



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS

**USO COMBINADO DE LA RADIACIÓN UV-C Y
ALMACENAMIENTO REFRIGERADO SOBRE EL TIEMPO DE
VIDA ÚTIL DE LA NARANJILLA (*Solanum quitoense Lam.*)**

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

MARLON PATRICIO LARA LARA

DIRECTORA: ING. CARLOTA MORENO

Quito, Julio, 2012

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2012
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo **MARLON PATRICIO LARA LARA**, 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.

Marlon Patricio Lara L.

C.I. 171927822-6

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “**Efecto del uso combinado de la radiación UV-C y almacenamiento refrigerado sobre el tiempo de vida útil de la naranjilla (*Solanum quitoense*)**”, que, para aspirar al título de **Ingeniero de Alimentos** fue desarrollado por **Marlon Patricio Lara Lara**, 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.

Ing. Carlota Moreno

DIRECTORA DEL TRABAJO

C.I. 1713755336

El presente trabajo de titulación forma parte del proyecto de investigación:

“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*)

AGRADECIMIENTO

A Dios por brindarme la oportunidad de llegar hasta esta etapa de mi vida y por sus bendiciones que son muchas.

A mi madre, que sin su apoyo y dedicación no hubiera podido alcanzar mis metas.

A la Universidad Tecnológica Equinoccial y sus docentes que supieron impartir sus conocimientos y valores a lo largo de la carrera.

A la Ing. Carlota Moreno y Bioq. María José Andrade que me brindaron la oportunidad de formar parte de este proyecto, por su apoyo, asesoría y paciencia durante el desarrollo del mismo.

A mis amigos, compañeros, y todas las personas que de una u otra manera tuvieron que ver con este logro.

DEDICATORIA

Este trabajo de tesis está dedicado en primer lugar a Dios, que sin él nada sería posible, a mi madre Nancy Lara que me brinda todo su amor y apoyo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1 ORIGEN.....	4
2.2 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA.....	5
2.3 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DE LA PLANTA.....	6
2.3.1 TALLO.....	6
2.3.2 RAÍZ.....	7
2.3.3 HOJAS.....	7
2.3.4 FLORES.....	7
2.3.5 FRUTOS.....	7
2.3.6 SEMILLAS.....	8
2.4 VARIEDADES DE NARANJILLA.....	8
2.5 COMPOSICIÓN Y VALOR NUTRICIONAL.....	8
2.6 REQUERIMIENTOS PARA EL CULTIVO DE NARANJILLA.....	9
2.7 PRODUCCIÓN DE NARANJILLA.....	10
2.8 COSECHA DE NARANJILLA.....	10
2.9 FISIOLOGÍA DE LAS FRUTAS.....	11
2.9.1 RESPIRACIÓN.....	12
2.9.1.1 Tipos de respiración.....	13
2.9.1.2 Calor de respiración.....	13
2.9.1.3 Frutas climatéricas y no climatéricas.....	14
2.9.2 TRANSPIRACIÓN.....	15
2.10 POSCOSECHA.....	15
2.10.1 MANEJO POSCOSECHA DE NARANJILLA.....	15

	PÁGINA
2.10.1.1 Recolección del fruto.....	16
2.10.1.2 Acondicionamiento de la fruta.....	17
2.10.1.3 Limpieza.....	17
2.10.1.4 Selección.....	18
2.10.1.5 Clasificación.....	18
2.10.1.6 Desinfección y encerado.....	18
2.10.1.7 Empaque.....	18
2.10.1.8 Almacenamiento.....	19
2.10.1.9 Almacenamiento en frío.....	20
2.10.1.10 Transporte.....	20
2.10.2 PÉRDIDAS POSCOSECHA.....	20
2.10.2.1 Daños mecánicos.....	21
2.10.2.2 Daños fisiológicos.....	22
2.10.2.3 Daños por plagas o enfermedades.....	23
2.11 TECNOLOGÍA POSCOSECHA.....	24
2.11.1 RADIACIÓN UV-C.....	27
2.11.1.1 Tipos de radiación ultravioleta.....	27
2.11.1.2 La radiación UV-C como tratamiento poscosecha..	28
2.11.1.3 Efecto hórmino de la radiación UV-C.....	30
2.11.1.4 Reducción microbiana con luz ultravioleta.....	31
2.11.1.5 Retraso de maduración y senescencia.....	33
2.11.1.6 Efectos negativos de la luz UV-C.....	34
3. METODOLOGÍA.....	35
3.1 MATERIAL VEGETAL.....	35
3.2 APLICACIÓN DE RADIACIÓN UV-C Y ALMACENAMIENTO.....	35
3.3 ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS.....	36
3.3.1 ÍNDICE DE DAÑO.....	36
3.3.2 PÉRDIDA DE PESO.....	38
3.3.3 TASA DE RESPIRACIÓN.....	38

