

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA

ESTUDIO DEL USO DE TRATAMIENTOS HIDROTÉRMICOS PARA EL CONTROL DE LAS PODREDUMBRES DURANTE EL PERÍODO POSCOSECHA DE BANANO (*Musa acuminata*) ORGÁNICO

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA AGROINDUSTRIAL

GRECIA ALEXANDRA HURTADO PÉREZ

grecia.hurtado@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. SILVIA VALENCIA CHAMORRO, Ph. D.

silvia.valencia@epn.edu.ec

Quito, diciembre 2016

© Escuela Politécnica Nacional (2016)
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo, Grecia Alexandra Hurtado Pérez, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Grecia Alexandra Hurtado Pérez

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por la Srta. Grecia Alexandra Hurtado Pérez, bajo mi supervisión.

Ing. Silvia Valencia Chamorro, Ph. D.

DIRECTOR DEL PROYECTO

AUSPICIO

La presente investigación contó con el auspicio financiero del proyecto multidisciplinario PIMI 14–16 “Desarrollo de métodos alternativos no contaminantes para el control de las podredumbres que se producen en el período poscosecha en frutas andinas y tropicales”, que se ejecuta en el Departamento de Ciencia de Alimentos y Biotecnología (DECAB).

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primer lugar a Dios, por ser la luz que guía mi vida y que me acompaña en cada paso que doy.

Un agradecimiento a mi familia, a mi tía Susana y mi primo Paolo. Gracias por siempre haber creído en mí y haber acompañado este largo trayecto de mi vida. Apoyándome incondicionalmente.

Agradezco a la Dra. Silvia Valencia por haberme brindado la oportunidad de participar en este proyecto. Por haberme guiado con mucha paciencia y comprensión. Gracias por todos los conocimientos y lecciones de vida impartidas.

De igual manera, agradezco a la Dra. Rosa Vilaplana por haberme ayudado en todo momento con sus conocimientos y haber comprendido el ímpetu de mi juventud.

A todos mis compañeros del Laboratorio de Poscosecha por haber colaborado en la realización de este proyecto.

A mis amigos del colegio y universidad por siempre animarme a continuar, por confiar en mis capacidades y siempre estar dispuestos a brindar su mano amiga. A Daniela y Patricia, mis queridas amigas, gracias por haber compartido esta aventura conmigo. Sin todos ustedes no habría valido la pena.

DEDICATORIA

A mis hermanos: André, Renzo y Sofía. Son ustedes mi mayor inspiración.

A mis padres por ser ese muro de apoyo, por su amor y comprensión. Todo lo que soy se los debo a ustedes.

Los amo con todo el corazón.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
GLOSARIO	x
RESUMEN	xii
INTRODUCCIÓN	xiii
1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1 Principales podredumbres poscosecha del banano	1
1.1.1 Podredumbre de la corona	3
1.1.1.1 Agente causal	4
1.1.1.2 Síntomas y signos de la enfermedad	5
1.1.1.3 Estrategias de manejo de la enfermedad	6
1.1.2 Antracnosis	8
1.1.2.1 Agente causal	8
1.1.2.2 Síntomas y signos de la enfermedad	10
1.1.2.3 Estrategias de manejo de la enfermedad	11
1.1.3 Pudrición tipo ceniza de cigarro	12
1.1.3.1 Agente causal	12
1.1.3.2 Síntomas y signos de la enfermedad	13
1.1.3.3 Estrategias de manejo de la enfermedad	14
1.1.4 Pudrición de los dedos	14
1.1.4.1 Agente causal	15
1.1.4.2 Síntomas y signos de la enfermedad	16
1.1.4.3 Estrategias de manejo	16
1.1.5 Otras podredumbres	17
1.1.5.1 Mancha Johnston	17
1.1.5.2 Sigatoka Negra	18
1.1.5.3 Diamante	18
1.2 Tratamientos alternativos para el control de podredumbres poscosecha	19
1.2.1 Tratamientos químicos de bajo riesgo	20
1.2.1.1 Sustancias GRAS	20
1.2.1.2 Sustancias Naturales	21
1.2.2 Tratamientos físicos	23
1.2.2.1 Tratamientos de calor	23
1.2.2.2 Radiaciones	25
1.2.3 Control biológico	26
1.2.4 Tratamientos combinados	28
2 PARTE EXPERIMENTAL	30

2.1	Identificación de las principales cepas fúngicas causantes de podredumbres en banano orgánico durante el período poscosecha	30
2.1.1	Aislamiento y purificación de las cepas fúngicas	30
2.1.2	Identificación de las cepas aisladas	31
2.2	Determinación de la cepa patógena más agresiva durante la conservación poscosecha de bananos orgánicos	31
2.2.1	Preparación del inóculo	32
2.2.2	Preparación de los frutos	33
2.2.3	Determinación del método de inoculación artificial de los frutos	34
	2.2.3.1 Inoculación por aspersión	34
	2.2.3.2 Inoculación por herida	35
2.2.4	Análisis estadístico	35
2.3	Evaluación del efecto de los tratamientos hidrotérmicos sobre la severidad de la cepa fúngica de mayor patogenicidad, la calidad físico-química y sensorial de bananos orgánicos	36
2.3.1	Aplicación de los tratamientos hidrotérmicos	36
2.3.2	Evaluación de la severidad de los frutos	37
	2.3.2.1 Análisis estadístico	37
2.3.3	Evaluación de la calidad físico-química de los frutos	37
	2.3.3.1 Pérdida de peso	38
	2.3.3.2 Índice o grado de madurez	38
	2.3.3.3 Color	38
	2.3.3.4 Firmeza	39
	2.3.3.5 Sólidos solubles y pH	39
	2.3.3.6 Acidez titulable	40
	2.3.3.7 Análisis estadístico	40
2.3.4	Evaluación sensorial de los frutos	41
	2.3.4.1 Acondicionamiento de los frutos	41
	2.3.4.2 Análisis sensorial	41
	2.3.4.3 Análisis estadístico	41
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
3.1	Identificación de las principales cepas fúngicas causantes de podredumbres en banano orgánico durante el período poscosecha	42
3.1.1	<i>Aspergillus</i> sp.	43
3.1.2	<i>Cladosporium</i> spp.	44
3.1.3	<i>Colletotrichum</i> sp.	45
3.1.4	<i>Epicoccum</i> sp.	47
3.1.5	<i>Fusarium</i> spp.	48
3.1.6	<i>Lasiodiplodia</i> sp.	49
3.1.7	<i>Mucor</i> sp.	51

3.1.8	<i>Penicillium</i> spp.	52
3.1.9	<i>Rhizopus</i> sp.	53
3.1.10	<i>Verticillium</i> spp.	55
3.2	Determinación de la cepa patógena más agresiva durante la conservación poscosecha de bananos orgánicos	56
3.2.1	Determinación del método de inoculación	56
3.2.2	Determinación de la cepa más agresiva	60
3.3	Evaluación del efecto de los tratamientos hidrotérmicos sobre la severidad de la cepa fúngica de mayor patogenicidad, la calidad físico-química y sensorial de bananos orgánicos	64
3.3.1	Evaluación de los tratamientos hidrotérmicos sobre la severidad de la cepa fúngica más agresiva	64
3.3.2	Evaluación de los tratamientos hidrotérmicos sobre la calidad físico-química de banano	69
3.3.2.1	Pérdida de peso	69
3.3.2.2	Índice de madurez	72
3.3.2.3	Color	74
3.3.2.4	Firmeza	78
3.3.2.5	Sólidos solubles, pH y acidez titulable	79
3.3.3	Evaluación sensorial	83
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	85
4.1	Conclusiones	85
4.2	Recomendaciones	86
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
	ANEXOS	104

ÍNDICE DE TABLAS

		PÁGINA
Tabla 1.1.	Fungicidas empleados para el control de enfermedades poscosecha en banano.	7
Tabla 3.1.	Géneros de los hongos patógenos aislados de la superficie de banano	42
Tabla 3.2.	Caracterización físico química de los frutos (día=0)	69
Tabla 3.3.	Pérdida de peso (%) de los frutos sometidos a los tratamientos hidrotérmicos durante los 7, 14, 21 días a 13°C- 90 % HR y 7 días adicionales de vida en estante a 25°C- 80 % HR	71
Tabla 3.4.	Índice de madurez de los bananos sometidos a tratamientos hidrotérmicos durante los 7, 14, 21 días a 13°C- 90 % HR y 7 días adicionales de vida en estante a 25°C- 80 % HR	73
Tabla 3.5.	Luminosidad (L) y Saturación (C) de la piel de los bananos sometidos a tratamientos hidrotérmicos durante los 7, 14, 21 días a 13°C- 90 % HR y 7 días adicionales de vida en estante a 25°C- 80 % HR	75
Tabla 3.6.	Tono (°) de la piel de los bananos sometidos a tratamientos hidrotérmicos durante los 7, 14, 21 días a 13°C- 90 % HR y 7 días adicionales de vida en estante a 25°C- 80 % HR	76
Tabla 3.7.	Firmeza (N) de los frutos sometidos a tratamientos hidrotérmicos durante los 7, 14, 21 días a 13°C- 90 % HR y 7 días adicionales de vida en estante a 25°C- 80 % HR	79
Tabla 3.8.	Sólidos solubles (°Brix) de los frutos sometidos a tratamientos hidrotérmicos durante los 7, 14, 21 días a 13°C- 90 % HR y 7 días adicionales de vida en estante a 25°C- 80 % HR	80
Tabla 3.9.	pH y Acidez titulable (%) de los bananos sometidos a tratamientos hidrotérmicos durante los 7, 14, 21 días a 13°C- 90 % HR y 7 días adicionales de vida en estante a 25°C- 80 % HR	82
Tabla 3.10.	Características sensoriales de bananos maduros (grado=5)	84
Tabla AV.1.	Análisis de varianza (ANOVA) de la severidad de las cepas fúngicas a dos concentraciones 104 y 106 conidias mL-1	109
Tabla AVI.1	Análisis de varianza (ANOVA) para la severidad de los tratamientos hidrotérmicos	110

Tabla AVII.1.	Análisis de varianza (ANOVA) para la pérdida de peso de los tratamientos hidrotérmicos aplicados en bananos	111
Tabla AVII.2.	Análisis de varianza (ANOVA) para índice de madurez de los bananos sometidos a tratamientos hidrotérmicos	111
Tabla AVII.3.	Análisis de varianza (ANOVA) para la saturación de la piel de los bananos sometidos a tratamientos hidrotérmicos	112
Tabla AVII.4.	Análisis de varianza (ANOVA) para la Luminosidad de la piel de los bananos sometidos a tratamientos hidrotérmicos	112
Tabla AVII.5.	Análisis de varianza (ANOVA) para el tono de la piel de los bananos sometidos a tratamientos hidrotérmicos	113
Tabla AVII.6.	Análisis de varianza (ANOVA) para la firmeza de los bananos sometidos a tratamientos hidrotérmicos	113
Tabla AVII.7.	Análisis de varianza (ANOVA) para sólidos solubles de los bananos sometidos a tratamientos hidrotérmicos	114
Tabla AVII.8.	Análisis de varianza (ANOVA) para el pH de los bananos sometidos a tratamientos hidrotérmicos	114
Tabla AVII.9.	Análisis de varianza (ANOVA) para la acidez titulable (%) de los bananos sometidos a tratamientos hidrotérmicos	115

ÍNDICE DE FIGURAS

		PÁGINA
Figura 1.1.	Partes de la planta de banano	1
Figura 1.2.	Bananos con podredumbre en la corona (a) bananos maduros con síntomas de la enfermedad. (b) Podredumbre en etapa avanzada	6
Figura 1.3.	Morfología macroscópica (a) y microscópica (b) de <i>Colletotrichum musae</i> en PDA a 25 °C	9
Figura 1.4.	Banano con síntomas y signos de Antracnosis (a), Infección latente (b), Infección por herida (c)	10
Figura 1.5.	Morfología macroscópica (a) y microscópica (b) de <i>Verticillium theobromae</i>	13
Figura 1.6.	Signos y síntomas de la podredumbre tipo ceniza de cigarro en bananos en estado verde (a) y maduro (b)	14
Figura 1.7.	Morfología macroscópica (a) y microscópicas (b) de <i>Lasiodiplodia theobromae</i>	15
Figura 1.8.	Banano con síntomas de podredumbre de los dedos.	16
Figura 1.9.	Bananos con manchas de Johnston.	18
Figura 1.10.	Bananos con síntomas de la enfermedad Diamante.	19
Figura 2.1.	Esquema de contaje en la cámara de recuento	33
Figura 2.2.	Escala de Frossard para la podredumbre de banano	34
Figura 2.3.	Diagrama bloques de la aplicación de tratamientos hidrotérmicos	36
Figura 3.1.	Aspecto macroscópico de la cepa HBAN-5 (<i>Aspergillus</i> sp.) desarrollada en PDA a 25 °C, (a) anverso y (b) reverso	43
Figura 3.2.	Aspecto microscópico de la cepa fúngica HBAN-5 (<i>Aspergillus</i> sp.)	44
Figura 3.3.	Aspecto macroscópico de la cepa HBAN-10 (<i>Cladosporium</i> spp.) desarrollada en PDA a 25 °C, (a) anverso y (b) reverso	44
Figura 3.4.	Aspecto microscópico de la cepa HBAN-10 (<i>Cladosporium</i> spp.)	45
Figura 3.5.	Aspecto macroscópico de la cepa HBAN-18 (<i>Colletotrichum</i> sp.) desarrollada en PDA a 25 °C, (a) anverso y (b) reverso	46
Figura 3.6.	Aspecto macroscópico de la cepa HBAN-18 (<i>Colletotrichum</i> sp.)	46

Figura 3.7.	Aspecto macroscópico de la cepa HBAN-12 (<i>Epicoccum</i> sp.) desarrollada en PDA a 25 °C, (a) anverso y (b) reverso	48
Figura 3.8.	Aspecto microscópico de la cepa HBAN-12 (<i>Epicoccum</i> sp.)	48
Figura 3.9.	Aspecto macroscópico de la cepa HBAN-2 (<i>Fusarium</i> spp.) desarrollada en PDA a 25 °C, (a) anverso y (b) reverso	49
Figura 3.10.	Aspecto microscópico de la cepa HBAN-2 (<i>Fusarium</i> spp.)	49
Figura 3.11.	Aspecto macroscópico de la cepa HBAN-16 (<i>Lasiodiplodia</i> sp.) desarrollada en PDA a 25 °C, (a) anverso y (b) reverso	50
Figura 3.12.	Aspecto microscópico de la cepa HBAN-16 (<i>Lasiodiplodia</i> sp.)	50
Figura 3.13.	Aspecto macroscópico de la cepa HBAN-9 (<i>Mucor</i> sp.) desarrollada en PDA a 25 °C, (a) anverso y (b) reverso	51
Figura 3.14.	Aspecto macroscópico de la cepa HBAN-9 (<i>Mucor</i> sp.)	52
Figura 3.15.	Aspecto macroscópico de la cepa HBAN-6 (<i>Penicillium</i> spp.) desarrollada en PDA a 25 °C, (a) anverso y (b) reverso	52
Figura 3.16.	Aspecto microscópico de la cepa HBAN-6 (<i>Penicillium</i> spp.)	53
Figura 3.17.	Aspecto macroscópico de la cepa HBAN-14 (<i>Rhizopus</i> sp.) desarrollada en PDA a 25 °C, (a) anverso y (b) reverso	54
Figura 3.18.	Aspecto microscópico de la cepa HBAN-14 (<i>Rhizopus</i> sp.)	54
Figura 3.19.	Aspecto macroscópico de la cepa HBAN-17 (<i>Verticillium</i> spp.) desarrollada en PDA a 25 °C, (a) anverso y (b) reverso	55
Figura 3.20.	Aspecto macroscópico de la cepa HBAN-17 (<i>Verticillium</i> spp.)	56
Figura 3.21.	Podredumbre alcanzada a los 21 días a 13 °C con el método de inoculación por aspersión de los géneros a 10 ⁶ conidios mL ⁻¹ (a) <i>Colletotrichum</i> sp. (b) <i>Fusarium</i> spp.	57
Figura 3.22.	Podredumbre alcanzada a los 21 días a 13 °C con el método de inoculación por aspersión de los géneros a 10 ⁶ conidios mL ⁻¹ (c) <i>Lasiodiplodia</i> sp. (d) <i>Verticillium</i> spp.	58
Figura 3.23.	Podredumbre alcanzada a los 21 días a 13 °C con el método de inoculación por herida de los géneros a 10 ⁶ conidios mL ⁻¹ (a) <i>Colletotrichum</i> sp. (b) <i>Fusarium</i> spp.	59
Figura 3.24.	Podredumbre alcanzada a los 21 días a 13 °C con el método de inoculación por aspersión de los géneros a 10 ⁶ conidios mL ⁻¹ (c) <i>Lasiodiplodia</i> sp. (d) <i>Verticillium</i> spp.	60

Figura 3.25.	Severidad de la podredumbre (cm) de las cepas fúngicas: <i>Colletotrichum</i> sp., <i>Lasiodiplodia</i> sp., <i>Fusarium</i> spp. y <i>Verticillium</i> spp. a concentración de 10^4 conidios mL^{-1} en bananos almacenados a $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 90 % HR durante 21 días (n=40)	62
Figura 3.26.	Severidad de la podredumbre (cm) de las cepas fúngicas: <i>Colletotrichum</i> sp., <i>Lasiodiplodia</i> sp., <i>Fusarium</i> spp. y <i>Verticillium</i> spp. a concentración de 10^6 conidios mL^{-1} en bananos almacenados a $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 90 % HR durante 21 días (n=40)	62
Figura 3.27.	Severidad (cm) causada por <i>Colletotrichum</i> sp. a 10^6 conidios mL^{-1} en frutos sometidos a tratamientos almacenados a $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 90 % HR durante 21 días y 7 días a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $80 \pm 3\%$ HR (n=40)	65
Figura 3.28.	Reducción de la severidad (%) de los tratamientos aplicados en bananos inoculados artificialmente con <i>Colletotrichum</i> sp. a 10^6 conidios mL^{-1} (a) a los 21 días y (b) a los 28 días	67
Figura 3.29.	Gráfico de interacción de los factores: tiempo y temperatura de inmersión de los tratamientos hidrotérmicos sobre la pérdida de peso (%)	70
Figura AI.1.	Tabla de grados de madurez del banano	105
Figura AII.2.	Medición de la firmeza en un banano	106
Figura AIII.3.	Encuesta para la evaluación descriptiva de los atributos de bananos	107
Figura AIV.1.	Podredumbre de bananos mantenidos a temperatura ambiental ($\sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) durante 21 días	108
Figura AIV.2.	Podredumbre de los frutos mantenidos a temperatura ambiental ($\sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) durante 21 días	108
Figura AVIII.6.	Daños en la piel inmediatamente después de la aplicación de los tratamientos hidrotérmicos de (a) $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 10 min y (b) $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 20 min	116
Figura AVIII.7.	Podredumbre de <i>Colletotrichum</i> sp. (10^6 conidios mL^{-1}) a los 28 días de almacenamiento de los bananos sometidos a tratamientos hidrotérmicos de (a) $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 10 min y (b) $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 20 min	116

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO I Grados de madurez del banano	105
ANEXO II Metodología para la medición de la firmeza	106
ANEXO III Formato para la evaluación sensorial descriptiva de bananos	107
ANEXO IV Podredumbre de bananos	108
ANEXO V Análisis de varianza de la severidad de los géneros estudiados	109
ANEXO VI Análisis de varianza del efecto de los tratamientos aplicados en la severidad del género más patogénico	110
ANEXO VII Análisis de varianza de las características poscosecha	111
ANEXO VIII Daños en la piel del banano	116

GLOSARIO

Acérvulo. Estructura fructífera compuesta por hifas agrupadas en forma de almohadilla de donde se originan conidióforos (Tormo, 2014).

Apresorio. Hifa modificada para infectar una célula epidérmica del huésped (Tormo, 2014).

Células conidiógena. Célula dentro de la cual se generan y maduran los conidios (Higuita y Tangarife, 2013).

Columela. Parte del esporangióforo ubicada dentro del esporangio rodeada de esporas en formación (Higuita y Tangarife, 2013).

Conidióforos. Hifa especializada que contiene células conidiógenas (Higuita y Tangarife, 2013).

Conidio. Espora asexual inmovilizada desprendida de un conidióforo (Higuita y Tangarife, 2013).

Esporangióforo. Estructura que contiene esporangios (Tormo, 2014).

Esporangios. Estructura que contiene esporas, sostenido por un esporangióforo (Tormo, 2014).

Esporodoquio. Conjunto de esporas recubiertas por una masa de conidióforos cortos (Higuita y Tangarife, 2013).

Estolón. Hifa modificada que sirve de enraizador conectando al rizoide, de donde se generan nuevas estructuras fructíferas (Higuita y Tangarife, 2013).

Fiálide. Tipo de célula conidiógena que genera conidios sucesivos en forma basipetal (Tormo, 2014).

Hialino. Textura delgada y translúcida (Tormo, 2014).

Hifa. Unidad estructural filamentosa que compone el micelio (Higuita y Tangarife, 2013).

Micelio. Aglomeración de hifas (Tormo, 2014).

Picnidio. Estructura fructífera recubierta por conidióforos (Higuita y Tangarife, 2013).

Rizoide. Estructura semejante a las raíces a partir de la cual se fija a un sustrato (Tormo, 2014).

Vesícula. Extensión por debajo del esporangióforo (Higuita y Tangarife, 2013).

RESUMEN

En el presente proyecto de titulación se aislaron e identificaron 10 géneros de hongos causantes de podredumbres en la poscosecha de banano (*Musa acuminata*) orgánico ecuatoriano proveniente del cantón Vínces, provincia de Los Ríos. De la colección formada fueron seleccionados los géneros de: *Colletotrichum*, *Fusarium*, *Verticillium* y *Lasiodiplodia* para la evaluación del patógeno más agresivo durante la poscosecha de este fruto. Los hongos seleccionados fueron inoculados artificialmente en bananos a concentraciones de 10^4 y 10^6 conidias mL^{-1} y almacenados durante 21 días a $13\text{ }^\circ\text{C}$ y 90 % HR. *Colletotrichum* sp. fue el género que mostró mayor patogenicidad a concentración de 10^6 conidias mL^{-1} , con una severidad de la podredumbre de 3,8 cm a los 21 días de almacenamiento.

Posteriormente, se evaluó un método de control alternativo, no contaminante que consistió en la aplicación de tratamientos hidrotérmicos en bananos inoculados artificialmente con el patógeno más agresivo. Los tratamientos hidrotérmicos evaluados se ensayaron de acuerdo a un diseño experimental factorial 3×4 , donde las variables de diseño fueron la temperatura del agua de: 40 , 45 y $50\text{ }^\circ\text{C}$ y los tiempos de inmersión de: 1, 5, 10 y 20 min, respectivamente. Adicionalmente se contó con un testigo únicamente inoculado y un control con fungicida químico imazalil ($0,6\text{ g mL}^{-1}$). Los bananos tratados se almacenaron durante 21 días a $13\text{ }^\circ\text{C}$ y 90 % HR y 7 días adicionales de vida en estante a $25\text{ }^\circ\text{C}$ y 80 % HR.

A los 21 días de almacenamiento en refrigeración, los tratamientos de $40\text{ }^\circ\text{C}$ durante 20 min y de fungicida químico presentaron las menores severidades de la podredumbre causada por *Colletotrichum* sp con valores de 1,0 cm y 1,2 cm, respectivamente. Adicionalmente, el mejor tratamiento hidrotérmico no alteró las características físico-químicas del producto durante la conservación poscosecha, ni alteró las características sensoriales: apariencia general, olor, textura, sabor y dulzor comparado con el tratamiento convencional con fungicida.

INTRODUCCIÓN

Ecuador es el mayor exportador de banano (*Musa acuminata*), cubriendo el 30 % de la demanda mundial. Se estima que existen alrededor de 214. 000 ha de este cultivo en el país. Para Ecuador la exportación de esta fruta representa el segundo aporte al PBI, siendo el producto no petrolero de mayor importancia (PROECUADOR, 2014). Durante el año 2015, el país exportó más de 6 millones de toneladas, lo que representa alrededor de 2. 820 millones USD. Los principales destinos de la fruta son Estados Unidos, la Unión Europea y Rusia (BCE, 2015). Las variedades de bananos que se ofrecen a los mercados internacionales incluyen *Cavendish*, orito y banano rojo. En los últimos años la demanda y comercialización de banano bajo una certificación orgánica ha ido creciendo. Este tipo de producto se ha introducido en el mercado bajo la certificación de Comercio Justo, sus principales destinos fueron Suecia, Holanda y Chile (Dirección de Inteligencia Comercial e Inversiones, 2013).

Los bananos producidos bajo sistemas convencionales, así como los producidos bajo sistemas orgánicos, pueden presentar pérdidas de calidad en la poscosecha, causadas generalmente por podredumbres fúngicas, que se incrementa por la edad del fruto después de la cosecha y el tiempo de transporte. En los sistemas convencionales, para el control de dichas enfermedades se usan tratamientos con fungicidas como imazalil y tiabendazol (Salazar, 2012, p. 10), mientras que en los sistemas orgánicos se busca controlar desde el campo con sistemas integrados y en la poscosecha con sistemas de sanitización, situación que pone en desventaja a los rendimientos de la producción orgánica frente a la convencional.

A esta problemática se añaden los cambios en las legislaciones de los principales destinos de las exportaciones de este fruto, como Estados Unidos y la Unión Europea (Dirección de Inteligencia Comercial e Inversiones, 2013, p. 9), los que han añadido un gran número de fungicidas comerciales a la lista de químicos prohibidos para la aplicación sobre productos hortofrutícolas. Debido a los efectos negativos del uso de fungicidas químicos, como: deterioro del medio ambiente,

riesgos en la salud humana a causa de residuos de químicos sobre las frutas y desarrollo de cepas más resistentes a los fungicidas se ha generado un cambio en los productores, distribuidores y consumidores, quienes han introducido en el mercado la idea de productos hortofrutícolas de calidad sin residuos químicos (Tripathi y Dubey, 2004; Viñas, I., Teixidó, Abadías, Torres, y Usall, 2006, p. 365).

Este panorama obliga a la búsqueda de nuevas estrategias para el control de las podredumbres en el período poscosecha, que sean viables tecnológicamente y económicamente, de tal manera que muestren efectividades comparables a los tratamientos con fungicidas químicos y de esta forma promover el mercado orgánico del banano a nivel nacional. Estas tecnologías alternativas pueden tratarse de métodos físicos, químicos o biológicos. Los tratamientos hidrotérmicos son un método físico, no contaminante, ya que no dejan residuos de ningún tipo. Por lo tanto no representan un riesgo para la salud del consumidor y no afectan el medio ambiente. Este tipo de tecnología ha presentado buenos resultados en el control de podredumbres, lo que ha promovido la sustitución o disminución del uso de fungicidas químicos en la poscosecha de ciertos productos hortofrutícolas (De Costa y Erabadupitiya, 2005, p. 37).

El presente proyecto de titulación tuvo como objetivos: aislar e identificar los géneros causantes de podredumbres en la poscosecha de banano orgánico, determinar el género más patogénico y evaluar los tratamientos hidrotérmicos en el control del género más agresivo en la poscosecha de banano orgánico. Puesto a que el estudio se realizó con el propósito de promover una alternativa tecnológica para controlar la podredumbre en este fruto de importancia económica para Ecuador. Además no se encontraron evidencias bibliográficas de la aplicación de este método efectuada en el país.

1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 PRINCIPALES PODREDUMBRES POSCOSECHA DEL BANANO

El banano (*Musa acuminata*) es una planta herbácea, monocotiledónea y perenne, que pertenece a la familia de las Musáceas y al género *Musa*. Es un cultivo ampliamente distribuido en las regiones tropicales del planeta y de gran importancia económica. La parte comestible y con gran valor nutricional es su fruto, el cual se consume cuando se encuentra maduro a diferencia del plátano (*Musa balbisiana*) que puede consumirse en estado verde (Robinson y Saúco, 2010, p. 51).

El cultivo se desarrolla en zonas con temperaturas sobre los 20 °C y con precipitaciones entre 1200 y 2000 mm por año. La planta posee un pseudo-tallo formado por las vainas envolventes de un conjunto de hojas curvas que nacen del centro que se disponen de forma sucesiva hasta alcanzar los 2 m de altura.



Figura 1.1. Partes de la planta de banano
1. Pseudo-tallo 2. Hojas 3. Pedúnculo 4. Manos 5. Racimo 6. Flor masculinas
(Syah, 2013)

De este conjunto de hojas nace la inflorescencia con su largo pedúnculo. El fruto se desarrolla de las flores que están agrupadas en forma de manos de forma espiral a lo largo del racimo (Figura 1.1). Los frutos tienen forma de baya y tardan de 98

días a 115 días en desarrollarse. Una planta produce un racimo con aproximadamente 300 a 400 frutos. Los frutos son estériles, la mayoría de estos no producen semillas viables. Por tal razón, el cultivo se propaga por brotes (Orellana et al., 2008, p. 6; Robinson y Saúco, 2010, pp. 57,67-69,246).

La cosecha de este fruto depende del destino al cual se va exportar el producto. Esto se debe a que se requiere incrementar el tiempo de vida en verde de la fruta que será transportada por largos periodos en refrigeración. Existen diferentes puntos de corte estos pueden ir desde las 11 semanas desde la floración para destinos lejanos como Nueva Zelanda y Rusia. El corte a las 13 semanas es el más frecuente para los distintos destinos. Previo al corte, el racimo es enfundado con el propósito de proteger los frutos y aumentar su calibre, además funciona como un sistema para agendar la fecha de corte de los frutos. El corte se realiza en forma de "v" para minimizar el maltrato de los frutos. Los racimos son llevados a la empacadora, donde se desfloran y desmanan. Posteriormente, las manos se colocan en los tanques de deslechado para la extracción del látex. A continuación, se aplica un fungida y un cicatrizante por aspersion, para el control de enfermedades poscosecha. Por último, se empacan y se etiquetan las manos dentro de las cajas para ser transportadas a su punto de destino (Robinson y Saúco, 2010, pp. 253-255).

El cultivo de banano sufre de varias enfermedades de origen bacteriano, fúngico y viral dentro de su ciclo de producción. A nivel de pre-cosecha destacan enfermedades como el mal de Panamá, sikatoka, moko, virus del rayado y del mosaico. Sin embargo a nivel de la poscosecha del fruto, los hongos son los principales agentes causales de enfermedades que se manifiestan como podredumbres. Estas podredumbres pueden causar pérdidas significativas en la producción (Orellana et al., 2008, pp. 11-14). En la siguiente sección se describirá las principales podredumbres del banano y sus estrategias de control.

1.1.1 PODREDUMBRE DE LA CORONA

Es una de las principales enfermedades poscosecha del banano y puede llegar a producir serias pérdidas económicas a nivel mundial. Se convirtió en el mayor problema poscosecha en la industria del banano desde 1960, debido a la adopción de variedad Cavendish para la comercialización, ya que hasta esa fecha únicamente eran comercializados bananos del subgrupo cultivar Gros-Michael. Esta variedad era transportada en racimos, sin embargo eran muy susceptibles al mal de Panamá por lo que fue reemplazado por la variedad Cavendish, la cual era muy resistente a esa enfermedad, pero muy susceptible a los golpes durante el transporte. Razón por la cual se cambió el transporte a clusters (grupo de un número determinado de bananos obtenidos de una mano) en cajas, esta situación dio paso al surgimiento de este tipo de podredumbres (Lassois y de Lapeyre de Bellaire, 2014, pp. 104-106).

Esta enfermedad afecta los tejidos de la corona, la misma que une los pedúnculos de los frutos en una mano de bananos. La propagación de la enfermedad es aleatoria, esta puede presentarse en diferentes cajas de banano en un lote de exportación. Incluso en una misma caja pueden existir manos con la enfermedad, como manos sin ella. La incidencia de esta enfermedad se incrementa en épocas lluviosas. A su vez, la incidencia de la enfermedad está relacionada a la altitud de las plantaciones. Se ha observado que existe mayor desarrollo de la enfermedad en altitudes de 500 m, frutas cosechadas de plantaciones de baja altitud durante estaciones lluviosas pueden presentar mayor susceptibilidad a la podredumbre de la corona que otras frutas cosechadas en periodos secos (Ewané, Lassois, Brostaux, Lepoivre y de Lapeyre de Bellaire, 2013, pp. 32-34).

Se ha comprobado que factores externos como las variaciones de estacionalidad y los factores bióticos de estrés afectan a la susceptibilidad del fruto a esta enfermedad (Lassois, Jijakli, Chillet y de Lapeyre de Bellaire, 2010, p. 648). A su vez la susceptibilidad a esta podredumbre es afectada por factores propios del fruto como la edad del racimo y el contenido de fenoles. Los fenoles actúan dentro de

los mecanismos de defensa del fruto, un mayor contenido de fenoles reduce la frecuencia de esta enfermedad (Lassois y de Lapeyre de Bellaire, 2014, p. 114)

1.1.1.1 Agente causal

La podredumbre de corona es causada por un complejo de hongos de alrededor de 32 especies, que causan el reblandecimiento y necrosis de los tejidos de la corona. Este complejo de hongos logra su acción infecciosa, debido a la herida provocada en el desmanado de los racimos. Los hongos más comunes aislados de este complejo son: *Verticillium theobromae*, *Colletotrichum musae*, *Ceratocystis paradoxa*, *Lasiodiplodia theobromae*, *Nigrospora shaerica*, *Cladosporium* spp., *Acremonium* spp., *Penicillium* spp., *Aspergillus* spp., y algunas especies de *Fusarium*. El complejo fúngico no siempre tiene la misma patogenicidad ni los mismos agentes fúngicos, la naturaleza del complejo de hongos depende del área de producción y de las condiciones agroclimáticas (Lassois y de Lapeyre de Bellaire, 2014).

En Egipto, el principal patógeno causante de esta podredumbre es el *Fusarium semitectum*, este patógeno llega producir una severidad del 93,3 % versus una severidad del 63,3 % causada por *Colletotrichum musae* (Abd-Alla, El-Gamal, El-Mougy, y Abdel-Kader, 2014, p. 5). En África, se menciona a *Colletotrichum musae* como el más frecuente con un 44,19 % de ocurrencia (Kumlachew, 2014, p. 108). En Ecuador, el último estudio de esta enfermedad menciona a *Penicillium corylophilum*, como el patógeno más común aislado de bananos cultivar “Grande Naine” (Marin, Sutton, Blankenship y Swallow, 1996, p. 526).

