



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS**

**EFFECTO DE LA RADIACIÓN UV-C SOBRE EL DESARROLLO  
DE *Rhizopus spp.* Y *Phytophthora spp.* EN NARANJILLA  
(*Solanum quitoense*).**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERA DE ALIMENTOS**

**BEATRIZ ALICIA CHICAIZA VÉLEZ**

**DIRECTORA: BIOQ. MARÍA JOSÉ ANDRADE CUVI**

**Quito, Marzo 2012**

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2012

Reservados todos los derechos de reproducción

# DECLARACIÓN

Yo **BEATRIZ ALICIA CHICAIZA VÉLEZ**, 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 Universidad Tecnológica Equinoccial 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.

---

Beatriz Alicia Chicaiza Vélez

C.I. 1717156614

# CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “**EFFECTO DE LA RADIACIÓN UV-C SOBRE EL DESARROLLO DE *Rhizopus spp.* Y *Phytophthora spp.* EN NARANJILLA (*Solanum quitoense*)**”, que, para aspirar al título de **Ingeniera de alimentos** fue desarrollado por **Beatriz Alicia Chicaiza Vélez**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 18 y 25.

---

Bioq. María José Andrade Cuvi

**DIRECTOR DEL TRABAJO**

C.I. 1712338373

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
<b>RESUMEN</b> .....	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>x</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>5</b>
2.1. Naranjilla ( <i>Solanum quitoense</i> ).....	5
2.1.1. Origen .....	5
2.1.2. Clasificación taxonómica.....	7
2.1.3. Descripción botánica.....	7
2.1.4. Cultivo .....	9
2.1.5. Zonas de cultivo .....	10
2.1.6. Variedades comerciales de naranjilla.....	12
2.1.7. Composición química.....	13
2.1.8. Pérdidas poscosecha.....	14
2.1.8.1. Daños mecánicos .....	14
2.1.8.2. Daños fisiológicos .....	16
2.1.8.3. Daños ocasionados por plagas y enfermedades .....	17
2.1.9. Patógenos causantes de pérdidas poscosecha.....	17

## PÁGINA

2.1.10. Enfermedades de la naranjilla .....	18
2.1.10.1. Enfermedades causadas por <i>Phytophthora spp.</i> .....	22
2.1.10.2. Enfermedades causadas por <i>Rhizopus spp.</i> .....	23
2.1.11. Control de hongos causantes de enfermedades poscosecha	24
2.1.12. Radiación ultravioleta .....	25
2.1.13. Radiación uv-c.....	27
2.1.14. Efecto de la radiación UV-C en frutas y vegetales .....	27
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>29</b>
3.1. Material vegetal .....	29
3.2. Aislamiento e identificación de hongos en naranjilla .....	29
3.2.1. Tinción de hongos.....	30
3.3. Tratamiento con radiación UV-C .....	30
3.3.1. Inoculación artificial de hongos en naranjilla.....	31
3.4. Efecto de la radiación UV-C sobre el desarrollo de <i>Rhizopus spp.</i> Y <i>Phytophthora spp.</i> .....	34
3.4.1. Pérdida de peso.....	34
3.4.2. Índice de daño .....	35
3.4.3. Pérdida de electrolitos.....	36
3.4.4. Reducción de diámetro .....	37

	<b>PÁGINA</b>
3.4.5. Firmeza .....	37
3.4.6. Color superficial e interno .....	38
3.4.7. Tasa de respiración.....	38
3.5. Análisis estadístico y diseño experimental .....	39
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>40</b>
4.1. Aislamiento e identificación de hongos.....	40
4.2. Efecto de la radiación UV-C sobre el desarrollo de <i>Rhizopus spp.</i> y <i>Phytophthora spp.</i> .....	41
4.2.1. Pérdida de peso.....	41
4.2.2. Índice de daño (ID).....	43
4.2.3. Pérdida de electrolitos.....	46
4.2.4. Reducción de diámetro .....	47
4.2.5. Firmeza .....	49
4.2.6. Color superficial .....	51
4.2.7. Color interno .....	53
4.2.8. Tasa de respiración.....	55
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>58</b>
5.1. Conclusiones .....	58
5.2. Recomendaciones.....	60

**6. BIBLIOGRAFÍA.....61**



# ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
<b>Tabla 1.</b> Nombre de la naranjilla según la región del cultivo .....	6
<b>Tabla 2.</b> Clasificación taxonómica.....	7
<b>Tabla 3.</b> Cultivo de naranjilla en la región andina. ....	12
<b>Tabla 4.</b> Valor nutricional de la naranjilla .....	13
<b>Tabla 5.</b> Tipos de Radiación UV .....	26
<b>Tabla 6.</b> Luminosidad y variación de color interno en naranjilla inoculada artificialmente con <i>Rhizopus spp.</i> ....	54
<b>Tabla 7.</b> Luminosidad y variación de color en naranjilla inoculada artificialmente con <i>Phytophthora spp.</i> .....	55

## ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
<b>Figura 1.</b> Fruto de Naranjilla .....	5
<b>Figura 2.</b> Corte en la línea ecuatorial de naranjilla .....	6
<b>Figura 3.</b> Planta de naranjilla .....	8
<b>Figura 4.</b> Fruto de naranjilla y jugo .....	9
<b>Figura 5.</b> Cultivo de naranjilla .....	10
<b>Figura 6.</b> Localización del cultivo de naranjilla.....	11
<b>Figura 7.</b> Pudrición de ramas causadas por <i>Sclerotinia spp.</i> .....	19
<b>Figura 8.</b> <i>Colletotrichum spp.</i> en tomate.....	19
<b>Figura 9.</b> Manchas de la hoja causada por <i>Botrytis spp.</i> .....	20
<b>Figura 10.</b> Podredumbre blanda causada por <i>Sclerotium spp.</i> .....	20
<b>Figura 11.</b> Manchas de <i>Alternaria</i> .....	21
<b>Figura 12.</b> Tizón tardío en papa.....	22
<b>Figura 13.</b> Podredumbre en fruto de tomate producida por <i>Rhizopus ssp.</i> .....	23
<b>Figura 14.</b> Cultivo de naranjilla San Miguel de los Bancos.....	29
<b>Figura 15.</b> Naranjillas en la cámara de radiación.....	31
<b>Figura 16.</b> Comparación visual entre Escala Mac Farland No. 2 y suspensión de esporas.....	32

<b>Figura 17.</b>	Inoculación artificial en naranjilla.....	33
<b>Figura 18.</b>	Incubación de naranjilla en condiciones húmedas.....	33
<b>Figura 19.</b>	Almacenamiento de naranjilla en bandejas abiertas.....	34
<b>Figura 20.</b>	Medida de tasa de respiración .....	39
<b>Figura 21.</b>	Hongos aislados e identificados en naranjilla: Cultivo (a y c) y observación microscópica (b y d) de <i>Rhizopus spp.</i> y <i>Phytophthora spp.</i> .....	40
<b>Figura 22.</b>	Pérdida de peso en naranjilla inoculada artificialmente a lo largo del almacenamiento con a) <i>Rhizopus spp.</i> b) <i>Phytophthora spp.</i> .....	42
<b>Figura 23.</b>	Evaluación del Índice de daño en naranjilla inoculada artificialmente con a) <i>Rhizopus spp.</i> b) <i>Phytophthora spp.</i> .....	43
<b>Figura 24.</b>	Evaluación del índice de daño de naranjilla inoculada artificialmente con <i>Rhizopus spp.</i> a lo largo del almacenamiento.....	44
<b>Figura 25.</b>	Evaluación del índice de daño de naranjilla inoculada artificialmente con <i>Phytophthora spp.</i> a lo largo del almacenamiento.....	45
<b>Figura 26.</b>	Pérdida de electrolitos en naranjilla inoculada artificialmente a lo largo del almacenamiento con a) <i>Rhizopus spp.</i> b) <i>Phytophthora spp.</i> .....	47
<b>Figura 27.</b>	Reducción de diámetro en naranjilla inoculada artificialmente a lo largo del almacenamiento con a) <i>Rhizopus spp.</i> b) <i>Phytophthora spp.</i> .....	48

<b>Figura 28.</b>	Firmeza en naranjilla inoculada artificialmente a lo largo del almacenamiento con a) <i>Rhizopus spp.</i> b) <i>Phytophthora spp.</i> ..	50
<b>Figura 29.</b>	Luminosidad y variación de color superficial en naranjilla inoculada artificialmente con <i>Rhizopus spp.</i> .....	51
<b>Figura 30.</b>	Luminosidad y variación de color superficial en naranjilla inoculada artificialmente con <i>Phytophthora spp.</i> .....	52
<b>Figura 31.</b>	Tasa de respiración en naranjilla inoculada artificialmente a lo largo del almacenamiento con a) <i>Rhizopus spp.</i> b) <i>Phytophthora spp.</i> .....	56

## RESUMEN

La naranjilla es una fruta tradicional del Ecuador, que se ha cultivado en la zona oriental del país, en especial en el mercado interno para su consumo en fresco y para la elaboración de jugos y pulpa. Los principales limitantes de su cultivo son las enfermedades, siendo la “lancha o tizón tardío” causado por *Phytophthora spp* y podredumbre blanda causado por *Rhizopus spp* siendo estas una de las principales causas de pérdidas poscosecha. La presencia de estas enfermedades ha llevado a desarrollar prácticas nocivas para los ecosistemas, pues en el afán de evitar la presencia de estos problemas fitosanitarios, los agricultores recurren al uso indiscriminado de pesticidas, es por esto que existe una necesidad de encontrar nuevas alternativas para controlar estas enfermedades. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la radiación UV-C sobre el desarrollo de *Rhizopus spp.* y *Phytophthora spp.* inoculados artificialmente en naranjilla (*Solanum quitoense*). Los frutos de naranjilla se dividieron en tres grupos: control, 0 y 12,5 kJ/m<sup>2</sup> y permanecieron en bandejas por tres días a temperatura ambiente, al tercer día fueron inoculadas artificialmente con *Rhizopus spp.* y *Phytophthora spp.* y se almacenaron a 27°C durante 9 días. En el día 0, 3, 6, 9 y 12 se determinaron la pérdida de peso, índice de daño, pérdida de electrolitos, reducción de diámetro, firmeza, color superficial e interno, la tasa de respiración se determinó durante los doce días de almacenamiento. El tratamiento con radiación UV-C tuvo un mayor efecto en frutos inoculados con *Phytophthora spp.* que en frutos inoculados con *Rhizopus spp.* donde no se observaron diferencias significativas en los parámetros medidos. A partir del día 6 los frutos tratados (12,5 kJ/m<sup>2</sup>) mantuvieron el índice de daño (ID) de los frutos inoculados con *Phytophthora* mientras que en frutos inoculados con *Rhizopus* se mantuvieron a partir del día 9. Los resultados sugieren que el tratamiento UV-C retardó los síntomas de daño permitiendo la conservación de naranjilla inoculada artificialmente.

## ABSTRACT

The naranjilla is a traditional fruit from Ecuador, which has grown in the east of the country, especially in the internal market for their consumption in fresh and for the elaboration of juices and pulp. The main limitations of cultivation are diseases, with the "boat or blight" caused by *Phytophthora spp* and soft rot caused by *Rhizopus spp* being such a major cause of postharvest losses. The presence of these diseases has led to the development practices harmful to ecosystems, because in an effort to avoid the presence of these plant health problems, farmers resort to indiscriminate use of pesticides, which is why there is a need to find new alternatives to control these diseases. The objective of this study was to evaluate the effect of UV-C radiation on the development of *Rhizopus spp.* and *Phytophthora spp.* artificially inoculated naranjilla (*Solanum quitoense*). The fruits of naranjilla were divided into three groups: control, 0 and 12,5 kJ/m<sup>2</sup> and kept in trays for three days at room temperature, the third day were artificially inoculated with *Rhizopus spp.* and *Phytophthora spp.* and stored at 27°C for 9 days. On day 0, 3, 6, 9 and 12 were determined weight loss, damage index, electrolyte loss, reduction in diameter, firmness, surface color and internal respiration rate was determined during the twelve days of storage. Treatment with UV-C had a greater effect on fruit inoculated with *Phytophthora spp.* in fruit inoculated with *Rhizopus spp.* where no significant differences in the measured parameters. From day 6 treated fruits (12,5 kJ/m<sup>2</sup>) maintained the rate of damage of the fruits inoculated with *Phytophthora spp.* while fruits inoculated with *Rhizopus spp.* were maintained from day 9. The results suggest that UV-C treatment delayed injury symptoms naranjilla allowing the conservation of artificially inoculated.

## **1. INTRODUCCIÓN**

# 1. INTRODUCCIÓN

La naranjilla (*Solanum quitoense*) se cultiva desde los 600 metros hasta los 1700 metros de altitud, aunque se considera como altura optima 1400 metros sobre el nivel del mar. Es un futo globular y mide entre 4,0 y 6,5 cm de diámetro, es de color naranja brillante y está cubierto de vellos cortos quebradizos que caen fácilmente al frotarlos. La cáscara es gruesa y coriácea. La pulpa es de color verde claro, pegajosa, ácida y jugosa, contiene muchas semillas pequeñas.

Las frutas nacen sobre las ramas, son fáciles de retirar con la mano, la naranjilla por ser una fruta climatérica se cosechan en su madurez fisiológica, etapa en la cual la fruta ha alcanzado su máximo crecimiento y aparecen las primeras tonalidades de color amarillo.

Los vellos duros pueden irritar la cáscara, es por eso que las frutas son recogidas a mano con guantes hasta que estén lo suficientemente maduras para eliminar la pelusa con una toalla.

La productividad es alta. Las plantas individuales pueden producir más de los 10 kg de fruta al año, 47,000 L/ha de jugo; el enfriamiento, almacenamiento y el uso de antioxidantes son necesarios para conservar por más tiempo la fruta (Granex, 2006).

La naranjilla es una fruta tradicional del Ecuador, que se ha cultivado en la zona oriental del país, las variedades que se cultivan en el Ecuador son las de pulpa verde y de jugo siendo estas las que tienen mayor problema de perecibilidad.

Se cultiva principalmente en tierras externas de la cordillera y llanura amazónica como Baños, Baeza, valle del río Quijos, Reventador, Puyo,



Archidona, Loreto, Lago Agrio, Sucúa, Zamora, Lita, Nanegalito, San Miguel Los Bancos, Chiriboga y Pallatanga.