	PÁGINA
3.3.3 COLOR.....	39
3.3.4 FIRMEZA.....	40
3.4 ANÁLISIS QUÍMICOS.....	41
3.4.1 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.....	41
3.4.1.1 Medición de pH.....	41
3.4.1.2 Sólidos solubles totales.....	41
3.4.1.3 Acidez titulable total.....	42
3.4.1.4 Índice de madurez.....	42
3.5 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS.....	42
3.5.1 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.....	42
3.5.2 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	43
3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	43
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	44
4.1 ÍNDICE DE DAÑO.....	44
4.2 PÉRDIDA DE PESO.....	47
4.3 TASA DE RESPIRACIÓN.....	49
4.4 COLOR.....	51
4.4.1 °HUE, SATURACIÓN Y LUMINOSIDAD.....	51
4.5 FIRMEZA.....	52
4.6 ANÁLISIS QUÍMICOS.....	54
4.6.1 pH.....	54
4.6.2 SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES.....	54
4.6.3 ACIDEZ TOTAL TITULABLE.....	55
4.6.4 ÍNDICE DE MADUREZ.....	56
4.8 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS.....	58
4.8.1 AEROBIOS MESÓFILOS TOTALES.....	58
4.8.2 MOHOS Y LEVADURAS.....	58

	PÁGINA
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
5.1 CONCLUSIONES.....	61
5.2 RECOMENDACIONES.....	63
BIBLIOGRAFÍA	64
ANEXOS	71

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1. Composición nutricional de la naranjilla.....	9
Tabla 2. Requerimientos agro-ecológicos de la naranjilla.....	9
Tabla 3. Actividad respiratoria de la naranjilla (28°C y 65%HR.....	14
Tabla 4. Daños mecánicos en la poscosecha de naranjilla.....	21
Tabla 5. Desórdenes fisiológicos en la poscosecha de naranjilla...	22
Tabla 6. Enfermedades poscosecha de naranjilla.....	24
Tabla 7. Tasa de respiración durante los días de almacenamiento a 17°C.....	51
Tabla 8. Tasa de respiración durante los días de almacenamiento a 7°C.....	51
Tabla 9. pH, sólidos solubles y acidez titulable durante los días de almacenamiento a 17°C.....	56
Tabla 10. pH, sólidos solubles y acidez titulable durante los días de almacenamiento a 7°C.....	57
Tabla 11. Índice de madurez durante los días de almacenamiento a 17°C.....	58
Tabla 12. Índice de madurez durante los días de almacenamiento a 7°C.....	58
Tabla 13. Recuento mohos y levaduras (log ₁₀ UFC/ml) al inicio y al final del almacenamiento a 17°C y 7°C.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Naranja y cultivo.....	4
Figura 2. Planta de Naranja.....	6
Figura 3. Espectro electromagnético (modificado de Snowball y Hornsey, 1988).....	28
Figura 4. Cámara de radiación UV-C.....	37
Figura 5. Determinación de Tasa de respiración.....	40
Figura 6. Medición del color.....	41
Figura 7. Determinación de firmeza.....	42
Figura 8. Índice de daño de naranja control y tratada (8 kJ/m ² y 12 kJ/m ²) durante el almacenamiento a 17°C.....	46
Figura 9. Índice de daño de naranja control y tratada (8 kJ/m ² y 12 kJ/m ²) durante el almacenamiento a 7°C.....	47
Figura 10. Pérdida de peso de naranja control y tratada (8 kJ/m ² y 12 kJ/m ²) durante el almacenamiento a 17°C (A) y 7°C (B).....	49
Figura 11. Hue (H), Saturación (S), Luminosidad (L), de naranja control y tratada (8 kJ/m ² y 12 kJ/m ²) durante el almacenamiento a 17°C (A) y 7°C (B). ..	52
Figura 12. Firmeza de naranja control y tratada (8 kJ/m ² y 12 kJ/m ²) durante el almacenamiento a 17°C (A) y 7°C (B).....	54