A pesar de las diferencias reportadas entre regiones, muchos autores coinciden que la especie más patógena dentro de este complejo es el *C. musae*, ya que este hongo requiere de pocas cantidades de inóculo para desarrollar una infección a comparación de otras especies que requieren grandes cantidades de inóculo para inducir síntomas de podredumbre de la corona (Lassois y de Lapeyre de Bellaire, 2014, p. 114). Las interacciones de los hongos del complejo causan diferencias en

la severidad de esta enfermedad. Así se demostró en bananos *Grande Naine* donde la severidad de la enfermedad fue mayor cuando *L. theobromae*, *F. proliferatum* y *C. musae* fueron inoculados en combinación (Lassois, de Lapeyre de Bellaire, y Jijakli, 2008, p. 413).

El inóculo del complejo de hongos causantes de esta podredumbre se encuentra en campo, específicamente en hojas, flores y brácteas dejadas en las plantaciones. Las esporas pueden diseminarse por vectores como el viento y el agua de lluvia para luego impregnarse en los racimos de bananos dentro de las plantaciones. Los tejidos son especialmente vulnerables a la infección durante el corte de los racimos en manos. A su vez en poscosecha, puede existir una contaminación en los tanques de lavado, donde las esporas pueden penetrar entre 5 – 7 mm dentro de los vasos vasculares de la corona en tan solo 3 min, convirtiendo más difícil la tarea de controlar la enfermedad mediante la aspersión de fungicidas. También puede existir contaminación cruzada dentro de las centrales de empaque cuando se deja residuos como pistilos, tallos de los racimos y fruta descartada cerca de la central de empaque (Ewané et al., 2013, p. 34; Lassois y de Lapeyre de Bellaire, 2014, p. 111).

1.1.1.2 Síntomas y signos de la enfermedad

Los síntomas de esta podredumbre comúnmente se expresan después de la maduración artificial, que normalmente se utiliza con los frutos de exportación (Krauss y Johanson, 2000, p. 157). Sin embargo, los síntomas también se desarrollan durante los períodos de transporte y maduración, en estos periodos los cambios fisiológicos propios del fruto facilitan el desarrollo del patógeno (Jones, 2000). La podredumbre empieza con el crecimiento de micelio que puede ser blanco, gris o rosado, provocando el ablandamiento y ennegrecimiento de los tejidos en la superficie del corte de la corona, como se muestra la Figura 1.1 (a). La enfermedad en una etapa avanzada se desarrolla en los pedúnculos y en el fruto, llegando a causar su desprendimiento en casos de infecciones severas (Lassois et al., 2008), como se muestra en la Figura 1.1 (b).

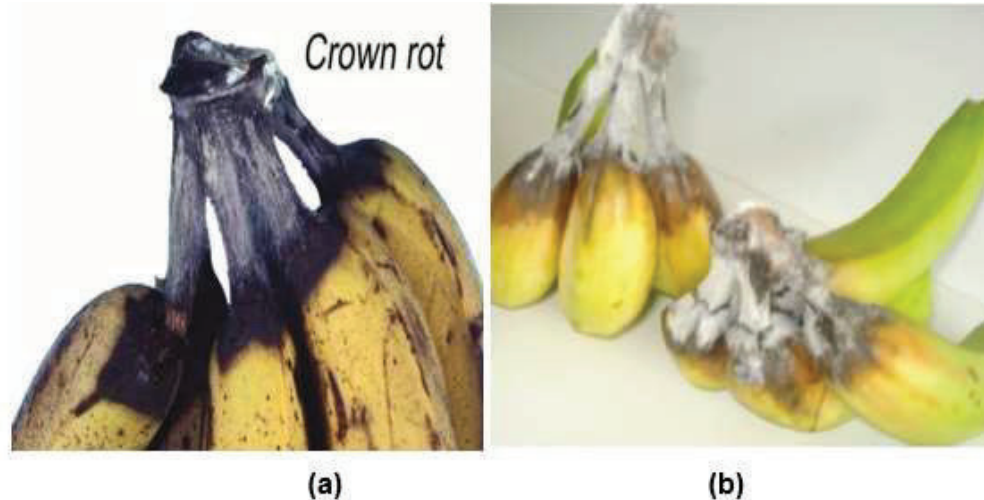


Figura 1.2. Bananos con podredumbre en la corona (a) bananos maduros con síntomas de la enfermedad. (b) Podredumbre en etapa avanzada (Ewané et al., 2013, p. 395; Universidad de California, 2013)

La calidad de los frutos se ve afectada, ya que la enfermedad además de causar necrosis de los tejidos, provoca la maduración acelerada de otros frutos durante el transporte, factor que reduce la vida útil de los frutos de exportación. Este proceso de maduración acelerada se debe a que la infección causa un estrés fisiológico del fruto, a esto se añade la producción de etileno por parte de algunos hongos causales de la enfermedad como el *Colletotrichum musae* (Daundasekera, Joyce, Aked y Adikaram, 2003, p. 24; Lassois y de Lapeyre de Bellaire, 2014, p. 104).

1.1.1.3 Estrategias de manejo de la enfermedad

Las medidas de manejo empiezan desde el campo, donde se debe remover los desperdicios propios de las plantaciones. Además se debe evitar cualquier daño de la fruta durante las fases de cosecha, desmanado, transporte y almacenamiento. En la poscosecha es primordial mantener la higiene de la central de empaque. Los utensilios utilizados, como el cuchillo para el desmanado de los racimos, deben estar desinfectados. Se debe realizar un cambio frecuente del agua de lavado y deslechado. Finalmente el fruto debe ser enfriado lo más pronto posible a

temperaturas entre 12- 14 °C (Lassois y de Lapeyre de Bellaire, 2014, p. 114; Lassois et al., 2010, pp. 654-655).

Tabla 1.1. Fungicidas empleados para el control de enfermedades poscosecha en banano.

Ingrediente Activo	Modo de acción	Dosis recomendada (mg L⁻¹)
Benomil	Sistémico	250
Tiabendazol	Sistémico	450
Imazalil	Sistémico	375
Bitertanol	Sistémico	200
Azoxistrobina	Sistémico de contacto	60
Procloraz	Sistémico	250
Propiconazol	Sistémico	300

(Lassois y de Lapeyre de Bellaire, 2014, p. 116 y Pérez, Sáenz, y Mauri, 2001, p. 4)

La aplicación de fungicidas es el método más eficaz para controlar esta enfermedad. Existen diferentes tipos de aplicación como inmersión, aspersión y por duchas (drench), pero en todos los casos se debe asegurar que los bananos queden totalmente mojados con el fungicida para asegurar su eficacia. La Tabla 1.1 muestra los diferentes fungicidas aplicados para el tratamiento de esta enfermedad, siendo benzomil e imazalil los más efectivos, otros fungicidas menos comunes usados con buenos resultados en el control de la podredumbre de corona son el procloraz y propiconazol. En Ecuador los fungicidas comúnmente aplicados son el imazalil con dosis que van entre 400-700 mg L⁻¹ y tiabendazol con dosis entre 200-400 mg L⁻¹ dependiendo de la época del año y del destino de la fruta, debido a las restricciones legales y los días de transporte (Edifarm, 2008, pp. 68,83).

La aplicación de fungicidas frecuentemente va acompañado con la utilización de otros componentes como el sulfato de aluminio y amonio (Alumbre) al 1 %, este compuesto actúa como cicatrizante del punto de corte dejado tras el desmanado (Salazar, 2012, p. 10). Sin embargo se ha comprobado que existe una interacción negativa entre el fungicida y el alumbre como es el caso del tiabendazol el cual disminuye su eficacia al ser aplicado en conjunto con alumbre (Joas y Malisart, 2001, p. 388). Es importante vigilar el tiempo entre los procesos de desmanado, preparación de los clusters y la aplicación del fungicida, ya que un mayor tiempo

incrementa el riesgo de esta enfermedad especialmente en épocas lluviosas donde las esporas pueden ser transportadas por el agua (Krauss y Johanson, 2000, p. 153).

1.1.2 ANTRACNOSIS

Es otra de las podredumbres poscosecha más importante. Este tipo de podredumbre afecta principalmente al fruto, es conocida como la podredumbre café y es causada por el hongo *Colletotrichum musae*. Esta enfermedad se ha presentado en todos los países productores de banano a nivel mundial. La contaminación del fruto ocurre en el campo, específicamente durante los primeros 30-40 días de la floración. Cuando un conidio llega a un fruto en formación puede permanecer de forma latente hasta que las condiciones sean favorables para su desarrollo, por tal motivo esta podredumbre se desarrolla en las etapas de almacenamiento, transporte y maduración del fruto. Este patógeno también puede ingresar al fruto a través de heridas provocadas, efecto de golpes en el transporte o del inadecuado manejo poscosecha (de Lapeyre de Bellaire, Chillet, Dubois y Mourichon, 2000, pp. 784-786)

1.1.2.1 Agente causal

Colletotrichum musae es un microorganismo específico del banano, que pertenece al género *Collectrotichum* de la familia de los Deuteromycetes. En medio de cultivo PDA desarrolla un micelio aéreo, blanco que se torna naranja con el tiempo. Después de 10 días de incubación produce estructuras rosáceas en la superficie las cuales son acérvulos naranja oscuro, como se muestra en la Figura 1.3 (a). Crece adecuadamente a pH de 5, su temperatura óptima de crecimiento es de 27 °C, existe una inhibición de la germinación y crecimiento del hongo a temperaturas menores a 15 °C, situación que demuestra la importancia de someter a la fruta a temperaturas entre 13-14 °C. El hongo puede resistir a condiciones de baja

humedad en su forma asexual y es muy resistente a largos períodos de sequía extrema (Pérez y Vidal, 2002, pp. 4,9).

Microscópicamente presenta hifas septadas y conidióforos septados de $30 \times 35 \mu\text{m}$, como se muestra en la Figura 1.3 (b) (A y B). Los conidios son hialinos, no septados y de forma elíptica, de tamaño entre los $12-17 \times 4-8 \mu\text{m}$, como se muestra en la Figura 1.3 (b) (C, D y E). *C. musae* produce los conidios en un mucílago que los protege y asegura su supervivencia dentro del acérvulo. En periodos con elevadas precipitaciones el acérvulo libera rápidamente los conidios de estos tejidos para su dispersión (de Lapeyre de Bellaire et al., 2000, p. 788; Mondal y Parbery, 2005, p. 33). Bajo condiciones de alta humedad los conidios producen el apresorio de color café oscuro, muy melanizado, de forma irregular y de tamaño entre $6-11 \times 5-10 \mu\text{m}$. Esta estructura puede permanecer latente en la piel del fruto hasta que se produce la maduración del fruto, etapa donde el hongo se activa incrementado el riesgo de infección del fruto (Abd-Elsalam et al., 2010, pp. 2337,2338; Lim, Lim, y Cha, 2002, p. 163).

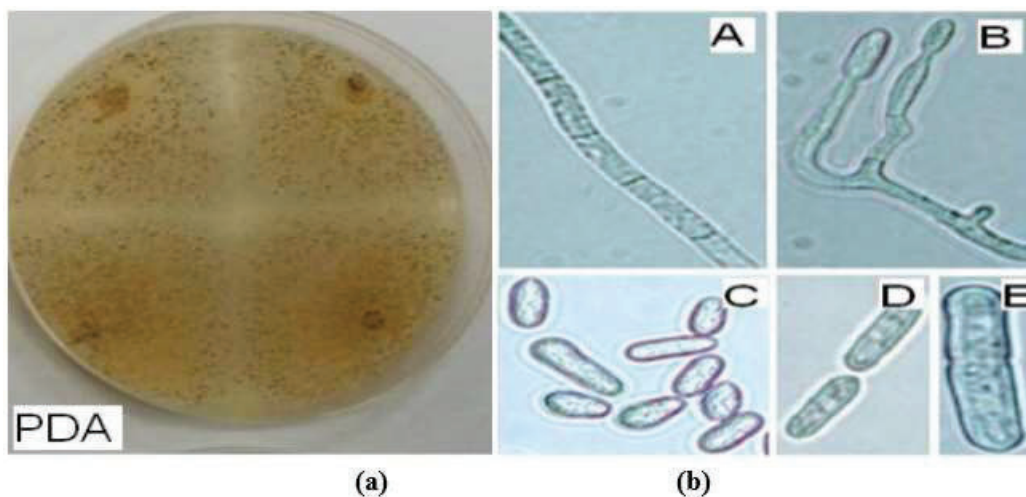


Figura 1.3. Morfología macroscópica (a) y microscópica (b) de *Colletotrichum musae* en PDA a $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$

(Abd-Elsalam, Roshdy, Amin, y Rabani, 2010, p. 2338))

En precosecha, las esporas de *C. musae* pueden desarrollarse rápidamente en los tejidos en proceso de senescencia como las hojas dejadas en la plantación y restos de los frutos en el suelo. Las esporas pueden diseminarse hacia los frutos en

desarrollo por las corrientes de aire, la lluvia y por los insectos. Principalmente el inóculo ingresa en las partes florales de la planta por medio de las gotas de lluvia que caen sobre estas (de Lapeyre de Bellaire et al., 2000, pp. 786-789; Snowdon, 2010, p. 106).

1.1.2.2 Síntomas y signos de la enfermedad

C. musae posee dos formas de infección: una latente y otra no latente. La forma latente de infección se debe a la contaminación del fruto en el campo, el patógeno permanece inactivo hasta que la fruta inicia la etapa de maduración. Este tipo de infección se caracteriza por la aparición en la piel de frutos maduros de manchas circulares, de color café oscuro a negro, como se muestra en la Figura 1.4 (a). Las manchas inicialmente son aguadas, irregulares y amarillentas, pero estas pueden agrandarse, uniéndose y formando grandes usos que toman un color marrón oscuro como se muestra en la Figura 1.4 (b).

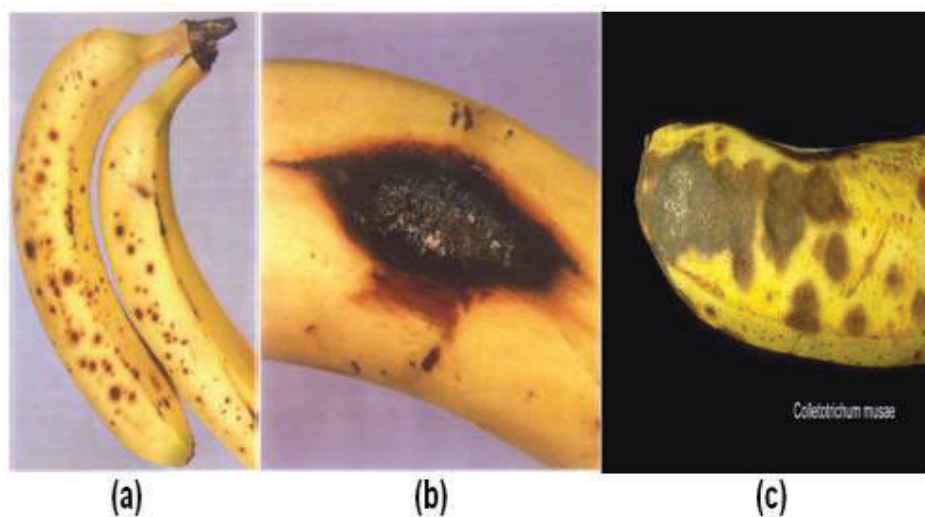


Figura 1.4. Banano con síntomas y signos de Antracnosis (a), Infección latente (b), Infección por herida (c)
(Snowdon, 2010, p. 232)

Este tipo de infección también puede presentarse en los frutos verdes en almacenamiento en frío a 12-14°C, llegando a provocar podredumbres destructivas. La segunda forma de infección se da cuando el patógeno ingresa al fruto por medio

de los daños físicos producidos en la poscosecha del mismo. En este tipo de infección, se producen en los frutos verdes lesiones lenticulares, de color marrón oscuro a negro, y ligeramente hundidas, estas manchas aumentan su tamaño provocando que el fruto madure, para eventualmente podrirse, como se muestra en la Figura 1.4 (c) En ocasiones el hongo llega a formar acérvulos de color salmón en ambos tipos de infección (Raut y Ranade, 2004, p. 43; Snowdon, 2010, p. 232).

1.1.2.3 Estrategias de manejo de la enfermedad

En precosecha es primordial aplicar ciertas medidas preventivas como: mantener la higiene de la plantación, cosechar la fruta en el grado correcto de maduración y manejar los frutos con el debido cuidado para evitar daños. Estrategias aplicadas desde el campo como: el desflore y el embolsado de los racimos pueden llegar a reducir la contaminación de los frutos hasta en 80 %. El desflore debe realizarse en etapas tempranas de la formación de las manos en los racimos (de Lapeyre de Bellaire et al., 2000, pp. 786-789).

En las etapas poscosecha es primordial mantener la higiene durante todo el proceso. Se debe refrigerar los frutos lo antes posible después de la cosecha. Una de las principales estrategias de control en esta etapa es la aplicación de fungicidas como tiabendazol e imazalil, en dosis de 250 a 500 mg L⁻¹. Estos fungicidas usualmente se usan en combinación para controlar otras enfermedades como la podredumbre de corona. Fungicidas de contacto usados con menos frecuencia pero que han obtenido buenos resultados en el control de enfermedades poscosecha de banano son el miclobutanil (500 mg L⁻¹) y la azoxistrobina (300 mg L⁻¹) (Villalta, Sample, Shields y Guzmán, 2006, pp. 23-28). También fungicidas del grupo de las estrobilulinas han obtenido resultados promisorios en el control de podredumbres poscosecha y han sido aprobados para su aplicación en banano (Schilder, Gillett y Sysak, 2001).

1.1.3 PUDRICIÓN TIPO CENIZA DE CIGARRO

Es una podredumbre causada por el hongo *Verticillium theobromae*. En el campo el hongo puede prevalecer durante largos períodos húmedos, siendo los frutos inmaduros más susceptibles al ataque de este patógeno, puesto a que la infección se desarrolla a partir de las partes florales en los primeros días de la emergencia del fruto. Es una de las enfermedades más importante en la poscosecha de bananos y plátanos. La podredumbre causada por el hongo se desarrolla en la punta del fruto, presentando un aspecto similar al de la ceniza de un cigarro (Raut y Ranade, 2004, p. 44; Snowdon, 2010, p. 108).

1.1.3.1 Agente causal

V. theobromae es el patógeno frecuentemente asociado a esta podredumbre en la mayoría de zonas productoras de banano en el mundo, sin embargo en algunas zonas de África Central y del Oeste se ha registrado a *Trachysphaera fructigena*, como el agente causal de esta enfermedad (Dadzie y Orchard, 1998, p. 54).

El hongo *V. theobromae* pertenece a los Ascomycetes, este hongo también ha sido descrito como uno de los causantes de la podredumbre de la corona; su temperatura óptima de crecimiento es de 25° C. El aislamiento del patógeno se realiza en PDA a 20 ° C, donde se forma un micelio algodonoso, poco denso y de color blanco, que se vuelve gris o marrón oscuro con el tiempo, como se observa en la Figura 1.5 (a). En cuanto al aspecto microscópico se observa la presencia de conidióforos alargados, hialinos, ramificados, verticilados y con 3-4 fiálides en cada nodo, los conidios son de $2,5 \times 1,25 \mu\text{m}$ (Figura 1.5 (b)) (Jabnoun-Khiareddine, Daami-Remadi, Barbara y El Mahjoub, 2010, pp. 23-24).

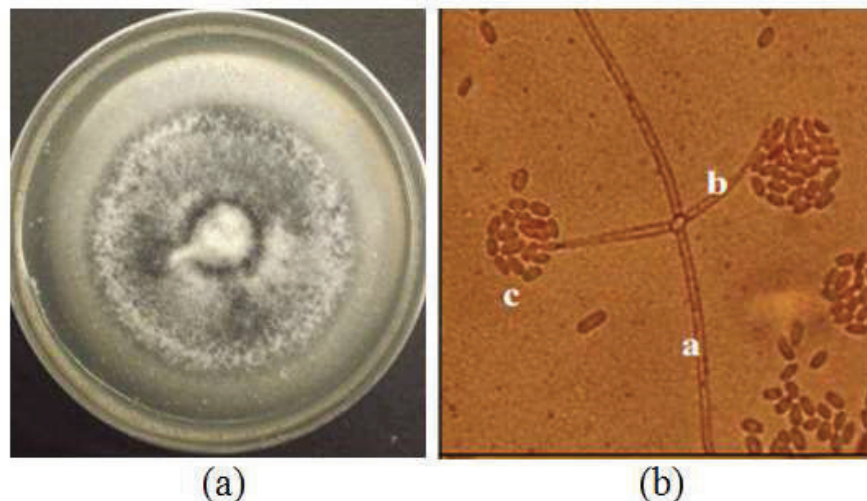


Figura 1.5. Morfología macroscópica (a) y microscópica (b) de *Verticillium theobromae* (Jabnoun-Khiareddine et al., 2010, pp. 23,26)

Los frutos pueden contaminarse en el campo debido a que el inóculo puede encontrarse en los restos de la plantación y puede ser diseminado por el aire. Mientras que en la poscosecha puede existir contaminación con el inóculo en los tanques de lavado y de remoción del látex a través de las heridas de los frutos.

1.1.3.2 Síntomas y signos de la enfermedad

La infección se inicia con el oscurecimiento y arrugamiento del perianto (estructura floral) del fruto. Con la maduración del hongo, esta podredumbre se vuelve gris o negra con presencia de micelio blanco, similar a las cenizas de un cigarro (Figura 1.6 (a)). En etapas avanzadas de la podredumbre se produce una momificación de los tejidos del fruto, los tejidos se deshidratan y se tornan fibrosos, llegando a desintegrarse. La enfermedad también se puede presentar en frutos maduros, como indica la Figura 1.6 (b). La infección que comienza en el perianto puede propagarse por todo el dedo provocando la momificación de la pulpa de los dedos, pero normalmente estos no se llegan a desprender de la corona de la mano (Dadzie y Orchard, 1998, p. 54; Snowdon, 2010, p. 108).

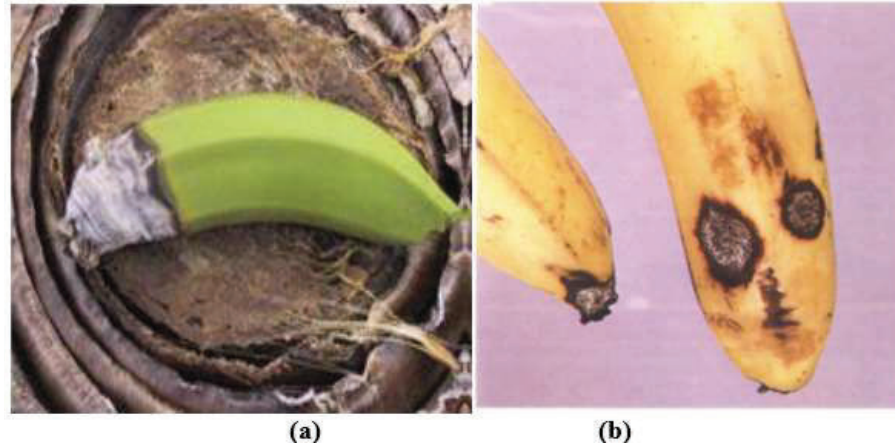


Figura 1.6. Signos y síntomas de la podredumbre tipo ceniza de cigarro en bananos en estado verde (a) y maduro (b)
(Snowdon, 2010, p. 108)

1.1.3.3 Estrategias de manejo de la enfermedad

En el campo, el principal método de control es la extracción manual de las flores muertas y frutas infectadas de los racimos recién cosechados. La enfermedad puede prevenirse al cubrir la flor, después de su emergencia con bolsas de polietileno antes de la formación de las manos. En poscosecha se aplican fungicidas que comúnmente son usados para antracnosis y podredumbre de la corona. En esta fase es importante mantener la higiene de la central de empaque y cambiar frecuentemente el agua de lavado (Raut y Ranade, 2004, p. 44).

1.1.4 PUDRICIÓN DE LOS DEDOS

La enfermedad es causada por *Lasiodiplodia theobromae* también conocida como *Botrydiploia theobromae*. Este patógeno ingresa al fruto por medio de heridas en la piel, provocando la podredumbre interna de los dedos (frutos). De la misma manera, los frutos recolectados bajo condiciones de alta temperatura y humedad pueden desarrollar esta podredumbre durante el transporte. La infección puede provocar la maduración prematura de los frutos. Este patógeno también ha sido identificado como el agente causal de la podredumbre de la corona (Raut y Ranade, 2004, p. 44). La pudrición de los dedos ha sido reportada en las zonas de

producción intensiva de América Central, Sudamérica, Filipinas, Egipto y en los Emiratos Árabes. Esta enfermedad se desarrolla principalmente en las etapas de comercialización, donde no se cuenta con el almacenamiento en refrigeración de la fruto (Nath, Solanky y Bala, 2015, p. 3).

1.1.4.1 Agente causal

L. theobromae es hongo perteneciente a los Ascomycetes. Su temperatura óptima de crecimiento es de 30 ° C a un pH entre 5,5 y 7 (Eng, Gutiérrez-Rojas y Favela-Torres, 2003, pp. 173,174). El mejor medio para su aislamiento es el PDA a temperaturas de 22 ° C, macroscópicamente se observa un crecimiento acelerado y denso del micelio aéreo de color gris, extendido en toda la placa, como se muestra en la Figura 1.7 (a). En cuanto al aspecto microscópico presenta conidióforos hialinos, septados, raramente ramificados y cilíndricos, los conidios son café oscuro elipsoidales de 20-26 x 11-14 μm y con estrías longitudinales, (Figura 1.7 (b)) (Tovar-Pedraza et al., 2012, pp. 152,155).

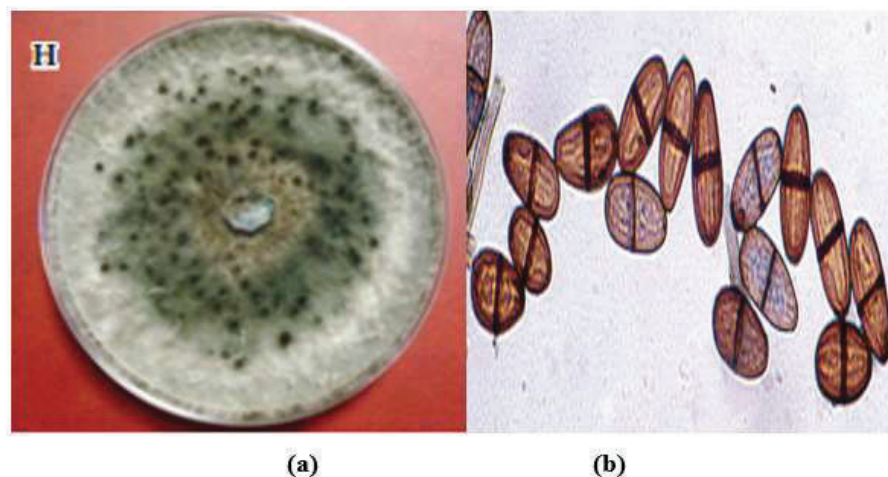


Figura 1.7. Morfología macroscópica (a) y microscópicas (b) de *Lasiodiplodia theobromae*
(Tovar-Pedraza et al., 2012, p. 152)

En el campo, el hongo se encuentra en los restos de vegetación en las plantaciones, donde sobrevive en su forma asexual. El aire y la lluvia pueden diseminar sus esporas. Si las esporas llegan a las partes de las florales remanentes del fruto, pueden

causar una infección en los mismos cuando estos maduren durante la poscosecha. En esta fase, la infección también se puede iniciarse en las lesiones del fruto.

1.1.4.2 Síntomas y signos de la enfermedad

La podredumbre inicia en la punta de los dedos o en el lugar de una herida. A temperaturas sobre los 25°C, la podredumbre avanza rápidamente ablandando el fruto y oscureciendo los tejidos, tornándose de color café como se muestra en la Figura 1.8.



Figura 1.8. Banano con síntomas de podredumbre de los dedos.
(Snowdon, 2010, p. 112)

En etapas avanzadas, se evidencia la presencia de picnidios de color negro y la deshidratación de la piel del fruto (Nath et al., 2015, p. 3). La pulpa puede reblandecerse hasta convertirse en un semi-sólido (podredumbre blanda). A condiciones de alta humedad existe un abundante crecimiento de micelio verde. La enfermedad se desarrolla rápidamente durante el período de maduración del fruto y puede diseminarse fácilmente a los dedos adyacentes al fruto podrido (Raut y Ranade, 2004, p. 45; Snowdon, 2010, p. 242).

1.1.4.3 Estrategias de manejo

La enfermedad puede evitarse al cosechar la fruta en la etapa adecuada de maduración y al desechar los frutos sobre-maduros después de la cosecha. Se

debe evitar los daños físicos durante los procesos de cosecha y poscosecha. En el campo deben eliminarse restos de hojas, flores y brácteas. En la poscosecha, se debe mantener la higiene de la central de empaque, el agua del tanque de lavado y deslechado deben cambiarse frecuentemente. Los fungicidas sistémicos controlan muy bien esta enfermedad. (Dadzie y Orchard, 1998, p. 55; Snowdon, 2010, p. 112).

1.1.5 OTRAS PODREDUMBRES

Existen otras enfermedades poscosecha en banano causadas por hongos como: *Ceratocystis paradoxa*, *Pyricularia grisea*, *Verticillium dahliae* y especies de los géneros *Cladosporium*, *Cercospora*, *Fusarium* y *Rhizopus*. Sin embargo la incidencia de estas podredumbres es baja, ya que se desarrollan en condiciones extremas que favorezcan al patógeno y son específicas de ciertas zonas de producción. A continuación, se mencionará las enfermedades que se han evidenciado en el Ecuador y en América del Sur.

1.1.5.1 Mancha Johnston

Esta enfermedad es causada por *Pyricularia griseae*. Tiene gran incidencia en Sudamérica y Centroamérica, las Islas Canarias y Australia. El inóculo se propaga en periodos con alta humedad, el patógeno se disemina a través del viento y la lluvia. Las frutas infectadas presentan pequeñas manchas rojizas hundidas que crecen en la maduración del fruto, como se muestra en la Figura 1.9. Estas manchas llegan a convertirse en grandes circunferencias café rojizas y hundidas, que generalmente no afectan a la pulpa del fruto. La enfermedad se puede presentar en frutos aparentemente sanos. Esta enfermedad puede ser controlada con el uso de fungicidas, con la higiene de la empacadora y la protección de los racimos con fundas de polietileno cuando estos se encuentran en desarrollo (Asociación de Bananeros de Colombia, 2009, p. 55; Snowdon, 2010, p. 113)



Figura 1.9. Bananos con manchas de Johnston.
(Snowdon, 2010, p. 113)

1.1.5.2 Sigatoka Negra

Es causada por *Mycosphaerella fijiensis*. La enfermedad ha sido reportada en Australia, América del Sur y Central, Asia y África. La infección es propia del campo, puesto a que el patógeno no ataca directamente al fruto, pero sí a las hojas de la planta. Sin embargo puede llegar a causar serios problemas durante la poscosecha. Las consecuencias de esta enfermedad en el fruto son: decoloración de la pulpa, maduración acelerada, alta susceptibilidad al daño por frío, desarrollo de sabores y aromas extraños. En la precosecha las estrategias de manejo de la podredumbre incluyen mantener limpia la plantación y la aplicación de fungicidas sistémicos y de contacto. Durante la poscosecha es importante mantener la higiene del área de empaque (Asociación de Bananeros de Colombia, 2009, p. 45; Snowdon, 2010, p. 114).

1.1.5.3 Diamante

La infección es causada por *Cercospora hayi* y algunas especies de *Fusarium*. La enfermedad ha sido reportada en Sudamérica, Centroamérica y Filipinas. Esta podredumbre se caracteriza por la formación de lesiones amarillentas en forma de un rombo o diamante que aparecen a lo largo del fruto (Figura 1.10). Estas heridas evitan que el fruto se desarrolle normalmente provocando un resquebrajamiento

longitudinal. Las estrategias de control de la enfermedad se aplican en el campo, estas son la aplicación de fungicidas, la higiene de la plantación y el enfunde de los racimos en desarrollo (Asociación de Bananeros de Colombia, 2009, p. 55; Snowdon, 2010, p. 116).



Figura 1.10. Bananos con síntomas de la enfermedad Diamante.
(Asociación de Bananeros de Colombia, 2009, p. 55)

Las diferentes podredumbres del período poscosecha de banano requieren de diferentes estrategias de control, entre estas se ha estudiado diferentes tratamientos alternativos que permitan sustituir el uso de fungicidas. A continuación se describirá los principales tratamientos alternativos aplicados en banano.

1.2 TRATAMIENTOS ALTERNATIVOS PARA EL CONTROL DE PODREDUMBRES POSCOSECHA

La comunidad científica ha dedicado grandes esfuerzos en los últimos años a la evaluación y desarrollo de tecnologías para el control de las podredumbres poscosecha, que permitan sustituir el tratamiento con fungicidas químicos. Esta nueva línea de investigación surge de la necesidad de proveer al consumidor productos de baja toxicidad y de ajustar los sistemas de producción y comercialización hortofrutícola al cambio de los límites de residuos máximos permitidos (LMR) de fungicidas en estos tipos de productos (Palou, 2007, p. 82).

Los tratamientos alternativos deben ser en esencia no contaminantes, poco tóxicos y reproducibles comercialmente. Estos tratamientos alternativos pueden ser físicos, químicos de bajo riesgo y biológicos (Pássaro-Carvalho, Nunes, y Palou, 2012, p. 272). Actualmente, no existe ningún tratamiento alternativo que logre sustituir completamente el uso de fungicidas químicos convencionales. En el presente capítulo se mencionaran los estudios más relevantes realizados a nivel mundial en el control de enfermedades poscosecha de banano.

1.2.1 TRATAMIENTOS QUÍMICOS DE BAJO RIESGO

Este tipo de tratamientos se basan el uso de sustancias químicas naturales o de síntesis, cuya toxicidad ha sido comprobada como baja o nula, tanto en seres vivos como en el medio ambiente. Normalmente estos compuestos son usados bajo sistemas de inmersión o aspersión.

1.2.1.1 Sustancias GRAS

Las sustancias generalmente reconocidas como seguras (GRAS) son compuestos químicos usados generalmente como aditivos alimentarios, que han sido aprobados por la Agencia de Drogas y Alimentos (FDA). Entre estas sustancias tenemos a sales y ácidos orgánicos e inorgánicos (FDA, 2014).

En bananos de Filipinas se aplicaron inmersiones durante 10 min en soluciones (p/v) con bicarbonato de sodio (NaHCO_3) al 0,6 %, hipoclorito de sodio (NaClO) al 0.5 %, cloruro de sodio (NaCl) al 0,6 % y dicloruro de calcio (CaCl_2) al 0,6 %. Se obtuvieron reducciones de la incidencia de la podredumbre de la corona del 62 %, 67 %, 38 % y 33 % respectivamente para cada sal inorgánica ensayada (Alvindia, Kobayashi, Natsuaki y Tanda, 2004, p. 63).