El manejo poscosecha de la naranjilla es como el de cualquier fruta u hortaliza, en donde por su alta susceptibilidad al daño físico, enfermedades y plagas, es necesario mantener un riguroso control desde la cosecha en el campo, hasta el proceso de empaque y transporte a los centros de comercialización. Los frutos de naranjilla cosechados con un estado de madurez medio (amarillo), pueden durar 8 días bajo condiciones de temperatura ambiente (Gallozzi & Duarte, 2007), las principales pérdidas poscosecha son debido a microorganismos.

Los microorganismos que afectan generalmente a frutas y hortalizas son las bacterias y hongos, ya que estos producen estructuras especializadas que son depositadas sobre el producto para poder penetrar, invadir y eventualmente colonizar masivamente el tejido para causar daño (Rivera, Gardea, Martinez, Rivera, & Gonzales, 2007). Las frutas y hortalizas pueden ser contaminadas e infectadas en el campo, durante el desarrollo del cultivo o durante la cosecha.

La naranjilla (*Solanum quitoense*) es muy susceptible al ataque de hongos radicales tipo *Colletrotrichum*, *Fusarium*, *Phytophthora* y *Rhizopus*, los cuales atacan sobre todo cuando hay exceso de humedad y cuando la planta ya está en un proceso de producción intensa, debilitándola y finalmente matándola (Gallozzi & Duarte, 2007).

De acuerdo a Paz y Miño (2003) para el control de enfermedades producidas por hongos en la naranjilla se recomienda utilizar agroquímicos y fungicidas. Actualmente se realizan trabajos de investigación sobre el uso de tecnologías alternativas como la radiación UV-C.

Se ha comprobado que la aplicación de radiación ultravioleta corta UV-C a diferentes productos vegetales, controla el crecimiento microbiano y retrasa

los procesos asociados con su maduración. Al parecer la radiación UV-C induce la acumulación de sustancias naturales antifúngicas que limitan el crecimiento microbiano (Granex, 2006).

Usando la radiación UV-C en cantidades recomendadas no produce alteraciones ni favorece al proceso degenerativo del producto, una de sus ventajas es que no deja residuos y no afecta características sensoriales (Rivera, et al., 2007).

La radiación UV-C podría reducir el deterioro poscosecha con el efecto germicida de los microorganismos propagadores en la superficie del fruto y la resistencia inducida. Varios estudios mostraron que el pretratamiento de frutos con dosis bajas de radiación UV-C, seguida por la inoculación artificial con diferentes patógenos reduce la descomposición poscosecha (Vicente et al., 2005).

Se aplican diferentes tipos de tecnologías para reducir las pérdidas poscosecha, entre ellos, la radiación UV-C es una alternativa de tratamiento, numerosos estudios presentan resultados favorables en cuanto al uso de esta tecnología para tratar enfermedades producidas por el ataque de hongos (Stevens et al., 1998), inducir actividades enzimáticas y aumentar la concentración de antioxidantes (Lemoine, Civello, Martínez, & Chaves, 2007) siendo estos los mayores problemas en la poscosecha. Esta tecnología mantiene, mejora la calidad nutricional y aumenta el tiempo de vida útil (Civello, Vicente, & Martínez, 2006), sin embargo, son necesarios mayores estudios con el fin de comprender la respuesta de diferentes sistemas biológicos a la aplicación de este tipo de radiación (Granex, 2006).

El presente trabajo de investigación forma parte del proyecto “Efecto de la radiación UV-C sobre la capacidad antioxidante y contenido de fenoles totales en frutos exóticos del Ecuador: naranjilla (*Solanum quitoense*) y mortiño (*Vaccinium floribundum*)” que se desarrolla en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Tecnológica Equinoccial, en el

que se comprobó que dosis de 8 y 12,5 kJm<sup>-2</sup> en naranjilla permite incrementar su tiempo de vida útil en 7 días a temperatura ambiente (20°C) y 14 días en refrigeración (6°C) se observó además que los frutos sufrían el ataque de microorganismos principalmente mohos que afectaban su calidad.

El objetivo del presente trabajo de investigación fue estudiar el efecto de la radiación UV-C sobre el desarrollo de *Rhizopus spp.* y *Phytophthora spp.* inoculados artificialmente en naranjilla (*Solanum quitoense*). Cumpliendo con los siguientes objetivos específicos:

- Aislar e identificar *Rhizopus spp.* y *Phytophthora spp.* de frutos de naranjilla con visible desarrollo fúngico.
- Evaluar el efecto de la radiación UV-C sobre índices de calidad en naranjilla inoculada artificialmente con *Rhizopus spp.*
- Evaluar el efecto de la radiación UV-C sobre índices de calidad en naranjilla inoculada artificialmente con *Phytophthora spp.*

## **2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. NARANJILLA (*Solanum quitoense*)

#### 2.1.1. ORIGEN

La naranjilla (*Solanum quitoense*) es un fruto climatérico, originaria de los Andes del Ecuador y Colombia, perteneciente a la familia de las Solanáceas (Castañeda, 1992).

Es rico en proteínas y minerales; es poco conocido en el mercado exterior. Los frutos son de forma redonda u ovalada, de color rojo o anaranjado (Figura 1), del tamaño de un tomate (2 a 6 ½ cm de diámetro). La corteza está recubierta de vellosidades semiduras (MAGAP, s. f.).



**Figura 1.** Fruto de Naranjilla

En el interior, el fruto es jugoso y de sabor agridulce, tiene el aspecto de un tomate verde; la pulpa madura tiene un pH de 3,6 a 4. Está dividida por cuatro tabiques o secciones casi simétricas; los tabiques son de consistencia fibrosa y en estos, están sujetas a las semillas (Figura 2). La corteza es delgada y resistente al transporte (MAGAP, s. f.).



**Figura 2.** Corte en la línea ecuatorial de naranjilla

El desarrollo comercial de este cultivo en Ecuador se viene estimulando desde que la labor consular del Ecuador desplegó una buena actividad dando a conocer las delicias del jugo de naranjilla (*Solanum quitoense*). Después de la segunda guerra mundial esta planta se ha introducido a muchas regiones tropicales y subtropicales del mundo entre ella Panamá, Salvador, Costa Rica, Puerto Rico, Estados Unidos y Nueva Zelanda los países que se manifestaron más entusiasmados en la referencia a la industria del jugo (Pastrana, 1998).

Dependiendo de la región de cultivo se conoce con un nombre diferente (Ochse, Soule, Dijkman, & Wehlburg, 1972), según se indica en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Nombre de la naranjilla según la región del cultivo

<b>REGIÓN</b>	<b>NOMBRE</b>
<b>Inglés</b>	Naranjilla (Popenoe)
<b>Español</b>	Naranjilla (Ecuador), Lulo (Colombia), Naranjilla de Quito (Perú).
<b>Holandés</b>	GeleTerong
<b>Francés</b>	Morelle de Quito
<b>Alemán</b>	Orange von Quito

(Ochse, et al., 1972)

### 2.1.2. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

En la Tabla 2 se indica la clasificación taxonómica de la naranjilla.

**Tabla 2.** Clasificación taxonómica.

<b>Reino</b>	Vegetal
<b>Familia</b>	Solanacea
<b>Sección</b>	Lasiocarpa
<b>Género</b>	<i>Solanum</i>
<b>Especie</b>	<i>quitoense</i>

(Ochse, et al., 1972)

### 2.1.3. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

La planta de naranjilla es arbustiva, alcanza hasta las 2,5 m de altura con un promedio de 1.80 m.

La raíz de la naranjilla es fibrosa y superficial penetrando hasta una profundidad de 50 cm, lo cual se atribuye a que en el momento del trasplante, la raíz pivotante se parte, favoreciendo así el desarrollo un sistema radicular profusamente ramificado y poco profundo (Castañeda, 1992).

El tallo (Figura 3a) es suculento en las plantas menores a un año, tomando luego una consistencia leñosa. Exteriormente está recubierto de numerosas vellosidades. El tallo principal está provisto de ramificaciones dispuestas alternativamente, que crecen en toda su longitud, las mismas que al envejecer se eliminan desde la base hacia arriba (MAGAP, s. f.).

Las hojas (Figura 3b) son grandes, palmeadas y compuestas alcanzan hasta 50 cm de largo y 35 cm de ancho. Según Castañeda (1992) el tamaño de la hoja depende de la fertilización, la lámina foliar es de verde oscuro por el haz y verde claro por el envés, el limbo es delgado y profundamente recortado, la forma de la hoja es oblongovalada con nervaduras pronunciadas gruesas y carnosas de color morado, las nervaduras exhiben espinas agudas.

La flor (Figura 3c) es pentámera y perfecta, se encuentran agrupadas en corimbos axilares de 3 a 12 flores. Los pétalos son de color blanco y los estambres amarillos; poseen 5 pétalos y 5 sépalos dispuestos en forma regular (Lobo & Girard, 1977).



**Figura 3.** Planta de naranjilla

Del fruto se obtiene un jugo delicioso y refrescante, de sabor semiácido y color verdoso, rico en proteínas y minerales. Los frutos son globosos de color anaranjado por fuera y verde por dentro, con pulpa acida de pH entre 3, 6 y 4, con numerosas semillas. La epidermis está recubierta por bellos punzantes de color amarillo (MAGAP, s. f.), según se observa en la Figura 4.

La semilla tiene forma de lenteja, de color amarillo y tamaño pequeño, un número variable entre mil y dos mil por fruto, con un peso, en estado seco de 3.5 mg aproximadamente (Lobo & Girard, 1977).





**Figura 4.** Fruto de naranjilla y jugo

Estudios del Ministerio de Ganadería, Acuacultura y Pesca (s. f.) en el Ecuador determinan que la producción de pulpa representa el 90% del total del fruto, la corteza de 4.3% y la semilla el 5.2%. La corteza tiene un alto contenido de solamina (glucósido venenoso) y por tanto hay que separarla de la pulpa lo más rápidamente posible una vez partida el fruto.

#### **2.1.4. CULTIVO**

La naranjilla se cultiva en la zona tropical y subtropical trópicos entre los 600 a 2300 msnm, necesita temperaturas entre 17 a 26°C. Los puntos óptimos para lograr un mejor desarrollo están entre los 1000 y los 1400 msnm, a 20°C de temperatura y con una pluviosidad 2500 mm/año. Es un cultivo de día corto, requiere un promedio de 2,6 horas/luz/día, precisa de humedad y suelos ricos en materia orgánica con adecuado drenaje (Paz y Miño, 2003).

Según el Ministerio de Ganadería, Acuacultura y Pesca (s.f.) la naranjilla se desarrolla mejor bajo condiciones de sombra, por lo cual recomienda que en climas despejados, es necesario utilizar arboles con este objeto. Debido al

gran tamaño de las hojas y las ramas quebradizas, la naranjilla no resiste lugares ventosos (Figura 5).



**Figura 5.** Cultivo de naranjilla

Los terrenos apropiados para este cultivo son aquellos recién desmontados, terrenos vírgenes con buena cantidad de materia orgánica, se preferirán los suelos francos y con drenaje natural (MAGAP, s. f.).

Los suelos muy pesados o livianos dificultan el buen desarrollo de la planta. Son preferidos los terrenos francos o franco arenoso. Suelos con estas características no es posible encontrar en todas las zonas, en el Ecuador solo es posible encontrarlos en las llanuras aluviales (Castañeda, 1992).

#### **2.1.5. ZONAS DE CULTIVO**

En el Ecuador, de donde es originaria, la especie se encuentra bien diseminada por todas partes, desde la frontera colombiana hasta el sur, en la provincia de Loja. Las principales zonas de producción en Ecuador (Figura 6) son Chimborazo, Cotopaxi, Tungurahua, Pichincha e Imbabura (Erodata, 2010; Pastrana, 1998).



**Tabla 3.** Cultivo de naranjilla en la región andina.

<i>PROVINCIAS</i>	<i>TONELADAS DE PRODUCCIÓN</i>
Carchi	0
Imbabura	42
Pichincha	128
Cotopaxi	78
Tungurahua	135
Chimborazo	124
Bolívar	0
Cañar	0
Azuay	0
Loja	0
<b>TOTAL</b>	<b>507</b>

(Erodata, 2010)

#### **2.1.6. VARIEDADES COMERCIALES DE NARANJILLA**

En el Ecuador se comercializan las siguientes variedades de naranjilla:

**Agría:** fruto redondo, ligeramente achatada en los polos de color amarillo; corteza delgada, resistente al transporte; pulpa de sabor ácido; variedad muy apreciada en el mercado ecuatoriano, siendo por tanto, fácilmente comerciable; se la utiliza en frescos, helados y alimentos preparados (MAGAP, s. f.).

**Dulce:** fruto de forma redonda, color rojo anaranjado, tamaño grande, comparado con el interior; la corteza es más gruesa, pero es menos resistente al transporte y almacenamiento. La planta es delicada y susceptible al ataque de insectos. El fruto tiene sabor dulce; en el Ecuador es menos comercial que la naranjilla agría. Se utiliza en preparación de dulces, refrescos, gelatinas (MAGAP, s. f.).

Especial silvestre: existen muchas especies de naranjilla en estado silvestre.

Las variedades más conocidas de naranjilla son: Baeza, Agria, Dulce, Bola, Baeza roja, Híbrida, Septentrional, INIAP Palora (SICA, 2001).

### 2.1.7. COMPOSICIÓN QUÍMICA

La naranjilla es un fruto muy apreciado por su sabor, calidad de su jugo, aroma y valor nutricional.

En la Tabla 4 se muestran los elementos estructurales y el valor nutricional de la naranjilla.

**Tabla 4.** Valor nutricional de la naranjilla

<b>COMPONENTES</b>	<b>CONTENIDO DE 100g DE PARTE COMESTIBLE</b>
<b>Calorías</b>	23
<b>Humedad</b>	85.8-92.5 g
<b>Proteína</b>	0.107-0.6 g
<b>Carbohidratos</b>	5.7 g
<b>Grasa</b>	0.1-0.24g
<b>Fibra</b>	0.3-4.6 g
<b>Ceniza</b>	0.61-0.8g
<b>Calcio</b>	5.9-12.4 mg
<b>Fósforo</b>	12.0-43.7 mg
<b>Hierro</b>	0.34-0.64 mg
<b>Caroteno</b>	0.071-0.232 mg (600 I.U.)
<b>Tiamina</b>	0.04-0.094 mg
<b>Riboflavina</b>	0.03-0.047 mg
<b>Niacina</b>	1.19-1.76 mg
<b>Ácido ascórbico</b>	31.2-83.7 mg

(Erodata, 2010)

### **2.1.8. PÉRDIDAS POSCOSECHA**

Las pérdidas poscosecha en productos frutihortícolas se definen como un déficit de la calidad inicial de los mismos, ocasionado por cambios biológicos, físicos, químicos y fisiológicos, ocurridos en cualquiera de las etapas comprendidas desde el momento en que el producto es cosechado hasta su consumo. Esta disminución de la calidad se traduce directamente en la reducción de su valor comercial (García & García, 2001).