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO I. ZONAS Y ÉPOCAS DE PRODUCCIÓN DE LA NARANJILLA.....	72

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue conocer el efecto del uso combinado de la radiación UV-C y almacenamiento refrigerado sobre el tiempo de vida útil de la naranjilla. Para la investigación, frutos de naranjilla (*Solanum quitoense*, var. Baeza) con 75% de madurez y sin defectos fueron cosechados en la “Hacienda La Sucia” (cantón Los Bancos, Provincia de Pichincha) e inmediatamente trasladados a los laboratorios de la Universidad Tecnológica Equinoccial, donde fueron seleccionados, se retiró las vellosidades y se dividieron en 2 grupos: frutos no irradiados (control) y frutos irradiados (8 kJ/m² y 12,5 kJ/m²). Para la radiación de cada dosis, 45 frutos fueron colocados a una distancia de 30 cm de las lámparas UV-C (Phillips TUV G30T8 de 30W), y la energía se registró con un radiómetro digital. Luego tanto frutos tratados como control fueron colocados en bandejas plásticas de 40x25cm y almacenados a 17°C por 14 días, tiempo en el cual se perdió la calidad comercial de las frutas y a 7°C por 28 días. A los 0, 7, 14, 21 y 28 días de almacenamiento se tomaron aleatoriamente 6 frutos y se realizaron los siguientes análisis físico-químicos: índice de daño, pérdida de peso, tasa de respiración, firmeza, color (escala H, S, L), pH, sólidos solubles totales, acidez total titulable e índice de madurez. Al inicio y al final del ensayo se realizaron análisis microbiológicos: recuento de aerobios totales, mohos y levaduras. No se observó diferencias significativas en pH, sólidos solubles totales, acidez titulable y color a lo largo del almacenamiento, a 17°C y 7°C. Los frutos control y tratados, almacenados a 17°C perdieron la calidad comercial al día 14 de almacenamiento. Al día 28 de almacenamiento se evidenció menor pérdida de peso, menor pérdida de firmeza y menor crecimiento de mohos y levaduras en los frutos tratados con dosis de 12,5 kJ/m² y almacenados en refrigeración a 7°C. El tratamiento UV-C con dosis 12,5 kJ/m² en combinación con almacenamiento refrigerado redujo la pérdida de peso y firmeza, retrasó la aparición de síntomas de daño, crecimiento fúngico en la naranjilla, manteniendo la calidad comercial de la fruta por 28 días.

ABSTRACT

The aim of this study was to determine the effect of combined use of UV-C and cold storage on shelf life of naranjilla. For research, naranjilla fruits (*Solanum quitoense*, var. Baeza) with 75% of maturity and flawless were harvested in "Hacienda La Sucia" (Los Bancos town, Pichincha Province) and immediately transferred to the laboratories of the Equinoctial Technological University, where they were selected, withdrew the villi and were divided into 2 groups: non-irradiated fruits (control) and irradiated fruits (8 kJ/m² to 12,5 kJ/m²). For each radiation dose, 45 fruits were placed at a distance of 30 cm UV-C lamps (Phillips TUV 30W G30T8), and the energy was recorded with a digital radiometer. Then both fruits treated as a control were placed in plastic trays 40x25cm and stored at 17 ° C for 14 days, during which time he missed the commercial quality of fruits, and 7 ° C for 28 days. At 0, 7, 14, 21 and 28 days of storage were randomly 6 fruits and conducted the following physico-chemical analysis: damage index, weight loss, respiration rate, firmness, color (scale H, S, L), pH, total soluble solids, titratable acidity and maturity index. At the beginning and end of test microbiological analyzes were performed: total aerobic count, molds and yeasts.

There was no significant difference in pH, total soluble solids, acidity and color throughout the storage at 17 ° C and 7 ° C. The control and treated fruit stored at 17 ° C lost their commercial quality at 14 days of storage. At 28 days storage showed less weight loss, reduced loss of firmness and lower growth of molds and yeasts in fruit treated with doses of 12,5 kJ/m² and stored under refrigeration at 7°C. UV-C treatment 12,5 kJ/m² dose in combination with cold storage reduced weight loss and firmness, delayed the onset of symptoms of damage, fungal growth, and senescence naranjilla maintaining the commercial quality of the fruit for 28 days.

1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

La naranjilla, Lulo o nuquí (*Solanum quitoense*) es una fruta tradicional del Ecuador, que proviene de la familia de las Solanáceas; crece a elevaciones comprendidas entre los 1.200 y 2.100 msnm, en sitios frescos y sombreados, cercanos a corrientes de agua, con temperaturas entre 17 y 20°C y que se ha cultivado en la zona oriental del país, en especial para el mercado interno, en fresco para la elaboración de jugos y pulpa (INIAP, 1999; Vargas, 2008).

La naranjilla es un fruto climatérico y delicado que después de la cosecha fácilmente se raja, se mancha y se descompone, siendo las principales causas: el ataque de plagas, problemas fitosanitarios y manejo inadecuado en la cosecha y poscosecha de la fruta (García & García, 2001; INIAP, 2011).

Se ha determinado que en muchos casos la producción de cualquier cultivo no es el eslabón más complicado dentro de la cadena agroalimentaria, si no su manejo poscosecha y comercialización. La poscosecha de la naranjilla se da lugar desde el momento de acopio hasta el almacenamiento en condiciones ambientales (entre 17 y 20°C de temperatura y entre 50 y 70% de humedad relativa), o refrigeración (entre 5 y 7°C, humedad relativa entre 80 y 90%). Durante esta etapa se presentan grandes pérdidas tanto en calidad como en cantidad debido a los siguientes factores: deficiente infraestructura de transporte, sistemas de conservación inadecuados, empaques impropios y deficiencias en los procesos de recolección, selección y clasificación, entre otros, provocando magulladuras, cortes, rasgaduras y abrasiones que rompen la cubierta protectora natural de la piel de la fruta, abriendo vías de entrada a los microorganismos (con mayor frecuencia los hongos son los causantes del deterioro patológico de frutas) (Galvis & Herrera, 1999).