Por otro lado, De Costa y Gunawardhana (2012) comprobaron la efectividad de la inmersión de bananos variedad *Embon* y *Kalikutu* en 300 ppm de bicarbonato de sodio durante 10 min, en el control de antracnosis, podredumbre de la corona y en

la podredumbre tipo ceniza de cigarro hasta en un 31 %, 62 % y 74 % respectivamente (p. 58).

Otro tipo de sustancias como el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) en dosis desde el 0,5 al 1,5 % inhiben la germinación de esporas de los hongos causantes la podredumbre de corona del banano hasta en un 100 %. Estos resultados determinan la posibilidad de la aplicación de este tipo de sustancias dentro del agua de lavado (Perera, Hernández, Piedra y Duque, 2012, p. 10).

1.2.1.2 Sustancias Naturales

Entre las sustancias naturales que se han probado en estos tipos de tratamientos se encuentran aceites esenciales, extractos de plantas y compuestos de origen animal como el quitosano. Este tipo de sustancias poseen compuestos activos como terpenos, aldehídos, fenoles, péptidos y reguladores del crecimiento con actividad fúngica y fungistática (Pássaro-Carvalho et al., 2012, p. 297).

En bananos, los extractos de tomillo rojo (5 mL L^{-1}) y de semillas de cítricos (200 mL L^{-1}) presentaron una reducción del 69,83 % y 79,5 % del micelio producido en la podredumbre de corona (Cartaya et al., 2011, p. 14). A su vez, se probó que el extracto de cítricos al 4% puede alcanzar un control de la antracnosis de hasta el 90% en bananos del cultivar Nanica de Brasil (Cruz et al., 2013, p. 731).

Finalmente, 72 extractos vegetales medicinales fueron probados *in vitro* en el control del crecimiento micelial de *L. theobromae* y *C. musae*. De estos extractos se encontró que un híbrido de ajo y cebolla, llamado Zimmu inhibió el desarrollo del hongo y la geminación de esporas. Este extracto *in vivo* presentó una inhibición del 100 % de la enfermedad producida por estos patógenos en bananos cultivar *Robusta* inoculados artificialmente con los patógenos y mantenidos en refrigeración ($14 \text{ }^\circ\text{C}$) durante 35 días. Estos bananos no mostraron síntomas de la enfermedad, de esta forma se incrementó la vida verde de los mismos hasta por 64 días, sin ninguna alteración notable de las características sensoriales del producto (Sangeetha, Thangavelu, Rani y Muthukumar, 2013, pp. 19-20).

De la misma forma, los aceites esenciales de canela (*Cinnamomum zeylanicum*), tomillo (*Thymus vulgaris*), albahaca (*Ocimum basilicum*) y clavo de olor (*Syzygium aromaticum*) fueron probados en el control de podredumbres en bananos de diferente variedad. En el caso de aceite de canela se han probado tratamientos de inmersión durante 2 min en bananos variedad *Berangan* y se determinó que la concentración 0,3 % de este aceite esencial mantuvo la incidencia de antracnosis por debajo del 8 %, además conservó la calidad físico-química de bananos almacenados en refrigeración durante 28 días (Maqbool, Ali y Alderson, 2010, p. 518). De la misma manera, en bananos variedad *Embul*, se obtuvo un control *in-vitro* del crecimiento de *C. musae*, *L. theobromae* y *F. proliferatum* con concentraciones desde 0,03 a 0,11 % (v/v) de aceite de canela y clavo de olor (Ranasinghe, Jayawardena, y Abeywickrama, 2002, p. 210).

Los aceites esenciales se probaron en combinación con otros aditivos alimenticios como la goma arábiga. Esta combinación de 10 % de goma arábiga y 0,04 % de aceite de canela presentó una efectividad del 80% en el control de la antracnosis, además de mantuvo las características físico-químicas y sensoriales del banano tratado (Maqbool et al., 2011, pp. 73-75).

Otros tratamientos alternativos se basan en la elaboración de un recubrimiento comestible a partir de compuestos como goma arábiga y quitosano. El efecto de este recubrimiento fue probado en el control de antracnosis en banano inoculados artificialmente con *C. musae*. Se determinó que una composición del 10 % de goma arábiga y 1 % de quitosano redujo un 80 % la severidad de la enfermedad (Maqbool, Ali, Ramachandran, Smith y Alderson, 2010, p. 1138).

De la misma manera, sustancias naturales provenientes de otras frutas como el látex de papaya (*Carica papaya*) fueron probadas en el control de la podredumbre de la corona. Se aplicó una inmersión durante 15 min de una solución al 50% de la fracción liofilizada del látex de papaya en bananos variedad *Ambun*. Este tratamiento presentó un control de la enfermedad de hasta el 70%, debido a una posible digestión de los conidios de *F. semitectum*, *C. musae*, *C. gloeosporioides*, *C. capsici* por parte de la enzima quitinasa contenida en la fracción soluble del látex de papaya (Inderbitzin et al., 2011, pp. 160-163).

1.2.2 TRATAMIENTOS FÍSICOS

Estos tratamientos no generan ningún tipo de residuo a diferencia de otros métodos alternativos, por lo que se han convertido en una de las tecnologías más promisorias para la sustitución de los fungicidas químicos convencionales. Los tratamientos físicos tienen una acción directa sobre el patógeno o generan una reacción del sistema de defensa del fruto. Estas tecnologías incluyen a los tratamientos calóricos, tratamientos con gases e irradiaciones ionizantes y no ionizantes (Pássaro-Carvalho et al., 2012, p. 292).

1.2.2.1 Tratamientos de calor

Los tratamientos calóricos consisten en la aplicación de calor a través de un fluido sea este agua, aire o vapor. Las tecnologías térmicas han sido aplicadas exitosamente en frutas para la desinfestación. El uso de altas temperaturas a través de un fluido busca eliminar los patógenos, que por lo general se encuentran en la superficie de los frutos. Esta tecnología puede causar la lignificación o taponamiento de las heridas del fruto, de esta manera reducir el ingreso de los patógenos al mismo.

Sin embargo, la diferencia entre las temperaturas tolerables por el fruto y las que causan algún tipo de daño en la calidad del producto es muy cerrada. Razón por la cual se ha buscado combinar altas temperaturas con tiempos cortos, con el fin de disminuir los efectos adversos como: daños en la piel y pulpa, reducción de sólidos solubles y aceleración de procesos metabólicos. Las temperaturas y los tiempos de los tratamientos siempre van a depender del tipo de fruto, variedad, grado de madurez, condiciones pre-cosecha, estacionalidad, localidad y tipo de producción (Flores y Yahia, 2001, pp. 86-88; Pássaro-Carvalho et al., 2012, p. 294).

Los tratamientos con baños en agua caliente, también conocidos como choques térmicos o hidrotérmicos, han sido ampliamente estudiados en frutas tropicales como mango y papaya, donde se han logrado implantar a nivel comercial. Este tipo de metodologías pueden ser implementadas mediante técnicas de inmersión,

cepillado y aspersión. Este tipo de tecnologías han sustituido la aplicación de vapor y de aire caliente, debido a su bajo costo, a su facilidad operativa y a su eficiencia en la transferencia de calor. Sin embargo, es importante considerar la calidad del agua que será usada en este proceso, esta debe ser potable y cambiada frecuentemente según su uso (Fallik, 2004, pp. 126-128; Garmendia y Méndez, 2006, pp. 18,19).

En bananos de la variedad *Berangan* se determinó que baños a 50 °C durante 20 min provocaron una reducción de la severidad de *C. musae*, las lesiones fueron de tan solo 0,38 mm en bananos inoculados artificialmente y mantenidos durante 14 días a 25 °C (Mirshekari, Ding, Kadir, y Ghazali, 2012, p. 9). Bananos de las variedades *Latundan* y *Saba* mostraron buenos resultados al ser tratados en baños a temperaturas desde 47 a 52 °C durante 10 a 20 min. Estos tratamientos inhibieron el desarrollo de antracnosis causada por *C. musae* y la podredumbre de los dedos causada por *L. theobromae* y *Fusarium* spp. En el estudio las enfermedades se desarrollaron en un 33 % para el caso de antracnosis y en un 40% para la podredumbre de los dedos (Acedo Jr, Benetiz, y Millan, 2000, p. 418).

De la misma forma, se ensayaron baños en agua caliente a temperaturas desde 35 a 55 °C durante tiempos de 1 a 10 min en bananos de las variedades *Embon* y *Kolikuttu*. Se determinó que la inmersión en agua a 50 °C durante 3 min proporcionó el mejor control de la antracnosis y de la podredumbre de la corona, mostrando un desarrollo de tan solo del 8 % de estas enfermedades (De Costa y Erabadupitiya, 2005, p. 34). Por otro lado, en bananos de las variedades *Santa Catarina* y *Williams* los tratamientos de inmersión en agua a 45 °C durante 20 min consiguieron un 100% del control de la podredumbre de la corona. Finalmente, en bananos de la variedad *Buñgulan* de Filipinas se determinó que la inmersión en agua a 50 °C durante 20 min redujo la podredumbre de corona en un 55%, además mantuvo la apariencia, la firmeza del producto y redujo la maduración y la pérdida de peso del fruto (Alvindia, 2012b, pp. 63,64).

Adicionalmente cabe mencionar que los baños de agua caliente pueden optimizar otros procesos de la poscosecha del banano, como lo es la extracción del látex después del desmane de los racimos. El proceso convencional de extracción del

látex consiste en la inmersión sucesiva de las manos en tanques con agua en circulación continua y la posterior aplicación de alumbre para la cicatrización de la herida. Se determinó que la inmersión de los frutos en agua a 45 °C durante 10 min tuvo una efectividad similar al proceso convencional (Ramírez, Sáenz, y Vargas, 2011, pp. 9-12).

1.2.2.2 Radiaciones

En esta sección se abordarán tanto las radiaciones gamma (ionizantes) como las radiaciones ultra violeta (no ionizantes). Estos dos tipos de radiaciones se diferencian principalmente por su longitud de onda. Las radiaciones ionizantes poseen longitudes de onda del rango inferior a los 100 nm lo que les permite traspasar la materia, mientras que las radiaciones ultra violeta (UV) se encuentran dentro de longitudes de onda del rango de 280 a 100 nm y estas tienen una acción superficial, ya que no pueden atravesar la materia (Pássaro-Carvalho et al., 2012, p. 294).

Las radiaciones UV se aplican normalmente a dosis bajas entre 0,5 a 8 kJm⁻², esta tecnología puede reducir las podredumbres. Sin embargo, su efectividad se ve limitada a las posibles fitotoxicidades que aparecen en función de la dosis aplicada, el grado de madurez y el tipo de fruto.

En bananos, únicamente se han aplicado dosis de 0,03 kJm⁻² para el incremento de la resistencia al daño por frío y se ha comprobado su eficiencia en el aumento de la vida útil del producto, ya que retrasa su madurez y mantiene sus características físico-químicas como firmeza y sólidos solubles (Pongprasert, Sekozawa, Sugaya y Gemma, 2011, p. 76).

Las radiaciones ionizantes (Gamma) son usualmente generadas por una fuente de cobalto (⁶⁰Co) o cesio (¹³⁷Cs). Es una de las tecnologías más costosas y difíciles de implementar, debido a los protocolos de seguridad requeridos. En productos hortofrutícolas las dosis de aplicación deben ser menores a los 1 kGy. Muchas veces estas dosis no son lo suficiente para controlar un patógeno o en ocasiones

pueden producir efectos adversos en el producto como: fitotoxicidad, reblandecimiento de tejidos, quemaduras, pérdida de nutrientes y liberación de radicales libres. Todo esto dependiendo del fruto al cual se aplica el tratamiento. Sin embargo, esta tecnología fue aprobado por la FDA para su uso en protocolos de cuarentena en frutos como mango, papaya, melón y en hortalizas como papa y cebolla para el control de insectos (Flores y Yahia, 2001, p. 88).

En bananos, dosis de 0,3, 0,4 y 0,5 kGy durante 5 min incrementaron la vida útil hasta en 26 días, ya que disminuyeron la maduración del fruto. Además estas dosis, no provocaron un cambio significativo en las propiedades nutricionales de los frutos y redujeron las podredumbres (Zaman, Paul, Alam, Ibrahim y Parvez, 2007, pp. 50-52). En los últimos años el uso de esta tecnología no se ha extendido a nivel comercial debido a su elevado costo y baja aceptación por parte de los consumidores.

1.2.3 CONTROL BIOLÓGICO

En la actualidad el control biológico se define no solo como el uso de un microorganismo antagonista para el control de un patógeno, el concepto va más allá y busca superar las limitaciones de una enfermedad con sus 3 componentes: patógeno, huésped y medio ambiente. De esta forma, los llamados agentes de control biológico pretenden ser más eficaces en el combate de una infección, incluyendo a las infecciones latentes. Usualmente se busca que este agente antagonista sea resistente a condiciones adversas y tenga un amplio rango de acción (Janisiewicz y Korsten, 2002, pp. 413-415; Pássaro-Carvalho et al., 2012, pp. 300-301).

Los agentes de control biológico requieren numerosas fases previas antes de poder ser usados comercialmente. Inicialmente estos son aislados de los tejidos de hojas o frutos propios del producto en el que se busca probar su acción. A continuación, se evalúa su capacidad antagonista *in vitro*. En esta fase se debe entender su modo de acción contra el patógeno en estudio. Estos mecanismos pueden ser de los siguientes tipos: competición por nutrientes y por espacio, antibiosis,

hiperparasitismo, producción de metabolitos como enzimas líticas e inducción de la resistencia del fruto (Sharma, Singh, y Singh, 2009, p. 206). Posteriormente se debe evaluar el antagonista a nivel del fruto, bajo las condiciones normales de almacenamiento. Después de este proceso, el patógeno debe ser producido a escala piloto, donde se debe probar los sustratos para su crecimiento y las condiciones de resistencia del mismo. Finalmente, el patógeno debe ser producido a nivel industrial y formulado. Debe pasar las exigencias requeridas para ser patentado y comercializado (Nunes, 2012, pp. 182-183).

A pesar que a nivel mundial se han patentado numerosas levaduras, bacterias y hongos como antagonistas de patógenos en la poscosecha de los frutos, su uso a nivel comercial se ve limitado por la dificultad de obtener los registros. Solo países como Estados Unidos, tienen claro los procedimientos para la obtención de un registro, mientras que la Unión Europea solicita pruebas de toxicología muy largas y muy costosas para su aprobación (Nunes, 2012, p. 190; Palou, 2007, p. 90).

Se han probado *in vitro* la acción de ciertos microorganismos antagonistas sobre los principales patógenos del banano. Para el caso de *C. musae*, la bacteria *Streptomyces* sp. inhibió el crecimiento micelial y la germinación de esporas de este hongo. De la misma forma, esta bacteria inhibió el crecimiento *in vitro* de *Fusarium* spp. en un 96 %. (Taechowisan, Chuaychot, Chanaphat, Wanbanjob, y Tantiwachwutikul, 2009, pp. 89-90; Ting, Hoon, Kay, y Ern, 2010, p. 67). Por otro lado, bacterias nativas del banano *Pseudomonas viridiflava* y *P. aeruginosa* y 4 especies del género *Trichoderma* fueron efectivas en la inhibición del crecimiento micelial y la germinación de esporas de *L. theobromae* (Thangavelu, Sangeetha, y Mustafa, 2007, pp. 600-601).

De la misma manera, se han realizado estudios en bananos inoculados artificialmente con el patógeno y el antagonista. Thangavelu et al. (2007) demostraron la eficiencia de *P. viridiflava* en el control de la podredumbre de la corona en bananos variedad *Robusta* almacenados a 14°C, una suspensión de 10⁸ UFC mL⁻¹ presentó una eficiencia en el control de esta enfermedad en un 100%, la vida útil del producto se extendió hasta por 94 días (pp. 599, 601).

Por otro lado, la evaluación de la bacteria *Burkholderia spinosa*, aislada de bananos de Sri Lanka demostró que el microorganismo redujo la severidad de la antracnosis y de la podredumbre tipo ceniza del cigarro en un 95 % y 82 %, respectivamente (De Costa, Zahra, Kalpage, y Rajapakse, 2008, pp. 261-264). La levadura *Candida oleophila* ejerció un control del complejo causante de la podredumbre de la corona en bananos de hasta el 59,9 %. Sin embargo, se presentó una variabilidad en el control de la enfermedad debido a la estacionalidad de la cosecha de los frutos y al lapso de tiempo ente la aplicación del antagonista y la inoculación del patógeno (Lassois et al., 2008, pp. 414-415). Finalmente, La acción antagónica de la bacteria cepa B106, aislada del suelo de plantaciones de banano en China, fue evaluada sobre *C. musae*. Se determinó una eficiencia del control de la antracnosis, enfermedad causada por este patógeno, del 48,6 % en bananos inoculados, almacenados 14 días a 28°C (Fu et al., 2010, p. 8).

1.2.4 TRATAMIENTOS COMBINADOS

Generalmente, los tratamientos alternativos no llegan a ser tan efectivos como los fungicidas al ser aplicados comercialmente en las centrales de campo. Debido a que las eficiencias de los fungicidas son altas y a los bajos costos de producción que implican su uso. Para enfrentar estas deficiencias en los métodos alternativos se ha buscado en los últimos años combinar estas tecnologías, de manera que se incremente su eficiencia como fungicidas y su aplicación sea viable a nivel comercial.

Un sistema de múltiples tratamientos alternativos fue ensayado en bananos aplicando aceites esenciales de canela, quitosano y baños con agua caliente. La combinación de aceite de canela y agua a 45°C durante 20 min mostró la mayor reducción de la podredumbre de la corona. Sin embargo, este tratamiento provocó cambios inaceptables en la apariencia del fruto (Win, Jitareerat, Kanlayanarat, y Sangchote, 2007, p. 337).

Por otra parte, la combinación de una suspensión de *Bacillus amyloliquefaciens* y la inmersión en agua a 50°C durante 20 min presentó una eficiencia del 90% en el

control de la podredumbre de la corona, esta eficiencia fue comparable con el 93 % mostrado por el tratamiento con fungicida químico. Además la combinación de estas tecnologías mantuvieron la calidad físico-química y sensorial del producto (Alvindia, 2012a) (pp. 187-188). De la misma forma la combinación de una suspensión de *Trichoderma harzianum* con 1 % de bicarbonato de sodio presentó un 92 % de control de la misma enfermedad y mantuvieron la calidad de los bananos. La combinación fue efectiva incluso a condiciones favorables para los patógenos de 25 °C y humedad del 90 % (Alvindia, 2013, pp. 138-140).

En otro estudio, se combinó una suspensión 10^7 UFC mL⁻¹ de la levadura *Candida oleophila*, cloruro de calcio al 2 % (w/v) y un tratamiento poscosecha complementario de atmósfera modificada en bolsas de polietileno sin perforaciones. Esta combinación ejerció un control de la podredumbre de la corona de hasta del 53 %, siendo más efectiva que la aplicación por separado de los tratamientos mencionados. La adición del cloruro de calcio no afectó el desarrollo de la levadura, por el contrario el microorganismo se fortaleció bajo dichas condiciones mostrando mayor generación de biomasa (Bastiaanse, de Lapeyre de Bellaire, Lassois, Misson y Jijakli, 2010, pp. 103-104).

Los distintos tratamientos descritos representan una alternativa potencial para combatir las diferentes podredumbres de la conservación poscosecha del banano. Sin embargo, se requiere la evaluación de estas tecnologías a nivel piloto para poder ser implementadas con éxito a nivel comercial.

2 PARTE EXPERIMENTAL

2.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS PRINCIPALES CEPAS FÚNGICAS CAUSANTES DE PODREDUMBRES EN BANANO ORGÁNICO DURANTE EL PERÍODO POSCOSECHA

Los frutos fueron cosechados en la Hacienda “Banasoma Orgánica”, ubicada en el cantón Vinces, Los Ríos (Ecuador). Los bananos se cosecharon verdes en grado 1 (11-12 semanas desde la floración). Se recolectaron muestras sanas, libres de plagas, manchas y daños mecánicos según los requisitos estipulados en la norma INEN: 2801 (2005). Las manos se transportaron en cajas de cartón de 18 kg al Departamento de Ciencia de Alimentos y Biotecnología (DECAB) de la Escuela Politécnica Nacional (8 h).

2.1.1 Aislamiento y purificación de las cepas fúngicas

Se almacenaron 10 manos, cada una con 10 a 12 frutos, en condiciones ambientales ($\sim 20^{\circ}\text{C}$) durante 21 días. Al cabo de este tiempo, se observó el desarrollo de signos y síntomas de podredumbres en los bananos. Los frutos enfermos fueron lavados en 5 L de agua destilada durante 3 min, para la eliminación de cualquier material orgánico de la superficie.

Posteriormente, se tomaron muestras de tejidos infectados de 2 x 2 cm de la piel de los frutos y de la corona de las manos. Estos tejidos se colocaron en 9 enlarmeyers con 200 mL de una solución acuosa estéril de Tween80 (Loba Chemie, RMC S.A, Quito, Ecuador) al 0,05 %. Luego, los enlarmeyers se agitaron manualmente durante 2 min, con el propósito de separar las esporas de los hongos patógenos de los tejidos y lograr la suspensión de las mismas en el medio acuoso.

A continuación, se prepararon bancos de dilución triple (D2, D3, D4). Para la dilución D2 se tomaron 50 μL del erlenmeyer con los tejidos y se vertió el volumen

en un tubo de ensayo con 5 mL de una solución de Tween80 al 0,05 %. Para la preparación de la dilución D3, D4 se tomaron 500 μ L de la dilución D2 y D3 respectivamente y se vertieron en un tubo con 4,5 mL de una solución de Tween80 al 0,05 %. En total se contó con 9 repeticiones. Los tubos se agitaron en un vortex (Bohemia, Estados Unidos) durante 15 s y se sembraron por triplicado 0,1 mL de cada una de las diluciones (D2, D3, D4) en placas Petri con patata dextrosa Agar (PDA) (Acumedia, RMC S.A, Ecuador). Las placas Petri se incubaron a 25 °C. Se realizaron observaciones del crecimiento de las placas a partir de las 48 h. Con base a las observaciones, se aislaron las colonias de los hongos desarrollados. Cada colonia aislada se purificó por medio de resiembras semanales, una vez que los hongos hubieran formado micelio y esporulado.

2.1.2 Identificación de las cepas aisladas

Se comparó la morfología macroscópica y microscópica de las cepas aisladas con las encontradas en bibliografía y en las claves micológicas de Pitt y Hocking (2009). Para la comparación del aspecto macroscópico se observaron las principales características visuales del micelio (Kumlachew, 2014, p. 107). Mientras que, para la comparación microscópica se observaron las características de las hifas, estructuras fructíferas y conidios de cada cepa fúngica aislada, con el objetivo de 40x de un microscopio binocular con cámara digital (Eversus, modelo: EUM-48 BNS, España).

2.2 DETERMINACIÓN DE LA CEPA PATÓGENA MÁS AGRESIVA DURANTE LA CONSERVACIÓN POSCOSECHA DE BANANOS ORGÁNICOS

En base a referencias bibliográficas de los principales agentes causales de podredumbres poscosecha en el banano, se seleccionaron 4 hongos de la colección de cepas obtenidas en la fase anterior (Snowdon, 2010).

2.2.1 PREPARACIÓN DEL INÓCULO

Con las cepas seleccionadas se prepararon suspensiones de 10^4 y 10^6 conidios mL^{-1} (de Lapeyre de Bellaire, Chillet y Chilin-Charles, 2008, p. 185). Para ello, se utilizaron placas Petri purificadas con hongos de 10 días. Sobre estas placas Petri se vertió una solución acuosa estéril de Tween80 al 0,05 % y se procedió a raspar con una punta estéril de micropipeta, con el fin de remover las esporas del micelio y lograr su suspensión. Se colocó esta suspensión en un tubo estéril de 30 mL y se agitó durante 30 s en vortex (Heidolph, modelo: Reax top, Alemania).

La concentración del hongo patógeno se calculó por medio de una cámara de recuento Neubauer. Para ello se introdujo $10 \mu\text{L}$ de la suspensión en las dos zonas de conteo (superior e inferior) de la cámara (Boeco, Modelo Neubauer Improved, Alemania) y se contó por medio de un microscopio con un objetivo de 40x las esporas ubicadas en las dos diagonales de la cuadrícula central de la zona de conteo, como se indica en la Figura 2.1.

La concentración de la suspensión se determinó mediante la ecuación 2.1 (Bastidas, 2002, p. 5).

$$C_0 = \frac{N1+N2+N3+N4}{80} \times 4 \times 10^6 \quad [2.1]$$

Donde:

C_0 : concentración de la suspensión [conidios/mL]

N_n : número de conidios por diagonal.

Una vez determinada la concentración inicial de la suspensión, se ajustó la misma para la obtención de suspensiones de 10^4 y 10^6 conidios mL^{-1} , por medio de la ecuación 2.2. Para la dilución se utilizó un volumen conocido de 15 mL de una solución acuosa estéril de Tween80 al 0,05 %. Además se incluyó un 20% para ajustar el volumen debido al error típico proveniente del contaje en la cámara de recuento.

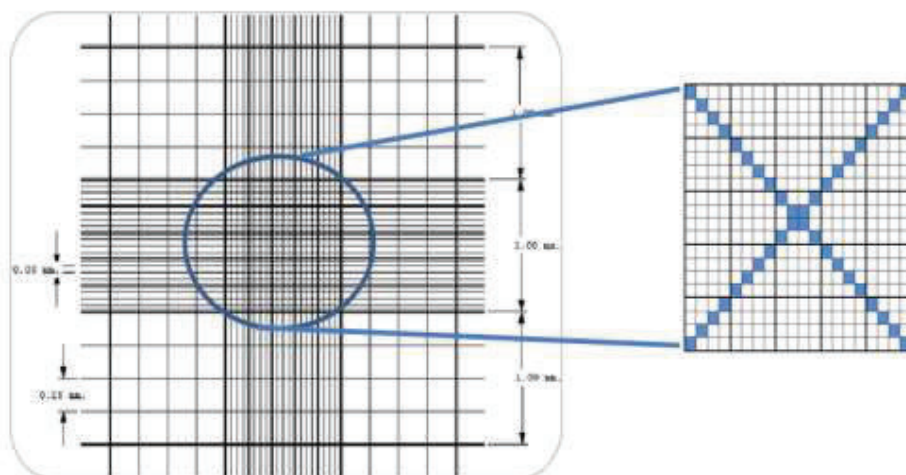


Figura 2.1. Esquema de conteo en la cámara de recuento

$$V_0 = \frac{C_1 \times 15}{C_0 - C_1} * 1,20 \quad [2.2]$$

Donde:

V_0 : volumen de la suspensión inicial [mL]

C_0 : concentración de la suspensión [conidios/mL]

C_1 : concentración final de la suspensión [conidios/mL]

2.2.2 PREPARACIÓN DE LAS FRUTOS

Las manos recolectadas en grado de madurez 1, fueron cortadas para separar los frutos de la corona. Se utilizaron cuchillos desinfectados para el corte. A continuación, se sumergieron los frutos en un tanque (Hamilton Copper, modelo: MIL-K 1145i, 40 gal, Estados Unidos) con agua en circulación durante 17 min para la extracción del latex (Salazar, 2012, p. 7). Posteriormente, los frutos se desinfectaron en una solución de 100 ppm de hipoclorito de sodio durante 3 min.

Los bananos se secaron por medio de aire en circulación generado por un ventilador. Se seleccionaron los frutos sin manchas de latex o cortes y se agruparon en gavetas de 10 frutos.

2.2.3 DETERMINACIÓN DEL MÉTODO DE INOCULACIÓN ARTIFICIAL DE LOS FRUTOS

Para la inoculación artificial de las 4 cepas seleccionadas en el banano se ensayaron dos metodologías (de Lapeyre de Bellaire et al., 2008, pp. 184-185). Las frutas inoculadas por los dos métodos, se almacenaron en refrigeración a 13 °C y 90 ± 3 % HR, durante 21 días.

2.2.3.1 Inoculación por aspersión

Se roció sobre toda la fruta las suspensiones de 10^4 y 10^6 conidios mL⁻¹ preparadas con cada hongo. Se secaron los frutos mediante la circulación de aire generado por un ventilador. Se evaluó diariamente el desarrollo de cada hongo sobre el fruto, por medio de la escala de Frossard, con valores entre 1 y 9. Donde 1 indicó ausencia de podredumbre en la fruta y 9 indicó la podredumbre total de la fruta incluyendo a la pulpa, como se muestra en la Figura 2.2.

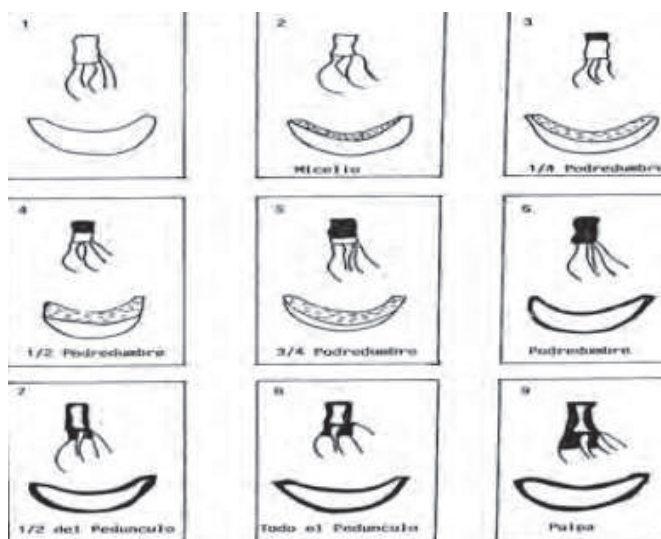


Figura 2.2. Escala de Frossard para la podredumbre de banano
(Cartaya et al., 2011, p. 8)

La severidad de cada hongo se expresó por medio del índice de incidencia de la enfermedad (IIE) que se calculó con la ecuación 2.3.

$$IIE = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i * n_i)}{N_t * \sum_{i=1}^n y_i} * 100 \quad [2.3]$$

Donde:

IIE: índice de incidencia de la enfermedad [%]

y_i : valores de la escala entre 1 y 9

n_i : número de frutos inoculados asignados a una escala

N_t : número total de frutos inoculados

2.2.3.2 Inoculación por herida

Se realizaron dos heridas a 2 cm sobre y bajo la zona ecuatorial del fruto, mediante un punzón estéril de 3 mm. A continuación, se inocularon 20 μ L de las suspensiones de 10^4 y 10^6 conidios mL^{-1} preparadas con cada hongo, en cada una de las heridas. La severidad de las cepas sobre el fruto se evaluó diariamente por medio del cálculo del diámetro longitudinal de la podredumbre (Mirshekari et al., 2012, p. 7).

2.2.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se utilizó para cada método de inoculación por separado un diseño factorial mixto 4 x 2, donde las variables de diseño fueron las 4 cepas fúngicas seleccionadas y las 2 concentraciones de las soluciones, respectivamente. Se seleccionó el método de inoculación por medio de la observación del mayor desarrollo de la podredumbre. Se realizaron dos repeticiones de cada ensayo.

Los datos se analizaron en el programa Statgraphics Centurion XV. Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), con un nivel de confianza del 95 % de los datos obtenidos y se utilizó el procedimiento de la mínima diferencia significativa de Fisher (LSD).

2.3 EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS HIDROTÉRMICOS SOBRE LA SEVERIDAD DE LA CEPA FÚNGICA DE MAYOR PATOGENICIDAD, LA CALIDAD FÍSICO-QUÍMICA Y SENSORIAL DE BANANOS ORGÁNICOS

2.3.1 APLICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS HIDROTÉRMICOS

Los frutos se prepararon según lo descrito en la sección 2.2.1. Se inocularon los bananos con el método de infección con mejores resultados que se describe en la sección 2.2.3.2. Antes de la aplicación de los tratamientos hidrotérmicos se dejó secar el inóculo. Los tratamientos hidrotérmicos evaluados fueron la combinación de 3 temperaturas: 40, 45, 50 °C y 4 tiempos de inmersión: 1, 5, 10, 20 min. Además se contó con un testigo de frutos inoculados sin ningún tratamiento y un control con frutos inoculados a los que se roció fungicida imazalil una concentración de 0,6 g mL⁻¹.

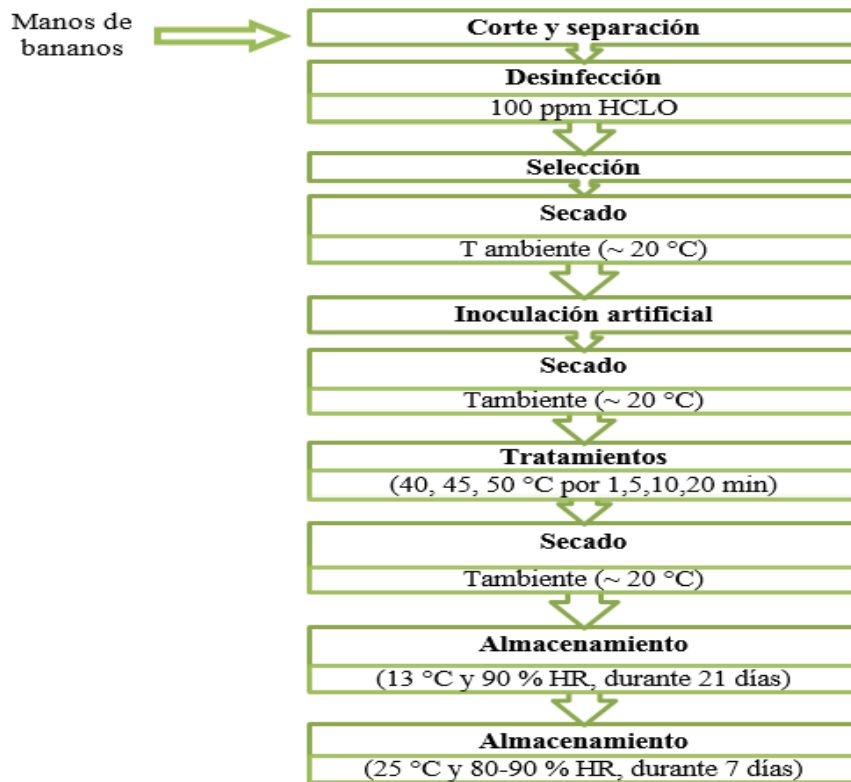


Figura 2.3. Diagrama bloques de la aplicación de tratamientos hidrotérmicos.

Para los tratamientos con agua caliente, los frutos inoculados se colocaron en mallas de tela en grupos de 20 frutos y se sumergieron en una marmita (Hamilton Kettles, modelo: C, Estados Unidos) con 40 L de agua potable. La Figura 2.3 indica el diagrama del proceso de aplicación de los tratamientos hidrotérmicos. Los frutos fueron almacenados 21 días en refrigeración a 13 °C y 90± 3 % HR, más un período de vida en estante de 7 días a 25 °C y 80-90 % HR.