Las frutas y hortalizas son estructuras vegetales vivas, metabólicamente activas, lo cual limita su vida útil. Se estima pérdidas, durante la poscosecha, entre el 5 y el 25% en países desarrollados y entre el 5 y el 50% en países en vías de desarrollo (García & García, 2001).

Los productos frutihortícolas sufren diferentes tipos de daño, los cuales pueden clasificarse en tres grandes grupos: mecánico, fisiológico y ocasionados por ataques de plagas y enfermedades (García & García, 2001).

#### **2.1.8.1. Daños mecánicos**

Las frutas tienen una estructura y textura blanda que los hace susceptibles al deterioro por impactos, cortes, abrasión, presión, originados en su mayoría por la manipulación durante el acondicionamiento, embalaje, empaque, transporte y almacenamiento inadecuados (García & García, 2001). Se puede dar por:

- a. Cortes o perforaciones:

Causa: perforación en el embalaje por objetos agudos, astillas, contenedores de bambú o de madera, grapas o clavos sobresalientes.

Efecto: cortes profundos en el producto que dan lugar a la pérdida de agua y a la contaminación por microorganismos.

b. Impacto:

Causas: durante la recolección y el transvase, los frutos no son colocados en el recipiente sino que se dejan caer en él, durante las actividades de carga, transporte, descargue y apilamiento, las cajas se manipulan de manera brusca, durante el transporte se caen los embalajes por la puesta en marcha o frenada brusca del vehículo. La alta velocidad en carreteras destapadas genera vibración e impacto de los frutos.

Efecto: magulladuras del producto, ruptura de los embalajes.

c. Vibración:

Causa: fricción entre los frutos durante las actividades de acondicionamiento, transporte por carretera en mal estado o en vehículos inadecuados.

Efecto: deterioro por la fruta por la abrasión. La fricción o rozamiento entre las frutas genera pérdidas de la epidermis con la consecuente pérdida de jugos y constituye una puerta de entrada a microorganismos.

d. Compresión:

Causa: recipientes de recolección o transporte profundo, pilas demasiado altas en contenedores endebles o excesivamente grandes; contenedores demasiado llenos. Derrumbamiento de los contenedores apilados durante el transporte.

Efecto: magulladuras o aplastamiento del contenido.

### **2.1.8.2. Daños fisiológicos**

Los daños fisiológicos son aquellos relacionados con el normal funcionamiento de la fruta, es decir con las actividades de transpiración y respiración, las cuales van generando la pérdida de agua así como el conjunto de las reservas alimenticias de la fruta. Por lo tanto cualquier condición que acelere la transpiración y respiración reducirá el tiempo de vida útil y calidad de la fruta, incrementando sus pérdidas (García & García, 2001). Se pueden producir por:

#### **a. Temperatura alta:**

Causa: exposición directa de la fruta al sol; falta de ventilación de los recipientes, vehículos de transportación y lugar de almacenamiento.

Efecto: las frutas aumentan su tasa de respiración y de transpiración, se deshidratan, se ablandan y se marchitan, adquiriendo sabores desagradables y la descomposición progresa rápidamente.

#### **b. Enfriamiento o congelación:**

Causa: exposición de las frutas a temperaturas inferiores a su nivel de tolerancia del frío o la congelación.

Efecto: el daño al frío puede reflejarse de diversas maneras como decoloración interna o superficial, presencia de áreas pardas endógenas, falta de sabor, áreas de la pulpa saturadas de agua, picadura, descomposición o deterioro acelerado, maduración no uniforme o ausencia de maduración, incidencia de patógenos y desarrollo de enfermedades.

#### **c. Humedad:**

Causa: exposición a la lluvia y ambientes elevadas.



Efecto: ataque de hongos y ablandamiento del producto.

d. Luz:

Causa: los rayos ultravioleta pueden decolorar la fruta.

Efecto: pérdida de color.

e. Contaminación química:

Causa: almacenamiento de frutas con productos químicos; utilización de contenedores tratados con conservantes, contaminantes del producto por cajas contaminantes.

Efecto: contaminación del producto.

### **2.1.8.3. Daños ocasionados por plagas y enfermedades**

La exposición del fruto al ataque de insectos, roedores, pájaros y microorganismos; falta de aseo en los lugares de acopio y almacenamiento produce contaminación del producto por hongos o bacterias y rechazo del producto por los consumidores (García & García, 2001).

### **2.1.9. PATÓGENOS CAUSANTES DE PÉRDIDAS POSCOSECHA**

Los microorganismos patógenos más importantes que causan pérdidas poscosecha de frutas y hortalizas son normalmente las bacterias y los hongos.

Las bacterias son a menudo la causa más importante de deterioro en las hortalizas, con mayor frecuencia, los hongos son los causantes del deterioro patológico de frutas y productos subterráneos como raíces, tubérculos entre otros. Los microorganismos producen estructuras especializadas que deben ser depositadas sobre el producto para poder penetrar, invadir y eventualmente colonizar masivamente el tejido para causar daño. Estos procesos requieren de condiciones húmedas para que la mayoría de los hongos y bacterias puedan germinar y penetrar el tejido del producto.

Los géneros *Alternaria*, *Botrytis*, *Lasiodiplodia*, *Penicillium*, *Colletotrichum*, *Phoma*, *Fusarium*, *Rhizopus*, *Phytophthora* y *Mucor*, son conocidos como los principales causantes de las alteraciones más frecuentes en frutas y hortalizas, especialmente las referidas al aspecto físico, valor nutricional, características organolépticas y dificultad de conservación.

#### **2.1.10. ENFERMEDADES DE LA NARANJILLA**

La naranjilla es afectada por patógenos diversos, los cuales se clasifican en hongos, bacterias, nematodos y virus.

##### **a. Hongos**

**Pudrición de las ramas.-** esta enfermedad es ocasionada por *Sclerotinia spp.* que ataca las ramas (Figura 7) y en algunas ocasiones ataca la base del tallo (Castañeda, 1992).

Las ramas afectadas se cubren de una vellosidad blanquecina y al final se secan y mueren. Cuando el ataque ocurre en la base del tallo, la planta puede morir en caso de que no se controle oportunamente (García & García, 2001).



**Figura 7.** Pudrición de ramas causadas por *Sclerotinia spp.*

**Gota o Antracnosis de las frutas.-** el agente causal de este problema es el hongo *Colectotrichum gloesporium penz.* El síntoma de la enfermedad consiste en manchas oscuras gris o negras redondeadas como las observadas en tomate (Figura 8), de bordes definidos y con centro de color más claro (Castañeda, 1992).

Además de las pérdidas que la enfermedad ocasiona a nivel productor, se considera como la más importancia a nivel de poscosecha, porque los síntomas aparecen durante el tiempo en que las frutas fueron recolectadas y en el momento de su consumo. En este caso el hongo penetra en naranjilla que está alcanzando la madurez y no hay tiempo de que se manifiesten en el campo (Trigos, Ramírez, & Salinas, 2008).



**Figura 8.** *Colletotrichum spp.* en tomate.

**Manchas de la hoja.-** en algunas ocasiones, se presentan manchas húmedas (Figura 9) en la lamina foliar debido a ataques de *Botrytis spp.* que generalmente ocasionan daños a nivel económico (Castañeda, 1992).



**Figura 9.** Manchas de la hoja causada por *Botrytis spp.*

**Gota de los frutos.-** el agente causal es *Colectotrichum gloesporium spp.* y ataca los frutos, empezando a manifestarse en el futuro por manchas oscuras en el pedúnculo con una subsiguiente caída de frutos (Castañeda, 1992).

**Marchitez o podredumbre blanca.-** es producida por *Sclerotium spp.* El hongo ataca las ramas y el tallo de la planta produciendo un secamiento de la zona afectada (Figura 10), el cual se cubre posteriormente de un tejido algodonoso (García & García, 2001).



**Figura 10.** Podredumbre blanda causada por *Sclerotium spp.*

**Manchas de *Alternaria*.**- se presenta sobre las hojas y los frutos (Figura 11) y se caracteriza por ser una pudrición muy seca. Este hongo ataca en forma esporádica (Trigos, et al., 2008).



**Figura 11.** Manchas de *Alternaria*.

b. Bacterias

A nivel de cultivo, no se ha presentado ningún problema de tipo bacteriano, durante la etapa de mercadeo y almacenamiento, se presenta una pudrición del fruto ocasionada por la bacteria *Erwinia spp.* la cual puede penetrar durante la fase de maduración del fruto antes de ser cosechado o durante el manipuleo posterior. Este organismo es considerado como patógeno débil, debido a que no posee medios para penetrar en el fruto por sí mismo, si no que necesita una herida previa para hacerlo, la cual puede ser ocasionada por insectos, por hongos o por daños mecánicos durante o después de la cosecha (Castañeda, 1992).

c. Virus

No se identifican aun, la planta se enanifica al disminuir su crecimiento, las hojas nuevas aparecen retorcidas, con la venación gruesa y deforme, la producción de flores disminuye o se anula, por lo que en ataques graves no hay producción (García & García, 2001).

### 2.1.10.1. Enfermedades causadas por *Phytophthora spp.*

Conocida como tizón tardío se presenta generalmente en la segunda parte del periodo vegetativo, bajo la forma de áreas descoloridas o acuosas sobre el follaje. Generalmente comienza atacando las hojas inferiores para después infectar las superiores. Con tiempo seco, las áreas citadas se ponen secas y café. Limitando o impidiendo la contaminación a las plantas sanas vecinas; pero con tiempo caluroso y húmedo, toda la plántula queda reducida a una masa marchita y erguida en pocos días, infectando rápidamente todo el cultivo (Anónimo, s. f.).

Los tubérculos infectados aparecen descoloridos, con áreas acuosas sobre piel bajo la cual la pulpa se pone esponjosa y de color café ferruginoso, hasta una profundidad variable tal como la producida en papa (Figura 12).



**Figura 12.** Tizón tardío en papa.

### 2.1.10.2. Enfermedades causadas por *Rhizopus spp.*

La pudrición blanda se presenta en productos agrícolas susceptibles al ataque de *Rhizopus*, es considerado uno de los principales fitopatógenos que provocan enfermedades poscosecha en frutas y hortalizas ocasionando importantes pérdidas económicas (Velasquez, Bautista, Hernandez, Guerra, & Amora, 2008).

Según Velásquez y colaboradores (2008) la mayoría de pérdidas causadas por pudriciones se dan después de la cosecha, el método de infección es la magulladura, una vez que inicia la lesión puede invadir a todo el fruto ya que posee una rápida velocidad de crecimiento puede colonizar en solamente cuatro días en este tiempo puede pudrir totalmente al fruto (Figura 13).



**Figura 13.** Podredumbre en fruto de tomate producida por *Rhizopus ssp.*

### 2.1.11. CONTROL DE HONGOS CAUSANTES DE ENFERMEDADES POSCOSECHA

Para el control del desarrollo de hongos en producción frutihortícola se usan tratamientos como:

- **Químicos:** que son generalmente fungicidas y ayudan a mantener las plagas alejadas de los alimentos. Sin embargo el uso de estos productos para el control de ataques poscosecha se ha visto restringido por los residuos que dejan en el producto y que pueden afectar al consumidor (Rivera, et al., 2007).
- **Oxígeno ionizado:** El oxígeno ionizado aplicado durante una conservación refrigerada prolongada disminuye el desarrollo de los principales hongos causantes de daño en arándanos. La aplicación durante 24 horas del tratamiento provoca una inhibición parcial en *Alternaria* spp. y *Cladosporium* spp., sin diferencias en *Botrytis* spp. (Almirón, 2010).
- **Ozono gaseoso:** se puede emplear a concentraciones muy bajas en almacenamiento en frío para proteger contra bacterias y hongos. No sólo puede destruir hongos y bacterias en el aire y en la superficie de las frutas y verduras sino también deodoriza; Liangji (2008) encontró que el uso de ozono gaseoso previene la actividad microbiana en la superficie de alimentos y extender la vida de una amplia variedad de frutas y verduras, incluyendo manzanas, papas, fresas, brócoli, peras, naranjas, duraznos y arándano.
- **Irradiación de Alimentos.-** es un proceso físico que consiste en la exposición del alimento, a uno de los tres tipos de energía ionizante: rayos gamma, aceleradores de electrones o rayos X. Por ejemplo, el tratamiento con rayos gamma es realizado en una cámara especial



mediante un irradiador que utiliza el radioisótopo Cobalto 60, cuya aplicación a los alimentos, logra que las células microbianas, tales como bacterias, hongos y levaduras sean destruidas y los huevos de insectos y parásitos sean eliminados y/o esterilizados (IPEN, 2010).

- **La radiación ultravioleta C (UV-C)** es una forma de radiación no ionizada que no penetra más allá de las superficies y es generalmente conocida como germicida. La UV-C puede inactivar bacterias, hongos y virus (Fonseca, 2009).

Esta es una tecnología prometedora para mejorar ciertas variables de calidad en algunos productos hortícolas, siempre y cuando el costo no sea prohibitivo a escala comercial. A pesar de que puede mejorar la calidad y la inocuidad de las frutas y hortalizas enteras o mínimamente procesadas, también es claro que presenta limitaciones (Fonseca, 2009).

#### **2.1.12. RADIACIÓN ULTRAVIOLETA**

La radiación UV es una emisión de energía que se propaga a través del espacio y de los materiales, puede reducir de manera muy efectiva la incidencia de enfermedades alimentarias asociadas a la existencia de patógenos en los alimentos y consiste en exponer con esta radiación al alimento a tratar durante un tiempo determinado (Roca & Almela, 2004).

Forma parte del espectro de luz comprendida entre 100 y 400 nm. Se divide en tres segmentos

- **Radiación UV-A:** Radiaciones de longitud de onda larga comprendida entre los 315 y 400 nm. Apenas retenida en la atmósfera. Al menos el

90% de las radiaciones que llegan a la superficie terrestre son de este tipo es responsable de la pigmentación de la piel y del bronceado.