Se estima que a nivel mundial las pérdidas poscosecha de frutas y hortalizas causadas por microorganismos, son del orden de 5-25% en países desarrollados y 20-50% en países en desarrollo (Kader, 2007). En Ecuador, las pérdidas poscosecha de frutas ascienden al 50%, perdiéndose la mitad del total del producto obtenido (IICA, 2007).

Para evitar estas pérdidas existen diferentes técnicas poscosecha como: tratamientos con calor, tratamientos químicos, radiaciones ionizantes, atmósferas modificadas y controladas, aplicaciones con ozono, control biológico, películas y recubrimientos comestibles, que permiten controlar en mayor grado los problemas poscosecha de frutas, manteniendo y/o mejorando características organolépticas, físico-químicas y alargando el tiempo de vida útil. Uno de estos métodos de conservación de mayor uso es la refrigeración, que reduce la intensidad respiratoria, pérdida de peso por transpiración, producción de etileno y crecimiento microbiano. Por otro lado, estudios reportan a la radiación UV-C como otra alternativa de conservación poscosecha, que con exposiciones controladas en algunas frutas y hortalizas como: mango, frutilla, durazno, tomate, brócoli, arándano, lechuga, pimientos (se trabajó en combinación con bajas temperaturas), se puede lograr un efecto germicida, control del deterioro por hongos, retardar el ablandamiento y la madurez, inducir actividades enzimáticas, y aumentar la acumulación de antioxidantes (Civello, Vicente, & Martínez, 2006).

La aplicación de la radiación UV-C como una tecnología poscosecha ha generado buenos resultados en algunas frutas, pero no se registran datos de su aplicación en naranjilla, una fruta originaria del Ecuador.

El objetivo general de este estudio fue evaluar el efecto de la radiación UV-C en combinación con almacenamiento refrigerado sobre el tiempo de vida útil de la naranjilla.

Los objetivos específicos fueron:

- Determinar la dosis efectiva de irradiación UV-C y temperatura de almacenamiento óptima para la naranjilla.
- Estudiar el efecto de la radiación UV-C sobre la flora microbiana nativa de la naranjilla.
- Evaluar el efecto de la radiación UV-C sobre la calidad poscosecha de la naranjilla.

2. MARCO TEÓRICO

2. MARCO TEÓRICO

2.1 ORIGEN

El lulo o naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.), como se muestra en la figura 1, es una planta que se origina en los bosques húmedos de los Andes de Sudamérica, entre los espacios geográficos específicamente de Colombia, Ecuador y Perú, en zonas frescas y sombreadas. Esta fruta que se ha distribuido a lo largo del continente americano desde Bolivia hasta Venezuela, es cultivada por países como: Perú, Ecuador, Colombia, Panamá, Costa Rica, Honduras, Puerto Rico, región sur de Estados Unidos y Nueva Zelanda. Se está probando su adaptabilidad en otros países (CORPOICA, 2002).



Figura 1. Naranjilla y cultivo

Dependiendo de la región a la naranjilla se la conoce con diferentes nombres (Ochse, Soule, Dijkman & Wehlburg, 1972):

EEUU: quito orange o popenoe

Colombia: lulo

Ecuador y Perú: naranjilla

Costa Rica: berenjena de olor

España: naranjilla de castilla o toronja

Holanda: gele terong

Francia: morelle de quito

Alemania: orange von quito

2.2 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

La clasificación taxonómica de la naranjilla según Bravo (1969), Whalen, Costish & Heiser (1981) y Villachica (1996) es la siguiente:

Reino: Vegetal

Sub reino: Spermatophyta

División: Embriofitas sifonógamas

Sub División: Angiospermas

Clase: Dicotiledóneas

Subclase: Metaclamídeas

Orden: Tubiflorales

Familia: Solanácea

Sección: Lasiacarpa

Género: *Solanum*

Especie: *quitoense*

Variedad: Quitoense (sin espinas) y Septentrionale (con espinas)

2.3 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DE LA PLANTA

La planta de naranjilla, como se muestra en la figura 2, es un arbusto herbáceo, con tallos gruesos que se convierten en algo leñosos con la edad; espinosos en la naturaleza, sin espinas en las plantas cultivadas (CORPOICA, 2002). A continuación se detallan sus partes:



Figura 2. Planta de Naranjilla

2.3.1 TALLO

Es robusto, semileñoso, cilíndrico y veloso, con o sin espinas, crece erecto y a veces ramificado desde el suelo; tiene de cuatro a seis ramificaciones laterales que sostiene la parte aérea. Una planta adulta puede llegar hasta tres metros de altura. Las ramas son fibrosas y resistentes, con diámetros de aproximadamente 5 cm; tienen una distribución radial. Cuando las ramas están jóvenes son verdes, pero se tornan cafés y leñosas a medida que maduran (CORPOICA, 2002).

