roja (*Carica Papaya L.*) y fisiología postcosecha de frutos infectados. *Revista Mexicana de Fitopatología*. Julio-Diciembre.**22** (002): 198-205.
- * Bautista, S; Hernández, M; Bosquez, E; Wilson; C.L (2003). Effects of chitosan and plant extracts on growth of *Colletotrichum gloesporioides*, anthracnose levels and quality of papaya fruit. *Crop. Prot*, **22**: 1087-1092.
- * Billiot, J. (2002). El pardeamiento enzimático en. Tecnología de hortalizas. Ed. Acribia Zaragoza. pp. 233-257.
- * Blanke, M.M. (1992). Photosynthesis of avocado fruit. *Proceedings of Second World Avocado congress I*: 179-189.
- * Briseño, C.I; Vargas, Z; Camacho de la Rosa, N.A; Wacher-Rodarte, C; Trejo, M.A. (2008). Efecto de tratamientos de irradiación UV-C sobre la actividad de la Polifenoloxidasa y Peroxidasa en mangos variedad 'Ataulfo' almacenados a bajas temperaturas. Congreso Nacional de alimentos. *Revista nutrición y salud pública*. pp.1-8.
- * Cano, M.P.O; Martin, M.A. y Fúster, C. (1990). Effects of some thermal treatments on polyphenoloxidase and peroxidase activities of banana (*Musa cavendishii*, var. *enana*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **51**: 223-231.
- * CENIAP, (2005). Centro nacional de investigaciones agropecuarias de Venezuela. Disponible e. www.ceniap.gov.ve



- * Cepeda, M. (1998). *Prácticas de fitopatología agrícola*. Editorial Trillas, México. pp:87.
- * Codex alimentarius. (2009). Norma para aguacate. Disponible en: <www.codexalimentarius.net/>
- * Coletto, J.M. (1989). *Crecimiento y desarrollo de las especies frutales*. Ediciones Mundi-Prensa. pp.:113-123.
- * Costa, L; Vicente, A.R; Civello, P.M; Chaves, A.R; Martinez, G.A. (2006). UV-C treatment delays postharvest senescence in broccoli florets. *Postharvest Biology. Technol.* **39**: 204-210.
- * Chapingo (2008). Red de aguacate. Disponible en: <www.chapingo.mx/red_aguacate/>
- * Diaz-Montenegro, D.H. (2002). *"Fisiología de árboles frutales"*. AGT Editor, S.A. pp.231-245.
- * Erkan, M., Wang, S.Y. y Krizek, D.T. (2001). UV-C irradiation reduces microbial population and deterioration in Cucurbita pepo fruit tissue. *Environmental and Experimental botany*, **45**: 1-9.
- * Espinosa-Guía, C.F y Hernández-Velásquez, M. (2006). Aplicación de tratamientos térmicos por vapor caliente en el control de antracnosis y en los síntomas de daños por frío en mangos variedad 'Keitt'. Tesis de Licenciatura, UNAM. pp:165.
- * FAO (2003). Manual de capacitación. *"Prevención de pérdidas de alimentos poscosecha: frutas, hortalizas, raíces y tubérculos"*. Roma, Italia. pp.20-34.
- * FAO (1989). Departamento de agricultura (1989). Manual para el mejoramiento poscosecha de frutas y hortalizas. Santiago (Chile). Disponible en: <<http://www.fao.org/docrep/>>.
- * FAO (2008). Organización para la Alimentación y la agricultura. Artículo: aguacate. Disponible en: <<http://www.fao.org/>>



