

Índice de Contenidos

| | |
|---|-----------|
| I. INTRODUCCIÓN GENERAL | 1 |
| I.1. ORIGEN DE LOS CÍTRICOS | 1 |
| I.2. PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE CÍTRICOS | 3 |
| I.3. CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS DE LOS FRUTOS CÍTRICOS | 15 |
| I.3.1. La Respiración | 17 |
| I.3.2. Cociente Respiratorio | 28 |
| I.3.3. Compuestos volátiles | 30 |
| I.3.4. Tasa Respiratoria | 38 |
| I.3.5. Métodos de Medida de la Tasa Respiratoria | 39 |
| I.4. ALMACENAMIENTO POSTCOSECHA DE FRUTOS CÍTRICOS | 45 |
| I.5. PÉRDIDAS Y DAÑOS EN POSTCOSECHA | 48 |
| I.5.1. Enfermedades causadas por hongos en la postrecolección de cítricos | 52 |
| I.6. TÉCNICAS ACTUALES DE DETECCIÓN DE DAÑOS EN POSTCOSECHA | 54 |
| I.7. MODELOS BIOLÓGICOS | 63 |
| II. JUSTIFICACIÓN E INTERÉS DEL TRABAJO | 69 |
| III. OBJETIVOS | 71 |
| IV. PLAN DE TRABAJO | 73 |
| V. RESPUESTA FISIOLÓGICA DE NARANJAS SOMETIDAS A UN ESTRÉS FÚNGICO | 77 |
| V.1. INTRODUCCIÓN | 77 |
| V.1.1. El proceso infeccioso de patógenos fúngicos en frutos cítricos | 77 |
| V.1.2. El género <i>Penicillium</i> | 78 |
| V.1.2.1. <i>Penicillium digitatum</i> Saccardo | 79 |
| V.1.2.2. <i>Penicillium italicum</i> Wehmer | 81 |
| V.2. MATERIALES Y MÉTODOS | 83 |
| V.2.1. Materia prima | 83 |

Índice de contenidos

| | |
|--|-----|
| V.2.1.1. Fruta | 83 |
| V.2.1.2. Cultivo de las cepas de los mohos utilizados | 83 |
| V.2.2. Caracterización de la materia prima | 85 |
| V.2.2.1. Peso | 85 |
| V.2.2.2. Volumen y superficie | 85 |
| V.2.2.3. Resistencia mecánica o firmeza | 86 |
| V.2.2.4. Espesor de la corteza | 86 |
| V.2.2.5. Porcentaje de zumo | 87 |
| V.2.2.6. Sólidos solubles del zumo | 87 |
| V.2.2.7. Acidez en zumo | 87 |
| V.2.2.8. Índice de madurez | 88 |
| V.2.3. Inoculación de las frutas con esporas de <i>penicillium</i> | 88 |
| V.2.4. Análisis de la actividad respiratoria | 90 |
| V.2.4.1. Sistema de análisis | 90 |
| V.2.4.2. Metodología de análisis | 93 |
| V.2.5. Plan experimental | 96 |
| V.2.6. Cuantificación de la infección fúngica | 100 |
| V.2.7. Análisis estadístico | 102 |
| V.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 103 |
| V.3.1. Desarrollo de un sistema analítico para la medida de la respiración en frutas | 103 |
| V.3.1.1. Determinación de los tiempos óptimos de análisis | 104 |
| V.3.2. Flujos gaseosos en el sistema | 108 |
| V.3.3. Experimentos preliminares de análisis de la tasa respiratoria | 113 |
| V.3.4. Caracterización de la materia prima de las frutas a inocular | 122 |
| V.3.5. Cultivos de las cepas de los mohos utilizados | 124 |
| V.3.6. Comportamiento de las frutas inoculadas | 128 |