2.3.2 RAÍZ

Es pivotante, fibrosa y superficial, penetra en el suelo a una profundidad de 40 a 50 cm y presenta desarrollo de raíces laterales (Manual Agropecuario, 2002).

2.3.3 HOJAS

Presenta hojas de gran tamaño, con lamina foliar de color verde intenso por el haz y verde pálido por el envés, aterciopeladas, de 30 a 50 cm de largo, y 35 cm de ancho, con un pecíolo hasta de 15 cm. Son palmeadas, alternas y forman un ángulo de inserción hacia abajo, para captar mejor la fotosíntesis de forma oblonga, ovalada, las nervaduras son prominentes de color morado cuando están jóvenes y se tornan de color café o amarillo pálido al llegar al estado adulto (Fiallos, 2000).

2.3.4 FLORES

Las flores son hermafroditas agrupadas en inflorescencias, cima escorpoide tipo de drepaño y la inflorescencia indefinida en que los pedúnculos son de longitudes desiguales y terminan casi todas en un mismo plano.

El número promedio de las flores por inflorescencia es de 5 a 10, que se encuentran adheridas a las axilas de las ramas y en el tallo al iniciar la fructificación la planta sigue produciendo continuamente y es común observar en una planta diferentes estados de desarrollo, botones florales flores y frutos (Alvarado, 2002).

2.3.5 FRUTOS

Es una baya globosa cubierta de tricomas de color amarillo o rojo que se van perdiendo a medida que el fruto completa su madurez y son fáciles de desprender en el momento de la cosecha.

La corteza es de color amarillo intenso o naranja, cuando alcanza su madurez, la pulpa es de color verde oscuro lleno de semillas el tamaño del fruto puede llegar a 8 cm de diámetro con un peso entre 80 – 100 g (CORPOICA, 2002).

2.3.6 SEMILLAS

Son pequeñas en forma de lenteja de color amarillo pálido y/o color crema, el promedio de semillas por fruto es de 990, lo cual significa un peso de 22 g es decir 2.2 mg por semilla, también se encontró una correlación positiva entre el peso del fruto y el peso total de la semilla y la necesidad de una buena polinización para obtener un buen tamaño del fruto (CORPOICA, 2002).

2.4 VARIEDADES DE NARANJILLA

A nivel general se establecen dos variedades principales que difieren por poseer o no espinas en el tallo, ramas, pecíolos y las venas principales de las hojas: la *Solanum quitoense* var. *Quitoense*, sin espinas y *Solanum quitoense* var. *Septentrionale* con espinas. La variedad *septentrionale* se encuentra en Colombia, Ecuador y Venezuela. La variedad *quitoense* en Ecuador, Perú y sur de Colombia (Soria, 1989; Morton, 1987).

En el Ecuador, las variedades cultivadas son: Baeza, Agria, Dulce, Bola, Baeza Roja, Híbrida (Rodríguez, 1966; Heiser, 1972).

2.5 COMPOSICIÓN Y VALOR NUTRICIONAL

En la tabla 1 se presentan los valores nutricionales de la naranjilla por cada 100 g de porción comestible:

Tabla 1. Composición nutricional de la naranjilla

Nutriente	Unidad	Valor de 100 g de porción comestible*
Calorías	cal	23
Humedad	g	85.8-92.5
Proteína	g	0.107-0.6
Carbohidratos	g	5.7
Grasa	g	0.1-0.24
Fibra	g	0.3-4.6
Ceniza	mg	0.61-0.8
Calcio	mg	5.9-12.4
Fósforo	mg	12.0-43.7
Hierro	mg	0.34-0.64
Caroteno	mg (600 I.U.)	0.071-0.232
Tiamina	mg	0.04-0.094
Riboflavina	mg	0.03-0.047
Niacina	mg	1.19-1.76
Ácido ascórbico	mg	31.2-83.7

(Morton, 1987)

2.6 REQUERIMIENTOS PARA EL CULTIVO DE NARANJILLA

Según CORPOICA (2002), Pastrana (1998), García & García (2001), los requerimientos del cultivo de naranjilla se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Requerimientos agro-ecológicos de la naranjilla

CONDICIÓN AMBIENTAL	REQUERIMIENTO
Altitud	Entre 1.300 y los 2.400 m.s.n.m.
Temperatura	Entre los 15 a 22°C, se adapta hasta los 24°C
Luminosidad	Entre 2.5 a 3 horas de luz por día
Vientos	Requiere zonas pasivas, libres de vientos fuertes.
Precipitación	Las lluvias deben oscilar entre los 1.500 y 2000 mm anuales
Humedad relativa	Humedades relativas de 80%.
Suelos	Materia orgánica mayor al 10%. pH ligeramente ácido entre 5.2 a 5.8 Pendiente profunda máxima del 40%.
Siembra	A una distancia de 1,8m x 2.2m hasta 2,5m x 3,0m.