- **Radiación UV-B:** Radiación de longitud de onda media comprendida entre los 280 y 315 nm, representan como máximo un 10% de las radiaciones que llegan a la superficie terrestre. Posee mayor energía pero penetra en la piel, sus efectos son acumulativos a largo plazo y son responsables de las quemaduras del incremento del color de la piel.
- **Radiación UV-C:** Radiación de longitud de onda corta comprendida entre los 100 y 280 nm, son absorbidas en su totalidad por la capa de ozono.

De los tres tipos de luz UV (A, B y C), la UV-C es la que tiene poder germicida como se indica en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Tipos de Radiación UV

<i>TIPO</i>	<i>LONGITUD DE ONDA</i>	<i>RANGO</i>	<i>CARACTERÍSTICAS</i>
UV-A	Largo	320-400nm	Cambio en el color de piel (bronceado)
UV-B	Medio	280-320nm	Piel quemada (cáncer)
UV-C	Corto	200-280nm	Rango germicida (microorganismos)
UV-V		100-200nm	Rango de UV de vacío

(Roca & Almela, 2004)

### **2.1.13. RADIACIÓN UV-C**

La radiación ultravioleta C (UV-C) es una forma de radiación no ionizada que no penetra más allá de las superficies y es generalmente conocida como germicida. La UV-C puede inactivar bacterias, hongos y virus (Fonseca, 2009).

La radiación UV-C tiene efecto directo en el ADN de los microorganismos evitando que se multipliquen las cadenas del mismo, cuando intentan replicarse, mueren (Roca & Almela, 2004).

Su máximo pico de emisión a 254 nm y se ha comprobado que en esta longitud de onda donde presenta su mayor acción germicida, por lo que ha sido ampliamente estudiada en varios tejidos vegetales (Rivera, et al., 2007).

Esta es una tecnología prometedora para mejorar ciertas variables de calidad en algunos productos hortícolas, siempre y cuando el costo no sea prohibitivo a escala comercial. A pesar de que puede mejorar la calidad y la inocuidad de las frutas y hortalizas enteras o mínimamente procesadas, también es claro que presenta limitaciones (Fonseca, 2009).

### **2.1.14. EFECTO DE LA RADIACIÓN UV-C EN FRUTAS Y VEGETALES**

Los efectos de la radiación con luz UV sobre los microorganismos pueden variar de especie a especie y, entre cepas de la misma especie, del medio de cultivo, estado del cultivo, densidad de microorganismos y otras características como el tipo y composición del alimento (Guerrero & Barbosa, 2009).

La luz UV-C también se aplica en frutas frescas, vegetales y raíces antes de almacenarse para cumplir dos objetivos. Uno es el de reducir la carga microbiana inicial en la superficie del producto y el otro es el de inducir la resistencia del huésped a los microorganismos (Guerrero & Barbosa, 2009).

Se ha comprobado que la aplicación de radiación ultravioleta corta (UV-C, 254 nm) a diferentes productos vegetales, controla el crecimiento microbiano y retrasa los procesos asociados con su maduración y senescencia. Se ha citado la reducción de crecimiento de patógenos poscosecha en fresa (Baka, Mercier, Corcuff, Castaigne, & Arul, 1999), durazno (Stevens, et al., 1998), uva (Sarig et al., 1996) y lechuga (Allende & Artés, 2003). Al parecer la radiación UV-C induce la acumulación de sustancias naturales antifúngicas que limitan el crecimiento microbiano.

Por las ventajas que presenta este tipo de irradiación, se ha considerado como un tratamiento alternativo para preservar la calidad de frutas y hortalizas (Rivera, et al., 2007).

Una ventaja es que no deja residuos y no afecta las características sensoriales del producto (aroma y sabor). Pero la sensibilidad de los tejidos al tratamiento con UV-C difiere en funciones del genotipo, y en ocasiones las dosis altas pueden favorecer la oxidación de compuestos bioactivos del fruto, como vitamina C, carotenos y fenoles, así como el oscurecimiento superficial del tejido (Rivera, et al., 2007).

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. MATERIAL VEGETAL**

Se cosecharon frutos de naranjilla de un cultivo ubicado en la provincia de Pichincha, cantón San Miguel de los Bancos (Figura 14), y se trasladaron inmediatamente hasta los Laboratorios de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Tecnológica Equinoccial.



**Figura 14.** Cultivo de naranjilla San Miguel de los Bancos.

#### **3.2. AISLAMIENTO E IDENTIFICACIÓN DE HONGOS EN NARANJILLA**

Se pesó una muestra de 10g de naranjilla con visible desarrollo fúngico y se suspendió en 90 ml de agua destilada estéril (dilución  $10^{-1}$ ), se homogenizó, a partir de ésta se realizaron diluciones sucesivas hasta  $10^{-5}$ , en tubos de ensayo que contenían 9 ml de agua destilada estéril. Se inoculó 1ml de las diluciones  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$  y  $10^{-5}$  en cajas petri estériles por la técnica de vertido

con agar Sabouraud. Estas muestras se incubaron de 3 a 5 días a una temperatura de 25°C.

Transcurrido el tiempo de incubación, se observaron los diferentes tipos de hongos según las características de las colonias, de cada colonia diferente se tomó con el asa de inoculación una porción de micelio que se inoculó por depósito en el centro de una caja petri estéril con agar Sabouraud solidificado, con el fin de aislar los hongos encontrados. Estas cajas se incubaron a 25°C y los resultados se observaron luego de 3 a 5 días. Este procedimiento se repitió hasta obtener, visualmente, cepas puras de cada tipo de hongo. La pureza del cultivo se comprobaría realizando una tinción.

### **3.2.1. TINCIÓN DE HONGOS**

La identificación de *Rhizopus spp.* y *Phytophthora spp.* se realizó mediante la observación microscópica, utilizando un microscopio (modelo CX31 Olympus - Japón), con tinción simple utilizando azul de lactofenol. Se comparó la morfología de cada hongo con el Manual Introduction to Food-Borne Fungi (Samson, Huekstr, Friesvad, & Eilterburg, 1995).

### **3.3. TRATAMIENTO CON RADIACIÓN UV-C**

Con el fin de conocer el efecto de la radiación UV-C sobre el desarrollo de hongos inoculados artificialmente en naranjillas, se realizó un ensayo según Stevens y colaboradores (1998) con ligeras modificaciones.

Los frutos se dividieron en tres grupos: el primer grupo con frutos no inoculados y no irradiados denominados **control**, el segundo grupo con frutos inoculados y no irradiados denominados **0 kJ/m<sup>2</sup>** y el tercer grupo con frutos inoculados e irradiados denominados **12,5 kJ/m<sup>2</sup>** estos últimos fueron llevados a la cámara de radiación UV-C que en su interior cuenta con cuatro lámparas UV-C (lámpara UV Germicidal G30T8) donde se aplicó una dosis de 12,5 kJ/m<sup>2</sup> (Figura 15) medida con un radiómetro digital UV (UVX Radiometer UVP).



**Figura 15.** Naranjillas en la cámara de radiación.

Los frutos (control, 0 y 12,5 kJ/m<sup>2</sup>) se almacenaron en bandejas abiertas y se mantuvieron a temperatura ambiente protegidas de la luz durante 72 horas, para su posterior inoculación.

### **3.3.1. INOCULACIÓN ARTIFICIAL DE HONGOS EN NARANJILLA**

Se preparó una suspensión de esporas y conidios a partir de colonias crecidas en agar patata dextrosa (PDA), tomando con un hisopo estéril una muestra del hongo que se colocó en 9 ml de agua destilada estéril que contenga 0,03% de Tween-80. La solución de esporas fue de una



concentración de  $10^8$  cél/ml, según el estándar Mac Farland No. 2 (Figura 16). A partir de esta se realizaron tres diluciones hasta alcanzar una concentración de  $10^5$  cél/ml.



**Figura 16.** Comparación visual entre Escala Mac Farland No. 2 y suspensión de esporas.

Para la inoculación de naranjillas ( $0$  y  $12,5$   $\text{kJ/m}^2$ ) se esterilizaron superficialmente con etanol 95%. Se realizaron dos heridas de 3 mm de profundidad en la línea ecuatorial con una aguja de disección y se inocularon 20  $\mu\text{l}$  de la suspensión de esporas ( $10^5$ ) en cada herida (Figura 17).

Las naranjillas inoculadas se incubaron en condiciones húmedas, para esto se colocaron en bolsas de plástico con papel filtro húmedo durante 2 días a  $27^\circ\text{C}$  (Figura 18), luego se retiraron las cubiertas plásticas y se colocaron las frutas en bandejas abiertas y se incubaron durante 7 días a  $27^\circ\text{C}$ . Los frutos control tuvieron las mismas condiciones de almacenamiento ( $T^\circ$  y humedad).



**Figura 17.** Inoculación artificial en naranjilla.



**Figura 18.** Incubación de naranjilla en condiciones húmedas.

Las bandejas con naranjillas (control, 0 y 12,5 kJ/m<sup>2</sup>) permanecieron después del tratamiento (día 0) a una temperatura de 20°C durante 3 días, al 3er día fueron inoculadas artificialmente con *Rhizopus spp* y *Phytophthora spp.*, y se incubaron a una temperatura de 27°C hasta el día 12 (Figura 19). Se realizaron análisis de calidad en los días 0, 3, 6, 9 y 12.



**Figura 19.** Almacenamiento de naranjilla en bandejas abiertas.

Con el fin de evaluar el efecto hormético de la radiación UV-C sobre el desarrollo de *Rhizopus spp.* y *Phytophthora spp.* en la naranjilla.

### **3.4. EFECTO DE LA RADIACIÓN UV-C SOBRE EL DESARROLLO DE *Rhizopus spp.* Y *Phytophthora spp.***

A cada día de muestreo se tomaron al azar frutos de cada tratamiento y se determinaron los parámetros de calidad: pérdida de peso, índice de daño, pérdida de electrolitos, reducción de diámetro, firmeza, color superficial e interno y tasa de respiración. El análisis de tasa de respiración se lo realizó diariamente durante los doce días de almacenamiento.

#### **3.4.1. PÉRDIDA DE PESO**

La pérdida de peso se determinó por la diferencia entre el peso inicial de la fruta (día 0) y el peso de la fruta en el día de análisis. El peso de cada

naranjilla se midió en una balanza OHAUS Pioneer, la diferencia se expresó como porcentaje de pérdida de peso.

### 3.4.2. ÍNDICE DE DAÑO

En cada día de análisis se evaluaron las naranjillas visualmente utilizando una escala subjetiva de 1 a 4, considerando los daños observados en el fruto. Los criterios de análisis fueron:

- a. Ancho de la mancha: se evaluó el porcentaje de crecimiento de cada hongo en cada naranjilla infectada donde: 1=0%, 2=0-10%, 3=10-20% y 4=>20%
- b. Firmeza al tacto: donde 1= firme, 2=ligeramente suave, 3=suave y 4=blando;
- c. Escaldaduras: se evaluó visualmente el desarrollo de depresiones en la piel de cada naranjilla donde: 1= no hay, 2= desarrollo ligero, 3= desarrollo moderado y 4= muy desarrollado.

La calificación para cada síntoma de daño se calculó según la siguiente ecuación 1:

$$\text{Índice de cada síntoma de daño} = \frac{(\text{nivel de daño}) \times (\text{número de frutas por nivel})}{(\text{número total de frutas evaluadas})}$$

[1]

Donde:

Nivel de daño = escala subjetiva de cada criterio (1 – 4).

Número de frutas por nivel = número de frutas que se calificaron con el mismo criterio.

Número total de frutas evaluadas = número de frutas evaluadas por tratamiento.

Se calculó el índice de daño (ID) según la ecuación 2. El índice de daño se estableció con una escala de 1 a 4 según los resultados obtenidos en cada síntoma de daño donde: 1=sin daño, 2= daño ligero, 3= daño moderado y 4=daño severo.

$$\text{Índice de daño (ID)} = \sum \frac{(\text{índice de cada síntoma de daño})}{(\text{síntomas de daño evaluados})} \quad [2]$$

En las ecuaciones 1 y 2 se utilizaron escalas de calificación subjetiva en donde el evaluador daba su apreciación de cuánto daño y cuan avanzados estaban los síntomas en las muestras calificadas. Por esta razón las ecuaciones no presentan cita bibliográfica alguna.

### **3.4.3. PÉRDIDA DE ELECTROLITOS**

Se evaluó la pérdida de electrolitos utilizando el método de Vicente y colaboradores (2005) con ligeras modificaciones; se pesaron 2g de muestra que se incubaron en 10 ml de agua destilada. La conductividad eléctrica de la solución se midió con un conductímetro marca Thermo-Orion al comienzo de la incubación (a) y luego de 2 horas (b). Pasado este tiempo se trituraron las muestras con ayuda de una licuadora marca Oster, se centrifugó a 6000rpm/15 min a 20°C y se filtró a través papel filtro para tomar la última

medición de conductividad en el sobrenadante (c). Se realizaron triplicados para cada tratamiento. Los resultados se expresaron como porcentaje de pérdida de electrolitos de acuerdo a la Ecuación 3:

$$\% \text{ Pérdida de electrolitos}(C) = \left[ \frac{(b-a)}{b+c-a} \right] \times 100 \quad [3]$$

#### **3.4.4. REDUCCIÓN DE DIÁMETRO**

Se tomaron tres medidas en el diámetro ecuatorial a cada naranjilla con un calibrador BENSSON Vernier Caliper. La reducción de diámetro se determinó entre la diferencia del diámetro inicial de la fruta (día 0) y el diámetro de la fruta en el día de análisis. La diferencia se expresó como porcentaje de reducción de diámetro.

#### **3.4.5. FIRMEZA**

Se retiró la piel en la línea ecuatorial de cada naranjilla y se tomaron cuatro medidas. Se utilizó un penetrómetro o durómetro de frutas Penetrometer Firmness Tester fijado en un pedestal. Los resultados se reportaron en Newton (N).