2.3.2 EVALUACIÓN DE LA SEVERIDAD DE LOS FRUTOS

Se evaluó diariamente la severidad de la podredumbre del hongo más patogénico a la concentración más agresiva por medio del procedimiento que se describe en la sección 2.2.3.1. La medición de la severidad de la podredumbre se efectuó en cada uno de los tratamientos aplicados.

2.3.2.1 Análisis estadístico

Se utilizaron 10 bananos por tratamiento y se efectuaron dos repeticiones de todo el ensayo. Las repeticiones se realizaron en tiempos separados y de forma aleatoria. Se utilizó un diseño factorial mixto 3 x 4, con un total de 12 tratamientos, donde las variables de diseño fueron la temperatura con los niveles: 45, 50 y 55 °C y el tiempo con los niveles: 1, 5, 10 y 20 min. La variable de respuesta fue la severidad de la podredumbre.

2.3.3 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICO-QUÍMICA DE LOS FRUTOS

A los 0 (día del tratamiento), 7, 14, 21 y 28 de la conservación poscosecha de los frutos sometidos a los diferentes tratamientos se evaluaron las siguientes características físico-químicas:

2.3.3.1 Pérdida de peso

Se pesaron los frutos en una balanza digital (Boeco, modelo: BPS 51, 4000 g, 0,01 g, Alemania) de cada uno de los tratamientos durante 28 días. La pérdida de peso se determinó por medio de la ecuación 2.4

$$PP = \frac{(m_d - m_o)}{m_o} \times 100 \quad [2.4]$$

Donde:

PP: pérdida de peso [%]

m_d : masa del fruto en un día n

m_o : masa inicial del fruto

2.3.3.2 Índice o grado de madurez

El grado de madurez se evaluó mediante la escala del Anexo I. Donde los índices de 1 a 3 indicaron los estados verdes del fruto, mientras que a partir de 4 se observaron tonalidades amarillentas propias de la maduración del fruto. El máximo valor en la escala fue de 7, este valor indicó un grado totalmente maduro del fruto con aparición de pequeños puntos negros en la piel.

2.3.3.3 Color

El color se midió en el anverso y reverso del fruto, mediante un colorímetro (Minolta, modelo: CR200, Japón). Las coordenadas usadas fueron del sistema Cie-Lab. Se determinó el tono por medio de la ecuación 2.5 y la saturación (C) por medio de la ecuación 2.6 (López y Gómez, 2004, p. 535).

$$Tono = 180^\circ + \tan^{-1} \left(\frac{b}{a} \right) \quad \text{Si } a < 0 \quad [2.5]$$

$$Tono = \tan^{-1} \left(\frac{b}{a} \right) \quad \text{Si } a \geq 0$$

$$C = \sqrt{a^2 + b^2} \quad [2.6]$$

Donde:

b: valor positivo o negativo que representa la variación de azul al amarillo

a: valor positivo o negativo que representa la variación del verde al rojo

2.3.3.4 Firmeza

Se realizó un corte transversal de 1 cm de espesor del centro del fruto, como se indica en el Anexo II (Dadzie y Orchard, 1998, p. 10). Para la medición de la firmeza se utilizó un penetrómetro manual (McCORMICK, modelo: FT) con una punta de 6 mm. Se realizaron dos mediciones por fruto.

2.3.3.5 Sólidos solubles y pH

Se preparó una dilución a partir de 30 g de la pulpa y 90 mL de agua destilada y se licuó durante 2 min (Dadzie y Orchard, 1998, p. 11). Se filtró la dilución y se determinaron los sólidos solubles (Brix) con un refractómetro digital (Atago, modelo: Pal- α , Japón). Los sólidos solubles del fruto se calcularon mediante la ecuación 2.7 (ISO:2173, 2003, pp. 2-4). El pH se midió del filtrado obtenido mediante un medidor de pH (Mettler Toledo, SG2-FK, Suiza).

$$SST = SS_{filtrado} * f \quad [2.7]$$

Donde:

SST: sólidos solubles totales de la fruta [°Brix]

SS_{filtrado}: sólidos solubles medidos [°Brix]

f: factor de dilución (4)

2.3.3.6 Acidez titulable

Se diluyó 25 mL del filtrado en 25 mL de agua destilada. Se tituló la dilución con hidróxido de sodio 0,1 N hasta un pH de 8,1 según lo descrito en el método (AOAC:942.15, 2005). El cálculo de la acidez (%) se lo realizó mediante la ecuación 2.8 (ISO:750, 1998, p. 3)

$$At = \frac{1000 \times C \times f_N \times f_a \times V}{m_0} \quad [2.8]$$

Donde:

At: Acidez titulable [%]

C: concentración de la sosa empleada (0,1 N)

f_N: factor de la sosa (0,9735)

f_a: factor del ácido málico (0,067)

V: volumen de ácido utilizado [mL]

m: masa de la muestra [g]

2.3.3.7 Análisis estadístico

Para la evaluación de las características físico-químicas se utilizaron 10 bananos por tratamiento y se efectuaron dos repeticiones de todo el ensayo. En total por repetición se utilizaron 560 frutos en los tratamientos (12 hidrotérmicos, 1 control, 1 testigo x 4 salidas los días 7, 14, 21 y 28) y 10 frutos para la evaluación de la calidad físico-química del día 0. Se utilizó un diseño factorial mixto 3 x 4, con un total de 12 tratamientos, donde las variables de diseño fueron las temperaturas: 45, 50 y 55 °C y los tiempos: 1, 5, 10 y 20 min. Las variables de respuesta fueron la pérdida de peso, el grado de madurez, el color (saturación y tono) de la piel del fruto, la firmeza, los sólidos solubles, el pH y la acidez titulable. Para el análisis de los datos se empleó el programa Statgraphics Centurion XV. Se efectuó el análisis de varianza (ANOVA), con un nivel de confianza del 95 % y se realizó el procedimiento de la mínima diferencia significativa de Fisher (LSD).

2.3.4 EVALUACIÓN SENSORIAL DE LOS FRUTOS

2.3.4.1 Acondicionamiento de los frutos

Los bananos se prepararon como se indica en la sección 2.2.2. Los frutos no fueron inoculados para este análisis. Se aplicó el mejor tratamiento térmico determinado en la fase anterior, un testigo sin ningún tratamiento y un control con fungicida químico (imazalil al $0,6 \text{ g mL}^{-1}$). Los frutos se almacenaron en refrigeración a $13 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y $90 \pm 3 \text{ \% HR}$ durante 21 días. Posteriormente, se colocaron en la cámara de maduración a $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y 90 \% HR durante 12 días, hasta alcanzar un grado de madurez comercial 5, como se indica en el Anexo I.

2.3.4.2 Análisis sensorial

Se empleó un análisis sensorial descriptivo, los atributos que se evaluaron fueron la apariencia general, el olor, el sabor a fruto, el dulzor, la dureza y los sabores extraños. Se empleó escalas no estructuradas de 10 cm para evaluar estos atributos. Para la prueba de apariencia general se utilizaron frutos enteros como muestra. Para la prueba de olor se usó pulpa troceada contenida en recipientes cerrados con film de PVC. Para la evaluación del resto de atributos se usó pulpa troceada. El análisis sensorial lo realizaron 12 panelistas semi-entrenados. El análisis sensorial se lo realizó bajo las normas especificadas en la ISO: 13301 (2002) y se utilizó el cuestionario que se muestra en el Anexo III.

2.3.4.3 Análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar. Las variables de respuesta fueron: la apariencia general, el olor, el sabor a fruto, el dulzor, la dureza y los sabores extraños. Se empleó el programa Statgraphics Centurion XV para el análisis de los datos. Se efectuó el análisis de varianza (ANOVA) y se utilizó el procedimiento de las mínimas diferencias significativas de Fisher (LSD).

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS PRINCIPALES CEPAS FÚNGICAS CAUSANTES DE PODREDUMBRES EN BANANO ORGÁNICO DURANTE EL PERÍODO POSCOSECHA

Al cabo de 21 días las manos de bananos presentaron síntomas y signos de podredumbre avanzada. Las fotos de la podredumbre alcanzada se muestran en el Anexo IV. De los tejidos infectados se aislaron un total de 10 géneros diferentes de hongos patógenos que fueron identificados de acuerdo a su aspecto macroscópico y microscópico. Las cepas identificadas con su respectivo género se muestran en la Tabla 3.1, donde además se incluye la codificación asignada dentro de la colección de hongos formada.

Tabla 3.1. Géneros de los hongos patógenos aislados de la superficie de banano

No	Género	Código
1	<i>Aspergillus</i> sp.	HBAN-5 HBAN-19
2	<i>Cladosporium</i> spp.	HBAN-3 HBAN-8 HBAN-10
3	<i>Colletotrichum</i> sp.	HBAN-18
4	<i>Epicoccum</i> sp.	HBAN-12
5	<i>Fusarium</i> spp.	HBAN-2 HBAN-4
6	<i>Lasiodiplodia</i> sp.	HBAN-16
7	<i>Mucor</i> sp.	HBAN-9
8	<i>Penicillium</i> spp.	HBAN-6 HBAN-13
9	<i>Rhizopus</i> sp.	HBAN-14
10	<i>Verticillium</i> spp.	HBAN-15 HBAN-17

3.1.1 *Aspergillus* sp.

La cepa HBAN-5 en PDA a 25° C presentó un aspecto macroscópico caracterizado por el crecimiento de micelio amarillo pálido, algoso y flocoso. A los 5 días, se observó el desarrollo de conidióforos de color negro de tipo granular, los cuales se extendieron por todo el micelio desde el centro hacia afuera, siendo el centro de la colonia la más densa (Figura 3.1(a)). El reverso de la placa se caracterizó por ser plano de color amarillo pálido que se intensificó con los días, como se observa en la Figura 3.1 (b).

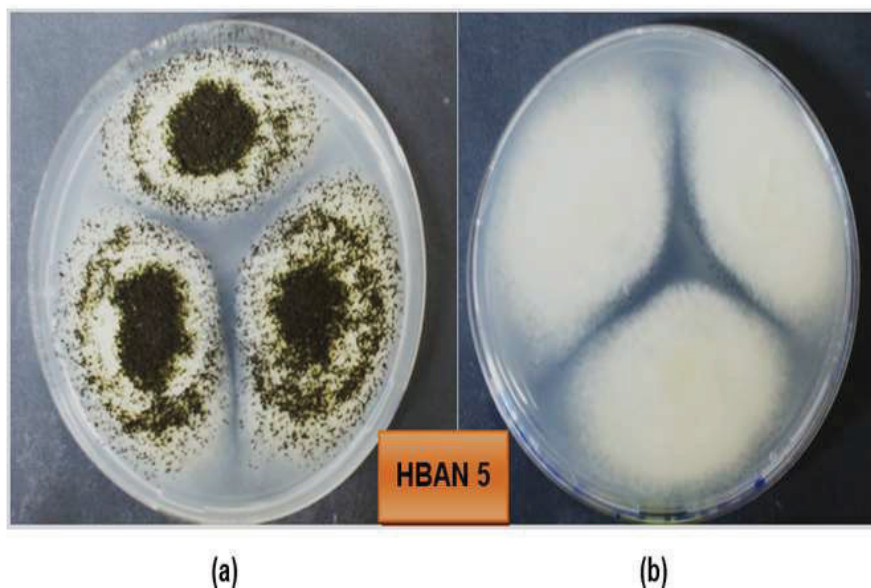


Figura 3.1. Aspecto macroscópico de la cepa HBAN-5 (*Aspergillus* sp.) desarrollada en PDA a 25 °C, (a) anverso y (b) reverso

En cuanto al aspecto microscópico de la cepa HBAN-5 presentó conidióforos alargados con vesículas esféricas y radiales, como se observa en la Figura 3.2. Además se observó el desprendimiento de conidios oscuros y esféricos de las fialides formadas en la vesícula. Todas las características microscópicas y macroscópicas observadas coincidieron con las claves micológicas del género *Aspergillus* sp. (Piontelli, 2008, p. 51).

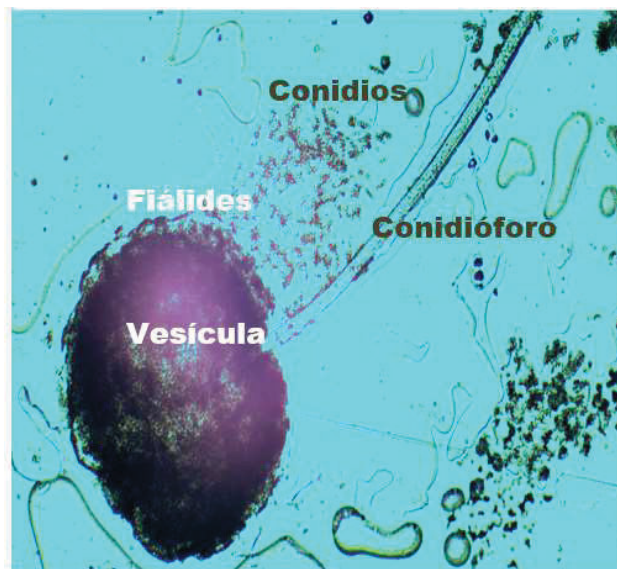


Figura 3.2. Aspecto microscópico de la cepa fúngica HBAN-5 (*Aspergillus* sp.)

3.1.2 *Cladosporium* spp.

La cepa HBAN-10 en medio PDA a 25 °C presentó un aspecto macroscópico caracterizado por el crecimiento de colonias planas de color verde oliva, aterciopeladas, con divisiones radiales en el centro de la colonia (Figura 3.3 (a)). El reverso de la placa fue de color verde oscuro llano con presencia de divisiones radiales pronunciadas, como se muestra en la Figura 3.3 (b).

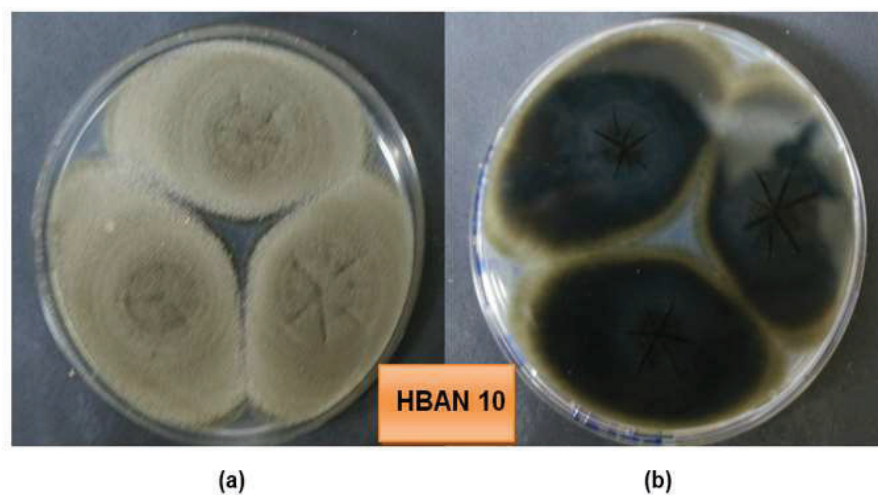


Figura 3.3. Aspecto macroscópico de la cepa HBAN-10 (*Cladosporium* spp.) desarrollada en PDA a 25 °C, (a) anverso y (b) reverso

Microscópicamente la cepa HBAN-10 presentó hifas septadas con conidióforos largos ramificados e hialinos. Además se observaron conidios fusiformes, agrupados en cadenas o formando racimos (Figura 3.4). Las características macroscópicas y microscópicas descritas coincidieron con las claves del género *Cladosporium* descritas por Pitt y Hocking (2009) (p.80).

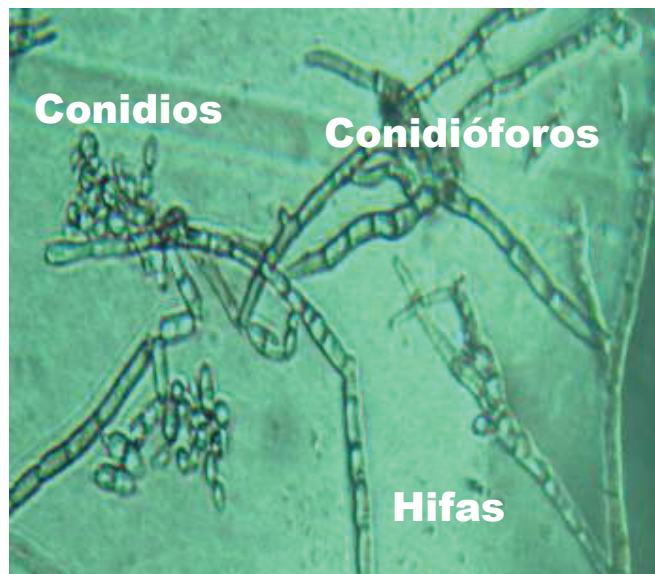


Figura 3.4. Aspecto microscópico de la cepa HBAN-10 (*Cladosporium* spp.)

3.1.3 *Colletotrichum* sp.

La cepa HBAN-18 incubada en PDA a 25°C formó rápidamente colonias que ocuparon toda la placa del tipo algodonosas, aéreas y de color blanco, que con los días se volvieron anaranjadas debido a los pigmentos rojos que segrega el hongo como se observa en la Figura 3.5 (a). Además a los 10 días de incubación se observaron acérvulos de color naranja intenso que se tornaron en gris con el tiempo. El reverso de la placa fue blanco con zonas de color anaranjado (Figura 3.5 (b)).

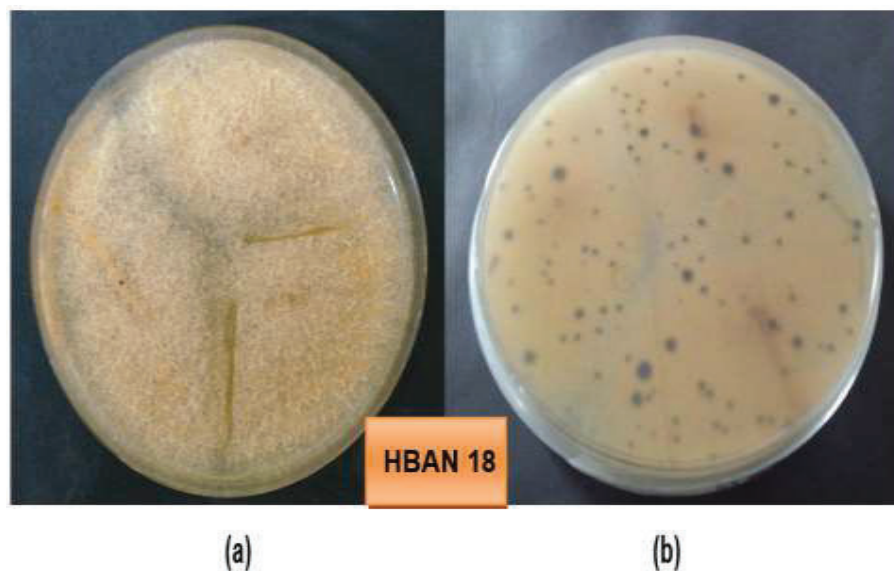


Figura 3.5. Aspecto macroscópico de la cepa HBAN-18 (*Colletotrichum* sp.) desarrollada en PDA a 25 °C, (a) anverso y (b) reverso

En cuanto al aspecto microscópico se observaron hifas cilíndricas, ramificadas y septadas. Este hongo presentó conidios aseptados e hialinos de forma elíptica alargada (Figura 3.6). Las descripciones macroscópicas y microscópicas de esta cepa correspondieron con las características típicas del género *Colletotrichum* (Abd-Elsalam et al., 2010, p. p.2338; Pitt y Hocking, 2009, p. 81).

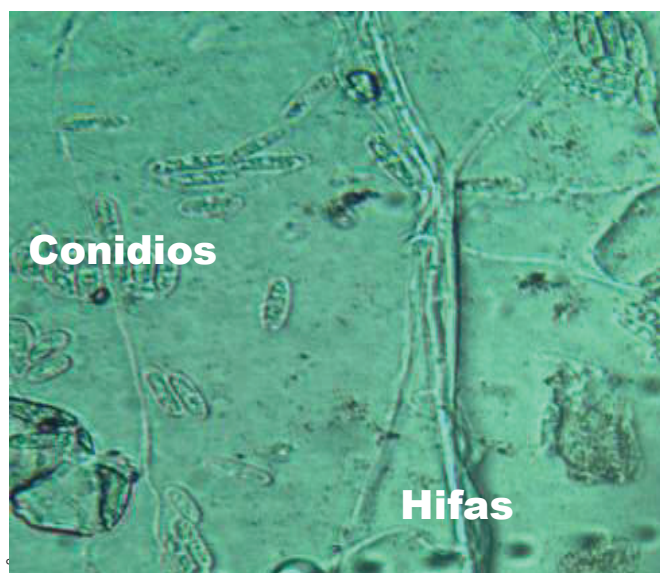


Figura 3.6. Aspecto microscópico de la cepa HBAN-18 (*Colletotrichum* sp.)

3.1.4 *Epicoccum* sp.

La cepa HBAN-12 en medio PDA incubada a 25 °C presentó un crecimiento acelerado, formó micelio denso de tipo aterciopelado y flocoso de color grisáceo que ocupó toda la placa, como se observa en la Figura 3.7 (a). Además se observó la presencia de exudados de color negro sobre el medio. El reverso de la placa fue de color blanco con tonalidades negras difuminadas (Figura 3.7 (b)).

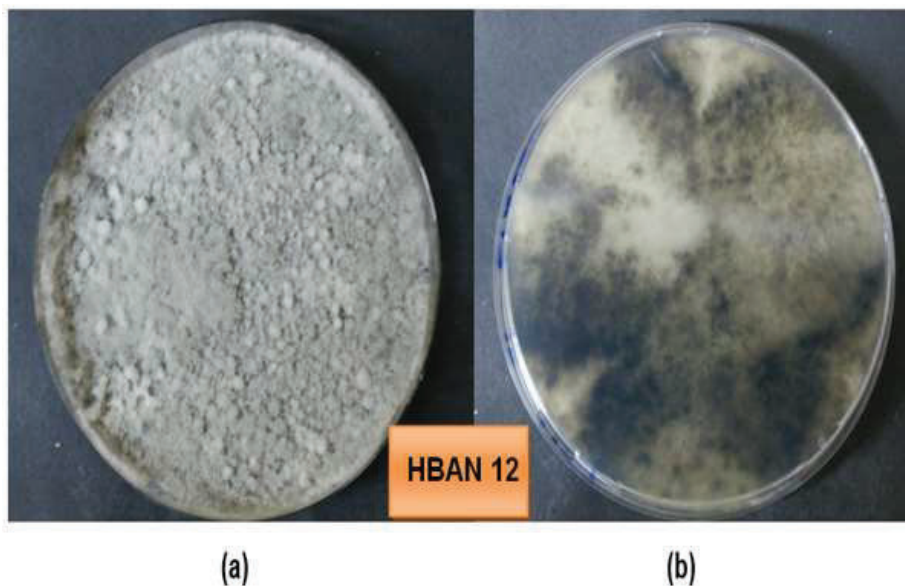


Figura 3.7. Aspecto macroscópico de la cepa HBAN-12 (*Epicoccum* sp.) desarrollada en PDA a 25 °C, (a) anverso y (b) reverso

En cuanto al aspecto microscópico se observaron hifas delgadas ramificadas y septadas. La cepa presentó conidióforos septados y cilíndricos, conidios esféricos con base truncada de los que se desprendieron los ápices solitarios de los conidióforos (Figura 3.8). Las morfologías macroscópicas y microscópicas descritas coincidieron con lo descrito por Pitt y Hocking (2009) para el género *Epicoccum* (p.88)

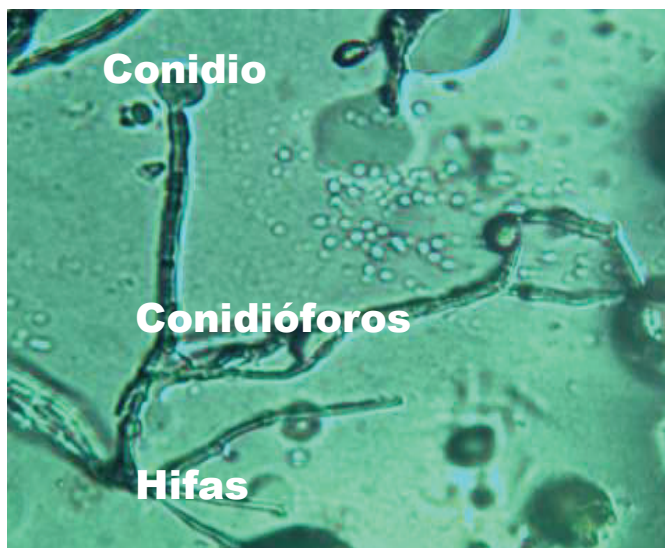


Figura 3.8. Aspecto microscópico de la cepa HBAN-12 (*Epicoccum* sp.)

3.1.5 *Fusarium* spp.

La cepa HBAN-2 incubada a 25 °C en medio de cultivo PDA presentó un aspecto macroscópico caracterizado por un micelio plano, denso, aterciopelado y de color amarillo pálido (Figura 3.9 (a)). El reverso de la placa fue de color crema con zonas anaranjadas debido a la acumulación de esporodocios en el medio, como se muestra en la Figura 3.9 (b) (Pitt y Hocking, 2009, p. 110).

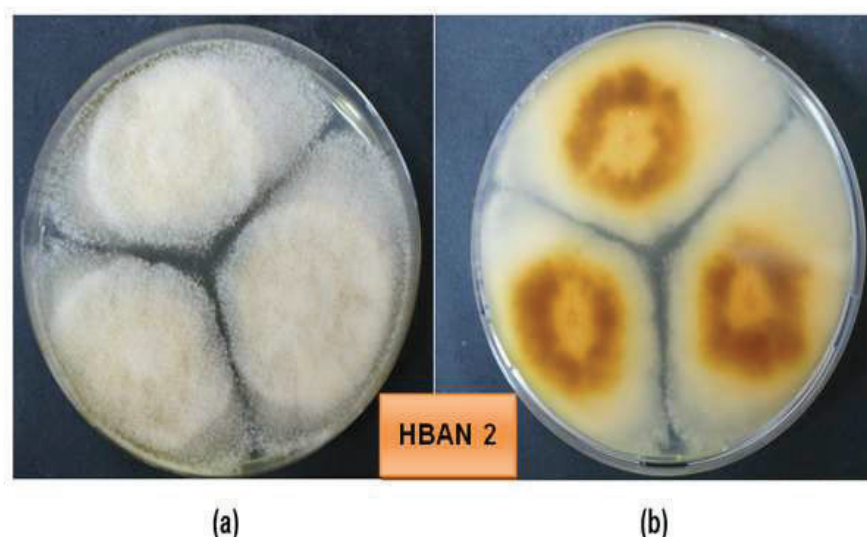


Figura 3.9. Aspecto macroscópico de la cepa HBAN-2 (*Fusarium* spp.) desarrollada en PDA a 25 °C, (a) anverso y (b) reverso

Microscópicamente se observaron macroconidias septadas, fusiformes y alargadas en los extremos, características del género *Fusarium*. Además se observó la presencia de microconidias esféricas (Figura 3.10). Los aspectos macroscópicos y microscópicos detallados coincidieron con lo descrito por Summerell, Salleh, y Leslie (2003) para el género *Fusarium* (pp. 123-124).

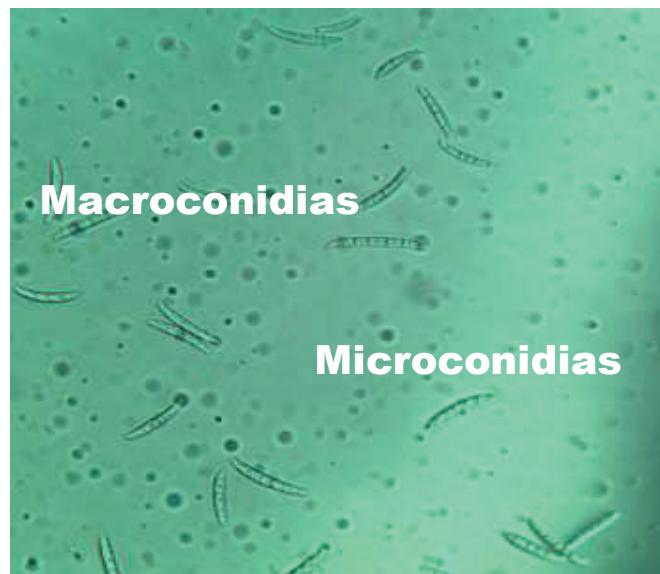


Figura 3.10. Aspecto microscópico de la cepa HBAN-2 (*Fusarium* spp.)

3.1.6 *Lasiodiplodia* sp.

La cepa HBAN-16 incubada en PDA a 25 °C tuvo un crecimiento lento y presentó un aspecto macroscópico caracterizado por la formación de micelio flocoso aéreo y de color gris oscuro que ocupó toda la placa, como se muestra en la Figura 3.11 (a). Además se observó la formación de picnidios esféricos de color negro y exudados de tonalidad negra. El reverso de la placa fue de color negro, como se indica en la Figura 3.11 (b).

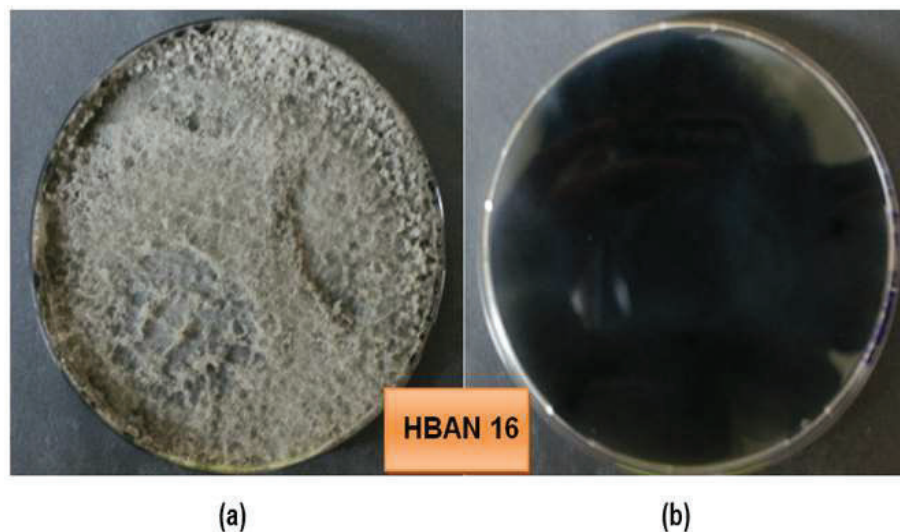


Figura 3.11. Aspecto macroscópico de la cepa HBAN-16 (*Lasiodiplodia* sp.) desarrollada en PDA a 25 °C, (a) anverso y (b) reverso

En cuanto al aspecto microscópico se observaron hifas delgadas, aseptadas y conidióforos cilíndricos y septados. Además se observó la presencia de células conidiógena con conidios inmaduros de forma elipsoidal ligeramente alargados en los polos y estriados longitudinalmente, como se observa en la Figura 3.12. Las características macroscópicas y microscópicas descritas coincidieron con las claves micológicas del género *Lasiodiplodia* (Alves, Crous, Correia, y Phillips, 2008, pp. 9-10; Pitt y Hocking, 2009, pp. 125-126).

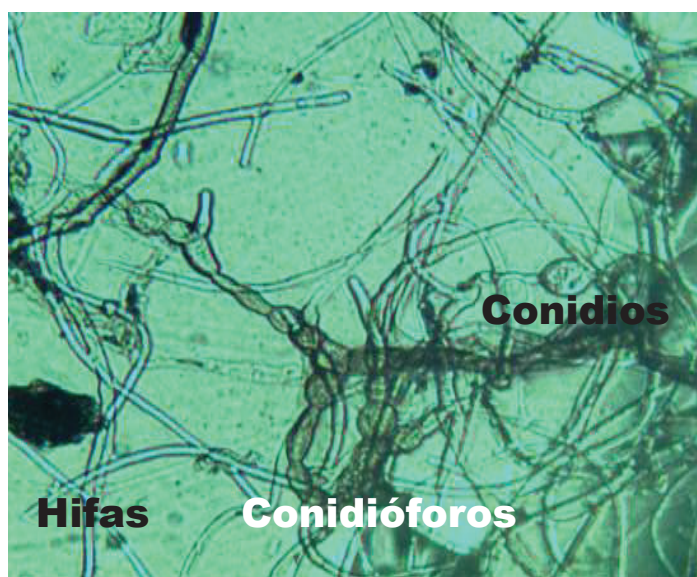


Figura 3.12. Aspecto microscópico de la cepa HBAN-16 (*Lasiodiplodia* sp.)

3.1.7 *Mucor* sp.

La cepa HBAN-9 incubada en PDA a 25 °C formó colonias que ocuparon toda la placa. Las colonias presentaron micelio aéreo, poco denso y de color café, como se observa en la Figura 3.13 (a). El reverso de la placa fue de color crema, se observaron pequeñas áreas amarillas en la zona de inoculación del hongo dentro del medio de cultivo, como se muestra en la Figura 3.13 (b).

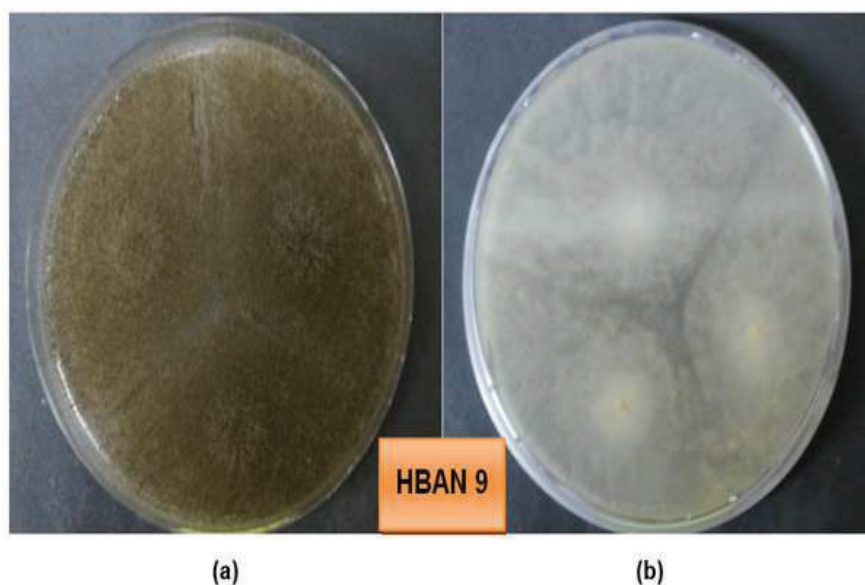


Figura 3.13. Aspecto macroscópico de la cepa HBAN-9 (*Mucor* sp.) desarrollada en PDA a 25 °C, (a) anverso y (b) reverso

En cuanto al aspecto microscópico, la cepa HBAN-9 presentó esporangios sin rizoides, columelas elipsoidales, truncadas en la base. Además se observaron conidios esféricos agrupados, con paredes celulares gruesas, como se muestra en la Figura 3.14. Las características macroscópicas y microscópicas observadas coincidieron con las claves micológicas descritas por Pitt y Hocking (2009) para el género *Mucor* (p. 154).