| | |
|--|------------|
| V.3.6.1. Flujos respiratorios como consecuencia de la infección | 129 |
| V.3.6.2. Evolución de la superficie de infección | 141 |
| V.3.6.3. Relación entre tasas respiratorias y desarrollo en superficie | 151 |
| V.3.6.4. Desarrollo de otros componentes volátiles | 153 |
| V.3.6.5. Impacto del avance de la infección sobre los metabolismos energéticos celulares | 157 |
| V.4. CONCLUSIONES | 165 |
| VI. RESPUESTA FISIOLÓGICA DE MANZANAS SOMETIDAS A UN ESTRÉS MECÁNICO | 169 |
| VI.1. INTRODUCCIÓN | 169 |
| VI.1.1. Daños mecánicos en postcosecha | 170 |
| VI.1.1.1. Origen de los daños | 170 |
| VI.1.1.2. Consecuencias de los daños | 173 |
| VI.1.1.3. Métodos de evaluación de daños mecánicos en frutas y hortalizas | 177 |
| VI.2. MATERIALES Y MÉTODOS | 181 |
| VI.2.1. Materia prima | 181 |
| VI.2.2. Preparación de muestras | 181 |
| VI.2.3. Impactos | 183 |
| VI.2.4. Análisis no destructivos | 184 |
| VI.2.4.1. Evaluación de la tasa respiratoria | 184 |
| VI.2.4.2. Parámetros de color | 184 |
| VI.2.5. Análisis destructivos | 186 |
| VI.2.5.1. Propiedades mecánicas | 186 |
| VI.2.5.2. Contenido en sólidos solubles | 188 |
| VI.2.6. Estudio estadístico de los datos obtenidos | 189 |
| VI.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 191 |
| VI.3.1. Determinación de las fuerzas de impacto | 191 |
| VI.3.2. Evaluación de la tasa respiratoria | 197 |
| VI.3.3. Propiedades ópticas | 202 |

Índice de contenidos

| | |
|--|------------|
| VI.3.4. Propiedades mecánicas | 213 |
| VI.3.5. Contenido de sólidos solubles | 219 |
| VI.4. CONCLUSIONES | 221 |
| VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES | 223 |
| VIII. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA | 225 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Fig. I.1. Distribución de la producción mundial de cítricos (Media 1997/2001) (Fuente: Adaptado de Franco, 2002). | 5 |
| Fig. I.2. Destino de la producción mundial de cítricos total y por especie (Media 1999/2000-2001/2002) (Fuente: Adaptado de Franco, 2002). | 6 |
| Fig. I.3. Destino de la producción mundial de cítricos (Media 1999/2000-2001/2002) (Fuente: Adaptado de Franco, 2002). | 7 |
| Fig. 1.4. Valores en toneladas (t) x 10 ³ de producción y exportación de cítricos de España (Fuente: CLAM). | 8 |
| Fig. I.5. Distribución varietal de la producción cítrica (t) española (MAPA, 2001). | 8 |
| Fig. I.6. Producción de cítricos de los principales países del Hemisferio Sur en miles de toneladas en el año 2001 (Fuente: Codina, 2002). | 12 |
| Fig. I.7. Producción cítrica uruguaya por especie (Fuente: Comisión Honoraria Nacional del Plan Cítrico (CHNPC), 2001). | 13 |
| Fig. I.8. Destino de las exportaciones de cítricos uruguayos (Fuente: C. H. N. P. C., 2001). | 14 |
| Fig. I.9. Las reacciones de la glicólisis y de la fermentación (Taiz y Zeiger, 1998). | 22 |
| Fig. I.10. Ciclo de Krebs ó ciclo de los TCA (ácidos tricarbónicos) (Taiz y Zeiger, 1998). | 24 |
| Fig. I.11. Rutas metabólicas en vegetales (Taiz y Zeiger, 1998). | 25 |
| Fig. I.12. El gradiente electroquímico de los protones a través de la membrana interna de la mitocondria (Taiz y Zeiger, 1998). | 27 |
| Fig. I.13. Rutas energéticas celulares (Berkaloff et al., 1986) | 30 |
| Fig. V.1.1. <i>Penicillium digitatum</i> Saccardo. A) Dibujos de Penicilos. B) Dibujos de Conidios Maduros (Fuente: Ramírez, 1982). | 80 |
| Fig. V.1.2. <i>Penicillium italicum</i> Wehmer. A) Detalles de Penicilos dibujados. B) Detalles de Conidios Maduros dibujados (Fuente: Ramírez, 1982). | 82 |