- * Farrera, R.E, Zambrano, P.A y Ortiz F.A. (2009). Identificación de hongos asociados a enfermedades del fruto de la fresa en el minucupio Jáuregui del estado Táchira. *Revista de la facultad de agronomía*. N. 9.
- * Fersini A. (1980). “El cultivo del aguacate”. Ed. Diana. México.pp:131.
- * FONAIAP (2008). Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Disponible en: www.fonaiap.gov
- * Fresh California Avocados. (2007). Disponible en: < <http://www.avocado.org/espanol/>>
- * Garcia-Mémdez A, D. (2004). Caracterización de la calidad y del manejo postcosecha de tres productos hortofrutícolas para la exportación: aguacate (*Persea americana*), piña (*Ananas comosus* Merr.) y repollo (*Brassica oleracea* L.). *Revista de la Facultad de Agronomía* (Maracay) **30**:49-61.
- * González-Aguilar, G.A; Wang, C.Y y Buta, J.G. (2004). UV-C irradiation prevents breakdown and chilling injury of peaches during cold storage. *Journal of the Science of food and agriculture*. **84** (5): 415-422.
- * González-Aguilar, G; Ayala, J.F; Rivera, J; Zavaleta, R; Villegas, M.A; Tejedor, W. (2005 a). Mango, durazno y nectarina utilizando irradiación ultravioleta (UV-C). *Revista de Ciencia y Tecnología de la UACJ*. **3** (001):49-57.
- * González-Aguilar, G.A; Cuamea-Navarro F; Gardea A. (2005b). *Nuevas tecnologías de conservación de Productos vegetales Frescos Cortados*; (CIAD, A.C.); Editorial Logiprint Digital. Guadalajara Jalisco., México pp.558.
- * González-Aguilar, G.A, Villegas-Ochoa, M.A., Cuamea-Navarro, F. y Ayala-Zavala, J.F. (2007 a) Efecto de la irradiación UV-C sobre la calidad de mango fresco cortado. *Journal of food science*. **72**:197-202.
- * González-Aguilar, G; Zavaleta, R; Tiznado, M.E. (2007 b). Improving postharvest quality of mango ‘Haden’ by UV-C treatment. *Postharvest biology and technology*. **45** (01): 108-116.



- * Gutiérrez, J.G; Gutiérrez, O; Nieto, D; Téliz, D; Zavaleta, E; Delgadillo, F; Vaquera, H (2003). Evaluación *in vitro* de agentes biológicos y físicos para el control de *Colletotrichum gloesporioides* (Penz.) Penz. Y Sacc. *Revista Mexicana de Fitopatología*, julio-diciembre, no.002.21: 199-206.
- * Gutiérrez, J.G; Gutiérrez, O; Nieto, D; Téliz, D; Zavaleta, E; Delgadillo, F (2004). Manejo integrado de la antracnosis [*Colletotrichum gloesporioides* (Penz.) Penz. Y Sacc.] del mango (*Magnifera indica* L.) durante la postcosecha. *Revista Mexicana de Fitopatología*, diciembre.22 (003): 395-402.
- * Gutiérrez-Alonso, J.G; Nieto-Àngel, D; Téliz-Ortiz, D; Zavaleta-Mejia, E; Vaquera-Huerta, H; Martínez-Damian, T; Delgadillo-Sanchèz, F. (2001). Características de crecimiento, germinación, esporulación y patogenicidad de aislamientos de *Colletotrichum gloesporioides* Penz. Obtenidos de frutos de mango (*Magifera indica* L.). *revista Mexicana de Fitopatología* 19:90-93.
- * Hemmaty, S; Moallemi, N; Naseri, L. (2007). Effect of UV-C radiation and hot water on the calcium content and postharvest quality of apples. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 5(4):559-568.
- * Hermoso, J.m y Farrè, J.M. (2003). Estudios sobre el podrido del aguacate en postcosecha. *Proceeding V World avocado*. 671-677.
- * Hernández, A.N; Bautista, S; Velásquez, M.G (2007). Prospectiva de extractos vegetales para controlar enfermedades postcosecha hortofrutícolas. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Julio-agosto. 30 (002):119-123.
- * Hulme, A.C (1971). *The biochemistry of fruit and their products*. Academic Press London and New York.INC.pp.788.
- * Ibar A. L. (1986). "Cultivo del aguacate, chirimoyo, mango, papaya". 3ª ed. Editorial AEDOS-Barcelona pp. 14-23.