### 3.4.6. COLOR SUPERFICIAL E INTERNO

Para el color superficial se tomaron tres medidas aleatorias en cada naranjilla y para el color interno se dividió la naranjilla en dos mitades y se tomó una medida por cada mitad. En ambos casos el color se midió en función de la escala CIE ( $L^*, a^*, b^*$ ). Los resultados se reportaron en base a la luminosidad ( $L^*$ ) y variación de color ( $\Delta E$ ), según la ecuación 4 que mencionan Chen y Ramaswamy (2002). Se utilizó un colorímetro Konica Minolta Chroma Meter CR 400/410.

$$\text{Variación del color } (\Delta E) = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad [4]$$

Donde:

$$\Delta E = L_{\text{inicial (d0)}} - L_{\text{final(día análisis)}}$$

$$\Delta a = a^*_{\text{inicial (d0)}} - a^*_{\text{final(día análisis)}}$$

$$\Delta b = b^*_{\text{inicial (d0)}} - b^*_{\text{final(día análisis)}}$$

### 3.4.7. TASA DE RESPIRACIÓN

La determinación de la tasa de respiración se realizó en función del contenido de  $\text{CO}_2$  exhalado por las frutas en el proceso de respiración. Para lo cual se colocaron cinco naranjillas previamente pesadas en el sistema de respiración (Figura 20), se registró el porcentaje de  $\text{O}_2$  y  $\text{CO}_2$  con un analizador de gases (Check Point PBI-200616-G Dansensor) al inicio del día de análisis y luego de una hora a la temperatura correspondiente. Los resultados se reportaron en miligramos de  $\text{CO}_2$  por hora y por kilogramo de producto ( $\text{mg} \cdot \text{CO}_2 / \text{Kg} \cdot \text{h}$ ).



**Figura 20.** Medida de tasa de respiración

### **3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y DISEÑO EXPERIMENTAL**

El presente trabajo de investigación se desarrolló como un Diseño de bloques al azar unifactorial, donde se analizaron las variables dependientes: pérdida de peso, índice de daño, pérdida de electrolitos, reducción de diámetro, firmeza, color superficial e interno y tasa de respiración.

Y las variables independientes: población de hongos, dosis de radiación UV-C, tiempo y temperatura de almacenamiento.

Los resultados se procesaron mediante un análisis de varianza (ADEVA) y las medidas comparadas a través de la prueba de diferencia mínima significativa (LSD) con una significancia 0,05 usando el software Statgraphics Centurion XV.

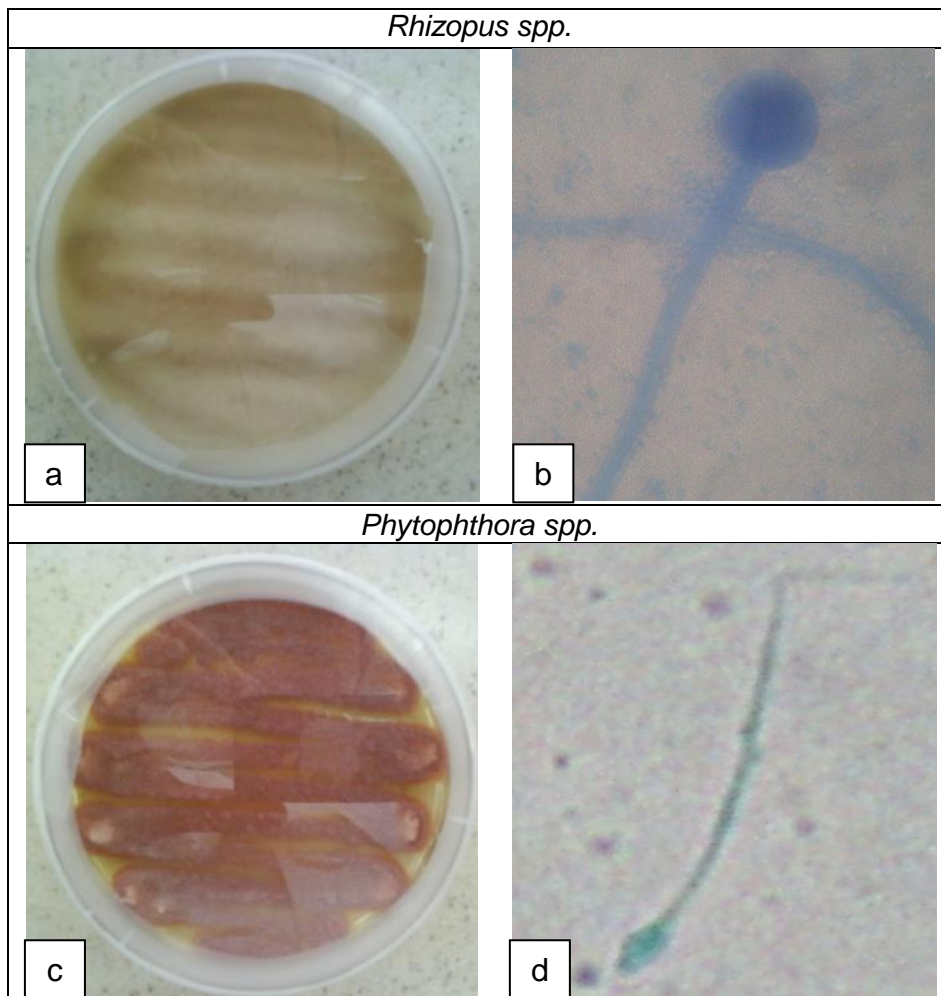


## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. AISLAMIENTO E IDENTIFICACIÓN DE HONGOS

A partir de naranjillas con evidente desarrollo fúngico se identificaron *Rhizopus spp.* (Figura 21a y 21b) y *Phytophthora spp.* (Figura 21c y 21d).



**Figura 21.** Hongos aislados e identificados en naranjilla: Cultivo (a y c) y observación microscópica a 40X (b y d) de *Rhizopus spp.* y *Phytophthora spp.*

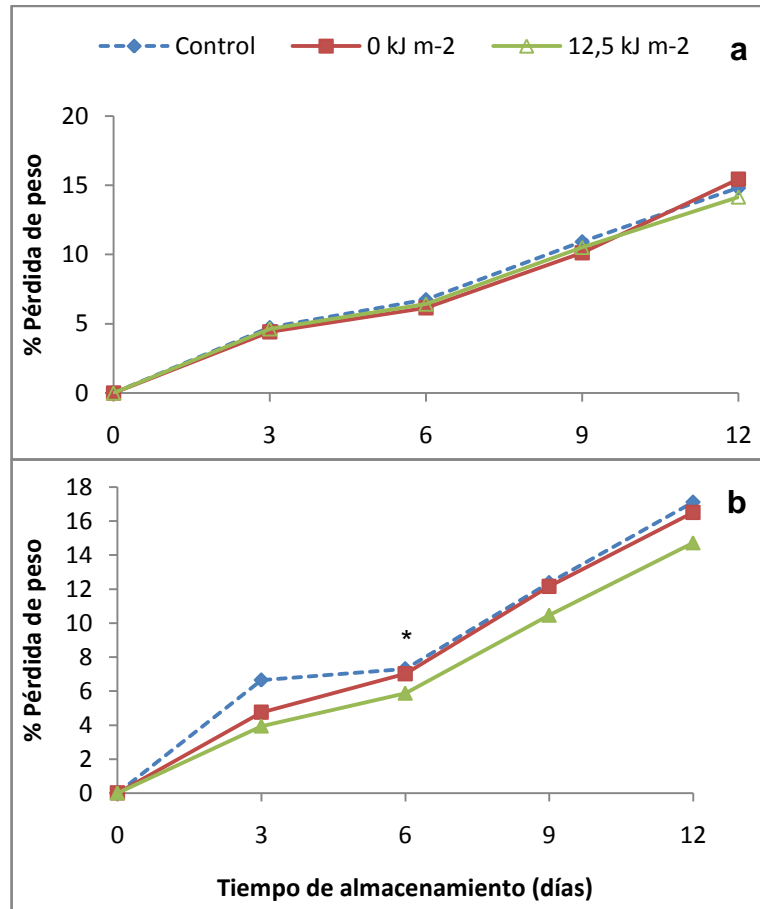
## 4.2. EFECTO DE LA RADIACIÓN UV-C SOBRE EL DESARROLLO DE *Rhizopus spp.* Y *Phytophthora spp.*

### 4.2.1. PÉRDIDA DE PESO

La pérdida de peso se determinó durante 12 días de almacenamiento y se expresó como el porcentaje de pérdida de peso en relación con el peso inicial.

En frutos inoculados con *Rhizopus spp.* los tratamientos con dosis de 12,5 y 0 kJ/m<sup>2</sup> presentaron un comportamiento similar a los controles en cuanto al incremento de la pérdida de peso a lo largo del almacenamiento, como se indica en la Figura 22a. Para el final del almacenamiento los frutos tratados con dosis de 12,5 kJ/m<sup>2</sup> presentaron una pérdida de peso de 14,17% mientras que los control y tratados (0 kJ/m<sup>2</sup>) alcanzaron valores de 14,82 y 15,45%, respectivamente. No se observaron diferencias significativas entre las muestras.

Para naranjillas inoculadas con *Phytophthora spp.* a lo largo del almacenamiento los frutos tratados con dosis de 0 kJ/m<sup>2</sup> y los control presentaron un mayor incremento en la pérdida de peso que los frutos tratados con dosis de 12,5 kJ/m<sup>2</sup> (Figura 22b). Para el día 12 los frutos tratados (12,5 kJ/m<sup>2</sup>) alcanzaron una pérdida de peso 14,73% mientras que con dosis de 0 kJ/m<sup>2</sup> y control alcanzaron valores de 16,51 y 17,12%; respectivamente. Únicamente se observó diferencia significativa entre las muestras en el día 6.



**Figura 22.** Pérdida de peso en naranjilla inoculada artificialmente a lo largo del almacenamiento con a) *Rhizopus spp.* b) *Phytophthora spp.*

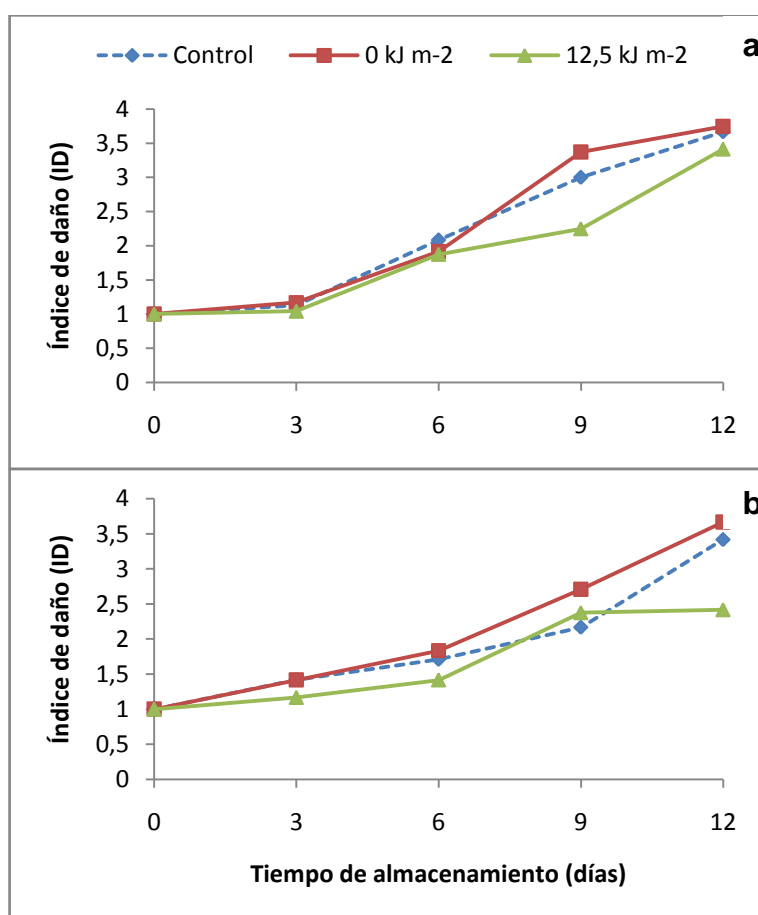
El (\*) Indica que existe diferencia estadística significativa entre las muestras.

En frutos inoculados con *Phytophthora spp.* la radiación UV-C disminuyó el porcentaje de pérdida de peso en relación a los frutos control mientras que para *Rhizopus spp.* tanto en frutos tratados como controles el incremento fue similar a lo largo del almacenamiento.

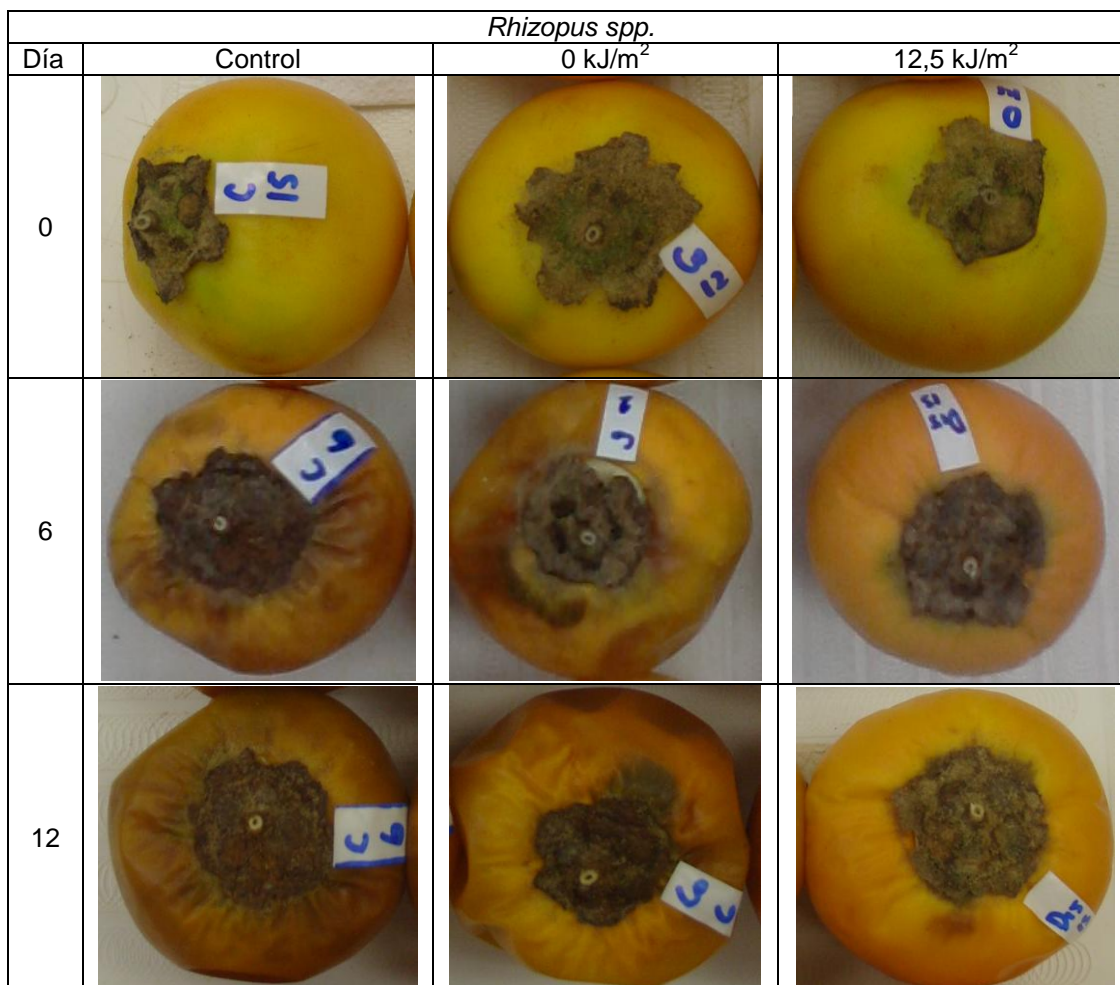
Vicente y colaboradores (2005) reportaron que en pimientos tratados con radiación UV-C durante el periodo de almacenamiento no hubo ninguna diferencia de pérdida de peso entre frutos control y frutos tratados, resultados similares fueron reportados en brócoli (Lemoine, et al., 2007).