| | |
|--|-----|
| Fig. V.2.1. Cultivos de <i>Penicillium digitatum</i> y <i>Penicillium italicum</i> en tubo: (a) y en placas (b) logrados a partir de liófilos puros obtenidos de la CETC. | 85 |
| Fig. V.2.2. Medida del espesor de la corteza de las frutas. | 87 |
| Fig. V.2.3. Orificio de punción e inoculación en la corteza de naranja. | 89 |
| Fig. V.2.4. Cámaras de respiración o respirómetros. (a) Cristal, (b) Acero Inoxidable. Detalle de las tomas de muestras con sus conexiones directas al micro cromatógrafo de gases (mCG). | 91 |
| Fig. V.2.5. Detalle del mCG conectado (→) a la cámara de respiración ubicado dentro de la incubadora con control de temperatura (21 °C). | 95 |
| Fig. V.2.6. Respirómetro con disolución salina acidificada. | 96 |
| Fig. V.2.7. a) Detalle interno del desecador: Naranjas inoculadas almacenadas con control de HR y T. b) Detalle externo del desecador. Orificio de ventilación abierto (→). | 97 |
| Fig. V.2.8. Secuencia de pasos durante los ensayos. | 99 |
| Fig. V.2.9. Diagrama del cálculo de la superficie de revolución mediante la ecuación de la Integral de Riemann. | 101 |
| Fig. V.3.1. Esquema de la evolución del sistema. | 108 |
| Fig. V.3.2. Evolución de la fracción molar de oxígeno (x_{O_2}) (▲) y de anhídrido carbónico (x_{CO_2}) (●) en el espacio de cabeza de una naranja variedad Navelate a 21°C y 75,5% HR. | 115 |
| Fig. V.3.3 Evolución de la tasa respiratoria (TR_{CO_2}) de una naranja var. Navelate durante 8 días a 21°C y 75,5%HR. | 117 |
| Fig. V.3.4. Evolución de la tasa respiratoria media (TR_{CO_2}) (mmol CO_2 /kg h) de 10 naranjas Navelate de 2 lotes diferentes a 21°C y 75,5% HR. | 118 |
| Fig. V.3.5. Cultivos obtenidos a partir del liófilo puro reconstituido de la cepa (CECT 2954) de <i>P. digitatum</i> Saccardo en PDA. a) En placa. b) En tubo. | 126 |
| Fig. V.3.6. Cultivos obtenidos a partir del liófilo puro reconstituido de la cepa (CECT 2294) de <i>P. italicum</i> Wehmer en PDA. a) En placa. b) En tubo. | 126 |