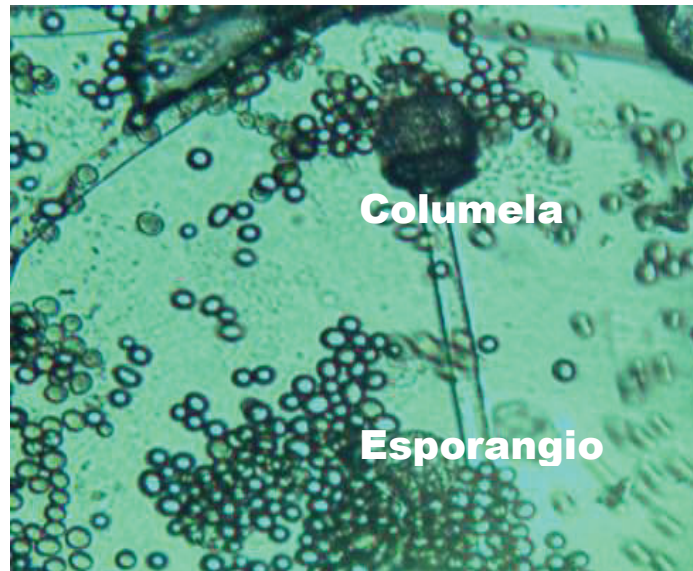


Figura 3.14. Aspecto macroscópico de la cepa HBAN-9 (*Mucor* sp.)

3.1.8 *Penicillium* spp.

La cepa HBAN-6 incubada a 25 °C en medio de cultivo PDA formó un micelio plano, aterciopelado, poroso y de color verde aceituna, como se muestra en la Figura 3.15 (a). El reverso de la placa fue de color blanco llano (Figura 3.15 (b)).

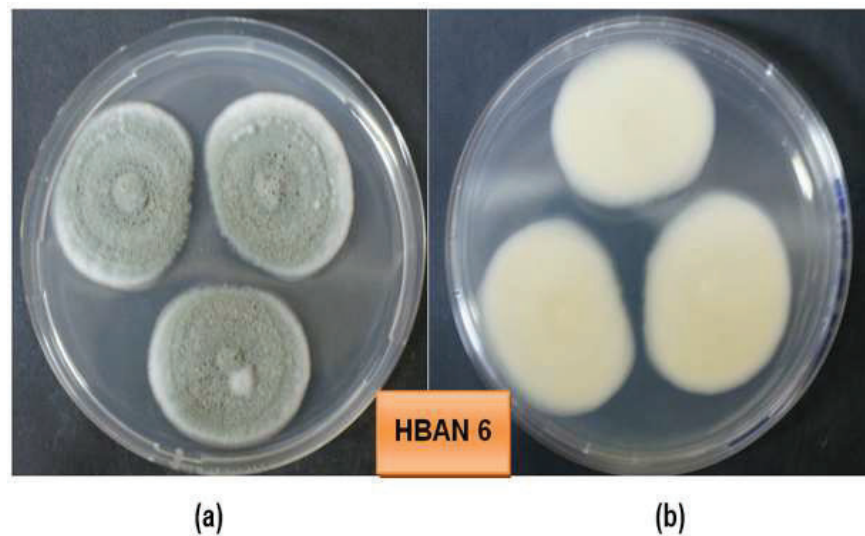


Figura 3.15. Aspecto macroscópico de la cepa HBAN-6 (*Penicillium* spp.) desarrollada en PDA a 25 °C, (a) anverso y (b) reverso

Microscópicamente se observaron conidióforos distribuidos en forma de pincel, característicos de este género. Además se observaron conidios esféricos de pared celular gruesa e hialinos, como se indica en la Figura 3.16. Las características macroscópicas y microscópicas detalladas coincidieron con las claves micológicas descritas por Pitt y Hocking (2009) para el género *Penicillium* (p.195-196).



Figura 3.16. Aspecto microscópico de la cepa HBAN-6 (*Penicillium* spp.)

3.1.9 *Rhizopus* sp.

La cepa HBAN-14 desarrollada en PDA a 25 °C presentó un crecimiento acelerado. Las colonias formaron un micelio aéreo, denso y de color blanco que ocupó rápidamente toda la placa (Figura 3.17 (a)). Además se observó el crecimiento de esporangios de color negro con aspecto granular dentro del micelio, que con el tiempo ocupó todo el micelio. El reverso de la placa fue crema pálido, como se observa en la Figura 3.17 (b).

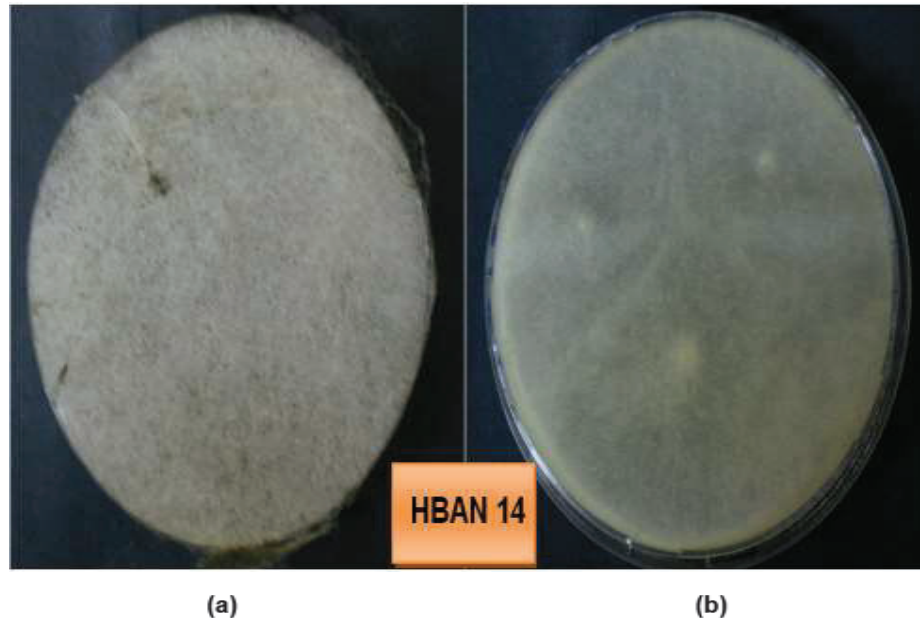


Figura 3.17. Aspecto macroscópico de la cepa HBAN-14 (*Rhizopus* sp.) desarrollada en PDA a 25°C, (a) anverso y (b) reverso

En cuanto al aspecto microscópico se observaron esporangioforos originados de estolones, mismos que fueron adheridos al medio por medio de rizoides. Además se observaron esporangios con columelas esféricas (Figura 3.18). Las características macroscópicas y microscópicas descritas coincidieron con las claves micológicas de Pitt y Hocking (2009) para el género *Rhizopus* (p. 159).



Figura 3.18. Aspecto microscópico de la cepa HBAN-14 (*Rhizopus* sp.)

3.1.10 *Verticillium* spp.

La cepa HBAN-17 incubada en PDA a 25 °C presentó un aspecto macroscópico caracterizado por el crecimiento lento de un micelio algodonoso, compacto y de color blanco, como se muestra en la Figura 3.19 (a). El reverso de la placa mostró zonas centrales de color verde oliva con divisiones radiales y bordes de las colonias (Figura 3.19 (b)).

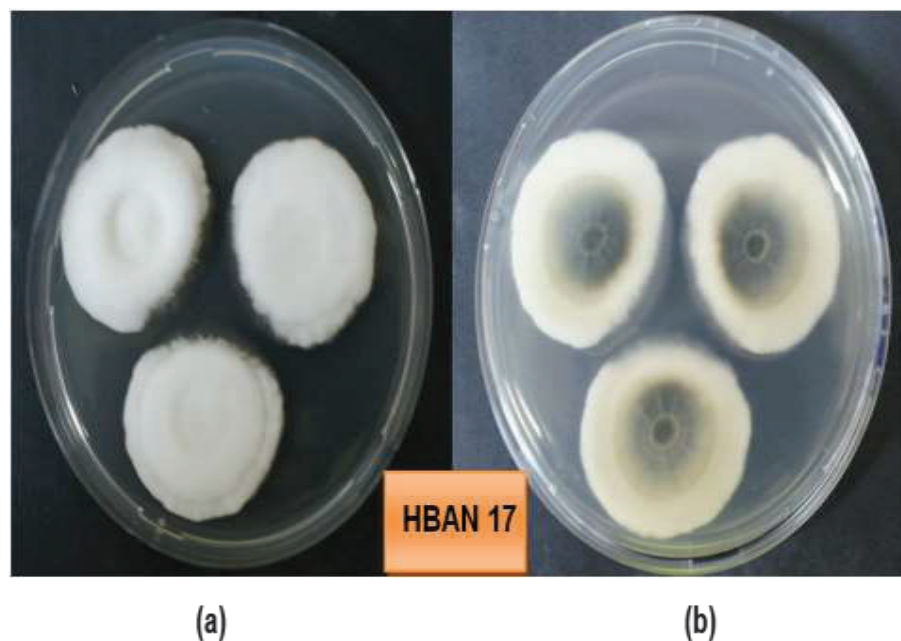


Figura 3.19. Aspecto macroscópico de la cepa HBAN-17 (*Verticillium* spp.) desarrollada en PDA a 25 °C, (a) anverso y (b) reverso

Microscópicamente la cepa presentó hifas aceptadas, cilíndricas y delgadas. Además se observaron conidióforos verticilados e hialinos con conidios muy pequeños de forma elipsoidal e hialina, como se indica en la Figura 3.20. Las características macroscópicas y microscópicas de la cepa HBAN-17 coincidieron con las claves micológicas para el género *Verticillium* (Inderbitzin et al., 2011, pp. 13,19; Zare, Gams, Starink-Willemsse y Summerbell, 2007, pp. 482-485).

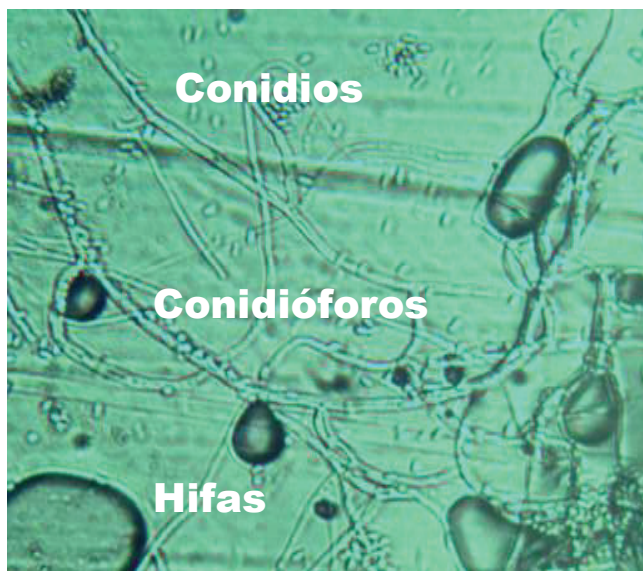


Figura 3.20. Aspecto macroscópico de la cepa HBAN-17 (*Verticillium* spp.)

3.2 DETERMINACIÓN DE LA CEPA PATÓGENA MÁS AGRESIVA DURANTE LA CONSERVACIÓN POSCOSECHA DE BANANOS ORGÁNICOS

De la colección de hongos obtenida en la fase previa, se seleccionaron según referencias bibliográficas las 4 cepas patogénicas más frecuentes y de mayor importancia económica a nivel mundial en la poscosecha de banano. Las cepas seleccionadas fueron: *Colletotrichum* sp. (HBAN-18), *Fusarium* spp. (HBAN-2), *Lasiodiplodia* sp. (HBAN-16) y *Verticillium* spp. (HBAN-17) (Dadzie y Orchard, 1998; Kader, 2013; Snowdon, 2010).

3.2.1 DETERMINACIÓN DEL MÉTODO DE INOCULACIÓN

Para la evaluación de la severidad de las 4 cepas fúngicas seleccionadas se probaron dos métodos de infección, para ello se prepararon suspensiones de 10^4 y 10^6 conidios mL^{-1} . Uno de los métodos fue la aspersión de las suspensiones de los

hongos y el otro método fue la inoculación de las suspensiones de los hongos en una herida.

Las podredumbres alcanzadas por *Colletotrichum* sp. y *Fusarium* spp. (Figura 3.21), *Lasiodiplodia* sp. y *Verticillium* spp. (Figura 3.22) con el método de inoculación por aspersión no fueron visualmente considerables para ninguno de los hongos estudiados durante los 21 días de almacenamiento a 13 °C y 90 % HR.

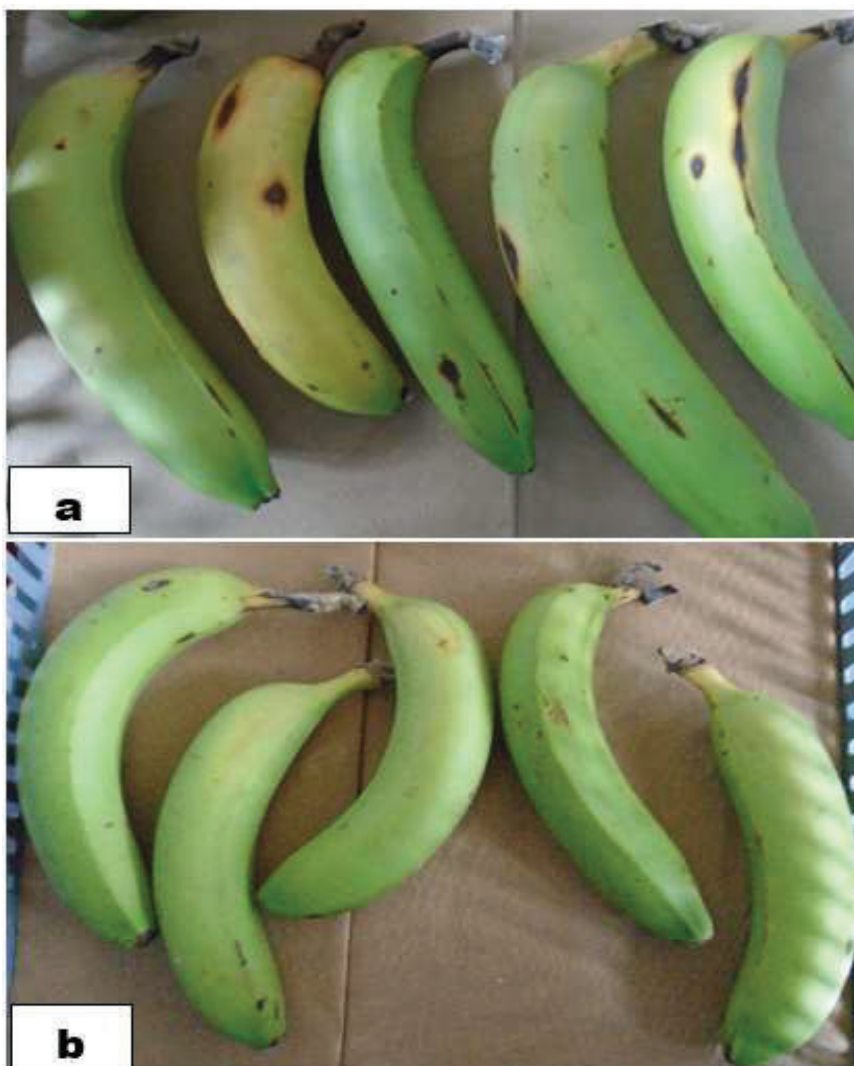


Figura 3.21. Podredumbre alcanzada a los 21 días a 13 °C con el método de inoculación por aspersión de los géneros a 10^6 conidios mL^{-1} (a) *Colletotrichum* sp. (b) *Fusarium* spp.

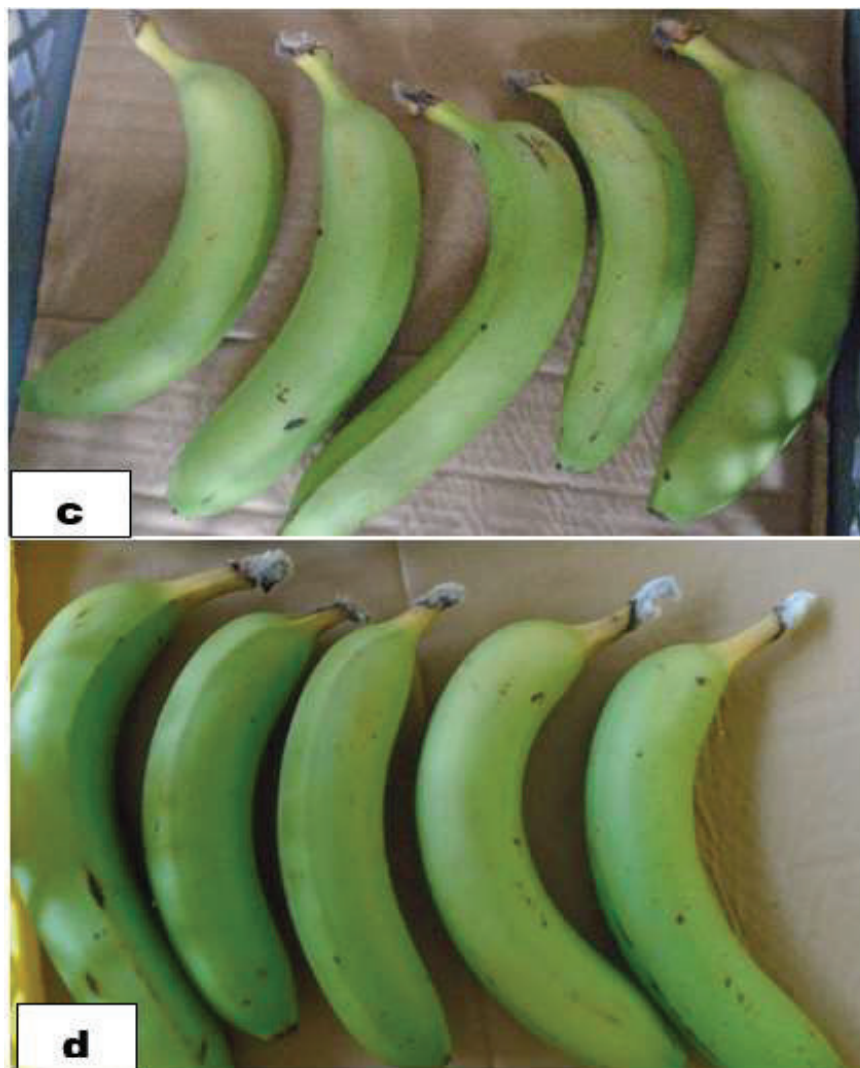


Figura 3.22. Podredumbre alcanzada a los 21 días a 13 °C con el método de inoculación por aspersión de los géneros a 10^6 conidios mL^{-1} (c) *Lasiodiplodia* sp. (d) *Verticillium* spp.

En la escala de ponderación propuesta (1-9), la máxima calificación alcanzada fue de 5 en todos los hongos y a las dos concentraciones ensayadas. Al calcular el índice de incidencia de la enfermedad IIE (%), se encontraron valores promedios inferiores al 50% para todos los hongos estudiados y al realizar en análisis estadístico no se encontró ninguna diferencia significativa entre las podredumbres causadas por estos hongos (Resultado no mostrado). Por todas las razones expuestas este método de inoculación fue descartado para la evaluación de la cepa fúngica más agresiva en la poscosecha de banano.

Las podredumbres alcanzadas por *Colletotrichum* sp. y *Fusarium* spp. (Figura 3.23), *Lasiodiplodia* sp. y *Verticillium* spp. (Figura 3.24) con el método de inoculación en una herida fueron considerables a simple vista a los 21 días de almacenamiento a 13 °C y 90 % HR. La severidad de la podredumbre mostró cambios durante todo el período de almacenamiento y pudo ser cuantificada. Por estas razones este método de inoculación fue seleccionado para la evaluación de la cepa fúngica más agresiva en la poscosecha de banano.



Figura 3.23. Podredumbre alcanzada a los 21 días a 13 °C con el método de inoculación por herida de los géneros a 10^6 conidios mL^{-1} (a) *Colletotrichum* sp. (b) *Fusarium* spp.



Figura 3.24. Podredumbre alcanzada a los 21 días a 13 °C con el método de inoculación por aspersión de los géneros a 10^6 conidios mL^{-1} (c) *Lasiodiplodia* sp. (d) *Verticillium* spp.

3.2.2 DETERMINACIÓN DE LA CEPA MÁS AGRESIVA

Las podredumbres más severas fueron las causadas por *Colletotrichum* sp. y *Lasiodiplodia* sp. En el caso de *Colletotrichum* sp se observaron manchas alargadas y hundidas alrededor de la herida de color café oscuro. En los últimos días de almacenamiento se observaron estructuras reproductivas (acérvulos) del hongo de color anaranjado, como se observa en la Figura 3.23 (a). Las

observaciones concuerdan con la podredumbre descrita para este hongo (Abd-El salam, K et al., 2010, p. 2338).

De la misma forma, *Lasiodiplodia* sp. generó una podredumbre que se inició en el interior del fruto provocando el ablandamiento de la pulpa. Esta podredumbre se caracterizó por la presencia de manchas negras a lo largo del fruto que provocaron el arrugamiento y oscurecimiento de la piel a medida del avance de la podredumbre, como se muestra en la Figura 3.24 (c). La podredumbre fue interna y tardó varios días en externalizarse para presentar síntomas. Además cabe mencionar que estas podredumbres provocaron la maduración de los bananos a grados entre 6 y 7 (Nath et al., 2015, pp. 3-4).

Se realizó el análisis de varianza global (ANOVA) de la severidad durante 21 días de almacenamiento a 13 °C y 90 ± 3 % HR, se consideró como factores principales a los 4 tipos de cepas fúngicas y a las concentraciones de 10⁴ y 10⁶ conidios mL⁻¹, como se muestra en el Anexo V. Se determinó que el tipo de cepa y la concentración por separado, así como la interacción de estos factores tuvieron una influencia significativa (p<0,05) sobre la severidad de la podredumbre (cm).

Las Figuras 3.27 y 3.28 muestran la severidad de las podredumbres de cada cepa a las concentraciones de 10⁴ y 10⁶ conidios mL⁻¹, respectivamente. Se puede observar que durante los primeros 10 días no existió un desarrollo de las enfermedades en los bananos inoculados con las dos concentraciones, esto pudo deberse a la temperatura de almacenamiento (13 °C) que retrasó el desarrollo de los hongos.

A partir del día 14 existió un incremento exponencial de la podredumbre causadas por la cepa *Colletotrichum* sp. a las dos concentraciones ensayadas y en la concentración de 10⁶ conidios mL⁻¹ de la cepa *Lasiodiplodia* sp. Mientras que, las cepas *Fusarium* spp. y *Verticillium* spp. a las dos concentraciones y *Lasiodiplodia* sp. a la concentración de 10⁴ conidios mL⁻¹ no presentaron cambio visible en las podredumbres y mantuvieron un comportamiento casi lineal.

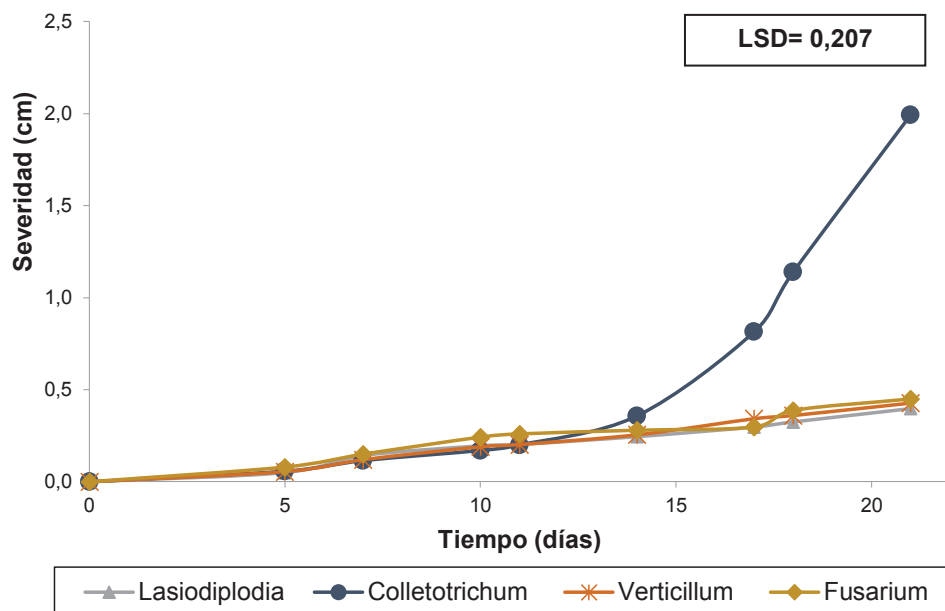


Figura 3.25. Severidad de la podredumbre (cm) de las cepas fúngicas: *Colletotrichum* sp., *Lasiodiplodia* sp., *Fusarium* spp. y *Verticillium* spp. a concentración de 10^4 conidios mL⁻¹ en bananos almacenados a 13 °C y 90 % HR durante 21 días (n=40)

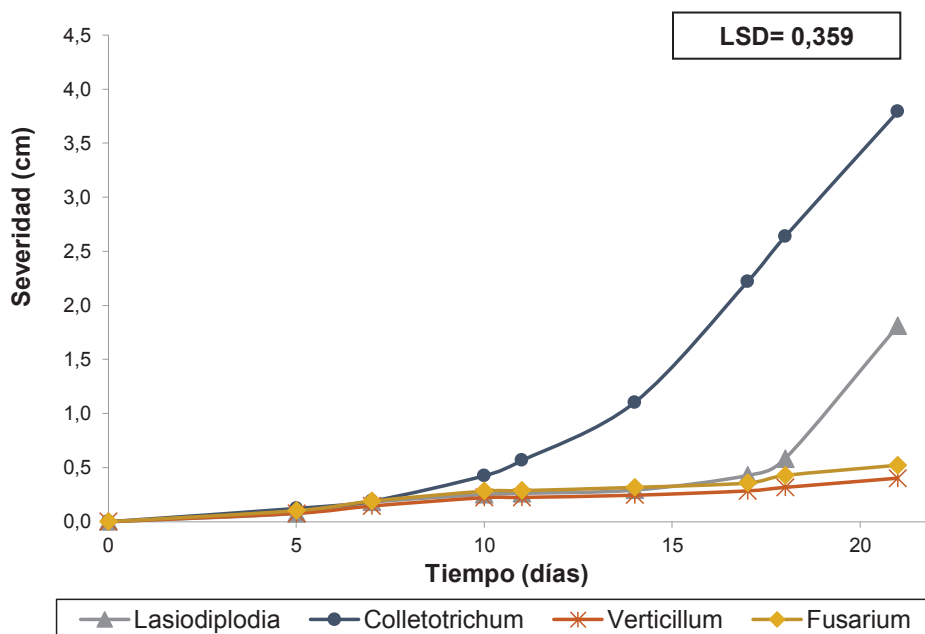


Figura 3.26. Severidad de la podredumbre (cm) de las cepas fúngicas: *Colletotrichum* sp., *Lasiodiplodia* sp., *Fusarium* spp. y *Verticillium* spp. a concentración de 10^6 conidios mL⁻¹ en bananos almacenados a 13 °C y 90 % HR durante 21 días (n=40)

Por otro lado, no existieron diferencias significativas entre las podredumbres causadas por los géneros *Fusarium*, *Verticillium* y *Lasiodiplodia* a ninguna de las dos concentraciones estudiadas (10^4 y 10^6 conidios mL^{-1}). Mientras que, el género *Colletotrichum* sp. a las concentraciones de 10^4 y 10^6 conidios mL^{-1} produjo una podredumbre más severa que la de los otros géneros estudiados y presentó diferencias significativas a las dos concentraciones estudiadas. A los 21 días de almacenamiento en refrigeración, *Colletotrichum* sp a una concentración de 10^6 conidios mL^{-1} presentó una severidad de 3,8 cm, la cual fue mayor a la generada con la concentración de 10^4 conidios mL^{-1} de 2 cm (Figura 3.27 y 3.28).

Según los resultados obtenidos en diferentes estudios realizados todos en banano, el género *Colletotrichum* sp. fue el hongo más agresivo en la poscosecha de banano. Estos resultados coincidieron con los resultados reportados por Lassois et al. (2008), quienes determinaron que *Colletotrichum* sp. fue el hongo más severo en comparación con *Fusarium moniliforme* y *Cephalosporium* sp. De la misma forma otros autores determinaron que *Colletotrichum musae* y *Fusarium* sp. por separado y en asociación fueron los causantes de más del 80% de las podredumbres en la corona, 60% en el fruto y 30% en la punta de los bananos (Diedhiou, Zakari, Mbaye, Faye y Samb, 2014, pp. 1651-1653).

En el Ecuador un estudio reciente reveló que en zonas productoras de las provincias de: Los Ríos, Guayas y Cañar especies del género *Colletotrichum* aisladas de hojas fueron las principales causantes de lesiones típicas de la antracnosis en el fruto (Riera, 2015, pp. 50-58,73).

Colletotrichum sp., es un hongo que puede iniciar la infección con bajas concentraciones de inóculo a diferencia de otros patógenos que requieren concentraciones elevadas o incluso ser inoculados en combinación para producir podredumbre, como es el caso de los géneros *Fusarium*, *Verticillium* y *Lasiodiplodia*. Además estos patógenos requieren mayores tiempos de infección para producir síntomas (Lassois y de Lapeyre de Bellaire, 2014).

Por otro lado, la temperatura de almacenamiento pudo ocasionar el retraso del crecimiento de los hongos *Fusarium* spp., *Verticillium* spp. y *Lasiodiplodia* sp. Así lo determinaron en varias especies del género *Verticillium*, donde temperaturas inferiores a 15 °C retardaron la expresión de los síntomas de las enfermedades generadas por estos hongos (Pegg y Brady, 2002, pp. 115-118). Este fenómeno se observó en varios cultivares entre estos tomate, berenjena, pimiento, papa y algodón. Masudi y Bonjar (2012) determinaron que *Verticillium* spp. fue un hongo débil al no poder generar síntomas tras la inoculación del patógeno en una herida.

Esto pudo deberse a que el látex del fruto inhibió la germinación de los conidios y desaceleró el desarrollo del micelio. Para que una infección artificial de este hongo fuese exitosa se requirieron altas temperaturas (23 a 30 °C) y humedades saturadas (pp.412-414).

3.3 EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS HIDROTÉRMICOS SOBRE LA SEVERIDAD DE LA CEPA FÚNGICA DE MAYOR PATOGENICIDAD, LA CALIDAD FÍSICO-QUÍMICA Y SENSORIAL DE BANANOS ORGÁNICOS

3.3.1 EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS HIDROTÉRMICOS SOBRE LA SEVERIDAD DE LA CEPA FÚNGICA MÁS AGRESIVA

Se estudió la influencia de las temperaturas (40, 45 y 50 °C) y tiempos de inmersión (1, 5, 10 y 20 min) de los tratamientos hidrotérmicos sobre la severidad del hongo más patogénico *Colletotrichum* sp. a 10^6 conidios mL⁻¹, durante 21 días de almacenamiento a 13 °C y 90 ± 3 % HR y 7 días a 25 °C y 80 ± 3 % HR. Se determinó que los factores temperatura y tiempo de inmersión de los tratamientos hidrotérmicos por separado, así como su interacción tuvieron una influencia significativa ($p < 0,05$) sobre la severidad de la podredumbre (cm) causada por este hongo, como se muestra en el ANEXO VI.

La Figura 3.27 muestra la evolución de la severidad de la podredumbre causada por *Colletotrichum* sp. a una concentración de 10^6 conidios mL^{-1} en bananos sometidos a 12 tratamientos hidrotérmicos, un testigo únicamente inoculado (CK) y un control con fungicida Imazalil ($0,6 \text{ g mL}^{-1}$) (CK+F). Se observa que no existió diferencia en la severidad de la podredumbre causada por el hongo en ninguno de los tratamientos estudiados hasta el décimo día. A partir de este día se evidenció un incremento de la severidad de la podredumbre en los tratamientos estudiados. Este incremento en la severidad fue muy marcado en los tratamientos hidrotérmicos: $50 \text{ }^\circ\text{C} - 20 \text{ min}$, $50 \text{ }^\circ\text{C} - 10 \text{ min}$, $45 \text{ }^\circ\text{C} - 20 \text{ min}$ y el testigo (CK). Mientras que se observó un crecimiento lento de la podredumbre en los tratamientos $40 \text{ }^\circ\text{C} - 20 \text{ min}$ y en el control con fungicida (CK+F).