#### 4.2.2. ÍNDICE DE DAÑO (ID)

Los síntomas de daño en naranjillas inoculadas con *Rhizopus spp.* (Figura 23a) se presentaron a partir del día 6 con un daño ligero (ID=2) en frutos tratados (dosis 0 y 12,5 kJ/m<sup>2</sup>) y controles; para el día 9 en el que el hongo se desarrolló por completo, el daño se incrementó a moderado-severo (ID=3,5) en frutos control y tratados con dosis de 0 kJ/m<sup>2</sup>, mientras que los frutos tratados con dosis de 12,5 kJ/m<sup>2</sup> presentaron un daño ligero-moderado (2,5). Al final del almacenamiento (día 12) los frutos control y dosis de 0 kJ/m<sup>2</sup> perdieron totalmente (Figura 24). Mientras que los frutos tratados presentaron mejor apariencia visual




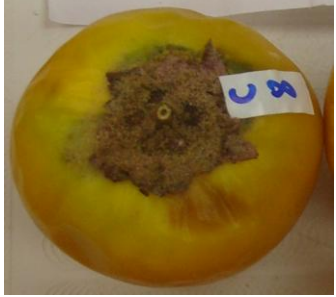



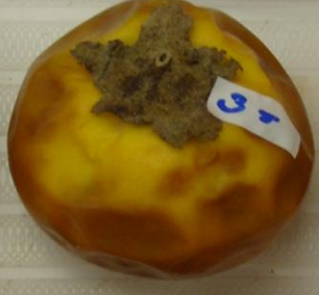



**Figura 23.** Evaluación del Índice de daño en naranjilla inoculada artificialmente con a) *Rhizopus spp.* b) *Phytophthora spp.*



**Figura 24.** Evaluación del índice de daño de naranjilla inoculada artificialmente con *Rhizopus spp.* a lo largo del almacenamiento.

Al igual que en el caso anterior los frutos inoculados con *Phytophthora spp.* presentaron síntomas de daño a partir del día 6. Los frutos tratados con dosis 0 y los control (Figura 23b) alcanzaron un daño ligero (2); mientras que los frutos tratados con dosis de 12,5 kJ/m<sup>2</sup> presentaron un ID de 1,4 que corresponde a sin daño-daño ligero. Para el día 9, en el que el hongo presentó un desarrollo visual el daño se incrementó a daño moderado (2,7) en dosis de 0 kJ/m<sup>2</sup>, en los frutos control se alcanzó un daño ligero (2,2) mientras que los frutos tratados con dosis de 12,5 kJ/m<sup>2</sup> alcanzó un valor de 2,4 (daño ligero-moderado). Para el final del almacenamiento (día 12) los frutos con dosis de 0 kJ/m<sup>2</sup> y control perdieron su calidad como se indica en la Figura 25, mientras que los frutos tratados con dosis de 12,5 kJ/m<sup>2</sup> el valor de ID se mantuvo constante.

<i>Phytophthora spp.</i>			
Día	Control	0 kJ/m <sup>2</sup>	12,5 kJ/m <sup>2</sup>
0			
6			
12			

**Figura 25.** Evaluación del índice de daño de naranjilla inoculada artificialmente con *Phytophthora spp.* a lo largo del almacenamiento.

La dosis de radiación UV-C aplicada redujo el índice de daño tanto en naranjillas inoculadas con *Rhizopus spp.* como en naranjillas inoculadas con *Phytophthora spp.* siendo estas en mayor proporción.

Similares resultados se reportaron en manzana, durazno y mandarina (Stevens et al., 1995) que fueron inoculadas artificialmente por *Alternaria spp.*, *Monilinia fructicola* y *Penicillium digitatum*, respectivamente; presentaron una notable reducción del índice de daño y los diámetros de las lesiones son más pequeños en los frutos tratados con radiación UV-C (dosis 7,5 kJ/m<sup>2</sup>) que en los frutos control. En fresas tratadas con radiación UV-C (Baka, et al., 1999) disminuyó la velocidad de la aparición de la putrefacción

causada por *Botrytis cinérea*, mientras que las frutas control presentaron señales de la infección severa.

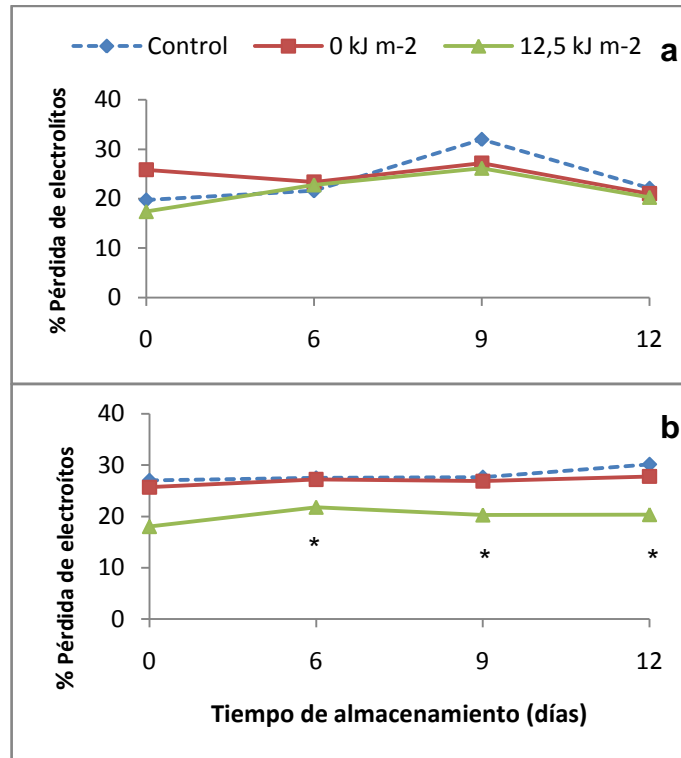
#### 4.2.3. PÉRDIDA DE ELECTROLITOS

La pérdida de electrolitos se utiliza como indicador de pérdida de integridad de membranas, a mayor daño del tejido habrá menor salida de iones de la célula y consecuentemente mayor conductividad.

Cuando se inocularon naranjillas con *Rhizopus* (Figura 26a), en el día 9 alcanzaron al valor más alto de pérdida de electrolitos con 27,19 y 26,17% para frutos tratados con dosis de 0 y 12,5 kJ/m<sup>2</sup> respectivamente, mientras que los frutos control alcanzaron un valor de 32%. Para el final del almacenamiento (día 12) los frutos control incrementaron un 2,38% con respecto al día 0; mientras que los frutos tratados con dosis de 12,5 y 0 kJ/m<sup>2</sup> mantuvieron un valor similar al día 0.

En los frutos inoculados con *Phytophthora* (Figura 26b), el porcentaje de pérdida de electrolitos fue menor en frutos tratados con dosis de 12,5 kJ/m<sup>2</sup>. Los frutos tratados con dosis de 0 kJ/m<sup>2</sup> y los frutos control presentaron mayor porcentaje de pérdida de electrolitos a lo largo del almacenamiento alcanzando valores de 27,76 y 30,14%, respectivamente; en el día 12, mientras que los frutos tratados presentaron un valor de 20,3%.





**Figura 26.** Pérdida de electrolitos en naranjilla inoculada artificialmente a lo largo del almacenamiento con a) *Rhizopus spp.* b) *Phytophthora spp.* El (\*) Indica que existe diferencia estadística significativa entre las muestras.

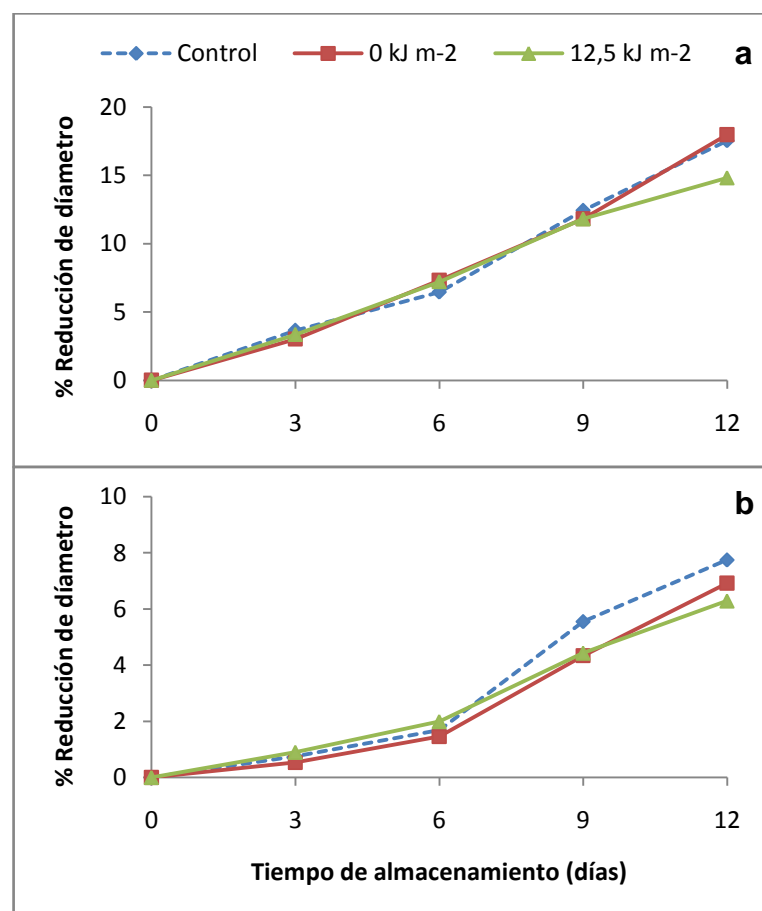
Baka y colaboradores (1999) reportaron resultados similares en fresas, en donde se presentaron diferentes picos de pérdida de electrolitos siendo mayor porcentaje en frutos control, en tanto que los frutos tratados con radiación UV-C indicaron mejores resultados.

#### 4.2.4. REDUCCIÓN DE DIÁMETRO

La reducción de diámetro se expresó como porcentaje en relación al diámetro inicial y se determinó durante 12 días de almacenamiento.

El efecto de la radiación UV-C fue similar en cuanto a un incremento gradual en el porcentaje de reducción de diámetro tanto para frutos inoculados con *Rhizopus spp.* como los inoculados con *Phytophthora spp.* a lo largo del almacenamiento

Según se observa en la Figura 27a, se presentó mayor reducción del diámetro en los frutos inoculados con *Rhizopus* alcanzando valores de 14,82; 17,99 y 17,54% para frutos tratados (dosis 12,5 y 0 kJ/m<sup>2</sup>) y controles, respectivamente. Mientras los frutos atacados por *Phytophthora* (Figura 27b) alcanzaron valores de 6,2% para frutos tratados con dosis de 12,5 kJ/m<sup>2</sup>; y 6,9 y 7,7% para dosis 0 kJ/m<sup>2</sup> y controles, respectivamente.



**Figura 27.** Reducción de diámetro en naranjilla inoculada artificialmente a lo largo del almacenamiento con a) *Rhizopus spp.* b) *Phytophthora spp.*

Probablemente esta diferencia se debería al ataque fúngico que cada hongo presenta, en el caso de *Rhizopus* posee una rápida velocidad de crecimiento (Velasquez, et al., 2008), una vez que inicia la lesión puede invadir todo el fruto y llegar a pudrirlo totalmente. Mientras que con *Phytophthora* los frutos infectados aparecen con aéreas acuosas sobre la piel y de color café ferruginoso (Anónimo, s. f.). Si bien no se observan diferencias significativas entre los tratamientos en el día 12 los frutos tratados con 12,5 kJ/m<sup>2</sup> presentaron menor reducción del diámetro que los frutos control y 0 kJ/m<sup>2</sup>.

Resultados similares a los obtenidos en el presente trabajo de investigación se reportaron con el tratamiento UV-C en uvas (Nigro, Ippolito, & Lima, 1998), donde el tratamiento retrasó la reducción de diámetro y mantuvo la calidad de los frutos tratados en relación de los frutos control.