| | |
|---|-----|
| Fig. V.3.7. Hemocitómetro con esporas de <i>P. italicum</i> Wehmer (a) y <i>P. digitatum</i> Saccardo (b). | 127 |
| Fig. V.3.8. Esquema del sistema naranja-entorno dentro del respirómetro. | 131 |
| Fig. V.3.9. Evolución de las tasas respiratorias de naranjas Navelate inoculadas con: <i>P. digitatum</i> (■), <i>P. italicum</i> (□) y naranjas sin inocular (△). a) Lote 1 y b) Lote 2. (Flecha = momento de inoculación artificial). | 132 |
| Fig. V.3.10. Ajuste del modelo de Gompertz a los puntos experimentales para naranjas var. Navelate del lote 1 inoculadas con <i>P. italicum</i> , almacenadas a 21°C y 75,5% HR. | 139 |
| Fig. V.3.11. Ajuste del modelo de Gompertz a los puntos experimentales para naranjas var. Navelate del lote 1 inoculadas con <i>P. digitatum</i> , almacenadas a 21°C y 75,5% HR. | 139 |
| Fig. V.3.12. Ajuste del modelo de Gompertz a los puntos experimentales para naranjas var. Navelate del lote 2 inoculadas con <i>P. italicum</i> , almacenadas a 21°C y 85% HR. | 140 |
| Fig. V.3.13. Ajuste del modelo de Gompertz a los puntos experimentales para naranjas var. Navelate del lote 2 inoculadas con <i>P. digitatum</i> , almacenadas a 21°C y 85% HR. | 140 |
| Fig. V.3.14. Desarrollo de infección fúngica de naranjas Navelate (lote 1) inoculadas con esporas de <i>P. italicum</i> Wehmer, almacenadas a 21°C y 75,5% HR. a) y b) Vista ecuatorial de ambas naranjas previo a la inoculación. c) y d) Vista apical de ambas naranjas previo a la inoculación. e) 4° DPI. f) 7° DPI. g) 8° DPI. | 142 |
| Fig. V.3.15. Desarrollo de infección fúngica de naranjas Navelate (lote 1) inoculadas con esporas de <i>P. digitatum</i> Saccardo, almacenadas a 21°C y 75,5% HR. a) Previo a la inoculación. b) 2° DPI. c) 3 ^{er} DPI (con ampliación zona dañada). d) 4° DPI. e) 7° DPI. f) 8° DPI. g) 9° DPI; comparación con naranja sin inocular del mismo lote. | 143 |
| Fig. V.3.16. Desarrollo de infección fúngica de naranjas Navelate (lote 2) inoculadas con esporas de <i>P. italicum</i> Wehmer, almacenadas a 21°C y 85% HR. a) 2° DPI. b) 4° DPI. c) 7° DPI. d) 8° DPI. | 145 |
| Fig. V.3.17. Desarrollo de infección fúngica de naranjas Navelate (lote 2) inoculadas con esporas de <i>P. digitatum</i> Sacc. almacenadas a 21°C y 85% HR. a) 12 horas tras inoculación. b) 4° DPI. c) 7° DPI. d) 8° DPI con ampliación de zonas inoculadas. | 146 |

| | |
|---|-----|
| Fig. V.3.18. Superficie de heridas (S_h) vs Tiempo de las naranjas inoculadas con esporas de <i>Penicillium sp.</i> | 148 |
| Fig. V.3.19. Ajuste del modelo de Gompertz a los puntos experimentales para naranjas var. Navelate del lote 1 inoculadas con <i>P. italicum</i> almacenadas a 21°C y 75,5% HR. | 149 |
| Fig. V.3.20. Ajuste del modelo de Gompertz a los puntos experimentales para naranjas var. Navelate del lote 1 inoculadas con <i>P. digitatum</i> almacenadas a 21°C y 75,5% HR. | 150 |
| Fig. V.3.21. Ajuste del modelo de Gompertz a los puntos experimentales para naranjas var. Navelate lote 2 inoculadas con <i>P. italicum</i> almacenadas a 21°C y 85% HR. | 150 |
| Fig. V.3.22. Ajuste del modelo de Gompertz a los puntos experimentales para naranjas var. Navelate lote 2 inoculadas con <i>P. digitatum</i> almacenadas a 21°C y 85% HR. | 151 |
| Fig. V.3.23. Tasa respiratoria media (TR_{CO_2}) y porcentaje medio de superficie de heridas (S_h) vs tiempo de almacenamiento a 21°C y 75,5% HR. Naranjas lote 1. Inoculadas con <i>P. digitatum</i> (■), con <i>P. italicum</i> Wehmer (■) y sin inocular (■). | 152 |
| Fig. V.3.24. Tasa respiratoria media (TR_{CO_2}) y porcentaje medio de superficie de heridas (S_h) vs tiempo de almacenamiento a 21°C y 85% HR. Naranjas lote 2. Inoculadas con <i>P. digitatum</i> (■), con <i>P. italicum</i> Wehmer (■) y sin inocular (■). | 152 |
| Fig. V.3.25. Evolución de la variación de acetaldehído (■) y etanol (■) en el espacio de cabeza de naranjas var. Navelate (lote 1) inoculadas con <i>P. digitatum</i> vs tiempo de almacenamiento. | 154 |
| Fig. V.3.26. Evolución de la variación de acetaldehído (■) y etanol (■) en el espacio de cabeza de naranjas var. Navelate (lote 2) inoculadas con <i>P. digitatum</i> y etanol (●) en frutas inoculadas con <i>P. italicum</i> vs tiempo de almacenamiento. | 156 |
| Fig. V.3.27. Esquema de cálculo de la variación de moles de etanol y acetaldehído. | 161 |
| Fig. V.3.28. Incremento relativo de la tasa respiratoria vs superficie de heridas de infección en naranjas var Navelate inoculadas con esporas de <i>P. digitatum</i> (■) y <i>P. italicum</i> (□), almacenadas a 21°C y 75,5% HR, del lote 1. | 162 |