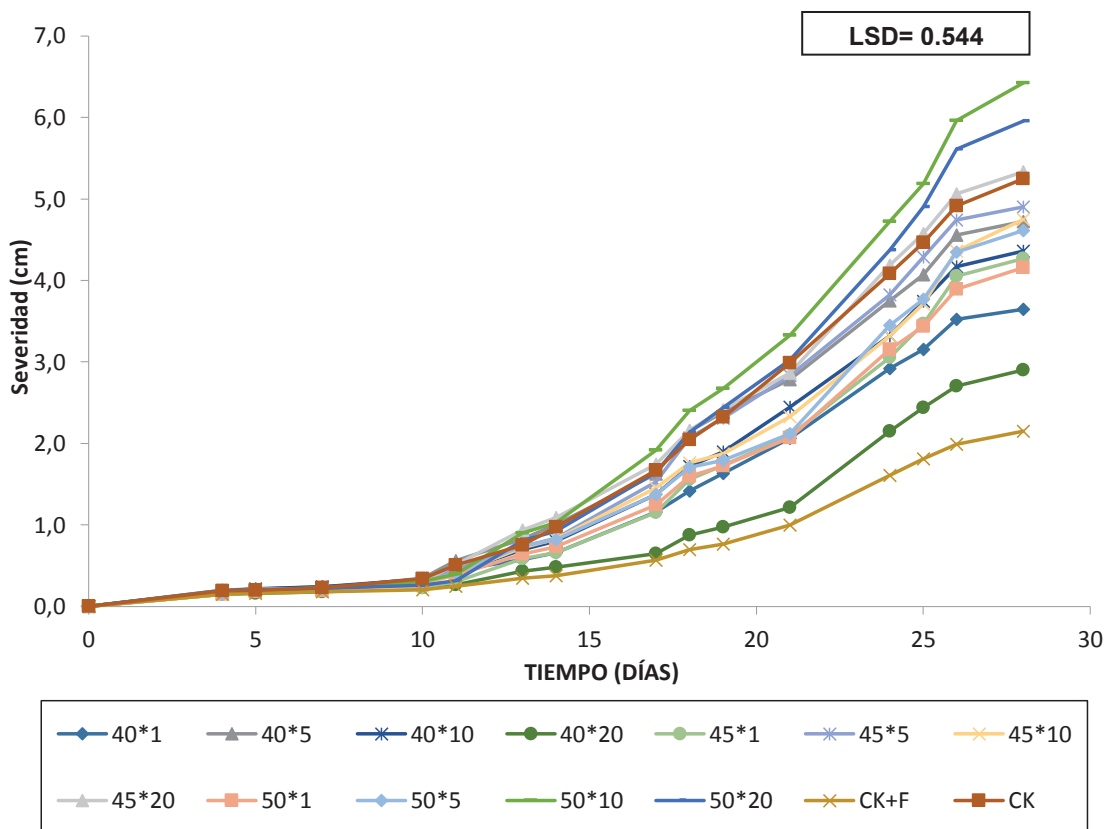


Figura 3.27. Severidad (cm) causada por *Colletotrichum* sp. a 10^6 conidios mL^{-1} en frutos sometidos a tratamientos almacenados a $13 \text{ }^\circ\text{C}$ y $90 \text{ } \%$ HR durante 21 días y 7 días a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ y $80 \pm 3 \text{ } \%$ HR ($n=40$)

A los 21 días, el tratamiento hidrotérmico de 40 °C- 20 min y el control con fungicida (CK+F) presentaron severidad de la podredumbre estadísticamente igual con valores de 1,0 y 1,2 cm. Estos tratamientos presentaron la menor severidad de la podredumbre causada por *Colletotrichum* sp. a 10^6 conidios mL⁻¹ en comparación al resto de tratamientos aplicados.

Esta diferencia fue muy marcada especialmente en comparación con el testigo únicamente inoculado el cual alcanzó una podredumbre de 3 cm. Por otro lado los tratamientos hidrotérmicos con temperaturas de 50 °C durante 10 y 20 min presentaron igual severidad de la podredumbre que el testigo (CK). Para el día 28 estos tratamientos presentaron podredumbres mayores que la del testigo (CK).

La Figura 3.28 muestra los porcentajes de reducción de la severidad de la podredumbre respecto al testigo de los diferentes tratamientos aplicados los días 21 y 28. Se puede observar que CK+F alcanzó una reducción de la podredumbre del 66,53 %, mientras que el tratamiento hidrotérmico de 40 °C- 20 min alcanzó una reducción de 59,32 % durante todo el período de refrigeración a 13 °C de 21 días (Figura 3.28 (a)), este control puede llegar a ser importante ya que la fruta se almacena por largos periodos en refrigeración durante el transporte de la misma.

Por otro lado, después del período de vida en estante de 7 días a 25°C (día 28) los tratamientos aplicados disminuyeron su control de la enfermedad debido a las condiciones favorables para el crecimiento del patógeno. Sin embargo, CK+F y 40 °C- 20 min presentaron las mayores reducciones de la severidad de 58,96 % 44,71 %. El resto de tratamientos hidrotérmicos presentaron una reducción de la enfermedad muy baja menor al 30%, como se observa en la Figura 3.28 (b).

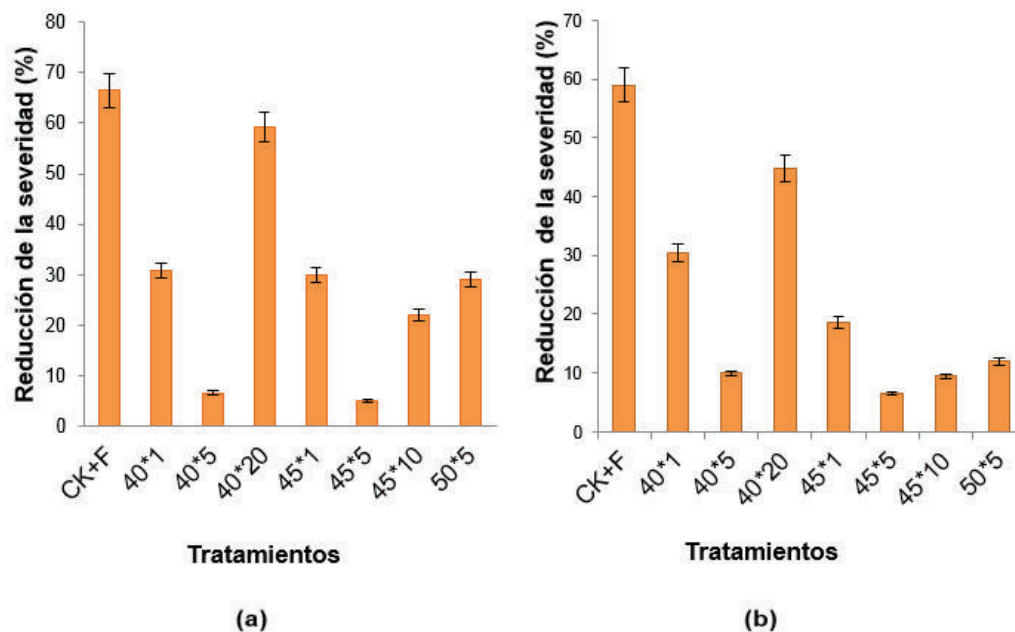


Figura 3.28. Reducción de la severidad (%) de los tratamientos aplicados en bananos inoculados artificialmente con *Colletotrichum* sp. a 10^6 conidios mL^{-1} (a) a los 21 días y (b) a los 28 días

Los resultados obtenidos difirieron de lo encontrado para otras variedades de banano, en las cuales se han recomendado el uso de temperaturas altas y tiempos cortos de los baños de agua caliente (Tang, 2007, p. 171). De Costa y Erabadupitiya (2005) determinaron que una combinación de baños a 50 °C durante 5 min en bananos variedad *Embon* reducen el desarrollo de la antracosis producida por *Colletotrichum musae* hasta el 80% (p. 34).

Estas condiciones fueron probadas en este estudio y se obtuvieron controles de la enfermedad muy bajos del 12 %. Estos autores mencionan que los bananos expuestos a temperaturas superiores a 50 °C y por tiempos superiores a 5 min producen quemaduras en la piel, esto se comprobó para la variedad *Cavendish* empleada en este estudio con los tratamientos 50 °C-10 min y 50 °C- 20 min, siendo estas quemaduras más severas en este último tratamiento.

Estos resultados difieren de lo encontrado por Mirshekari et al. (2012) quienes determinaron que en bananos variedad *Berangan*, el tratamiento de 50 °C durante 20 min fue el mejor en el control de la enfermedad con una severidad de la

podredumbre de 0,38 cm (pp. 8-9), mientras que en este estudio la severidad a esas condiciones fue notablemente mayor con valores de 5,96 cm.

El tratamiento de 40 °C durante 20 min proporcionó un control más eficiente que el resto de tratamientos ensayados, esto pudo deberse a que largos tiempos de inmersión causaron que el calor se transfiera de una manera más eficiente, ya que se ha determinado que la estabilización de la temperatura de este sistema para bananos toma de entre 3 a 5 min. El período de inmersión de 20 min pudo permitir una estabilización del sistema y mejorar la transferencia de calor. De esta manera provocar el daño al patógeno (Alvindia, 2012b, p. 63).

Los tratamientos hidrotérmicos tienen un efecto directo sobre el patógeno y provocan principalmente: la inhibición de la germinación de los conidios, disminución de la germinación de esporas y daño en las estructuras de crecimiento como hifas (Viñas, Usall, Echeverria, Graell, y Recasens, 2013, p. 272). Para *Colletorichum* sp se determinó que temperaturas superiores a 36 °C detienen el crecimiento micelial (Peres, Kuramae, Dias, & De Souza, 2002, p. 134). Los tratamientos hidrotérmicos funcionan de forma correctiva, ya que no poseen una acción residual sobre los patógenos (Alvindia, 2012a, p. 63).

Sin embargo, los tratamientos hidrotérmicos generan una protección adicional al fruto, puesto que estimulan los mecanismos de defensa del fruto, lo que permite la síntesis de compuestos antimicrobianos que actúan como primera barrera de defensa a la colonización del patógeno. Además a temperaturas inferiores a 45 °C se activan compuestos como la enzima fenilalanina amonialiasa que permiten la lignificación de los tejidos para la formación de un escudo a la penetración del aparato apresorio de los hongos (Arrieta, Higuera y Martínez, 2010, p. 135; De Costa y Erabadupitiya, 2005, p. 38).

3.3.2 EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS HIDROTÉRMICOS SOBRE LA CALIDAD FÍSICO-QUÍMICA DE BANANO

Se evaluó la calidad físico-química de 10 bananos en el día 0. Esta caracterización se muestra en la Tabla 3.5, donde se observa que los bananos utilizados tuvieron menor peso (168,44 g) al ser orgánicos comparado con los frutos producidos bajo los sistemas convencionales. Además se puede observar que los bananos empleados se encontraban en estado verde como lo indica el índice de madurez de 1 y los parámetros del color. Los sólidos solubles así como su acidez titulable fueron bajos debido al estado de madurez.

Tabla 3.2. Caracterización físico química de los frutos (día=0)

Parámetro	Media
Peso (g)	168,44 ± 19,25
Índice de Madurez	1,05±0,22
Luminosidad (L)	61,67 ± 3,71
Saturación (C)	40,68 ± 1,48
Ángulo del tono (Hue)	125,14 ± 1,49
Firmeza de la pulpa (N)	106,06 ± 12,34
Sólidos solubles (° Brix)	1,64 ± 0,82
Acidez titulable (%)	0,20±0,02
pH	5,81 ± 0,52

Media ± desviación estándar de la pérdida de peso (%) (n=20)

3.3.2.1 Pérdida de peso

Se determinó la influencia de las temperaturas (40, 45 y 50 °C) y tiempos de inmersión (1, 5, 10 y 20 min) de los tratamientos hidrotérmicos sobre la pérdida de peso en bananos durante 21 días de almacenamiento a 13 °C y 90 ± 3 % HR y 7 días a 25 °C y 80 ± 3 % HR. En el Anexo VII (Tabla AVII.1) se muestra el ANOVA para la pérdida de peso, donde se observa que los factores temperatura y tiempo de inmersión del baño de agua caliente por separado, así como su interacción tuvieron una influencia significativa ($p < 0,05$) sobre la pérdida de peso de los bananos almacenados por 28 días.

La Figura 3.29 muestra la interacción del tiempo y temperatura de los tratamientos hidrotérmicos para la pérdida de peso de los bananos. De forma general la pérdida de peso se incrementó con el almacenamiento debido a los procesos de respiración y maduración del fruto. Sin embargo, se puede observar en la Figura 3.29 que existió una tendencia general de a mayor temperatura de los tratamientos hidrotérmicos mayor pérdida de peso, lo mismo ocurrió al incrementar los tiempos de inmersión en agua a las temperaturas estudiadas.

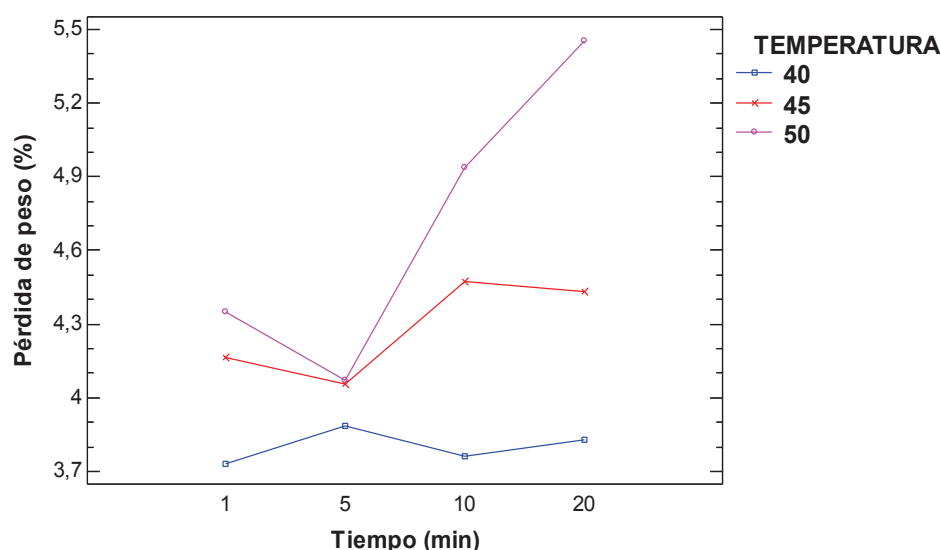


Figura 3.29. Gráfico de interacción de los factores: tiempo y temperatura de inmersión de los tratamientos hidrotérmicos sobre la pérdida de peso (%)

La Tabla 3.3 muestra la pérdida de peso (%) de los bananos sometidos a los tratamientos hidrotérmicos, un testigo únicamente inoculado (CK) y un control con fungicida (CK+F). Se determinó que a los 7 días de almacenamiento existió una pérdida de peso baja, de alrededor del 1% en los bananos sometidos a los diferentes tratamientos. Se pudo observar el mismo comportamiento a los 14 días, donde la pérdida de peso se mantuvo alrededor del 3%. Durante el período de refrigeración el tratamiento que presentó mayor pérdida de peso fue el de 50 °C-20 min, mientras que los tratamientos de CK+F y de 40 °C- 20 min presentaron menores pérdidas de peso.

Después del período de refrigeración se mantuvieron los bananos 7 días a 25 °C y 80 ± 3 % HR. La pérdida de peso incrementó rápidamente en todos los tratamientos aplicados debido a las condiciones de almacenamiento, las cuales provocaron una aceleración de los procesos fisiológicos del fruto para su maduración. El tratamiento con mayor pérdida de peso continuó siendo el de 50 °C-20 min con un 14,37 %. Mientras que los tratamientos de 40 °C-20 min y control con fungicida (CK+F) presentaron pérdidas de peso menores alrededor del 8%.

Tabla 3.3. Pérdida de peso (%) de los frutos sometidos a los tratamientos hidrotérmicos durante los 7, 14, 21 días a 13°C- 90 % HR y 7 días adicionales de vida en estante a 25°C- 80 % HR

Tratamiento	Días de almacenamiento			
	7	14	21	28
40 °C-1 min	0,88 ± 0,14 ^a	2,75 ± 0,40 ^{abc}	4,29 ± 0,59 ^a	8,68 ± 1,04 ^{ab}
40 °C-5 min	0,82 ± 0,12 ^a	2,59 ± 0,35 ^{ab}	4,35 ± 0,57 ^a	9,64 ± 1,24 ^{ab}
40 °C-10 min	0,86 ± 0,18 ^a	2,55 ± 0,39 ^a	4,13 ± 0,49 ^a	9,43 ± 2,37 ^a
40 °C-20 min	0,95 ± 0,24 ^{ab}	2,81 ± 0,54 ^{abc}	4,40 ± 0,51 ^a	8,84 ± 1,06 ^{abc}
45 °C-1 min	0,96 ± 0,30 ^{ab}	2,99 ± 0,88 ^{bcde}	4,84 ± 0,93 ^{ab}	9,69 ± 1,97 ^{cdef}
45 °C-5 min	0,97 ± 0,33 ^{ab}	2,75 ± 0,52 ^{abc}	4,54 ± 0,51 ^a	9,92 ± 1,51 ^{abcde}
45 °C-10 min	1,24 ± 0,56 ^c	3,34 ± 1,15 ^e	5,26 ± 1,38 ^b	9,88 ± 2,26 ^f
45 °C-20 min	0,99 ± 0,26 ^{ab}	2,95 ± 0,57 ^{abcde}	4,92 ± 0,81 ^b	11,24 ± 3,02 ^{def}
50 °C-1 min	1,07 ± 0,29 ^{bc}	3,16 ± 0,73 ^{cde}	5,00 ± 0,69 ^b	10,13 ± 1,75 ^{ef}
50 °C-5 min	1,09 ± 0,41 ^{bc}	2,87 ± 0,73 ^{abc}	4,66 ± 0,77 ^a	9,58 ± 1,49 ^{bcde}
50 °C-10 min	0,99 ± 0,23 ^{ab}	2,89 ± 0,78 ^{abcd}	5,32 ± 1,00 ^b	13,29 ± 3,43 ^f
50 °C-20 min	1,11 ± 0,30 ^{bc}	3,31 ± 0,75 ^{de}	5,84 ± 0,97 ^c	14,37 ± 3,92 ^g
CK	0,94 ± 0,22 ^{ab}	2,89 ± 0,68 ^{abc}	4,49 ± 0,65 ^a	9,58 ± 1,90 ^{abcd}
CK+F	0,97 ± 0,32 ^{ab}	2,66 ± 0,49 ^{ab}	4,23 ± 0,51 ^a	8,18 ± 1,01 ^{ab}

Media ± desviación estándar de la pérdida de peso (%) (n=20), letras minúsculas en cada columna indican la mínima diferencia significativa (LSD) entre los tratamientos aplicados (p<0,05).

De Costa y Erabadupitiya (2005) determinaron que tratamientos con alta temperaturas con tiempos de exposición prolongadas presentaron alteraciones significativas en los parámetros de calidad de la fruta (p.34). Como se mencionó en este estudio, los tratamientos de 50 °C-10 min y 50 °C- 20 min presentaron pérdidas de peso significativas. A más de los procesos fisiológicos normales del fruto, se ha

demostrado que el ataque de un hongo genera un incremento en la pérdida de peso (Hailu, Workneh, y Belew, 2013, p. 640).

En este estudio los tratamientos con tiempos de inmersión prolongados (10 o 20 min) y bajas temperaturas (40 °C) presentaron menor pérdida de peso que los tratamientos con temperaturas elevadas (50 °C). Este fenómeno puede deberse a que los tratamientos térmicos logran causar que la cera cuticular o latex de la piel de los frutos se funda ligeramente de manera que llene las microfisuras y estomas de las superficies de la piel de los frutos y así reducir la transpiración de los mismos. Esto se demostró en frutos como naranjas, donde tratamientos con 45 °C durante 42 min redujeron la pérdida de peso en comparación del tratamiento a 53 °C durante 12 min, el cual presentó pérdidas de peso superiores al control (Tang, 2007, p. 86). No existió diferencia significativa en la pérdida de peso de los frutos sometidos al tratamiento hidrotérmico de 40 °C- 20 min y el tratamiento con fungida (CK+F). Esta baja pérdida de peso permitió obtener frutos de similar calidad poscosecha puesto a que la pérdida de peso puede afectar a otras propiedades de calidad importantes como: color, firmeza, contenido de sólidos solubles y apariencia en general (Hailu et al., 2013, p. 640).

3.3.2.2 Índice de madurez

Se estudió la influencia de las temperaturas (40, 45 y 50 °C) y tiempos de inmersión (1, 5, 10 y 20 min) de los tratamientos hidrotérmicos sobre el índice de madurez de los frutos, durante 21 días de almacenamiento a 13 °C y 90 ± 3 % HR y 7 días a 25 °C y 80 ± 3 % HR. Se determinó que la temperatura y el tiempo de inmersión de los tratamientos hidrotérmicos por separado tuvieron una influencia significativa ($p < 0,05$) sobre el índice de madurez de los frutos como se muestra en Anexo VII (Tabla AVII.2).

La Tabla 3.4 muestra el índice de madurez de los bananos sometidos a los tratamientos hidrotérmicos, un testigo únicamente inoculado (CK) y un control con fungicida (CK+F). Se puede observar que tanto en los 7 y 14 días de

almacenamiento no existió diferencia significativa entre el índice de madurez de los bananos sometidos a los diferentes tratamientos. A los 21 días de almacenamiento en refrigeración, se observó un cambio en los índices de madurez. Los tratamientos de 40 °C-20 min, CK+F y CK presentaron igual índice de madurez cercano a 3 (50% verde y 50% amarillo). A los 28 días después de un período de 7 días a 25 °C y 80 % HR todos los frutos obtuvieron índices entre 5 y 6, los cuales indican estados maduros de la fruta con tonalidades amarillas. Únicamente los frutos de CK+F presentaron un índice de 4 (más amarillo que verde)

Tabla 3.4. Índice de madurez de los bananos sometidos a tratamientos hidrotérmicos durante los 7, 14, 21 días a 13°C- 90 % HR y 7 días adicionales de vida en estante a 25°C- 80 % HR

Tratamiento	Días de almacenamiento			
	7	14	21	28
40 °C-1 min	1,30 ± 0,47 ^a	1,80 ± 2,44 ^a	3,45 ± 0,94 ^e	5,75 ± 1,21 ^b
40 °C-5 min	1,45 ± 0,51 ^a	1,50 ± 0,51 ^a	3,25 ± 1,21 ^{de}	5,85 ± 0,93 ^b
40 °C-10 min	1,25 ± 0,44 ^a	1,50 ± 0,51 ^a	3,60 ± 0,68 ^e	5,95 ± 1,00 ^b
40 °C-20 min	1,30 ± 0,47 ^a	1,35 ± 0,49 ^a	2,60 ± 1,05 ^{abc}	5,75 ± 1,12 ^b
45 °C-1 min	1,40 ± 0,50 ^a	1,35 ± 0,49 ^a	2,15 ± 1,14 ^{ab}	5,90 ± 1,07 ^b
45 °C-5 min	1,40 ± 0,50 ^a	1,50 ± 0,51 ^a	2,80 ± 0,89 ^{cd}	6,10 ± 0,97 ^b
45 °C-10 min	1,30 ± 0,47 ^a	1,55 ± 0,51 ^a	2,65 ± 1,14 ^{abcd}	5,75 ± 1,12 ^b
45 °C-20 min	1,45 ± 0,51 ^a	1,50 ± 0,51 ^a	2,45 ± 0,83 ^{abc}	6,00 ± 1,03 ^b
50 °C-1 min	1,20 ± 0,41 ^a	1,30 ± 0,47 ^a	2,05 ± 0,76 ^a	5,55 ± 1,10 ^b
50 °C-5 min	1,25 ± 0,44 ^a	1,30 ± 0,47 ^a	3,05 ± 0,89 ^{cde}	5,95 ± 1,10 ^b
50 °C-10 min	1,25 ± 0,44 ^a	1,30 ± 0,47 ^a	3,05 ± 0,99 ^{cde}	5,75 ± 1,10 ^b
50 °C-20 min	1,10 ± 0,31 ^a	1,40 ± 0,50 ^a	2,05 ± 0,69 ^a	5,50 ± 1,02 ^b
CK	1,30 ± 0,47 ^a	1,30 ± 0,47 ^a	2,68 ± 1,25 ^{bcd}	5,90 ± 0,97 ^b
CK+F	1,10 ± 0,31 ^a	1,30 ± 0,47 ^a	2,60 ± 0,82 ^{abc}	4,75 ± 1,07 ^a

Media ± desviación estándar del índice de madurez de bananos (n=20), letras minúsculas en cada columna indican la mínima diferencia significativa (LSD) entre los tratamientos aplicados (p<0,05).

Los cambios del índice de madurez se debieron al proceso natural de maduración de los frutos y a la infección causada por *Colletotrichum musae*, la cual puede generar una maduración prematura de los frutos (Abd-Elsalam, Kamel, 2009, p. 26). Para los tratamientos hidrotérmicos se esperaba un retraso en la maduración de los frutos como efecto de la aplicación de calor. Puesto que, se ha reportado que la

aplicación de esta tecnología en frutas climatéricas provocó la inhibición de la producción de etileno, retrasando la maduración (Paliyath, Murr, Handa, y Lurie, 2009, p. 246). Sin embargo, no se observó este retraso en los tratamientos estudiados.

3.3.2.3 Color

Se estudió la influencia de las temperaturas (40, 45 y 50 °C) y tiempos de inmersión (1, 5, 10 y 20 min) de los tratamientos hidrotérmicos sobre la luminosidad, la saturación y el tono de la piel de los bananos, durante 21 días de almacenamiento a 13 °C y 90 % HR y 7 días a 25 °C y 80 % HR. Se encontró que los factores temperatura y tiempo de inmersión por separado, así como su interacción tuvieron una influencia significativa ($p < 0,05$) sobre la saturación y la luminosidad de la piel de los bananos como se muestra en Anexo VII (Tabla AVII.3 y 4). Mientras que para el tono ninguno de los factores estudiados tuvo influencia significativa ($p < 0,05$) como se muestra en el Anexo VII (Tabla AVII.5).

La Tabla 3.5 muestra la luminosidad y la saturación de la piel de bananos sometidos a 12 tratamientos hidrotérmicos, un testigo (CK) y un control con fungicida (CK+F). Se puede observar que al día 7 no existió diferencia significativa en la luminosidad de todos los tratamientos aplicados. A los 14 y 21 días se observó que la luminosidad y la saturación de los tratamientos fueron iguales entre sí, excepto los tratamientos de 50 °C-10 min y 50 °C-20 min, los cuales presentaron menor luminosidad y saturación.

Tabla 3.5. Luminosidad (L) y Saturación (C) de la piel de los bananos sometidos a tratamientos hidrotérmicos durante los 7, 14, 21 días a 13°C- 90 % HR y 7 días adicionales de vida en estante a 25°C- 80 % HR

Tratamiento	Color														
	L						C								
	7	14	21	28	7	14	21	28	7	14	21	28			
40 °C-1 min	60,16 ± 4,15 ^a	62,91 ± 3,92 ^{bc}	66,79 ± 4,62 ^{de}	71,03 ± 3,93 ^{def}	39,92 ± 1,54 ^{cd}	39,32 ± 2,06 ^c	41,62 ± 3,17 ^e	45,03 ± 6,57 ^{cd}	61,57 ± 6,08 ^a	64,50 ± 3,72 ^c	65,04 ± 4,75 ^{cde}	71,31 ± 2,72 ^{def}	40,07 ± 1,20 ^{cd}	40,79 ± 2,80 ^{cde}	44,57 ± 5,46 ^{cd}
40 °C-5 min	60,66 ± 3,69 ^a	62,87 ± 3,24 ^{bc}	67,17 ± 4,26 ^e	71,24 ± 3,24 ^{def}	40,11 ± 1,22 ^d	39,19 ± 1,99 ^c	42,00 ± 3,11 ^e	44,33 ± 4,58 ^{cd}	60,66 ± 3,69 ^a	62,87 ± 3,24 ^{bc}	67,17 ± 4,26 ^e	71,24 ± 3,24 ^{def}	40,11 ± 1,22 ^d	39,19 ± 1,99 ^c	44,33 ± 4,58 ^{cd}
40 °C-10 min	62,03 ± 2,99 ^a	63,42 ± 3,55 ^{bc}	63,48 ± 5,01 ^{bc}	71,77 ± 3,12 ^{ef}	40,28 ± 0,80 ^d	38,89 ± 1,96 ^{bc}	39,10 ± 3,41 ^b	45,55 ± 3,54 ^d	62,03 ± 2,99 ^a	63,42 ± 3,55 ^{bc}	63,48 ± 5,01 ^{bc}	71,77 ± 3,12 ^{ef}	40,28 ± 0,80 ^d	38,89 ± 1,96 ^{bc}	45,55 ± 3,54 ^d
45 °C-1 min	62,50 ± 3,51 ^a	63,29 ± 3,79 ^{bc}	63,77 ± 4,48 ^{bc}	70,08 ± 3,20 ^{de}	39,14 ± 1,40 ^b	39,28 ± 2,73 ^c	39,19 ± 2,73 ^b	43,61 ± 5,06 ^{bcd}	62,50 ± 3,51 ^a	63,29 ± 3,79 ^{bc}	63,77 ± 4,48 ^{bc}	70,08 ± 3,20 ^{de}	39,14 ± 1,40 ^b	39,28 ± 2,73 ^c	43,61 ± 5,06 ^{bcd}
45 °C-5 min	62,35 ± 4,05 ^a	62,93 ± 3,21 ^{bc}	65,01 ± 4,85 ^{cd}	72,48 ± 3,38 ^f	39,57 ± 1,81 ^{bcd}	39,16 ± 1,69 ^c	41,46 ± 3,24 ^{de}	45,58 ± 4,08 ^d	62,35 ± 4,05 ^a	62,93 ± 3,21 ^{bc}	65,01 ± 4,85 ^{cd}	72,48 ± 3,38 ^f	39,57 ± 1,81 ^{bcd}	39,16 ± 1,69 ^c	45,58 ± 4,08 ^d
45 °C-10 min	61,87 ± 4,27 ^a	62,83 ± 3,44 ^{bc}	64,58 ± 4,75 ^{bc}	71,06 ± 4,14 ^{def}	39,33 ± 1,83 ^{bc}	38,84 ± 1,68 ^{bc}	41,39 ± 2,66 ^{de}	43,87 ± 4,79 ^{bcd}	61,87 ± 4,27 ^a	62,83 ± 3,44 ^{bc}	64,58 ± 4,75 ^{bc}	71,06 ± 4,14 ^{def}	39,33 ± 1,83 ^{bc}	38,84 ± 1,68 ^{bc}	43,87 ± 4,79 ^{bcd}
45 °C-20 min	61,06 ± 3,29 ^a	64,35 ± 3,65 ^{bc}	64,38 ± 4,85 ^{bc}	69,67 ± 3,16 ^{cd}	39,70 ± 1,92 ^{bcd}	39,85 ± 2,13 ^c	40,74 ± 2,94 ^{cde}	43,54 ± 5,16 ^{bcd}	61,06 ± 3,29 ^a	64,35 ± 3,65 ^{bc}	64,38 ± 4,85 ^{bc}	69,67 ± 3,16 ^{cd}	39,70 ± 1,92 ^{bcd}	39,85 ± 2,13 ^c	43,54 ± 5,16 ^{bcd}
50 °C-1 min	62,21 ± 2,97 ^a	63,58 ± 3,75 ^{bc}	62,64 ± 5,59 ^b	70,27 ± 2,93 ^{de}	39,85 ± 1,55 ^{bcd}	39,06 ± 1,59 ^c	40,17 ± 2,42 ^{bcd}	43,72 ± 2,98 ^{bcd}	62,21 ± 2,97 ^a	63,58 ± 3,75 ^{bc}	62,64 ± 5,59 ^b	70,27 ± 2,93 ^{de}	39,85 ± 1,55 ^{bcd}	39,06 ± 1,59 ^c	43,72 ± 2,98 ^{bcd}
50 °C-5 min	62,27 ± 3,12 ^a	63,95 ± 3,17 ^{bc}	64,34 ± 4,34 ^{bc}	70,05 ± 2,93 ^{cde}	39,97 ± 1,17 ^{cd}	39,37 ± 1,69 ^c	39,71 ± 2,62 ^{bc}	43,43 ± 4,09 ^{abcd}	62,27 ± 3,12 ^a	63,95 ± 3,17 ^{bc}	64,34 ± 4,34 ^{bc}	70,05 ± 2,93 ^{cde}	39,97 ± 1,17 ^{cd}	39,37 ± 1,69 ^c	43,43 ± 4,09 ^{abcd}
50 °C-10 min	61,60 ± 3,55 ^a	62,85 ± 4,26 ^{bc}	63,33 ± 5,29 ^{bc}	65,63 ± 5,57 ^b	39,13 ± 1,78 ^b	37,92 ± 2,65 ^{ab}	37,77 ± 2,63 ^a	43,09 ± 4,05 ^{abc}	61,60 ± 3,55 ^a	62,85 ± 4,26 ^{bc}	63,33 ± 5,29 ^{bc}	65,63 ± 5,57 ^b	39,13 ± 1,78 ^b	37,92 ± 2,65 ^{ab}	43,09 ± 4,05 ^{abc}
50 °C-20 min	61,30 ± 4,26 ^a	60,17 ± 6,36 ^a	59,89 ± 4,84 ^a	61,63 ± 7,25 ^a	37,74 ± 3,38 ^a	37,37 ± 5,28 ^a	37,21 ± 3,78 ^a	41,26 ± 7,66 ^a	61,30 ± 4,26 ^a	60,17 ± 6,36 ^a	59,89 ± 4,84 ^a	61,63 ± 7,25 ^a	37,74 ± 3,38 ^a	37,37 ± 5,28 ^a	41,26 ± 7,66 ^a
CK	61,51 ± 3,09 ^a	62,69 ± 4,19 ^b	64,36 ± 6,6 ^{bcd}	71,18 ± 2,86 ^{def}	39,65 ± 1,23 ^{bcd}	39,23 ± 1,69 ^c	41,27 ± 3,65 ^{de}	45,38 ± 5,38 ^d	61,51 ± 3,09 ^a	62,69 ± 4,19 ^b	64,36 ± 6,6 ^{bcd}	71,18 ± 2,86 ^{def}	39,65 ± 1,23 ^{bcd}	39,23 ± 1,69 ^c	45,38 ± 5,38 ^d
CK+F	60,85 ± 9,41 ^a	63,72 ± 3,85 ^{bc}	63,79 ± 2,95 ^{bc}	68,28 ± 5,09 ^c	39,75 ± 1,35 ^{bcd}	39,28 ± 1,99 ^c	39,89 ± 2,52 ^{bc}	42,12 ± 4,54 ^{ab}	60,85 ± 9,41 ^a	63,72 ± 3,85 ^{bc}	63,79 ± 2,95 ^{bc}	68,28 ± 5,09 ^c	39,75 ± 1,35 ^{bcd}	39,28 ± 1,99 ^c	42,12 ± 4,54 ^{ab}

Media ± desviación estándar del parámetro de color (n=40), letras minúsculas en cada columna indican la mínima diferencia significativa (LSD) entre los tratamientos aplicados (p<0,05)

Lo ocurrido con los tratamientos de 50 °C-10 min y 50 °C-20 min puede ser explicado debido al escaldado sufrido en la piel de los bananos a estas condiciones de temperatura y tiempo de inmersión que se observan en el Anexo VIII. De Costa y Erabadupitiya (2005) determinaron que en bananos variedad *Embon* temperaturas de inmersión mayores a 50 °C afectaron el color de la piel. Los bananos presentaron color verde pálido.

Esta palidez fue notable incluso en estados maduros con coloración amarilla y se expresó en una reducción de los valores de luminosidad (p. 34). Este mismo fenómeno se observó en este estudio para los tratamientos de 50 °C-10 min y 50 °C- 20 min con los bananos de variedad *Cavendish*.

A los 28 días, la luminosidad y la saturación del testigo (CK) y el tratamiento de 40 °C-20 min fueron iguales. Mientras que, el control con fungicida presentó (CK+F) menores valores de luminosidad y saturación. Esto se debe a que este tratamiento presentó menor índice de madurez.