- * Iglesias, I y De Hombre, R. (2000). Influencia de las condiciones y tiempo de almacenamiento en la textura de bulbos de ajos y cebollas irradiados y sin irradiar. *Revista alimentaria*. No.312. 37:57-59.
- * Iglesias, I y Fraga, R. (2000). Conservación de ajos por irradiación. *Revista alimentaria*. No.312. 37:55-56.
- * Iglesias, I y Salcines, R.M. (2000). Conservación de cebolla por irradiación. *Revista alimentaria*. No.312. 37:49-50.
- * Iglesias, I., Pérez B., Casals C., Prieto E. (2000). Conservación postcosecha de aguacate. cv. 'Hass' con tratamientos combinados con la irradiación. *Revista alimentaria*. No.312. 37:51-54.
- * Iglesias, I; Pérez, B y Prieto, E. (2000). Conservación postcosecha de aguacate cv. 'Hass' con tratamientos combinados con la irradiación. *Revista Alimentaria*.003: 51-54.
- * INFOAGRO. (2006). El cultivo del aguacate. En: los frutos tropicales disponibles en: http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/aguacate.htm
- * INFOAGRO. (2006). El cultivo del aguacate 1ª parte. Disponible en: <http://www.infoagro.com/>
- * INM. (2006). Instituto Nacional de Meteorología. *Radiación solar España*. Disponible en : <http://www.inm.es/uvi/centro2.html>
- * Instituto de mercadeo agropecuario (2006). Elaborado con datos de FAOSTAT. Disponible en: <http://www.faostat.fao.org>
- * Leyva, G.A. y Ruiz, C.E. (2004).. "Efecto del tratamiento de películas elaboradas a base de quitosán y aditivos, sobre aguacate variedad Hass (Persea Americana Mill) durante el almacenamiento. Tesis de ingeniería en alimentos, UNAM. pp: 96.



- * López y Cajuste (1999). Comportamiento postcosecha de fruta de aguacate cv. Hass con base en la altitud de producción y tipo de floración. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 5: 365-371.
- * López, L; Alpizar, J; De la Cruz, E.(1996). Estudio de diferentes dosis de radiación gamma de ^{60}CO sobre la calidad en frutos de aguacate Colin V-33.CICTAMEX, .pp.149-154.
- * Lowry, O.H; Rosebrough, N.A; Farr, A.L. y Randall, R.J. (1951). Protein measurement with the folin phenol reagent. *Journal of Biology and Chemistry*, 193: 265-275.
- * Lui, J; Stevens, C; Khan, V.A; Lu, J.Y; Wilson, C.L; Adeyeye, O; Kabwe, M.K; Pusey, P.L; Chalutz, E; Sultana, T; Droby, S. (1993). Application of ultraviolet-C light on storage rots and ripening of tomatoes. *Journal Food Prot.* 56: 868-872.
- * Maftoonazad, N y Ramaswamy, H.S. (2004). Postharvest shelf-life extensión of avocados using methyl cellulose-based coating. *Elsevier*. 38 (6): 617-624.
- * Martínez, R. (1998). El cultivo del aguacate en Michoacán. Facultad de Agrobiología.pp: 199.
- * McGuire, R.G (1992). Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27 (12): 1254-1255.
- * Mendoza, C.B; Moreno, M.N; Weil, M; Elango, F (2007). Evaluación del efecto de extractos vegetales sobre el crecimiento *in vitro* de *Phytophthora palmivora* Bul. Y *Colletotrichum gloesporioides* (Penz) Penz & Sacc. *Revista de la universidad Harth*, Costa Rica. Junio, No.003, 1: 81-89.
- * Molins, R (2004). Irradiación de alimentos: principios y aplicaciones. Editorial Acribia, S.A. pp.490.
- * Murray, D.R. (1990). *Biology of food irradiation*. Research Studies Press LTD. Taunton, Somerset, England.pp:54-70.