| | |
|---|-----|
| Fig. V.3.29. Incremento relativo de la tasa respiratoria vs superficie de heridas de infección en naranjas var Navelate inoculadas con esporas de <i>P. digitatum</i> (■) y <i>P. italicum</i> (□), almacenadas a 21°C y 85% HR, del lote 2. | 163 |
| Fig. VI.2.1. Secuencia de pasos realizada durante los ensayos. | 182 |
| Fig. VI.2.2. Realización de los impactos en manzanas Granny Smith con el péndulo diseñado por Aunión (2002). | 184 |
| Fig. VI.2.3. Texturómetro Stable Micro System modelo "TA TX" versión 3.7 H. | 187 |
| Fig. VI.2.4. Detalle de uno de los ensayos de punción realizado. | 188 |
| Fig. VI.3.1. Variables a considerar en el péndulo. | 193 |
| Fig. VI.3.2. Relación entre fuerzas de impacto (N) y alturas equivalentes de caída (mm). | 196 |
| Fig. VI.3.3. Evolución de la fracción molar del anhídrido carbónico (x_{CO_2}) de una manzana con el tiempo del ensayo (minutos). | 198 |
| Fig. VI.3.4. Variación de la tasa respiratoria TR_{CO_2} (mmolCO ₂ /kg h) con la intensidad del impacto mecánico y el tiempo de almacenamiento. | 199 |
| Fig. VI.3.5. Evolución del tono (h^*/h^*_0) en la zona afectada respecto del tiempo de almacenamiento (días). | 203 |
| Fig. VI.3.6. Evolución del croma (c^*/c^*_0) en la zona impactada en función del tiempo de almacenamiento y la fuerza media de impacto aplicada. | 205 |
| Fig. VI.3.7. Evolución de los cambios de color (ΔE^*) con el tiempo de almacenamiento y la fuerza media de impacto aplicada. | 207 |
| Fig. VI.3.8. Evolución de la Luminosidad (L^*/L^*_0) con el tiempo de almacenamiento y la fuerza media de impacto aplicada. | 209 |
| Fig. VI.3.9. Evolución de a^*/a^*_0 con el tiempo de almacenamiento y la fuerza media de impacto aplicada. | 210 |
| Fig. VI.3.10. Evolución de b^*/b^*_0 con el tiempo de almacenamiento y la fuerza media de impacto aplicada. | 212 |
| Fig. VI.3.11. Fuerza máxima de penetración según la fuerza media de impacto de Timoshenko recibida. | 214 |