Estudios sobre la conservación del banano han reportado los incrementos de la luminosidad (L) y la saturación (C) durante el almacenamiento, dichos incrementos se observaron en este estudio para todos los tratamientos. Se han reportado cambios de luminosidad de 60 a 75 y de saturación de 40 a 44 para bananos que pasan de grado 1 (verdes) a grados 5 (amarillos) (Chen y Ramaswamy, 2002, p. 417; Yang, Song, Fillmore, Pang, y Zhang, 2011, p. 248).

La Tabla 3.6 muestra el tono de la piel de los bananos sometidos a 12 tratamientos hidrotérmicos, un testigo (CK) y un control con fungicida (CK+F). Se puede observar que el tono disminuyó a través del almacenamiento esto se debe a que el color varía de verde a amarillo mediante la reducción del ángulo del segundo cuadrante ($180^\circ - 90^\circ$) hacia el primer cuadrante ($<90^\circ$). Durante toda la conservación el tono disminuyó, debido al proceso de maduración de los bananos.

Tabla 3.6. Tono (°) de la piel de los bananos sometidos a tratamientos hidrotérmicos durante los 7, 14, 21 días a 13°C- 90 % HR y 7 días adicionales de vida en estante a 25°C- 80 % HR

Tratamiento	Días de almacenamiento			
	7	14	21	28
40 °C-1 min	124,69 ± 1,54 ^e	121,52 ± 3,27 ^{bcd}	111,56 ± 9,18 ^a	97,58 ± 6,06 ^{bc}
40 °C-5 min	124,59 ± 1,54 ^e	123,95 ± 18,68 ^d	113,79 ± 8,11 ^{abc}	95,50 ± 2,01 ^a
40 °C-10 min	124,65 ± 1,34 ^e	121,69 ± 2,79 ^{bcd}	113,13 ± 5,46 ^{abc}	96,45 ± 3,54 ^{abc}
40 °C-20 min	124,34 ± 1,40 ^{de}	120,93 ± 3,03 ^{abc}	115,35 ± 8,03 ^{bcde}	96,82 ± 4,11 ^{abc}
45 °C-1 min	123,56 ± 1,71 ^{cde}	122,93 ± 3,77 ^{cd}	116,07 ± 7,36 ^{cdef}	95,02 ± 2,85 ^a
45 °C-5 min	123,89 ± 2,02 ^{cde}	121,93 ± 2,84 ^{bcd}	115,60 ± 6,98 ^{bcde}	95,53 ± 2,71 ^a
45 °C-10 min	122,75 ± 4,93 ^{ab}	121,76 ± 3,14 ^{bcd}	117,02 ± 5,15 ^{def}	95,90 ± 3,91 ^{ab}
45 °C-20 min	123,23 ± 5,00 ^{abcd}	120,10 ± 3,45 ^{ab}	114,49 ± 6,46 ^{abcd}	96,86 ± 3,59 ^{abc}
50 °C-1 min	123,73 ± 1,79 ^{cde}	122,07 ± 2,98 ^{bcd}	117,65 ± 6,81 ^{ef}	96,67 ± 4,97 ^{abc}
50 °C-5 min	123,33 ± 1,44 ^{bcd}	120,46 ± 3,52 ^{abc}	114,61 ± 7,34 ^{abcde}	96,21 ± 3,36 ^{ab}
50 °C-10 min	122,19 ± 4,14 ^a	118,79 ± 4,70 ^a	113,99 ± 6,67 ^{abcd}	98,24 ± 3,89 ^{cd}
50 °C-20 min	122,06 ± 3,66 ^a	118,75 ± 7,86 ^a	112,55 ± 6,55 ^{ab}	99,96 ± 6,29 ^{de}
CK	124,69 ± 1,05 ^e	122,76 ± 2,57 ^{bcd}	113,10 ± 9,58 ^{ab}	95,34 ± 2,30 ^a
CK+F	123,75 ± 1,85 ^{cde}	121,89 ± 3,13 ^{bcd}	118,80 ± 3,52 ^f	101,74 ± 7,06 ^e

Media ± desviación estándar del índice de madurez de bananos (n=20), letras minúsculas en cada columna indican la mínima diferencia significativa (LSD) entre los tratamientos aplicados ($p < 0,05$).

El tratamiento con menor reducción del tono fue CK+F a los 21 y 28 días, el cual se mantuvo en valores de 118,80 y 101,74, respectivamente. Mientras que, los tratamientos de 40 °C-20 min y el testigo (CK) presentaron mayor tonalidad. Esto indica que CK+F alcanzó un estado de madurez menor al alcanzado por el resto de tratamientos, lo cual se verificó con la medición del índice de madurez.

En todos los tratamientos aplicados, los bananos presentaron una reducción del tono de valores entre 122° a 95°, este rango se encuentra dentro de lo indicado en el proceso de maduración de los bananos donde se observan valores mayores de 104° para estados verde de la fruta y valores menores de 97° para estados maduros (amarillos) (Yang et al., 2011, p. 248)

3.3.2.4 Firmeza

Se estudió la influencia de las temperaturas (40, 45 y 50 °C) y tiempos de inmersión (1, 5, 10 y 20 min) de los tratamientos hidrotérmicos sobre la firmeza de los bananos, durante 21 días de almacenamiento a 13 °C y 90 % HR y 7 días a 25 °C y 80 % HR. Se encontró que el factor temperatura y su interacción con el tiempo tuvieron una influencia significativa ($p < 0,05$) sobre esta variable como se muestra en Anexo VII (Tabla AVII.6).

La Tabla 3.7 muestra la firmeza de la pulpa de los frutos sometidos a 12 tratamientos hidrotérmicos, un testigo (CK) y un control con fungicida (CK+F). Se puede observar que a los 7 días, el tratamiento 40 °C-20 min presentó una mayor firmeza en comparación a los tratamientos CK+F y CK. A los 14 y 21 días de almacenamiento la firmeza de los tratamientos disminuyó y no existieron diferencias significativas entre los tratamientos de 40 °C-20 min, CK y CK+F. Finalmente después del período a 25 °C, 28 días, se observó una reducción notable de este parámetro debido a la activación de todos los procesos de maduración del fruto. CK presentó una firmeza menor a los tratamientos CK+F y 40 °C – 20 min. El tratamiento CK+F presentó la mayor firmeza de 34,81 N.

La reducción de la firmeza se debe a que en el proceso de maduración el almidón y la hemicelulosa del fruto se degradan a azúcares simples. Se ha encontrado que el azúcar predominante en esta degradación de la hemicelulosa fue la glucosa. Además, la reducción de la firmeza también se debe a la degradación de la peptina de las paredes celulares de la piel del fruto (Cheng et al., 2009, p. 45).

El mejor tratamiento hidrotérmico de 40 °C – 20 min presentó igual firmeza al CK+F durante el período de refrigeración. Esto pudo deberse a que los baños con agua caliente logran mantener la firmeza de los frutos debido a que pueden inhibir a las enzimas involucradas en el ablandamiento de los tejidos, además estos tratamientos pueden fortalecer las paredes celulares mediante la lignificación de las células (Rodov et al., 2000, p. 292). Este comportamiento concuerda con lo determinado por Bazie, Ayalew, y Woldetsadik (2014), quienes encontraron que

baños a 50 °C por 5 min presentaron los valores más altos de firmeza en comparación a otros tratamientos aplicados en banano (p.17).

Tabla 3.7. Firmeza (N) de los frutos sometidos a tratamientos hidrotérmicos durante los 7, 14, 21 días a 13°C- 90 % HR y 7 días adicionales de vida en estante a 25°C- 80 % HR

Tratamiento	Días de almacenamiento			
	7	14	21	28
40 °C-1 min	104,40 ± 13,67 ^g	82,54 ± 5,34 ^{bcd}	50,69 ± 21,81 ^a	17,03 ± 8,19 ^{bc}
40 °C-5 min	102,68 ± 11,49 ^{fg}	84,64 ± 8,08 ^{ab}	63,85 ± 18,41 ^c	16,02 ± 5,88 ^{bc}
40 °C-10 min	101,46 ± 12,08 ^{defg}	85,06 ± 7,95 ^{ab}	55,08 ± 23,45 ^{ab}	19,75 ± 7,55 ^c
40 °C-20 min	102,88 ± 14,05 ^{fg}	89,84 ± 10,10 ^{abc}	76,22 ± 9,95 ^{def}	16,44 ± 5,42 ^{bc}
45 °C-1 min	93,71 ± 8,66 ^{bc}	80,51 ± 8,17 ^{ab}	78,94 ± 11,83 ^{def}	15,12 ± 6,71 ^{ab}
45 °C-5 min	97,44 ± 9,73 ^{cde}	79,31 ± 6,63 ^{ab}	57,89 ± 22,40 ^{bc}	11,47 ± 4,75 ^a
45 °C-10 min	104,00 ± 13,31 ^{fg}	77,25 ± 7,14 ^a	77,91 ± 16,51 ^{def}	18,52 ± 8,83 ^{bc}
45 °C-20 min	99,08 ± 13,07 ^{def}	81,71 ± 8,80 ^{ab}	74,94 ± 9,61 ^{def}	18,15 ± 8,34 ^{bc}
50 °C-1 min	102,41 ± 11,44 ^{efg}	77,89 ± 5,75 ^a	72,64 ± 12,30 ^d	16,73 ± 7,78 ^{bc}
50 °C-5 min	103,81 ± 10,20 ^{fg}	84,53 ± 8,31 ^c	80,83 ± 13,52 ^f	17,66 ± 6,73 ^{bc}
50 °C-10 min	86,78 ± 10,81 ^a	86,78 ± 10,81 ^{cd}	75,17 ± 16,33 ^{def}	16,10 ± 5,46 ^{bc}
50 °C-20 min	89,70 ± 12,67 ^{ab}	81,36 ± 11,11 ^{ab}	80,09 ± 14,86 ^{ef}	15,72 ± 6,26 ^{bc}
CK	93,17 ± 11,07 ^{bc}	85,19 ± 9,13 ^{ab}	73,33 ± 15,39 ^{de}	11,42 ± 3,52 ^a
CK+F	96,33 ± 9,75 ^{cd}	84,55 ± 8,17 ^{ab}	81,35 ± 12,83 ^f	34,81 ± 25,69 ^d

Media ± desviación estándar de la firmeza de bananos (n=40), letras minúsculas en cada columna indican la mínima diferencia significativa (LSD) entre los tratamientos aplicados (p<0,05).

3.3.2.5 Sólidos solubles, pH y acidez titulable

Se determinó la influencia de las temperaturas (40, 45 y 50 °C) y tiempos de inmersión (1, 5, 10 y 20 min) de los tratamientos hidrotérmicos sobre los sólidos solubles, pH y acidez titulable de bananos durante 21 días de almacenamiento a 13 °C y 90 ± 3 % HR y 7 días a 25 °C y 80 ± 3 % HR. No existió influencia significativa (p<0,05) de los factores temperatura y tiempo de inmersión de los tratamientos hidrotérmicos por separado, así como su interacción sobre los sólidos solubles de los frutos como se muestra en los ANOVA del Anexo VII (Tabla AVII.7, 8 y 9).

En la Tabla 3.8 se muestra el contenido de sólidos solubles de los frutos sometidos a 12 tratamientos hidrotérmicos, un testigo (CK) y un control con fungicida (CK+F). Se puede observar que los sólidos solubles incrementan con los días de almacenamiento debido a los procesos de maduración. Se observa que al día 7 los frutos poseen sólidos solubles en el rango 1,9 a 2,4 °Brix. Al día 21 los sólidos solubles incrementaron a valores entre 4,50 y 7,90 °Brix. Finalmente a los 28 días, los sólidos solubles de todos los tratamientos se encontraron entre 15,30 y 17,10 °Brix.

Tabla 3.8. Sólidos solubles (°Brix) de los frutos sometidos a tratamientos hidrotérmicos durante los 7, 14, 21 días a 13°C- 90 % HR y 7 días adicionales de vida en estante a 25°C- 80 % HR

Tratamiento	Días de almacenamiento			
	7	14	21	28
40 °C-1 min	2,20 ± 0,23	3,20 ± 0,73	7,90 ± 0,60	15,80 ± 2,32
40 °C-5 min	2,10 ± 0,38	2,80 ± 0,33	6,80 ± 0,86	14,50 ± 4,97
40 °C-10 min	2,10 ± 0,38	3,30 ± 1,15	7,30 ± 1,28	15,90 ± 2,66
40 °C-20 min	2,30 ± 0,20	2,60 ± 0,51	5,60 ± 2,09	17,10 ± 2,85
45 °C-1 min	2,20 ± 0,23	2,70 ± 0,38	5,70 ± 1,82	16,20 ± 3,27
45 °C-5 min	1,90 ± 0,20	2,50 ± 0,20	7,50 ± 1,10	16,00 ± 3,47
45 °C-10 min	2,30 ± 0,20	2,80 ± 0,46	5,90 ± 1,51	15,30 ± 4,25
45 °C-20 min	2,00 ± 0,33	3,00 ± 0,23	6,20 ± 0,95	15,70 ± 3,84
50 °C-1 min	2,40 ± 0,73	2,50 ± 0,38	5,10 ± 1,51	15,50 ± 2,25
50 °C-5 min	2,20 ± 0,52	2,70 ± 0,50	5,70 ± 1,19	15,90 ± 1,80
50 °C-10 min	2,20 ± 0,40	2,70 ± 0,20	6,50 ± 0,68	16,60 ± 2,58
50 °C-20 min	2,20 ± 0,52	3,30 ± 0,50	6,20 ± 1,15	15,80 ± 2,37
CK	2,20 ± 0,23	2,50 ± 0,68	6,80 ± 3,12	16,70 ± 3,74
CK+F	2,10 ± 0,20	2,80 ± 0,33	4,50 ± 1,44	13,20 ± 3,12

Media ± desviación estándar de los sólidos solubles (n=4), no existe diferencia significativas entre los tratamientos al mismo día de almacenamiento

Estos resultados difieren de lo expuesto por De Costa y Erabadupitiya (2005) quienes determinaron que baños en agua caliente con temperaturas de 50 °C y tiempos de exposición mayores a 5 min presentaron una reducción en los sólidos solubles de los bananos tratados.

La Tabla 3.9 muestra el pH y la acidez titulable de los frutos sometidos 12 tratamientos hidrotérmicos, un testigo (CK) y un control con fungicida (CK+F). Se puede observar que el pH disminuye en los días de almacenamiento. Mientras que la acidez titulable (%) incrementa. A los 7 días los frutos poseen un pH en el rango 5,58 y 5,63 y una acidez titulable en el rango de 0,23 a 0,25 %. Mientras que al día 28 disminuye a valores entre 5,16 y 5,59 y con valores de acidez titulable entre 0,34 y 0,46 %. La disminución del pH y el incremento de la acidez titulable fueron normales según lo explicado por Dadzie y Orchard (1998) para la variedad *Cavendish* (p. 20).

Los diferentes tratamientos a los que fueron sometidos los bananos no tuvieron influencia significativa en las características químicas de pH, acidez titulable y sólidos solubles durante todo el período de almacenamiento de 7, 14, 21 días en refrigeración, más 7 días a 25 °C de vida en estante. Estos resultados concuerdan con lo expresado por varios autores quienes afirmaron que a pesar de existir diferencia significativa en la severidad de la enfermedad causada por *Colletotrichum* sp no existieron cambios significativos en estos parámetros químicos. Esta constante lo exhibieron bananos de variedades como: *Cavendish Gigante*, *Kluai Hom Thong* y *Embul* (Bazie et al., 2014, p. 17; Jinasena, Pathirathna, Wickramarachchi, y Marasinghe, 2011, p. 59; Win et al., 2007, pp. 337-339).

De forma general la evaluación de las características físico-químicas del mejor tratamiento hidrotérmico de 40 °C-20 min revelaron que no existió un cambio notable en características importantes como pérdida de peso, color, sólidos solubles, pH y acidez titulable respecto al control con fungicida químico (CK+F). Estos resultados confirman que el mejor tratamiento térmico para el control de la podredumbre causada por *Colletotrichum* sp. no generó un deterioro de la calidad poscosecha del banano. La calidad de los frutos sometidos a baños con agua a estas condiciones fue comparable con la del fungicida.

Tabla 3.9. pH y Acidez titulable (%) de los bananos sometidos a tratamientos hidrotérmicos durante los 7, 14, 21 días a 13°C-90 % HR y 7 días adicionales de vida en estante a 25°C-80 % HR

Tratamiento	pH				Acidez titulable (%)			
	7	14	21	28	7	14	21	28
40 °C-1 min	5,60 ± 0,04	5,56 ± 0,11	5,57 ± 0,12	5,20 ± 0,01	0,23 ± 0,03	0,27 ± 0,01	0,31 ± 0,05	0,43 ± 0,06
40 °C-5 min	5,61 ± 0,05	5,48 ± 0,06	5,46 ± 0,08	5,59 ± 0,50	0,23 ± 0,03	0,28 ± 0,03	0,36 ± 0,05	0,29 ± 0,11
40 °C-10 min	5,59 ± 0,03	5,52 ± 0,13	5,54 ± 0,25	5,22 ± 0,12	0,24 ± 0,02	0,25 ± 0,01	0,33 ± 0,05	0,41 ± 0,03
40 °C-20 min	5,60 ± 0,06	5,54 ± 0,07	5,31 ± 0,08	5,17 ± 0,09	0,26 ± 0,02	0,28 ± 0,01	0,35 ± 0,03	0,45 ± 0,05
45 °C-1 min	5,63 ± 0,03	5,56 ± 0,08	5,39 ± 0,02	5,34 ± 0,19	0,24 ± 0,04	0,28 ± 0,01	0,33 ± 0,02	0,40 ± 0,09
45 °C-5 min	5,59 ± 0,02	5,54 ± 0,08	5,54 ± 0,09	5,42 ± 0,38	0,24 ± 0,03	0,31 ± 0,06	0,30 ± 0,05	0,34 ± 0,10
45 °C-10 min	5,58 ± 0,05	5,56 ± 0,07	5,38 ± 0,04	5,41 ± 0,34	0,25 ± 0,02	0,28 ± 0,03	0,35 ± 0,02	0,34 ± 0,06
45 °C-20 min	5,58 ± 0,02	5,59 ± 0,08	5,61 ± 0,34	5,41 ± 0,34	0,25 ± 0,02	0,25 ± 0,01	0,33 ± 0,06	0,38 ± 0,11
50 °C-1 min	5,58 ± 0,05	5,59 ± 0,08	5,51 ± 0,13	5,38 ± 0,29	0,25 ± 0,05	0,28 ± 0,03	0,33 ± 0,02	0,35 ± 0,07
50 °C-5 min	5,59 ± 0,02	5,56 ± 0,11	5,38 ± 0,07	5,16 ± 0,29	0,26 ± 0,03	0,25 ± 0,04	0,34 ± 0,05	0,43 ± 0,04
50 °C-10 min	5,59 ± 0,02	5,60 ± 0,08	5,34 ± 0,03	5,26 ± 0,08	0,24 ± 0,03	0,28 ± 0,01	0,36 ± 0,03	0,38 ± 0,06
50 °C-20 min	5,52 ± 0,06	5,61 ± 0,06	5,53 ± 0,12	5,34 ± 0,17	0,25 ± 0,03	0,25 ± 0,02	0,30 ± 0,00	0,36 ± 0,07
CK	5,61 ± 0,06	5,59 ± 0,02	5,57 ± 0,15	5,29 ± 0,11	0,25 ± 0,02	0,26 ± 0,03	0,31 ± 0,02	0,38 ± 0,03
CK+F	5,59 ± 0,02	5,57 ± 0,08	5,41 ± 0,05	5,12 ± 0,15	0,25 ± 0,02	0,27 ± 0,03	0,35 ± 0,05	0,46 ± 0,05

Media ± desviación estándar de los sólidos solubles (n=4), no existe diferencia significativas entre los tratamientos al mismo día de almacenamiento

Únicamente existió diferencia en la velocidad de maduración a temperaturas de almacenamiento de 25 °C y 80 % HR entre los tratamientos de 40 °C- 20 min y CK+F. Esta diferencia se evidenció en el grado de madurez alcanzado y en la firmeza de la pulpa de los frutos a estas condiciones de almacenamiento. Sin embargo el tratamiento hidrotérmico de 40 °C durante 20 min puede ser recomendado ya que mantiene la calidad del banano durante largos períodos en refrigeración prolongando la vida útil del producto.

3.3.3 EVALUACIÓN SENSORIAL

Se mantuvieron los frutos 21 días a refrigeración a 13 °C y 90 ± 3 % HR y 16 días a 20 °C y 90 ± 3 % HR hasta la obtención de frutos en grado 5 de madurez. Se realizó el análisis de las características sensoriales de los frutos del mejor tratamiento hidrotérmico de 40 °C-20 min, el control con fungicida (CK+F) y de un testigo sin ningún tratamiento (CK). La Tabla 3.10 muestra las características sensoriales: apariencia general, olor, sabor, dulzor y presencia de sabores extraños de los 3 tratamientos mencionados. La escala empleada fue de 10 cm, donde valores cercanos a cero indicaron ausencia de la característica sensorial y valores cercanos a 10 mostraron presencia intensa.

En la Tabla 3.10 se observa que para la apariencia general se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. Se determinó que el testigo (CK) presentó una apariencia general menor (5,95) a la de los frutos tratados sea con fungicida (8,15) o por baños con agua caliente (7,38). Los panelistas percibieron una apariencia general igual en los frutos tratados con baños de agua caliente y con fungicida. En cuanto al olor, los panelistas también detectaron diferencias entre los tratamientos. El tratamiento hidrotérmico presentó una mayor ponderación para el olor característico del fruto. Estos resultados concuerdan con Paliyath et al. (2009) quienes determinaron que baños con agua caliente promovieron el desarrollo de aromas (olor y sabor) propios de los frutos.

Tabla 3.10. Características sensoriales de bananos maduros (grado=5)

Propiedad	Tratamiento		
	CK	CK+F	40 °C–20 min
Apariencia general	5,95 ± 0,86 ^a	8,15 ± 1,27 ^b	7,38 ± 0,97 ^b
Olor	3,80 ± 2,46 ^a	5,55 ± 2,08 ^b	8,12 ± 1,48 ^c
Sabor	7,42 ± 1,52 ^a	6,16 ± 2,31 ^a	7,08 ± 1,71 ^a
Dulzor	7,04 ± 1,85 ^a	5,45 ± 2,04 ^a	7,18 ± 2,05 ^a
Dureza	4,69 ± 2,46 ^a	3,98 ± 1,87 ^a	4,11 ± 2,44 ^a
Sabores extraños	0,64 ± 0,54 ^a	1,04 ± 0,79 ^a	1,03 ± 0,89 ^a

Media ± desviación de la propiedad sensorial (n=12), letras minúsculas en cada fila indican la mínima diferencia significativa (LSD) entre los tratamientos aplicados ($p < 0,05$).

En la Tabla 3.10 se observa que no existieron diferencias significativas entre los tratamientos para las características sensoriales: sabor, dulzor y dureza. La dureza se mantuvo dentro de valores bajos de 4, esto se debe a que la pulpa de los frutos posee menor firmeza en estados maduros. Además no se detectaron presencia de sabores extraños para ninguno de los tratamientos. No se ha reportado una alteración en el sabor del banano a causa de la aplicación de tratamientos hidrotérmicos en los estudios realizados en banano.

Los resultados del análisis sensorial respaldan lo obtenido en la evaluación de las características físico-química del banano. El tratamiento hidrotérmico de 40 °C durante 20 min no alteró la calidad sensorial de los bananos durante todo el período de almacenamiento. El mejor tratamiento térmico obtuvo una calidad sensorial igual a la del tratamiento convencional con fungicida y mejor a la del testigo (sin aplicación de un tratamiento).

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- ✓ Se aislaron e identificaron 10 géneros de hongos: *Fusarium*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Lasiodiplodia*, *Verticillium*, *Mucor*, *Colletotrichum*, *Aspergillus*, *Epicoccum* y *Cladosporium*, como agentes causales de las podredumbres en la poscosecha de banano orgánico proveniente del cantón Vinces.
- ✓ Se determinó que el mejor método de inoculación para la evaluación de la severidad de los hongos en bananos orgánicos, variedad a *Cavendish*, fue la inoculación del patógeno en una herida.
- ✓ El género más agresivo en el período poscosecha de banano orgánico fue *Colletotrichum* sp. a concentración de 10^6 conidios mL⁻¹.
- ✓ Para el control de la podredumbre causada por *Colletotrichum* sp. a 10^6 conidios mL⁻¹ el mejor tratamiento hidrotérmico fue el de 40 °C durante 20 min.
- ✓ El tratamiento hidrotérmico de 40 °C durante 20 min no afectó negativamente la calidad físico-química, ni la calidad sensorial de los bananos durante todo el período de almacenamiento.

4.2 RECOMENDACIONES

- ✓ Estudiar las condiciones de tiempo y temperatura de la aplicación de tratamientos hidrotérmicos mediante otros métodos de aplicación como cepillado y aspersion de agua caliente que permitan optimizar los recursos y mejorar la eficiencia del tratamiento calórico.
- ✓ Evaluar la patogenicidad de los géneros estudiados sobre plátanos, oritos y bananos rojos puesto a que poseen importancia económica en el país ya que son frecuentemente exportados.
- ✓ Evaluar la eficiencia del tratamiento hidrotérmico de 40 °C durante 20 min en combinación de otros métodos alternativos como aplicación de sustancias GRAS o aceites esenciales.
- ✓ Evaluar la tasa de respiración de los frutos sometidos a tratamientos hidrotérmicos para poder determinar cambios en el proceso de senescencia del banano.
- ✓ Evaluar la influencia de los tratamientos hidrotérmicos sobre otros procesos poscosecha del banano como la extracción de latex y maduración artificial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abd-Alla, M., El-Gamal, N., El-Mougy, N. y Abdel-Kader, M. (2014). Post-harvest treatments for controlling crown rot disease of Williams banana fruits (*Musa acuminata* L.) in Egypt. *Journal of Fungal Biology-ISSN*, 2229, 2217. Recuperado de http://www.plantpathologyquarantine.org/pdf/PPQ_4_1_1.pdf (Mayo, 2016)
2. Abd-Elsalam, K. (2009). First report of *Fusarium thapsinum* on imported banana fruits into Saudi Arabia. *Pest Technol*, 3(1), 25-27. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/259821956_First_Report_of_Fusarium_thapsinum_on_Imported_Banana_Fruits_into_Saudi_Arabia (Abril, 2015)
3. Abd-Elsalam, K., Roshdy, S., Amin, O. y Rabani, M. (2010). First morphogenetic identification of the fungal pathogen *Colletotrichum musae* (*Phyllachoraceae*) from imported bananas in Saudi Arabia. *Genet Mol Res*, 9(4), 2335-2342. doi:10.4238/vol9-4gmr972
4. Acedo Jr, A., Benetiz, M. y Millan, L. (2000). Heat treatment effects on ripening and disease infection of Philippine bananas and mangoes. *IV International Conference on Postharvest Science* 553(417-420). doi:10.17660/ActaHortic.2001.553.95
5. Alves, A., Crous, P., Correia, A. y Phillips, A. (2008). Morphological and molecular data reveal cryptic speciation in *Lasiodiplodia theobromae*. *Fungal Diversity*, 28(1), 1-13. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Antonio_Correia3/publication/40095352_Morphological_and_molecular_data_reveal_cryptic_speciation_in_Lasiodiplodia_theobromae/links/0fcfd50b4907d0a94000000.pdf (Mayo, 2016)

6. Alvindia, D. (2012a). Improving control of crown rot disease and quality of pesticide-free banana fruit by combining *Bacillus amyloliquefaciens* DGA14 and hot water treatment. *European Journal of Plant Pathology*, 136(1), 183-191. doi:10.1007/s10658-012-0154-7
7. Alvindia, D. (2012b). Revisiting hot water treatments in controlling crown rot of banana cv. *Buñgulan*. *Crop Protection*, 33, 59-64. doi:10.1016/j.cropro.2011.09.023
8. Alvindia, D. (2013). Sodium bicarbonate enhances efficacy of *Trichoderma harzianum* DGA01 in controlling crown rot of banana. *Journal of General Plant Pathology*, 79(2), 136-144. doi:10.1007/s10327-013-0432-z
9. Alvindia, D. G., Kobayashi, T., Natsuaki, K. T. y Tanda, S. (2004). Inhibitory influence of inorganic salts on banana postharvest pathogens and preliminary application to control crown rot. *Journal of General Plant Pathology*, 70(1), 61-65. doi:10.1007/s10327-003-0084-5
10. AOAC:942.15. (2005). Acidity (Titrable) of Fruit Products *Official Methods of Analysis of AOAC International*.
11. Arrieta, M., Higuera, B. y Martínez, T. (2010). Inducción de fenilalanina amonio liasa y variación en el contenido de compuestos fenólicos en frutos de lulo (*Solanum quitoense* lam) infectados con *Colletotrichum acutatum*. *Acta Biológica Colombiana*, 15(1), 129-144. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-548X2010000100009 (Junio, 2016)
12. Asociación de Bananeros de Colombia. (2009). Identificación y manejo integrado de plagas en Banano y Plátano. Recuperado de <http://cep.unep.org/repcar/proyectos-demostrativos/colombia-1/publicaciones-colombia/plagas-defintiva.pdf> (Julio, 2016)

13. Banco Central del Ecuador. (2015). *Exportaciones por producto: Banano*. Banco Central del Ecuador. Recuperado de <http://www.bce.fin.ec/comercioExteriorBi/comercio/consultaTotXNandinaConGraficoV2.jsp> (Junio, 2016)
14. Bastiaanse, H., de Lapeyre de Bellaire, L., Lassois, L., Misson, C. y Jijakli, M. H. (2010). Integrated control of crown rot of banana with *Candida oleophila* strain O, calcium chloride and modified atmosphere packaging. *Biological Control*, 53(1), 100-107. doi:10.1016/j.biocontrol.2009.10.012
15. Bastidas, O. (2002). *Conteo Celular con Hematocitómetro-Usa Elemental del Hematocitómetro*. Recuperado de: <http://celeromics.com/es/resources/docs/Articles/Conteo-Camara-Neubauer.pdf> (Julio, 2016)
16. Bazie, S., Ayalew, A. y Woldetsadik, K. (2014). Integrated management of postharvest banana anthracnose (*Colletotrichum musae*) through plant extracts and hot water treatment. *Crop Protection*, 66, 14-18. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2014.08.011> (Mayo, 2016)
17. Cartaya, N., Domínguez, E., Duque, M., Torres, J., González-Moro, J., Pereyra, J. y Perera, S. (2011). Evaluación de eficacia de productos naturales para el control de la pudrición de corona (Crown rot) en platano: Biomusa. Recuperado de http://www.agrocabildo.org/publica/publicaciones/subt_393_ensayo_postcosecha_platano.pdf (Julio, 2016)
18. Chen, C. y Ramaswamy, H. (2002). Color and texture change kinetics in ripening bananas. *LWT-Food Science and Technology*, 35(5), 415-419. doi:0023-6438/02/\$35.00

19. Cheng, G., Duan, X., Jiang, Y., Sun, J., Yang, S., Yang, B. y Luo, Y. (2009). Modification of hemicellulose polysaccharides during ripening of postharvest banana fruit. *Food chemistry*, 115(1), 43-47. doi:10.1016/j.foodchem.2008.11.065
20. Cruz, M., Schwan-Estrada, K., Clemente, E., Itako, A., Stangarlin, J. y Cruz, M. (2013). Plant extracts for controlling the post-harvest anthracnose of banana fruit. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 15(4), 727-733. <http://www.scielo.br/pdf/rbpm/v15n4s1/13.pdf> (Julio, 2016)
21. Dadzie, B. y Orchard, J. (1998). *Evaluación rutinaria postcosecha de híbridos de bananos y plátanos: criterios y métodos: Evaluación rutinaria postcosecha de híbridos de bananos y plátanos: criterios y métodos*. Recuperado de http://www.biodiversityinternational.org/uploads/tx_news/Routine_post-harvest_screening_of_banana_plantain_hybrids__Criteria_and_methods_235_ES.pdf (Marzo, 2015)
22. Daundasekera, M., Joyce, D., Aked, J. y Adikaram, N. (2003). Ethylene production by *Colletotrichum musae* in vitro. *Physiological and molecular plant pathology*, 62(1), 21-28. Recuperado de [http://dx.doi.org/10.1016/S0885-5765\(03\)00024-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0885-5765(03)00024-9) (Mayo, 2016)
23. De Costa, D. y Erabadupitiya, H. (2005). An integrated method to control postharvest diseases of banana using a member of the *Burkholderia cepacia* complex. *Postharvest Biology and Technology*, 36(1), 31-39. doi:10.1016/j.postharvbio.2004.11.007
24. De Costa, D. y Gunawardhana, H. (2012). Effects of sodium bicarbonate on pathogenicity of *Colletotrichum musae* and potential for controlling postharvest diseases of banana. *Postharvest Biology and Technology*, 68, 54-63. doi:10.1016/j.postharvbio.2012.02.002

25. De Costa, D., Zahra, A., Kalpage, M. y Rajapakse, E. (2008). Effectiveness and molecular characterization of *Burkholderia spinosa*, a prospective biocontrol agent for controlling postharvest diseases of banana. *Biological Control*, 47(3), 257-267. doi:10.1016/j.biocontrol.2008.08.010
26. de Lapeyre de Bellaire, L., Chillet, M. y Chilin-Charles, Y. (2008). Determination of banana fruit susceptibility to post-harvest diseases: wound anthracnose, quiescent anthracnose and crown rot. *Fruits*, 63(03), 183-186. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1051/fruits:20080098009> (Mayo,2016)
27. de Lapeyre de Bellaire, L., Chillet, M., Dubois, C. y Mourichon, X. (2000). Importance of different sources of inoculum and dispersal methods of conidia of *Colletotrichum musae*, the causal agent of banana anthracnose, for fruit contamination. *Plant pathology*, 49(6), 782-790. doi:10.1046/j.1365-3059.2000.00516.x
28. Diedhiou, P., Zakari, A., Mbaye, N., Faye, R. y Samb, P. (2014). Control methods for post-harvest diseases of banana (*Musa sinensis*) produced in Senegal. *International Journal of Science, Environment and Technology*, 3(5), 1648-1656. Recuperado de <http://www.ijset.net/journal/403.pdf> (abril, 2016)
29. Dirección de Inteligencia Comercial e Inversiones. (2013). *Análisis del sector Banano*. Recuperado de http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2013/09/PROEC_AS2013_BANANO.pdf (Marzo, 2016).
30. Dole. (2004). *Banana Color Guide: Fruit Fresh Company*. Recuperado de <http://www.fordsproduce.com/Forms/Fords-Produce-Banana-Color-Guide.pdf> (Marzo, 2015)

31. Edifarm. (2008). *Vademecum agrícola:Vademecum agrícola*. Quito, Ecuador.
32. Eng, F., Gutiérrez-Rojas, M., y Favela-Torres, E. (2003). Efecto de la temperatura y el pH en el crecimiento superficial de *Botryodiplodia theobromae* RC1. *Rev Iberoam Micol*, 20, 172-175. Recueprado de <http://reviberoammicol.com/2003-20/172175.pdf> (Agosto, 2016)
33. Ewané, C. A., Lassois, L., Brostaux, Y., Lepoivre, P. y de Lapeyre de Bellaire, L. (2013). The susceptibility of bananas to crown rot disease is influenced by geographical and seasonal effects. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 35(1), 27-36. doi:10.1080/07060661.2012.733731
34. Fallik, E. (2004). Prestorage hot water treatments (immersion, rinsing and brushing). *Postharvest Biology and Technology*, 32(2), 125-134. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2003.10.005> (Mayo,2015)
35. Flores, R. y Yahia, E. (2001). Tratamientos físicos en poscosecha de fruta y hortaliza. *Horticultura internacional*, (1), 80-89. Recuperado de <http://www.horticom.com/pd/imagenes/53/173/53173.pdf> (Mayo,2016)
36. Food and Drug Administration (FDA). (2014). *Generally Recognized as Safe (GRAS) Notification Program*. Recuperado de <http://www.fda.gov/animalveterinary/products/animalfoodfeeds/generall yrecognizedassafegrasnotifications/default.htm> (Mayo,2016)
37. Fu, G., Huang, S., Ye, Y., Wu, Y., Cen, Z. y Lin, S. (2010). Characterization of a bacterial biocontrol strain B106 and its efficacies on controlling banana leaf spot and post-harvest anthracnose diseases. *Biological Control*, 55(1), 1-10. doi:10.1016/j.biocontrol.2010.05.001

38. Garmendia, G. y Méndez, S. V. (2006). Métodos para la desinfección de frutas y hortalizas. *Horticultura: Revista de industria, distribución y socioeconomía hortícola: frutas, hortalizas, flores, plantas, árboles ornamentales y viveros*(197), 18-27. Recuperado de http://www.horticom.com/revistasonline/horticultura/rh197/18_27.pdf (Mayo, 2016)
39. Hailu, M., Workneh, T. S., y Belew, D. (2013). Review on postharvest technology of banana fruit. *African Journal of Biotechnology*, 12(7). Recuperado de <http://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/126652> (Marzo, 2015)
40. Higuira, F., y Tangarife, V. (2013). *Glosario de Términos de Micología-Universidad de Antioquia*. Recuperado de <http://aprendeonline.udea.edu.co/lms/moodle/mod/glossary/view.php?id=100748> (Agosto,2016)
41. Inderbitzin, P., Bostock, R., Davis, R., Usami, T., Platt, H, y Subbarao, K. (2011). Phylogenetics and taxonomy of the fungal vascular wilt pathogen *Verticillium*, with the descriptions of five new species. *PloS one*, 6(12), 1-22. doi:10.1371/journal.pone.0028341
42. INEN:2801. (2005). *Norma para el Banano (Plátano)*. Recuperado de <http://apps.inen.gob.ec/descarga/> (Marzo, 2015)
43. ISO:750. (1998). Fruit and vegetable products: determination of titratable acidity *International Standard*.
44. ISO:2173. (2003). Fruit and vegetable products: determination of soluble solids. Refractometric method *International Standard*.