- * Nutrinfo (2000). La irradiación de alimentos. Disponible en: <www.nutrinfo.com/>
- * Ortega-Tovar, M.A. (2003). *Valor nutrimental de la pulpa fresca de aguacate Hass*. Secretaria de Desarrollo agropecuario del Estado de Michoacán. V Congreso Mundial del Aguacate. pp.241-748.
- * Pantástico, B (1975). Fisiología de la postrecolección, manejo y utilización de frutas y hortalizas tropicales y subtropicales. Compañía editorial Continental, S.A México.pp.663.
- * Pearson, D. (1998). *Técnicas de laboratorio para el análisis de alimentos*. Editorial Acribia, S.A., Zaragoza, España. pp: 331.
- * Patiño R.T. (1996). Estudio cinético de la oxidación enzimática de los polifenoles del fruto de aguacate (*Persea americana*, variedad Hass). Tesis de químico. FES Cuautitlán.
- * Platt, K.A y Thomson, W.W. (1981). Ultrastructure of the mesocarp of mature fruit and changes associated with ripening. *Annals of Botany*. **48**:451-465.
- * Pluetz, R.C; Zentmyer, G.A; Nishijima, W.T; Rohrbach, W.T; Ohr, H.D. (1994). Compendium of Tropical fruit diseases. Ed. APS PRESS. *The American Phytopathological society*. 71-73.
- * Queralt, G.E. (1987). *El cultivo moderno del aguacate*. Ed. De Vecchi, S.A- Barcelona. pp: 126.
- * Ramírez, R; González, L.M y Camejo, Y. (2002). Aplicación de las técnicas de irradiación en la producción alimentaria, sus ventajas y repercusión social. *Alimentaria*, 39 (331): pp.57-63.
- * Reyes, J. (1996). *Aplicación de productos alternativos para el control de Colletotrichum gloeosporioides en frutos de aguacate 'Rincoatl'*. CICTAMEX. Estado de México. pp. 171-187.



- * Rivera, D.M; Gardea, A; Martínez A.A; Rivera M; González G.A. (2007). Efectos bioquímicos postcosecha de la irradiación UV-C en frutas y hortalizas. *Revista fitotecnica Mexicana*. **30**, (004): 361-372.
- * Robles, P.A; De Campos, A; Artès-Hernández, F; Gómez,P; Calderón, A; Ferrer, M.A; Artès, F. (2007). Acción combinada de la radiación UV-C y la atmósfera controlada para optimizar la calidad del tomate. V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones.pp.159-165.
- * Rodríguez, S.F. (1982). *El aguacate*. AGT Editor, S.A. México. Pt: 167.
- * Saavedra V. (1995). *Evaluación de los parámetros físico-químicos y sensoriales en paltas cultivares Hass, Gwen y Whitsell*. Taller de licenciatura. Ing. Agr. Quillota, Universidad católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía, pp.59.
- * SAGARPA (2004). Elaborado con datos de ASERCA. Disponible en: < www.aserca.gob.mx>
- * Salgado, M.L (1993). *Problemas fitosanitarios del aguacate en Coatepec Harinas, México*. CICTAMEX S.C.pp: 191-212.
- * Sánchez-Colin, S; Mijares-Oviera, P; López-López, L; Barrientos-Prieto,A. (2001).”Historia del aguacate en México” *Revista Chapingo. Serie Horticultura*.pp.171-187.
- * Satin, M. (1992). *La irradiación de los alimentos*. Editorial Acribia. Zaragoza, 2da Edición. pp: 175.
- * Secretaria de Comercio y Fomento Industrial (2008). PRODUCTOS ALIMENTICIOS NO INDUSTRIALIZADOS, PARA. USO HUMANO-FRUTA FRESCA-TERMINOLOGIA. **NMX-FF-006-1982**. Disponible en: www.economia.gob.mx/work/normas/nmx
- * Secretaría de economía (1982).Norma Mexicana NMX-FF-006-1982. “productos alimenticios no industrializados para uso humano-fruta-fresca-