| | |
|--|-----|
| Fig. VI.3.12. Valores medios y sus desviaciones de distancia máxima por grupo de fuerza media de impacto recibida por las manzanas. | 216 |
| Fig. VI.3.13. Pendiente en el tramo lineal (E_L) (N/mm) en función de los grupos de fuerza media de impacto recibida. | 217 |
| Fig. VI.3.14. Dureza de las muestras en función de la fuerza de impacto aplicada. | 217 |
| Fig. VI.3.15. Punto de ruptura/corte de la textura en función de los grupos de fuerza de impacto. | 218 |
| Fig. VI.3.16. Variación en el tiempo (días) del cociente °Brix zona dañada /°Brix zona sana según los grupos de fuerza media de impacto de Timoshenko recibida. | 219 |

Índice de Tablas

| | |
|--|-----|
| Tabla I.1. Previsión de la producción cítrica en la Campaña 2004/2005 según datos de la Consellería de Agricultura de la Comunidad Valenciana (<i>Camp Valencià</i> , 2004). | 11 |
| Tabla I.2. Valores de exportaciones (kg) de cítricos de Uruguay durante el año 2004 (Silva, 2004). | 14 |
| Tabla I.3. Componentes volátiles (ppm) del aroma y sabor del zumo cítrico fresco (Fuente: Adaptado de Nísperos-Carriedo y Shaw, 1990). | 32 |
| Tabla I.4. Valores de tasas respiratorias óptimas en naranjas almacenadas (Arpaia y Kader, 2000). | 47 |
| Tabla V.2.1. Condiciones de trabajo del micro cromatógrafo de gases (mCG) para ambos métodos. | 94 |
| Tabla V.3.1. Tiempos (horas) estimados para las renovaciones de aire. | 106 |
| Tabla V.3.2. Error del análisis en porcentaje (ε) en ensayos con una sola naranja a 5°C. | 107 |
| Tabla V.3.3. Tasas respiratorias (mol/ kgh y mL/ kgh) y CR para la naranja Navelate analizada. | 115 |
| Tabla V.3.4. Características de la materia prima utilizada en los ensayos de la medida de la respiración. | 119 |
| Tabla V.3.5. Características de la materia prima utilizada en los ensayos de respiración e inoculación. | 123 |
| Tabla V.3.6. Resumen de las características observadas visualmente de los mohos cultivados en los medios Patata Dextrosa Agar pobre (PDA _p); Maltosa Agar pobre (MA _p); Maltosa Agar (MA); Patata Dextrosa Agar (PDA); Agua de Peptona y distintas modalidades. | 125 |
| Tabla V.3.7. Parámetros del modelo de Gompertz obtenidos para los 4 tratamientos de inoculación. | 138 |
| Tabla V.3.8. Parámetros de Gompertz obtenidos para los 4 tratamientos. | 149 |
| Tabla VI.1.1. Susceptibilidad de las frutas a diversos tipos de lesiones mecánicas: susceptible (S); resistente (R); intermedio (I). (Fuente: Wills <i>et al.</i> , 1984). | 170 |

| | |
|---|-----|
| Tabla VI.1.2. Pérdidas de postcosecha de frutas y hortalizas muestreadas en el área de comercio y venta de la zona de mercadeo de New York. (Fuente: Kays, 1991). | 172 |
| Tabla VI.3.1. Fuerzas medias (N) percibidas por las manzanas agrupadas en un mismo ángulo. | 194 |
| Tabla VI.3.2. Nomenclatura de los grupos de manzanas con sus correspondientes intervalos de fuerzas de impacto (N) para cada grupo y la fuerza de impacto media (N) aplicada a las frutas de cada grupo. | 195 |
| Tabla VI.3.3. Valores medios y sus desviaciones estándar de fuerzas de impacto aplicadas (F_{impacto}) y de los parámetros mecánicos obtenidos. F_{max} : fuerza máxima; d_{max} : distancia máxima; punto de ruptura ($F_{\text{max}}/d_{\text{max}}$); E_L (N/mm); Dureza (N/mm). | 214 |