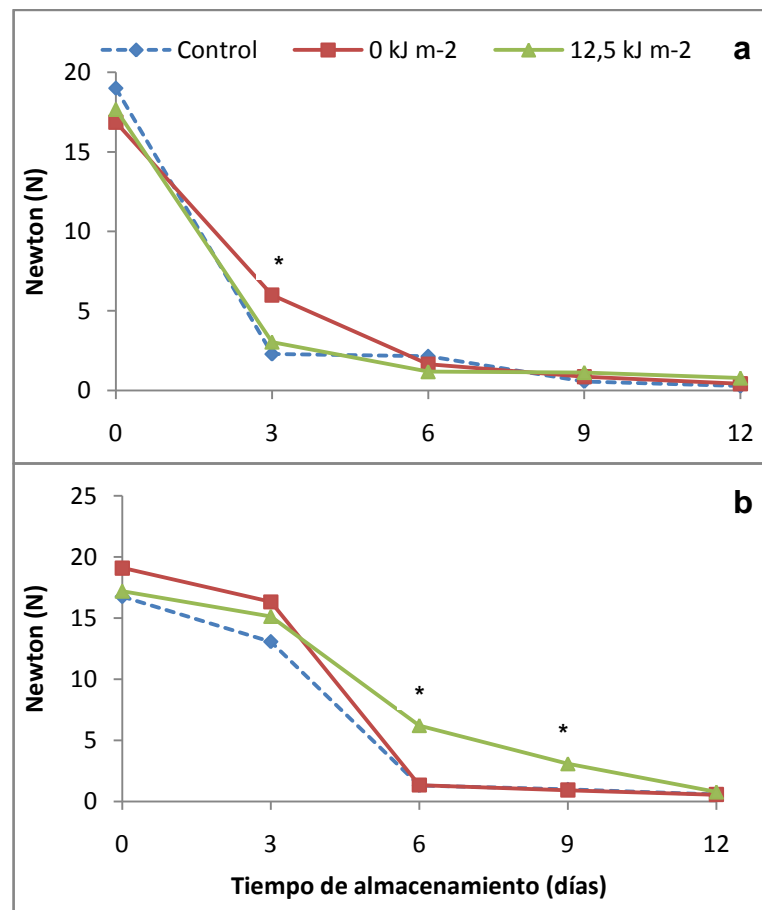
#### **4.2.5. FIRMEZA**

En la Figura 28a (frutos inoculados con *Rhizopus*) se observa que los frutos tratados con dosis de 0 y 12,5 kJ/m<sup>2</sup> iniciaron (día 0) con una firmeza de 16,86 y 17,67N respectivamente, para los frutos control el valor inicial fue de 18,99N; en el día 3 los frutos sufrieron una disminución de firmeza significativa en relación al día 0 presentando valores de 6N para la dosis de 0kJ/m<sup>2</sup>, 3N para la dosis de 12,5 kJ/m<sup>2</sup> y 2,3N para los controles. A partir del día 6 y hasta el final del almacenamiento (día 12) perdieron la firmeza tanto frutos control como tratados (0 kJ/m<sup>2</sup>) y en menor medida los tratados (12,5 kJ/m<sup>2</sup>).

En frutos inoculados con *Phytophthora* (Figura 28b), los frutos tratados con dosis de 0 kJ/m<sup>2</sup> así como los controles iniciaron con una firmeza de 16,74 y 19,09N respectivamente; a partir del día 6 disminuyó la firmeza de la fruta. La dosis 12,5 kJ/m<sup>2</sup> inició con una firmeza de 17,19N con una ligera

disminución en el día 3, mientras que en los días 6 y 9 presentó mayor firmeza que las muestras 0 kJ/m<sup>2</sup> y controles, alcanzando en el día 12 valores similares, las muestras perdieron totalmente la firmeza para el final del almacenamiento (día 12).

La radiación UV-C en frutos inoculados con *Phytophthora spp.* retrasó la pérdida de firmeza hasta el día 9 mientras que en *Rhizopus spp.* a partir del día 3 perdieron la firmeza, probablemente por la diferencia de susceptibilidad al desarrollo del hongo en la fruta.



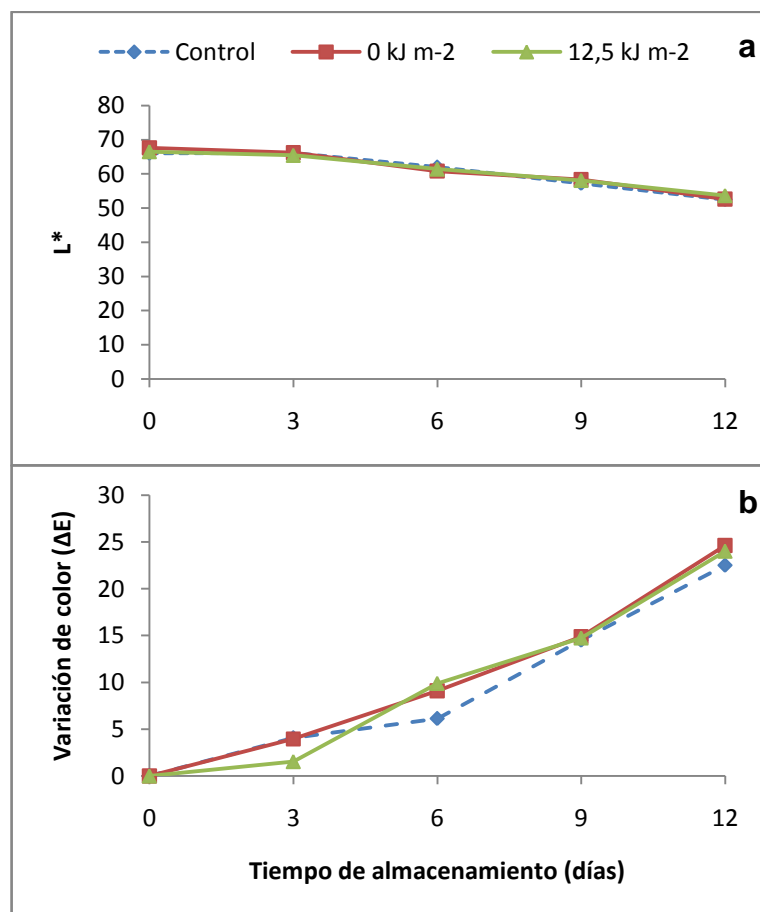
**Figura 28.** Firmeza en naranjilla inoculada artificialmente a lo largo del almacenamiento con a) *Rhizopus spp.* b) *Phytophthora spp.*

El (\*) Indica que existe diferencia estadística significativa entre las muestras.

Resultados similares fueron reportados en mango (González, Villegas, Cuamea, & Ayala, 2006) donde se observó una disminución continua de la firmeza durante el período de almacenamiento del fruto.

#### 4.2.6. COLOR SUPERFICIAL

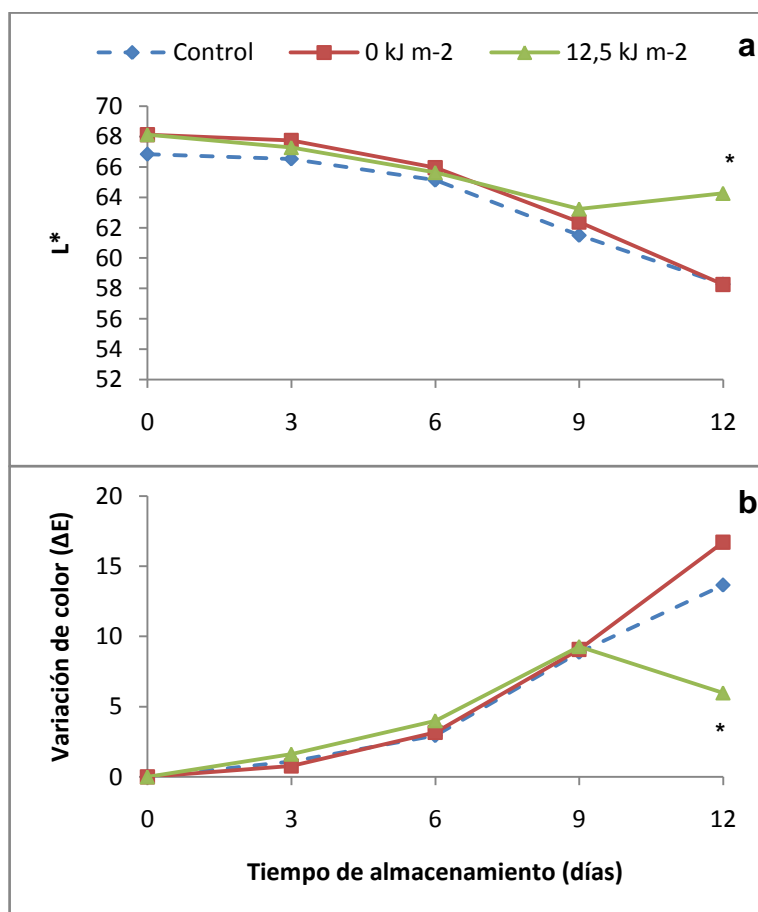
La luminosidad ( $L^*$ ) presentó una ligera disminución durante el almacenamiento en frutos tratados y controles, en naranjillas inoculadas con *Rhizopus* (Figura 29a), no se encontraron diferencias significativas entre las muestras.



**Figura 29.** Luminosidad y variación de color superficial en naranjilla inoculada artificialmente con *Rhizopus* spp.

Como se observa en la Figura 29b, en frutos inoculados con *Rhizopus* el comportamiento fue similar en cuanto al incremento de la variación de color para todas las muestras, a lo largo del almacenamiento, sin presentar diferencia significativa entre las muestras.

En frutos inoculados con *Phytophthora* (Figura 30a) y tratados con 12,5 kJ/m<sup>2</sup> se observó una disminución en la luminosidad hasta el día 9, a partir del cual se mantuvieron constantes hasta el final del almacenamiento, a diferencia de la muestras control y 0 kJ/m<sup>2</sup> que se observó una disminución gradual durante todo el periodo de almacenamiento.



**Figura 30.** Luminosidad y variación de color superficial en naranjilla inoculada artificialmente con *Phytophthora spp.*

El (\*) Indica que existe diferencia estadística significativa entre las muestras.

En la Figura 30b, la variación del color para frutos inoculados con *Phytophthora* tuvieron un comportamiento similar a lo largo del almacenamiento en frutos control y dosis de 0 kJ/m<sup>2</sup>, mientras que la dosis 12,5 kJ/m<sup>2</sup> a partir del día 9 se mantuvo constante, al final del almacenamiento (día 12) presentó diferencia significativa entre las muestras.

Vicente y colaboradores (2005) obtuvieron resultados similares sobre el color en pimientos donde la luminosidad en el color superficial no mostró diferencia significativa en frutos control y tratados.

#### **4.2.7. COLOR INTERNO**

En la Tabla 6 en frutos inoculados con *Rhizopus*, se observa que la luminosidad presentó una disminución en el día 3 tanto en frutos tratados (0 y 12,5 kJ/m<sup>2</sup>) y los controles, sin embargo para el final del almacenamiento todas las muestras alcanzaron valores similares a los iniciales. En frutos tratados con dosis de 12,5 kJ/m<sup>2</sup> la variación del color aumentó en el día 3 y fue disminuyendo progresivamente a lo largo del almacenamiento, mientras que para frutos tratados (0 kJ/m<sup>2</sup>) y controles la variación de color fue aumentando gradualmente hasta el final del almacenamiento. A partir del día 6 se presentaron diferencias significativas.

**Tabla 6.** Luminosidad y variación de color interno en naranjilla inoculada artificialmente con *Rhizopus spp.*

COLOR INTERNO				
DÍA		CONTROL	DOSIS UV-C	
			0 kJ/m <sup>2</sup>	12,5 kJ/m <sup>2</sup>
0	L*	56,31 <sup>a</sup>	54,76 <sup>a</sup>	58,03 <sup>a</sup>
	ΔE	0,00 <sup>a</sup>	0,00 <sup>a</sup>	0,00 <sup>a</sup>
3	L*	53,01 <sup>a</sup>	51,65 <sup>a</sup>	51,87 <sup>a</sup>
	ΔE	3,71 <sup>a</sup>	3,64 <sup>a</sup>	7,95 <sup>a</sup>
6	L*	55,91 <sup>a</sup>	53,88 <sup>a</sup>	53,11 <sup>a</sup>
	ΔE	0,64 <sup>b</sup>	2,40 <sup>a</sup>	6,52 <sup>b</sup>
9	L*	55,23 <sup>a</sup>	57,27 <sup>a</sup>	54,10 <sup>a</sup>
	ΔE	1,47 <sup>ab</sup>	3,60 <sup>a</sup>	4,80 <sup>b</sup>
12	L*	56,65 <sup>a</sup>	56,61 <sup>a</sup>	56,81 <sup>a</sup>
	ΔE	5,10 <sup>a</sup>	4,06 <sup>ab</sup>	1,34 <sup>b</sup>

Letras distintas en una misma fila denotan diferencia estadísticamente significativamente ( $p < 0,05$ )

En frutos inoculados con *Phytophthora* (Tabla 7), los frutos tratados y los controles tuvieron una disminución gradual a lo largo del almacenamiento, no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos. Si bien la variación del color presentó un incremento en el día 3 en todas las muestras los frutos tratados con dosis de 0 y 12,5 kJ/m<sup>2</sup> mantuvieron constante la variación del color hasta el final del almacenamiento, mientras que en los frutos control fue disminuyendo gradualmente. No hubo diferencias significativas entre las muestras.