- terminología". Disponible en:
<<http://www.economia.gob.mx/work/normas/>>
- * SIAP-SAGARPA. (2008). Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. Información disponible en: <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/modelos/margenes/marzo/aguaca.html>
 - * Siller, C.J.H. (1995). *Irradiación de alimentos*. Hort.Méx. 3. pp. 67-75.
 - * Slinkard, K y Singlanton, V.L. (1977). Total phenol analysis; automation and comparison with manual methods, *American Journal of Enology and Viticulture*, 28: 49-55.
 - * Smoot, J.J y Segall, R.H. (1963). Hot water as a postharvest disease of selected commodities En: *Postharvest technology of horticultural crops*. Kader, A.A. (Ed), University of California, Oakland, California. pp. 177-160.
 - * Soto, O. A. G. (1995) "Evaluación del comportamiento y calidad del puré y trozos de pulpa de palta (*Persea Americana* Mill) en los cvs. Negra de la cruz, Bacon y Hass, cosechadas con dos índices de madurez, conservadas en almacenaje refrigerado y con atmósfera modificada. Taller de titulación. Quillota (Chile). pp.2-100.
 - * Sutton, B.C. (1980). The celomycetes fungi imperfecti with Pycnidia Acervuli and Stromata. *Commonwealt Mycological Institute Kew, Surrey, England*.pp.526-537.
 - * Tecnologías asociadas (2008). Disponible en www.tecnologiasasociadas.cl/tecn/index.php?id=10
 - * Téliz, D y Mora, A. (2007). *El aguacate y su manejo integrado*. 2da Edición. Mundi-Prensa, México, S.A de C.V. pp: 215.
 - * Téliz, D. (2000) "El aguacate y su manejo integrado". Ediciones Mundi-Prensa. S.A de C.V. 1ª. Edición. pp: 221.
 - * Tirilly, Y y Bourgeois, C.M. (2001). *Tecnología de las hortalizas*. Zaragoza, (España), Acribia, pp: 581.



- * Universidad Autónoma Chapingo (2008). Disponible en: www.chapingo.mx
- * Wikipedia (2008). Astored. Dispñible en: <www.wikipedia.com.mx>
- * Wills, R; Mc Glasson, B; Graham, D; Joyce, D (1998). *Introducción a la fisiología y manipulación poscosecha de frutas, hortalizas y plantas ornamentales*. 2da. Ed. Editorial Acribia Zaragoza (España). Pp.240.
- * Yahia M.; Higuera-Ciapara I. (1992). "*Fisiología y tecnología poscosecha de productos hortícolas*". Editorial Limusa S.A de C.V. pp: 303.
- * Young, R.E. (1965). Effect of ionizing radiation on respiration and ethylene production of avocado fruit. *Nature*. **20** (5): 1113-1114.
- * Yousef, A.E y Carlstrom, C.(2003). *Microorganismos de los alimentos: manual de laboratorio*. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza (España). Pt: 223.
- * Zavala-Leòn M.J; Tun-suàrez J.M; Cristóbal.Alejo J; Ruiz-Sánchez E; Gutiérrez-Alonso O; Vásquez-Calderòn M; Méndez-González R. (2005). Control poscosecha de la antracnosis en papaya y sensibilidad de *Colletotrichum gloesporioides* (Penz.) Sacc. A funguicidas organosintéticos. *Revista chapingo. Serie horticultura*, julio-diciembre, No.11.002:251-255.



ABREVIATURAS

ANOVA	Análisis estadístico de varianza
AG	Ácido gálico
E₁	Preclimaterio
E₂	Inicio del climaterio
E₃	Máximo climaterio
E₄	Postclimaterio
IDC	Índice de decaimiento
PDO	Peroxidasa
PDA	Agar papa dextrosa
PF	Peso fresco
PPO	Polifenoloxidasa
PZA	Agar papa zanahoria
UV-C	Ultravioleta-C



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.



GLOSARIO

Antibiótico: agente químico producido por un organismo y que es perjudicial para otros organismos.

Apresorio: engrosamiento de los apices de las hifas de algunos hongos atògenos para adherirse y colonizar al huésped.

Ascomicetes: grupo de hongos que forman ascosporas.

Ascòspora: espora sexual de un hongo ascomicete.

Cepa: población de células genéticamente idénticas.

Conidio: esporas fungales asexuales de producción exógena en hifas especializadas.

Conidióforo: en un hongo, una estructura hifal que lleva los conidios.

Espora: estructura resistente formada por una célula.

Hialino: transparente como el vidrio o parecido a èl.

Hifa: filamento sencillo de un hongo.

In vitro: en un tubo de ensayo, en un cultivo.

Inhibición: impedimento del crecimiento o de la función.

Inòculo: material utilizado para iniciar un cultivo microbiano.

Micelio: masa de hifas en un hongo.

Septado: condición de una hifa fúngica en la que estan presentes paredes transversales (septos).



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.