45. ISO:13301. (2002). Sensory analysis: methodology. General guidance for measuring odour, flavour and taste detection thresholds by a three-alternative forced-choice (3-AFC) procedure. *International Standard*.
46. Jabnoun-Khiareddine, H., Daami-Remadi, M., Barbara, D. y El Mahjoub, M. (2010). Morphological Variability Within and Among *Verticillium* Species Collected in Tunisia. *Tunisian Journal of Plant Protection*, 5(1), 19-38. doi:10.2135/cropsci2000.402365x
47. Janisiewicz, W. J. y Korsten, L. (2002). Biological control of postharvest diseases of fruits. *Annual review of phytopathology*, 40(1), 411-441. doi:10.1146/annurev.phyto.40.120401.130158
48. Jinasena, D., Pathirathna, P., Wickramarachchi, S. y Marasinghe, E. (2011). *Use of chitosan to control anthracnose on "Embul" banana*. 2011 *International Conference on Asia Agriculture and Animal IPCBEE 13*, 56-60. Recuperado de <http://www.ipcbee.com/vol13/11-A10017.pdf> (Agosto, 2016)
49. Joas, J., y Malisart, S. (2001). Incidence des conditions d'application sur l'efficacité des fongicides utilisés en post-récolte pour la banane. *Fruits*, 56(6), 383-394. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1051/fruits:2001101> (Mayo, 2016)
50. Jones, D. R. (2000). *Diseases of banana, abacá and enset: Diseases of banana, abacá and enset*. Australia: CABI.
51. Kader, A. (2013). *Banana: Recommendations for Maintaining Postharvest Quality*. Recuperado de <http://postharvest.ucdavis.edu/PFfruits/Banana/> (Mayo, 2016)

52. Krauss, U. y Johanson, A. (2000). Recent advances in the control of crown rot of banana in the Windward Islands. *Crop Protection*, 19(3), 151-159. Recuperado de [http://dx.doi.org/10.1016/S0261-2194\(99\)00097-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0261-2194(99)00097-6) (Agosto, 2015)
53. Kumlachew, A. (2014). Importance and Pathogen Spectrum of Crown Rot of Banana in Jimma Town, Southwestern Ethiopia *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 4(23), 106-111. Recuperado de: <http://www.iiste.org/Journals/index.php/JBAH/article/viewFile/16602/16988> (Mayo, 2016)
54. Lassois, L. y de Lapeyre de Bellaire, L. (2014). Crown Rot Disease of Bananas. En S. Bautista-Baños (Ed.), *Postharvest Decay: Control Strategies* (pp. 103-130). Estados Unidos: Elsevier.
55. Lassois, L., de Lapeyre de Bellaire, L. y Jijakli, M. H. (2008). Biological control of crown rot of bananas with *Pichia anomala* strain K and *Candida oleophila* strain O. *Biological Control*, 45(3), 410-418. doi: 10.1016/j.biocontrol.2008.01.013
56. Lassois, L., Jijakli, M. H., Chillet, M. y de Lapeyre de Bellaire, L. (2010). Crown Rot of Bananas: Preharvest Factors Involved in Postharvest Disease Development and Integrated Control Methods. *Plant Disease*, 94(6), 648-658. doi:10.1094/pdis-94-6-0648
57. Lim, J., Lim, T. y Cha, B. (2002). Isolation and Identification of *Colletorichum musae* from Imported Bananas. *The Plant Pathology Journal*, 18(3), 161-164. Recuperado de http://ocean.kisti.re.kr/download/volume/kspp/E1PPBG/2002/v18n3/E1PPBG_2002_v18n3_161.pdf (Mayo, 2015)

58. López, F. y Gómez, P. (2004). Comparison of color indexes for tomato ripening. *Horticultura Brasileira*, 22(3), 534-537. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362004000300006> (Mayo, 2016)
59. Maqbool, M., Ali, A. y Alderson, P. (2010). Effect of cinnamon oil on incidence of anthracnose disease and postharvest quality of bananas during storage. *International Journal of Agriculture and Biology*, 12(4), 516-520. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Asgar_Ali2/publication/265511047_Effect_of_Cinnamon_Oil_on_Incidence_of_Anthracnose_Disease_and_Postharvest_Quality_of_Bananas_during_Storage/links/541100ca0cf2d8daaad3df76.pdf (Junio, 2015)
60. Maqbool, M., Ali, A., Alderson, P., Mohamed, M., Siddiqui, Y. y Zahid, N. (2011). Postharvest application of gum arabic and essential oils for controlling anthracnose and quality of banana and papaya during cold storage. *Postharvest Biology and Technology*, 62(1), 71-76. doi:10.1016/j.postharvbio.2011.04.002
61. Maqbool, M., Ali, A., Ramachandran, S., Smith, D. y Alderson, P. (2010). Control of postharvest anthracnose of banana using a new edible composite coating. *Crop Protection*, 29(10), 1136-1141. doi:10.1016/j.cropro.2010.06.005
62. Marin, D., Sutton, T., Blankenship, S. y Swallow, W. (1996). Pathogenicity of fungi associated with crown rot of bananas in Latin America on Grande Naine and disease-resistant hybrid bananas. *Plant Disease*, 80(5), 525-528. Receuperado de http://www.apsnet.org/publications/PlantDisease/BackIssues/Documents/1996Articles/PlantDisease80n05_525.pdf (Septiembre, 2015)

63. Masudi, S. y Bonjar, G. (2012). Fulfillment of Koch's postulates for in vitro pathogenicity of *Musicillium Theobromae* (Turconi) Zare & w. Gams as the cause of banana cigar end rot disease. *Journal of Plant Protection Research*, 52(4), 410-414. Recuperado de [http://www.plantprotection.pl/pdf/52\(4\)/JPPR_52\(4\)_06_Masudi.pdf](http://www.plantprotection.pl/pdf/52(4)/JPPR_52(4)_06_Masudi.pdf) (Abril, 2016)
64. Mirshekari, A., Ding, P., Kadir, J., y Ghazali, H. (2012). Effect of hot water dip treatment on postharvest anthracnose of banana var. *Berangan*. *African Journal of Agricultural Research*, 7(1), 6-10. doi:10.5897/AJAR11.056
65. Mondal, A. y Parbery, D. (2005). The protective role of the spore matrix of *Colletotrichum musae* during rehydration and exposure to extreme temperatures and UV radiation. *Australasian Plant Pathology*, 34(2), 229-235. doi:10.1071/AP05030
66. Nath, K., Solanky, K. y Bala, M. (2015). Management of Banana (*Musa Paradisiaca* 1 L) Fruit Rot Diseases using Fungicides. *J Plant Pathol Microb*, 6(298), 2. doi: dx.doi.org/10.4172/2157-7471.1000298
67. Nunes, C. (2012). Biological control of postharvest diseases of fruit. *European Journal of Plant Pathology*, 133(1), 181-196. doi:10.1007/s10658-011-9919-7
68. Orellana, H., Solórzano, H., Bonilla, A., Salazar, G., Falconí-Borja, C. y Velasteguí, R. (2008). Vademecum agrícola. En EDIFARM (Ed.), *Vademecum Agrícola* (pp. 1028). Quito, Ecuador.
69. Paliyath, G., Murr, D. P., Handa, A. K. y Lurie, S. (2009). *Postharvest biology and technology of fruits, vegetables, and flowers: Postharvest biology and technology of fruits, vegetables, and flowers*. Estados Unidos: Wiley-Blackwell.

70. Palou, L. (2007). Evaluación de alternativas para el tratamiento antifúngico en poscosecha de cítricos de producción integrada. *Horticultura: Revista de industria, distribución y socioeconomía hortícola: frutas, hortalizas, flores, plantas, árboles ornamentales y viveros*(200), 82-93. Recuperado de http://www.horticom.com/revistasonline/revistas/rh200/082_093.pdf (Junio, 2016)
71. Pássaro-Carvalho, C., Nunes, C. y Palou, L. (2012). Control de enfermedades de poscosecha. En G. Luis (Ed.), *Cítricos: cultivo, poscosecha e industrialización* (pp. 285-306). Itagüí, Colombia: Caldas: Corporación Universitaria Lasallista.
72. Pegg, G. F. y Brady, B. L. (2002). *Verticillium wilts*. Reino Unido:CABI.
73. Perera, S. D., Hernández, J. M., Piedra, A. y Duque, M. (2012). *Eficacia in vitro del peróxido de hidrógeno sobre especies fúngicas componentes del complejo de la pudrición de corona del plátano*. Recuperado de <http://biomusa.net/en/documentos/53-eficacia-in-vitro-peroxido-hidrogeno-sobre-especies-fungicas-componentes-complejo-pudricion-corona-platano?path> (Mayo, 2015)
74. Pérez, L., Sáenz, M. y Mauri, F. (2001). Control de la pudrición de la corona de los bananos en Cuba. I. Eficacia de benzimidazoles, imidazoles y triazoles. *Fitosanidad*, 5(4), 31-38. Recuperado de <http://www.actaf.co.cu/revistas/fitosanidad/2001/2001-5-4/Art.%206.pdf> (Febrero, 2016)
75. Pérez, L. y Vidal, I. (2002). Aspectos de la biología de *Colletotrichum musae* (Berk. y Curt.) V. Arx y *Fusarium pallidoroseum* (Cooke) Saccardo, agentes causales de la pudrición de la corona de los bananos (*Musa* sp.) en Cuba. *Fitosanidad*. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/2091/209118145001.pdf> (Julio, 2016)

76. Piontelli, E. (2008). Aportes morfotaxonómicos en el género *Aspergillus* Link: claves para las especies ambientales y clínicas más comunes. *Boletín Micológico*, 23.
77. Pitt, J., y Hocking, A. (2009). *Fungi and food spoilage: Fungi and food spoilage*. (3th ed). Estados Unidos: Springer Link.
78. Pongprasert, N., Sekozawa, Y., Sugaya, S. y Gemma, H. (2011). A novel postharvest UV-C treatment to reduce chilling injury (membrane damage, browning and chlorophyll degradation) in banana peel. *Scientia Horticulturae*, 130(1), 73-77. doi:10.1016/j.scienta.2011.06.006
79. PROECUADOR. (2014). *Banano*. Recuperado de <http://www.proecuador.gob.ec/exportadores/sectores/banano/> (Agosto, 2015)
80. Ramírez, M., Sáenz, M. V., y Vargas, A. (2011). Efecto de la inmersión en agua caliente sobre la secreción de látex por la corona de gajos recién conformados de frutos de banano. *Agronomía Costarricense*, 35(1), 1-14. Recuperado de <http://www.scielo.sa.cr/pdf/ac/v35n1/a01v35n1> (Junio, 2015)
81. Ranasinghe, L., Jayawardena, B., y Abeywickrama, K. (2002). Fungicidal activity of essential oils of *Cinnamomum zeylanicum* (L.) and *Syzygium aromaticum* (L.) Merr et LM Perry against crown rot and anthracnose pathogens isolated from banana. *Letters in Applied Microbiology*, 35(3), 208-211. doi:10.1046/j.1472-765X.2002.01165.x
82. Raut, S., y Ranade, S. (2004). Diseases of banana and their management. En Naqvi (Ed.). *Diseases of Fruits and Vegetables*, (pp. 37-52). Países Bajos: Kluwer Academic.

83. Riera, N. (2015). *Caracterización molecular y de patogenicidad de Colletotrichum spp, en bananas var Cavendish y pruebas de antagonismo con Trichoderma spp., recolectadas en fincas bananeras de la región costa del Ecuador.* (Trabajo de titulación presentado como requisito para la obtención del título de Ingeniera en Agroempresa). Universidad San Francisco de Quito, Quito-Ecuador.
84. Robinson, J. y Saúco, V. (2010). *Bananas and plantains: Bananas and plantains.* Recuperado de [https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=0GxOPqj2UVYC&oi=fnd&pg=PR5&dq=84.%09Robinson,+J.+y+Sa%C3%BAco,+V.+\(2010\).+Bananas+and+plantains:Bananas+and+plantains.\(&ots=fPzdEJQvnb&sig=pQhrm65nWwotAqmEB5qkN7nboTU#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=0GxOPqj2UVYC&oi=fnd&pg=PR5&dq=84.%09Robinson,+J.+y+Sa%C3%BAco,+V.+(2010).+Bananas+and+plantains:Bananas+and+plantains.(&ots=fPzdEJQvnb&sig=pQhrm65nWwotAqmEB5qkN7nboTU#v=onepage&q&f=false) (Mayo, 2016)
85. Rodov, V., Agar, T., Peretz, J., Nafussi, B., Kim, J. y Ben-Yehoshua, S. (2000). Effect of combined application of heat treatments and plastic packaging on keeping quality of 'Oroblanco' fruit (*Citrus grandis* L. × *C. paradisi* Macf.). *Postharvest Biology and Technology*, 20(3), 287-294. Recuperado de [http://dx.doi.org/10.1016/S0925-5214\(00\)00129-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0925-5214(00)00129-0) (Julio, 2016)
86. Salazar, G. (2012). *Tips en cosecha y poscosecha de Banano.* Recuperado de <http://www.fumicar.com.ec/Tips%20en%20cosecha%20y%20postcosecha%20de%20banano.pdf> (Junio, 2016)
87. Sangeetha, G., Thangavelu, R., Rani, S., y Muthukumar, A. (2013). Antimicrobial activity of medicinal plants and induction of defense related compounds in banana fruits cv. *Robusta* against crown rot pathogens. *Biological Control*, 64(1), 16-25. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2011.12.013> (Marzo, 2016)

88. Schilder, A., Gillett, J., y Sysak, R. (2001). Evaluation of fungicides for control of anthracnose fruit rot of blueberries. *Fungicide and Insecticide Tests* 2001. Recuperado de <http://www.scisoc.org/online/FNtests/2001/top.htm> (Junio, 2015)
89. Sharma, R., Singh, D. y Singh, R. (2009). Biological control of postharvest diseases of fruits and vegetables by microbial antagonists: A review. *Biological Control*, 50(3), 205-221. doi:10.1016/j.biocontrol.2009.05.001
90. Snowdon, A. (2010). *Colour atlas of post-harvest diseases and disorders of fruits and vegetables: Colour atlas of post-harvest diseases and disorders of fruits and vegetables*. Londres: Manson.
91. Summerell, A., Salleh, B., y Leslie, F. (2003). A utilitarian approach to *Fusarium* identification. *Plant Disease*, 87(2), 117-128. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS.2003.87.2.117> (Abril, 2016)
92. Syah, J. (2013). Banana Tree. Recuperado de <http://www.turbosquid.com/3d-models/banana-tree-3d-3ds/769073> (Agosto, 2016).
93. Taechowisan, T., Chuaychot, N., Chanaphat, S., Wanbanjob, A. y Tantiwachwutikul, P. (2009). Antagonistic effects of *Streptomyces* sp. SRM1 on *Colletotrichum musae*. *Biotechnology*, 8(1), 86-92. doi:10.3923/biotech.2009.86.92
94. Tang, J. (2007). *Heat treatments for postharvest pest control: theory and practice*. doi:10.1079/9781845932527.0000
95. Thangavelu, R., Sangeetha, G. y Mustafa, M. (2007). Cross-infection potential of crown rot pathogen (*Lasiodiplodia theobromae*) isolates and their management using potential native bioagents in banana. *Australasian Plant Pathology*, 36(6), 595-605. doi:10.1071/AP07072

96. Ting, A. S. Y., Hoon, T. S., Kay, W. M., y Ern, C. L. (2010). Characterisation of actinobacteria with antifungal potential against *Fusarium* crown-rot pathogen. *Pest Technology*, 4(1), 65-69. Recuperado de [http://www.globalsciencebooks.info/Online/GSBOnline/images/2010/PT_4\(1\)/PT_4\(1\)65-69o.pdf](http://www.globalsciencebooks.info/Online/GSBOnline/images/2010/PT_4(1)/PT_4(1)65-69o.pdf) (Mayo, 2015)
97. Tormo, R. (2014). Glosario Plantas y Hongos-Universidad de Extremadura Recuperado de <http://www.plantasyhongos.es/referencias/autor.htm> (Agosto, 2016)
98. Tovar-Pedraza, M., Mora-Aguilera, A., Nava, C., Téliz, D., Valdovinos-Ponce, G., Villegas, Á., y Hernández, J. (2012). Identificación, patogenicidad e histopatología de *Lasiodiplodia theobromae* en injertos de zapote mamey en Guerrero, México. *Agrociencia*, 46(2), 147-161.
99. Tripathi, P., y Dubey, N. (2004). Exploitation of natural products as an alternative strategy to control postharvest fungal rotting of fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 32(3), 235-245. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2003.11.005> (Septiembre, 2015)
100. Universidad de California, D. (2013). *Banana Disorders*. Recuperado de <http://postharvest.ucdavis.edu/PFfruits/BananaPhotos/?repository=29277&a=83202> (Mayo, 2016)
101. Villalta, R., Sample, M., Shields, D. y Guzmán, M. (2006). Evaluación de fungicidas y mezclas de fungicidas para el combate de enfermedades poscosecha del banano (*Musa AAA*). *Corbana (Costa Rica)*, 32(59), 17-33.

102. Viñas, I., Teixidó, N., Abadias, M., Torres, R. y Usall, J. (2006). *Alternativas a los fungicidas de síntesis en el control de las enfermedades de postcosecha de frutas*. Recuperado de <http://www.horticom.com/pd/imagenes/66/025/66025.pdf> (Agosto, 2016)
103. Viñas, M., Usall, J., Echeverria, G., Graell, J., y Recasens, I. (2013). *Postcosecha de pera, manzana y melocotón*. España: Mundi-Prensa Libros.
104. Win, K., Jitareerat, P., Kanlayanarat, S. y Sangchote, S. (2007). Effects of cinnamon extract, chitosan coating, hot water treatment and their combinations on crown rot disease and quality of banana fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 45(3), 333-340. doi:10.1016/j.postharvbio.2007.01.020
105. Yang, X., Song, J., Fillmore, S., Pang, X., y Zhang, Z. (2011). Effect of high temperature on color, chlorophyll fluorescence and volatile biosynthesis in green-ripe banana fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 62(3), 246-257. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.06.011> (Mayo, 2015)
106. Zaman, W., Paul, D., Alam, K., Ibrahim, M. y Parvez, H. (2007). Shelf life extension of banana (*Musa sapientum*) by gamma radiation. *Journal of Bio-Science* (3), 50-52. Recuperado de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.429.6487&rep=rep1&type=pdf> (Agosto, 2016).
107. Zare, R., Gams, W., Starink-Willemse, M. y Summerbell, R. (2007). *Gibellulopsis*, a suitable genus for *Verticillium nigrescens*, and *Musicillium*, a new genus for *V. theobromae*. *Nova Hedwigia*, 85(3-4), 463-489. doi:10.1127/0029-5035/2007/0085-0463

ANEXOS

ANEXO I

GRADOS DE MADUREZ DEL BANANO

La Figura Al.1 muestra la escala de grados de madurez de los bananos variedad Cavendish.








1		<p>ALL GREEN</p> <p>As received at your warehouse from Central and South America</p>
2		<p>LIGHT GREEN</p> <p>First color change during warehouse processing, usually seen on the shoulder.</p>
3		<p>50% GREEN, 50% YELLOW</p> <p>Recommended color for warehouse outturn. Adjust back or ahead of delivery time, temperature, distance and retail color preferences. Consumer purchase now to enjoy later.</p>
4		<p>MORE YELLOW THAN GREEN</p> <p>Ready for retail display. Great eye appeal and long product life. Minimum shrink for retailer.</p>
5		<p>YELLOW WITH GREEN TIPS</p> <p>Most popular color stage for consumer purchase. Since higher temperatures speed color change, this color can be maintained longer by holding boxes in a cool area at 56° to 60 °F.</p>
6		<p>FULL YELLOW</p> <p>Firm fruit with great eating flavor. Easily bruised – handle with extra care.</p>
7		<p>YELLOW FLECKED WITH BROWN</p> <p>Sweet eating flavor. Perfect texture and consistency for blender drinks and baking.</p>

Figura Al.1. Tabla de grados de madurez del banano

(Dole, 2004)

ANEXO II

METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE LA FIRMEZA


La Figura A.II.1 muestra la metodología para la medición de la firmeza en bananos. Se puede observar que se realiza la medición de 1 cm del corte transversal de la pulpa con cáscara.



Figura AII.1. Medición de la firmeza en un banano

ANEXO III

**FORMATO PARA LA EVALUACIÓN SENSORIAL DESCRIPTIVA
DE BANANOS**

	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA
	LABORATORIO DE POSCOSECHA ANÁLISIS SENSORIAL

PRODUCTO: BANANO ORGÁNICO

NOMBRE: **FECHA:** **HORA:**

La prueba es sencilla, consiste en valorar cada una de las muestras recibidas marcando con una raya vertical en la escala de calificación DE ACUERDO A CADA UNO DE LOS ATRIBUTOS. Sobre dicha raya debe colocar el número correspondiente a la muestra recibida. Usted recibirá tres muestras.

APARIENCIA GENERAL

|-----|
 MUY SECO MUY FRESCO

OLOR

|-----|
 DÉBIL INTENSO

SABOR A FRUTO

|-----|
 INSÍPIDO INTENSO

DULZOR

|-----|
 DÉBIL FUERTE

DUREZA

|-----|
 BLANDO FIRME

SABORES EXTRAÑOS

|-----|
 AUSENCIA PRESENCIA
INTENSA

COMENTARIOS:

.....

.....

MUCHAS GRACIAS
POR SU COLABORACIÓN

SV/GH

Figura AIII.1. Encuesta para la evaluación descriptiva de los atributos de bananos

ANEXO IV

PODREDUMBRE DE BANANOS



Figura AIV.1. Podredumbre de bananos mantenidos a temperatura ambiental ($\sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) durante 21 días



Figura AIV.2. Podredumbre de los frutos mantenidos a temperatura ambiental ($\sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) durante 21 días

ANEXO V

ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA SEVERIDAD DE LOS GÉNEROS ESTUDIADOS

La Tabla AV.1 muestra el ANOVA de la influencia del tipo de género fúngico y de las concentraciones de 10^4 y 10^6 conidias mL^{-1} sobre la severidad de la podredumbre (cm).

Tabla AV.1. Análisis de varianza (ANOVA) de la severidad de las cepas fúngicas a dos concentraciones 10^4 y 10^6 conidias mL^{-1}

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:CEPA	237,339	3	79,1129	207,33	0,0000
B:CONCENTRACIÓN	45,5556	1	45,5556	119,39	0,0000
C:DIA	330,61	7	47,23		
INTERACCIONES					
AB	61,1383	3	20,3794	53,41	0,0000
RESIDUOS	971,131	2545	0,381584		
TOTAL (CORREGIDO)	1645,77	2559			

Los valores-p determinan la significancia estadística de cada factor con 95,0 % de nivel de confianza.

ANEXO VI

ANÁLISIS DE VARIANZA DEL EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS APLICADOS EN LA SEVERIDAD DEL GÉNERO MÁS PATOGENICO

La Tabla VI.1 muestra el ANOVA de la influencia de los factores tiempo y temperatura de inmersión de los tratamientos hidrotérmicos por separado y su interacción sobre la severidad de la podredumbre (cm) del género más patogénico.

Tabla VI.1. Análisis de varianza (ANOVA) para la severidad de los tratamientos hidrotérmicos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:TIEMPO DE INMERSIÓN	171,247	3	57,0824	64,58	0,0000
B:TEMPERATURA	227,738	2	113,869	128,82	0,0000
C:DIA	17808,5	14	1272,04		
INTERACCIONES					
AB	458,704	6	76,4506	86,49	0,0000
RESIDUOS	6341,58	7174	0,883967		
TOTAL (CORREGIDO)	25007,8	7199			

Los valores-p determinan la significancia estadística de cada factor con 95,0 % de nivel de confianza.

ANEXO VII

ANÁLISIS DE VARIANZA DE LAS CARACTERÍSTICAS POSCOSECHA

Las Tablas muestran el ANOVA de la influencia de los factores tiempo y temperatura de inmersión de los tratamientos hidrotérmicos por separado y su interacción sobre las características poscosecha.

Tabla AVII.1. Análisis de varianza (ANOVA) para la pérdida de peso de los tratamientos hidrotérmicos aplicados en bananos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TIEMPO	101,576	3	33,8587	22,99	0,0000
B:TEMPERATURA	260,684	2	130,342	88,49	0,0000
C:dia	20195,2	7	2885,03		
INTERACCIONES					
AB	103,391	6	17,2318	11,70	0,0000
TOTAL (CORREGIDO)	23460,9	1919			

Los valores-p determinan la significancia estadística de cada factor con 95,0 % de nivel de confianza.

Tabla AVII.2. Análisis de varianza (ANOVA) para índice de madurez de los bananos sometidos a tratamientos hidrotérmicos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TEP	13,2333	2	6,61667	8,46	0,0002
B:TIEMPO	9,68646	3	3,22882	4,13	0,0064
C:dia	3159,74	3	1053,25		
INTERACCIONES					
AB	8,19167	6	1,36528	1,75	0,1074
RESIDUOS	739,151	945	0,78217		
TOTAL (CORREGIDO)	3930,0	959			

Los valores-p determinan la significancia estadística de cada factor con 95,0 % de nivel de confianza.

Tabla AVII.3. Análisis de varianza (ANOVA) para la saturación de la piel de los bananos sometidos a tratamientos hidrotérmicos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:TIEMPO	234,737	3	78,2458	7,03	0,0001
B:TEMP	757,499	2	378,749	34,03	0,0000
C:dia	7277,39	3	2425,8		
INTERACCIONES					
AB	469,535	6	78,2559	7,03	0,0000
RESIDUOS	21200,0	1905	11,1286		

Los valores-p determinan la significancia estadística de cada factor con 95,0 % de nivel de confianza.

Tabla AVII.4. Análisis de varianza (ANOVA) para la Luminosidad de la piel de los bananos sometidos a tratamientos hidrotérmicos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:TIEMPO	900,896	3	300,299	15,85	0,0000
B:TEMP	1361,5	2	680,752	35,94	0,0000
C:dia	17736,0	3	5912,0		
INTERACCIONES					
AB	1057,13	6	176,188	9,30	0,0000
RESIDUOS	36068,6	1904	18,9436		
TOTAL (CORREGIDO)	57126,7	1918			

Los valores-p determinan la significancia estadística de cada factor con 95,0 % de nivel de confianza.

Tabla AVII.5. Análisis de varianza (ANOVA) para el tono de la piel de los bananos sometidos a tratamientos hidrotérmicos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TEP	228,351	3	76,117	1,68	0,1698
B:TIEMPO	40,1486	2	20,0743	0,44	0,6426
C:dia	218933,	3	72977,7	1608,26	0,0000
INTERACCIONES					
AB	271,404	6	45,234	1,00	0,4257
RESIDUOS	86442,8	1905	45,3768		
TOTAL (CORREGIDO)	305916,	1919			

Los valores-p determinan la significancia estadística de cada factor con 95,0 % de nivel de confianza.

Tabla AVII.6. Análisis de varianza (ANOVA) para la firmeza de los bananos sometidos a tratamientos hidrotérmicos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TEP	4361,32	3	1453,77	1,45	0,2271
B:TIEMPO	13321,2	2	6660,6	6,63	0,0013
C:dia	1,86866E6	3	622887,		
INTERACCIONES					
AB	27266,5	6	4544,41	4,52	0,0001
RESIDUOS	2,39559E6	2385	1004,44		
TOTAL (CORREGIDO)	4,30919E6	2399			

Los valores-p determinan la significancia estadística de cada factor con 95,0 % de nivel de confianza.

Tabla AVII.7. Análisis de varianza (ANOVA) para sólidos solubles de los bananos sometidos a tratamientos hidrotérmicos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:TEP	0,9425	3	0,314167	0,11	0,9513
B:TIEMPO	2,42667	2	1,21333	0,44	0,6422
C:dia	5726,39	3	1908,8		
INTERACCIONES					
AB	9,0	6	1,5	0,55	0,7705
RESIDUOS	483,781	177	2,73323		
TOTAL (CORREGIDO)	6222,54	191			

Los valores-p determinan la significancia estadística de cada factor con 95,0 % de nivel de confianza.

Tabla AVII.8. Análisis de varianza (ANOVA) para el pH de los bananos sometidos a tratamientos hidrotérmicos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:TEP	0,0246516	3	0,00821719	0,33	0,8045
B:TIEMPO	0,0621135	2	0,0310568	1,24	0,2911
C:dia	1,97579	3	0,658596		
INTERACCIONES					
AB	0,251478	6	0,041913	1,68	0,1290
RESIDUOS	4,42297	177	0,0249885		
TOTAL (CORREGIDO)	6,737	191			

Los valores-p determinan la significancia estadística de cada factor con 95,0 % de nivel de confianza.

Tabla AVII.9. Análisis de varianza (ANOVA) para la acidez titulable (%) de los bananos sometidos a tratamientos hidrotérmicos

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TEP	0,00598958	3	0,00199653	0,59	0,6209
B:TIEMPO	0,00697917	2	0,00348958	1,04	0,3573
C:dia	0,466406	3	0,155469		
INTERACCIONES					
AB	0,0263542	6	0,00439236	1,30	0,2581
RESIDUOS	0,596719	177	0,00337129		
TOTAL (CORREGIDO)	1,10245	191			

Los valores-p determinan la significancia estadística de cada factor con 95,0 % de nivel de confianza.

ANEXO VIII

DAÑOS EN LA PIEL DEL BANANO

Las Figuras AVIII.1 y AVIII.2 muestran los daños en la piel de los frutos a los que se aplicó baños con agua caliente a temperatura de 50 °C durante 10 y 20 min.



Figura AVIII.1. Daños en la piel inmediatamente después de la aplicación de los tratamientos hidrotérmicos de (a) 50 °C durante 10 min y (b) 50 °C durante 20 min

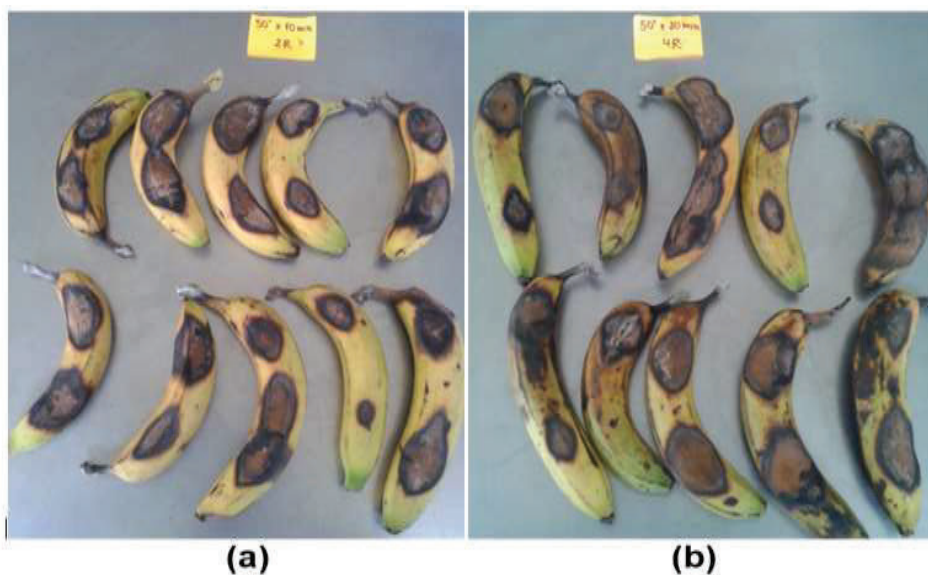


Figura AVIII.2. Podredumbre de *Colletotrichum* sp. (10^6 conidios mL⁻¹) a los 28 días de almacenamiento de los bananos sometidos a tratamientos hidrotérmicos de (a) 50 °C durante 10 min y (b) 50 °C durante 20 min