(CORPOICA, 2000; Pastrana, 1998; García & García, 2001)

2.7 PRODUCCIÓN DE NARANJILLA

Los principales productores mundiales de esta fruta exótica son, en orden de importancia por volumen, Colombia y Ecuador. En Perú y Venezuela existen cultivos en menor escala, así como en Panamá, Costa Rica, Puerto Rico y Guatemala (Comité Regional de Frutas Amazónicas, 2009).

La naranjilla ocupa un lugar privilegiado dentro de los productos que se comercializan en Ecuador, ya que este producto se cosecha todo el año. Para el año 2010 el total de superficie cosechada es de 3643 hectáreas. Las regiones de producción de naranjilla están en el norte y centro de la Región Amazónica Ecuatoriana (RAE), de mayor importancia en los cantones de Loreto, Puyo, Mera y Macas, como se muestra en el Anexo I (MAGAP, 2011).

Se determina que la producción de naranjilla está repartida durante todo el año en las tres regiones (norte, centro y sur), sin embargo, las producciones pico en las regiones norte y centro están comprendidas en los meses de febrero, abril, mayo, septiembre y noviembre, dependiendo de la época de siembra. La producción en la región sur es constante, en volúmenes muy bajos (Comité Regional de Frutas Amazónicas, 2009).

2.8 COSECHA DE NARANJILLA

El ciclo vegetativo es variable dependiendo del piso térmico. Generalmente la naranjilla empieza a producir al año del trasplante. Este lapso puede variar entre seis y ocho meses según las condiciones climáticas y si la plantación es bien manejada. Alcanzando su máxima productividad entre los dos y tres años. Una planta de producción en condiciones óptimas puede dar hasta nueve kilogramos de fruta por año, equivalente a 27 t/ha, con una densidad de siembra de 3000 plantas por hectárea. En promedio, los rendimientos son de 14 t/ha/año. Cuando el cultivo se encuentra en plena producción, la

frecuencia de recolección de frutos es de 15 días. (Pastrana,1998; Galvis & Herrera,1999)

Los frutos a cosecharse deben estar pintones o completamente amarillos (recomendable a un 75% de madurez), pero no sobremaduros, para que puedan resistir el transporte y manipulación. Para una mejor conservación y resistencia a la manipulación y transporte, los frutos deben ser cosechados con su pedúnculo, se debe tener la precaución de sacarlos de los recipientes de cosecha inmediatamente después de haberlos transportado desde el sitio de cultivo. Los frutos cosechados amarillos pueden conservarse al ambiente sin daños, por ocho días. Su período de conservación puede aumentar de tres a cinco días más al cosecharse en estado pintón, con su respectivo pedúnculo. La fruta continúa su actividad fisiológica, representada en la respiración, transpiración y en algunos cambios químicos; procesos que favorecen para alcanzar una madurez adecuada y al mismo tiempo el consumo de reservas alimenticias (Comité Regional de Frutas Amazónicas, 2009; García & García, 2001).

2.9 FISIOLÓGÍA DE LAS FRUTAS

Según Galvis & Herrera (1999), García & García (2001), López (2011) y Proaño (2008), las frutas son estructuras vivas que presentan después de la germinación etapas fisiológicas de formación, crecimiento maduración y senescencia, las cuales requieren de energía que la planta se encarga de suministrar. No solo se encuentran vivas cuando están unidas a las plantas, sino también después de recolectadas, continúan sus procesos metabólicos y manteniendo los mismos sistemas fisiológicos como cuando estaban unidas a la planta.

La madurez implica el desarrollo completo de la fruta, se puede diferenciar dos tipos de madurez: madurez fisiológica o de cosecha que se da antes de

que finalice la etapa de crecimiento, mientras la fruta está unida a la planta; y la madurez organoléptica o de consumo que se presenta en la poscosecha.

En la etapa de la senescencia los procesos bioquímicos anabólicos o sintéticos dan paso a los catabólicos o degenerativos, agotándose las reservas de alimento propias de la fruta, provocando el envejecimiento y muerte tisular de la fruta. Por lo tanto su tiempo de vida útil dependerá de la cantidad de nutrientes almacenados y de la velocidad que son consumidos.

Según García & García (2001), Galvis & Herrera (1999), López (2011) y Proaño (2008), la vida útil de la naranjilla depende de dos factores: respiración y transpiración.

2.9.1 RESPIRACIÓN

Es uno de los fenómenos característicos de los productos agrícolas en el que se toma oxígeno y se desprende dióxido de carbono y calor. También transpiran perdiendo agua. El alimento es consumido durante la respiración, proceso metabólico que tiene como materia prima compuestos como: azúcares, ácidos orgánicos, entre otros compuestos formados en la fotosíntesis y transformados por la acción de oxígeno en moléculas más simples, CO_2 y H_2O , con liberación de energía, que se almacena en moléculas de ATP o se desprende en forma de calor (Wills, McGlasson, Graham, & Joyce, 1998; Gallo, 1997).