**Tabla 7.** Luminosidad y variación de color interno en naranjilla inoculada artificialmente con *Phytophthora spp.*

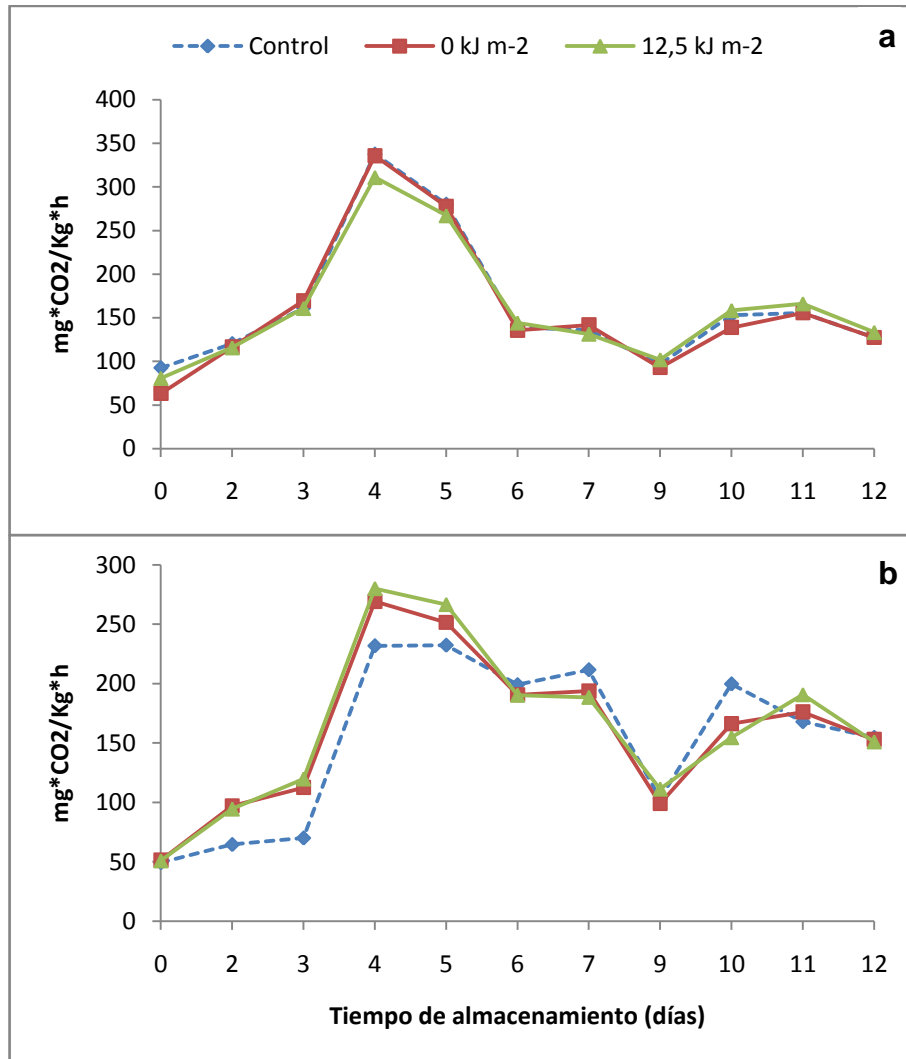
		COLOR INTERNO		
DÍA		CONTROL	DOSIS UV-C	
			0 kJ/m <sup>2</sup>	12,5 kJ/m <sup>2</sup>
0	L*	58,75 <sup>a</sup>	60,09 <sup>a</sup>	60,32 <sup>a</sup>
	ΔE	0,00 <sup>a</sup>	0,00 <sup>a</sup>	0,00 <sup>a</sup>
3	L*	58,64 <sup>a</sup>	56,51 <sup>a</sup>	55,80 <sup>a</sup>
	ΔE	1,93 <sup>a</sup>	4,47 <sup>a</sup>	4,57 <sup>a</sup>
6	L*	53,97 <sup>a</sup>	56,86 <sup>a</sup>	56,47 <sup>a</sup>
	ΔE	5,45 <sup>a</sup>	4,07 <sup>a</sup>	4,83 <sup>a</sup>
9	L*	57,36 <sup>a</sup>	57,21 <sup>a</sup>	58,17 <sup>a</sup>
	ΔE	2,30 <sup>a</sup>	4,53 <sup>a</sup>	4,72 <sup>a</sup>
12	L*	56,65 <sup>a</sup>	55,38 <sup>a</sup>	55,96 <sup>a</sup>
	ΔE	2,26 <sup>a</sup>	5,00 <sup>a</sup>	4,61 <sup>a</sup>

Letras distintas en una misma fila denotan diferencia estadísticamente significativamente (p<0,05)

Resultados similares a los reportados en este estudio se presentaron en col (Brown et al., 2001) donde el color interno no presenta ninguna variación a excepción de la luminosidad que se diferencia en los primeros días de almacenamiento tanto en frutos tratados con radiación UV-C como en los frutos control.

#### 4.2.8. TASA DE RESPIRACIÓN

La tasa de respiración se mide con la cantidad de CO<sub>2</sub> que producen los frutos en una cámara de respiración, esto permite determinar picos máximos que tienen los frutos denominados climatéricos como la naranjilla. Los picos climatéricos se dan cuando la fruta alcanza su madurez.



**Figura 31.** Tasa de respiración en naranjilla inoculada artificialmente a lo largo del almacenamiento con a) *Rhizopus* spp. b) *Phytophthora* spp.

Tanto en frutos inoculados con *Rhizopus* (Figura 31a) y *Phytophthora* (Figura 31b) presentaron un pico máximo en el día 4 lo que indica que la fruta llegó a su madurez, Proaño (2008) menciona que la naranjilla en condiciones normales debería llegar a un pico máximo entre el día 9 y 11, sin embargo en este caso la fruta ha sido inoculada artificialmente e incubada a 27°C por lo que el hongo y la temperatura van a influir en la tasa de respiración así la cantidad de CO<sub>2</sub> producida será la suma del metabolismo de la fruta y el hongo. En frutos inoculados con *Phytophthora*

tuvieron otro pico al final del almacenamiento esto probablemente se debería al desarrollo del hongo.

El desarrollo de los hongos y las condiciones de almacenamiento (27°C) aceleren el metabolismo de la fruta, sin embargo serian necesarios más estudios para poder entender el comportamiento del fruto frente al ataque del hongo.

## **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

- Se aislaron e identificaron *Phytophthora spp* y *Rhizopus spp.* de naranjillas con visible desarrollo fúngico. Siendo estos los principales hongos causantes de pérdidas poscosecha en este fruto.
- En naranjillas inoculadas con *Rhizopus spp.* el desarrollo se observó a partir del día 6, sin embargo el efecto de la radiación UV-C en este hongo fué bajo, ya que, en los análisis de calidad el comportamiento fué similar a los frutos control a lo largo del almacenamiento, a pesar de esto el ID indicó que existe un efecto de la radiación UV-C sobre *Rhizopus*, pero es necesario aplicar dosis mayores para que estos resultados sean más evidentes.
- La inoculación artificial en naranjillas sanas con propágulos aislados y tratados con dosis de 12,5 kJ/m<sup>2</sup> presentaron desarrollo fúngico en *Phytophthora spp.* en los últimos días de almacenamiento para todos los análisis de calidad a excepción del color externo e interno, donde el comportamiento fue similar a los largo del almacenamiento, es decir que la radiación UV-C retrasó el desarrollo un día y mantuvo la calidad de la fruta en relación a los frutos control.
- El crecimiento de *Phytophthora spp* y *Rhizopus spp* inoculados artificialmente se vio reducido por la aplicación de radiación UV-C en naranjilla sobre los análisis de calidad que se realizaron, los frutos tratados presentaron mejor apariencia visual que los controles.

- La radiación UV-C en naranjillas inoculadas artificialmente presentó un efecto hormético, ya que la fruta respondió al estrés provocado y permitió que mantuviera la calidad por más tiempo en relación a los frutos control, viéndose un mayor efecto hormético en frutos inoculados con *Phytophthora spp.* que en *Rhizopus spp.* ya que este último presentó mayor resistencia al tratamiento.
- El efecto de la radiación depende de las características del fruto, la superficie expuesta a la radiación y la concentración de microorganismos. Por otra parte se podría aplicar esta tecnología luego de la cosecha de naranjilla ya que beneficiaría a productores y comerciantes ofreciendo un producto con mayor vida útil.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Los resultados expuestos indican un efecto positivo de la aplicación de radiación UV-C en naranjilla inoculada artificialmente, sin embargo para futuras investigaciones se debería mejorar el diseño del equipo (cámara de radiación) para que la fruta pueda ser expuesta la mayor cantidad de radiación sin manipulaciones externas, por otro lado permitiría el ahorro de tiempo y energía.
- Es importante que en futuras investigaciones se pruebe el uso para cada hongo de diferentes dosis de radiación UV-C, ya que cada microorganismo presenta diferente resistencia al aplicar una misma dosis, de esta manera se obtendrían mejores resultados y se determinaría con exactitud el efecto de la radiación UV-C sobre cada hongo.
- Aplicar radiación UV-C a otras frutas u hortalizas que tengan mayor pérdida poscosecha causada por hongos.
- Realizar estudios sobre el efecto hormético de cada fruta sobre el tratamiento con radiación UV-C.
- Complementar los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación con estudios sobre la actividad enzimática en naranjilla inoculada artificialmente, para así comprender de mejor manera el mecanismo de respuesta del fruto y su relación con el control del crecimiento de hongos frente al tratamiento con radiación UV-C.

## **6. BIBLIOGRAFÍA**



## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Almirón, N. (2010). Arándano, control de hongos causantes de podredumbres poscosecha. *INTA Concordia, Almirante*.
- Allende, A., & Artés, F. (2003). UV-C radiation as a novel technique for keeping quality of fresh processed 'Lollo Rosso' lettuce. *Elsevier Science. Food Research International*, 36, 739–746.
- Anónimo. (s. f.). Tizón tardío, producido por el hongo (phytophthora infestans). *Universidad Católica de Chile*.
- Baka, M., Mercier, J., Corcuff, R., Castaigne, F., & Arul, J. (1999). Photochemical Treatment to Improve Storability of Fresh Strawberries. *Journal of food science.*, 64, No. 6.
- Brown, J., Lu, T., Stevens, C., Khan, V., Lu, L., Wilson, C., Droby, S. (2001). The effect of low dose ultraviolet light-C seed treatment on induced resistance in cabbage to black rot (*Xanthomonas campestris* pv. *campestris*). *Crop Protection* 20. *Elsevier*.
- Castañeda, H. (1992). El lulo, su cultivo, su conservación. *Pereira. Ediciones Tecnológicas.*, 94 p.
- Civello, P., Vicente, A., & Martínez, G. (2006). UV-C technology to control postharvest diseases of fruits and vegetables. *Recent Advances in Alternative Postharvest Technologies to Control Fungal Diseases in Fruits & Vegetables*, ISBN: 81-7895-244-0.
- Erodata, S. A. (2010). Cultivo de naranjilla, from <http://www.equaquimica.com>
- Fonseca, J. (2009). Tratamiento Ultravioleta. Efectos de la luz UV-C en calidad de hortalizas, from <http://www.hortalizas.com/>
- Gallozzi, R., & Duarte, O. (2007). Guía práctica de manejo agronómico, cosecha, poscosecha y procesamiento de naranjilla. *Instituto Interoamericano de Cooperación y Agricultura (IICA)*.
- García, M., & García, H. (2001). Manejo cosecha y poscosecha de mora, lulo, y tomate de árbol. Bogotá. *CORPAICA*, 107.
- González, G. A., Villegas, M. A., Cuamea, F., & Ayala, J. F. (2006). EFECTO DE LA IRRADIACIÓN UV-C SOBRE LA CALIDAD DE MANGO

FRESCO CORTADO. *I Simpósio Ibero-Americano de Vegetais Frescos Cortados San Pedro, SP Brazil.*

- Granex, C. A. (2006). Deterioro de las Frutas y Hortalizas Frescas en el Período Post-Cosecha, from [www.infoagro.com/frutas/deterioro\\_poscosecha\\_frutas\\_hortalizas.htm](http://www.infoagro.com/frutas/deterioro_poscosecha_frutas_hortalizas.htm)
- Guerrero, J., & Barbosa, G. (2009). *Advantages and Limitations on Processing Foods by UV Light. Food Science Technology International.* Universidad del Estado de Washington, EUA.
- IPEN. (2010). Tecnología nuclear - Irradiación gamma, from [http://www.alimentariaonline.com/media/ma027\\_ozono.pdf/](http://www.alimentariaonline.com/media/ma027_ozono.pdf/)
- Lemoine, M., Civello, P., Martínez, G., & Chaves, A. (2007). Influence of postharvest UV-C treatment on refrigerated storage of minimally processed broccoli (*Brassica oleracea* var. *Italica*). *Journal of the Science of Food and Agriculture, J Sci Food Agric* 87:1132–1139.
- Lobo, M., & Girard, E. (1977). El cultivo de el lulo. Curso sobre frutales. In IICA (Ed.), (pp. 24). Medellin. Colombia.
- MAGAP. (s. f.). El cultivo de la naranjilla en el Ecuador (pp. 24). Quito.
- Nigro, F., Ippolito, A., & Lima, G. (1998). Use of UV-C light to reduce *Botrytis* storage rot of table grapes. *Postharvest Biology and Technology. Elsevier*, 171-181.
- Ochse, J., Soule, M., Dijkman, M., & Wehlburg, C. (1972). *Cultivo y mejoramiento de plantas tropicales y subtropicales.* México: Ed. Limusa-Wiley S.A.
- Pareja, L. (2001). Naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.). 28 p.
- Pastrana, E. (1998). *Manejo Poscosecha y comercialización del lulo (Solanum quitoense Lam).* Pereira. Colombia: Edición Magnitud Ltda. Pereira.
- Paz y Miño, R. (2003). *Cultivando naranjilla junto al parque nacional Sumaco Napo-Galeras.* Quito: Reserva de biosfera.
- Rivera, D., Gardea, A., Martinez, M., Rivera, M., & Gonzales, G. (2007). Efectos bioquímicos poscosecha de la irradiación UV-C en frutas y hortalizas. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(004), 13.
- Roca, M., & Almela, L. (2004). *La irradiación como tratamiento poscosecha.* Universidad de Murcia, Murcia.

- Samson, A., Huekstr, S., Friesvad, C., & Eilterburg, O. (1995). Introduction to food-Borne fungi.
- Sarig, P., Zahavi, T., Zutkhi, Y., Yannai, S., Lisker, N., & Ben-Arie, R. (1996). Ozone for control of post-harvest decay of table grapes caused by *Rhizopus stolonifer*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, *48*, 403 - 415.
- SICA. (2001). NARANJILLA, from <http://www.sica.gov.ec/agronegocios/productos%20para%20invertir/frutas/naranjilla/principal.htm>
- Stevens, C., Khan, V., Lu, J., Wilson, C., Pusey, P., Kabwe, M., Droby, S. (1998). The germicidal and hormetic effects of UV-C light on reducing brown rot disease and yeast microflora of peaches. *elsevier Science.*, *17*(1), 10.
- Stevens, C., Wilson, C., Lu, J., Khan, V., Chalutze, E., Drobp, S., West, M. (1995). Plant hormesis induced by ultraviolet light-C for controlling postharvest diseases of tree fruits. *Elsevier*, *15*, 2.
- Trigos, A., Ramírez, K., & Salinas, A. (2008). Presencia de hongos fitopatogenos en frutas y hortalizas y su relación en la seguridad alimentaria. *Revista mexicana de micología, Xalapa*.
- Velasquez, M., Bautista, S., Hernandez, A., Guerra, M., & Amora, M. (2008). Estrategia de control de *Rhizopus Stolonifer* Ehrenb. (ex fr) Lind, agente causal de pudriciones postcosecha en productos agricolas. *Revista mexicana de fotopatología.*, *26* - 001.
- Vicente, A., Pineda, C., Lemoinea, L., Civello, P., Martinez, G., & Chaves, A. (2005). UV-C treatments reduce decay, retain quality and alleviate chilling injury in pepper. *Postharvest Biology and Technology* *35*. *Elsevier*.