Cuando las reservas comienzan a agotarse, la energía disponible se reduce, se da paso a las actividades de degradación de la fruta o etapa de senescencia. Por lo tanto si se logra que la fruta entre en un estado de reposo, para que la velocidad de respiración se reduzca, y así preservar por mayor tiempo las reservas alimenticias, favorecería la conservación de la fruta (Gallo, 1997).

2.9.1.1 Tipos de respiración

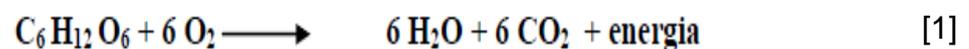
Las frutas dependiendo de la composición atmosférica, pueden presentar dos tipos de respiración (García & García, 2001):

- **Respiración anaerobia**

Se realiza sin presencia de oxígeno. Los microorganismos obtienen energía de azúcares, generando como subproductos otros compuestos orgánicos. El proceso de respiración anaeróbico más conocido es la fermentación de azúcares para la obtención de alcohol.

- **Respiración aerobia**

Esta utiliza oxígeno para desdoblar moléculas complejas, en moléculas de fácil asimilación, además del rompimiento de azúcares para obtener energía, CO₂ y agua, como se muestra en la ecuación 1.



2.9.1.2 Calor de respiración

La energía química obtenida a partir de la respiración se convierte en energía calórica, que se puede emplear para el desarrollo de procesos de síntesis de compuestos de importancia para la fruta, pero cuando no hay demanda de ella, se libera en forma de calor, esta energía se conoce como calor de respiración, que eleva la temperatura de los productos y por lo tanto debe ser retirada, para evitar el deterioro acelerado de la fruta. La cantidad de calor producido dependerá directamente proporcional en su mayor parte por la concentración de etileno y su temperatura (García & García, 2001; Proaño, 2008).

2.9.1.3 Frutas climatéricas y no climatéricas

Los cambios en la intensidad respiratoria de las frutas desde su crecimiento hasta su senescencia dan lugar a dos tipos de frutos (Gallo, 1997; Wills et al., 1998):

Los frutos no climatéricos, después de ser cosechados, no poseen la capacidad de continuar con su maduración fisiológica y los cambios que se evidencian son causados por degradación. Mientras que en los frutos climatéricos, los procesos fisiológicos de respiración son incentivados por la concentración del gas etileno acelerando la maduración. Por tanto se hace necesario un manejo adecuado de éstos con el fin de evitar que el climaterio se active y sean llevadas a la senescencia rápidamente. La naranjilla por intensidad respiratoria se la clasifica como fruto climatérico.

Como se muestra en la tabla 3, de acuerdo a estudios de la Universidad Nacional de Bogotá y el Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (1992), la tasa respiratoria de la naranjilla en condiciones drásticas de temperatura (28°C) y humedad relativa (65%) en el primer día de almacenamiento es de 33 mgCO₂/kg-h, y alcanza el climaterio a los seis días con un valor de 78.5 mgCO₂/kg-h; la condición inicial de madurez fue de 25% de color amarillo (Pastrana, 1998).

Tabla 3. Actividad respiratoria de la naranjilla (28°C y 65% HR)

Tiempo (días)	Índice de respiración mgCO ₂ /kg-h	Variación de peso (%)
1	33.0	100
2	48.0	98.4
3	50.5	96.6
4	66.0	95.8
5	74.0	93.7
6	78.5	90.5
7	70.5	89.2
8	50.0	88.9
9	54.0	87.6
10	47.5	87.0

(Pastrana, 1998)

2.9.2 TRANSPIRACIÓN

El agua en la naranjilla está presente en un porcentaje del 92% y el 95%. La transpiración consiste en la pérdida de agua, en estado vapor, a través de la corteza del producto, como consecuencia de la diferencia de humedad entre la atmósfera interna del producto y el ambiente circundante. Esta pérdida de agua se traduce en una reducción del peso y pérdida de turgencia del producto, afectando a su calidad y valor comercial (Galvis & Herrera, 1999; García & García, 2001).

2.10 POSCOSECHA

Período que transcurre desde el momento en que el producto agrícola es retirado de su fuente natural y acondicionado en el campo hasta el momento en que es consumido o procesado industrialmente. Lapso variable para todos los productos agrícolas, entre frutas y hortalizas, por la acción de factores intrínsecos y extrínsecos tales como: especie, variedad, características físicas y bioquímicas, estado de desarrollo, tipo de tejido, contenido de agua y comportamiento fisiológico, estructuras biológicas naturales de protección, nivel de sanidad, grado de madurez en el que debe ser recolectado, uso al que será destinado ya sea como alimento, como materia prima a nivel industrial, la distancias entre las instalaciones de acopio a las de producción, condiciones ambientales que rodean el producto y su manejo poscosecha (IICA, 1987).

2.10.1 MANEJO POSCOSECHA DE NARANJILLA

El manejo poscosecha se define como el conjunto de operaciones y procedimientos tecnológicos que se realizan entre la producción y el consumo o uso industrial de los productos agrícolas no solo para movilizar el producto cosechado, sino también para proteger su integridad y preservar su calidad de acuerdo con su propio comportamiento y características físicas, químicas y biológicas. Dentro de este proceso se encuentran operaciones

básicas de posrecolección y acondicionamiento tales como: acopio local, selección, limpieza, secado, clasificación, empaque, almacenamiento y transporte (IICA, 1987; Galvis & Herrera, 1999).

A continuación se enumeran las operaciones básicas poscosecha de naranjilla:

2.10.1.1 Recolección del fruto

Se debe cosechar la fruta en las horas más frescas del día para alargar su vida poscosecha, porque el fruto continúa respirando después de su recolección. Generalmente, la respiración utiliza la glucosa almacenada en la fruta y cuando esta se agota el proceso respiratorio se detiene, lo cual conduce al envejecimiento y muerte del fruto. Esta consideración es importante porque la temperatura de las frutas al momento de la recolección es igual o mayor a la ambiental; y entre más alta la temperatura, la actividad respiratoria aumenta acortando la vida poscosecha de la fruta (FAO, 2006).

Recomendaciones para una adecuada recolección de la fruta (FAO, 2006):

- Recolectar la fruta manualmente, protegiéndose las manos con guantes, si se considera necesario.
- Sin quitar el cáliz, con tijeras o manualmente cortar el pedúnculo, haciendo una suave torsión del fruto, de esta manera se evita que entren enfermedades de la poscosecha y la fruta se conserva hidratada.
- Depositar las frutas suavemente en los recipientes de recolección, canastillas plásticas de 10 kg de capacidad.
- Recolectar solo frutos sanos y en grado de madurez requerido; la fruta enferma se debe recolectar al día siguiente y enterrarla en una fosa.

- La fruta se debe dejar en la sombra, para evitar que se deshidrate y se disminuya su vida de poscosecha. La mayoría de las frutas, al momento de la recolección tienen entre 80 y 95% de agua; después de cosechada siguen transpirando, sin la posibilidad de recuperar el agua perdida teniendo que recurrir a su contenido interno; esta pérdida se traduce en pérdidas de peso en la fruta.

2.10.1.2 Acondicionamiento de la fruta

La fruta se debe preparar para mejorar su presentación y cumplir así con los requisitos exigidos por el mercado. Para hacer bien esta labor se recomienda (CORPOICA, 2002):

- Acondicionar la fruta en un sitio ventilado protegido del sol y de la lluvia y resguardado de animales domésticos, roedores y otros agentes que pueden contaminar.
- Seleccionar y clasificar los frutos sobre una mesa, que tenga una espuma en su superficie.
- Disponer de elementos donde se pueda limpiar y empacar la fruta.

2.10.1.3 Limpieza

Con esta operación se retira las vellosidades del fruto; esta labor se puede realizar por dos métodos (FAO, 2006; CORPOICA, 2002):

- Limpiar o quitar vellosidades fruta por fruta, empleando un trapo seco o un guante, esto se realiza en el centro de acopio o al momento de la recolección.

- Retirar las vellosidades agua, empleando máquinas lavadoras con cepillos giratorios y circulación de agua, este método se hace en el centro de acopio; se requiere agua limpia y abundante.

2.10.1.4 Selección

Se hace para retirar las frutas que presenten defectos, enfermedades o plagas, que no se pueden comercializar (FAO, 2006).

2.10.1.5 Clasificación

Consiste en agrupar los frutos que tengan las características comunes de acuerdo con las exigencias de cada mercado como: dureza, color, tamaño, forma, peso y sanidad (FAO, 2006).

2.10.1.6 Desinfección y encerado

La desinfección de la fruta es necesaria, para prevenir del ataque de bacterias y hongos. Se pueden usar varias sustancias como el hipoclorito de sodio, la sal de amonio cuaternario o microbicidas naturales. El método común se realiza mediante inmersión en una solución de Tiabendazol, a dosis de 1,5 cm³ de producto comercial / litro de agua. La fruta se encera para darle mejor presentación y mayor duración poscosecha (Galvis & Herrera, 1999; FAO, 2006).

2.10.1.7 Empaque

El empaque (rígido o flexible) protege el producto y ayuda a su promoción, mercadeo y consumo; también hace que el producto llegue al consumidor final con buenas condiciones fisicoquímicas y sensoriales. Un buen empaque debe proteger los productos perecederos de los peligros que se presentan en el almacenamiento, transporte y distribución (FAO, 2006).

Son recomendaciones para un buen empaçado: usar canastillas plásticas con una capacidad de 10 kg. Las canastillas sólo se deben destinar para empaçar naranjilla, sin darles otro uso. Las canastillas se deben acomodar solo con 2 niveles de fruta.

Para preparar presentaciones de un kilogramo, se puede empaçar la fruta en malla plástica ya que este tipo de empaque favorece la apariencia, permite una adecuada ventilación y evita la manipulación de la fruta por parte del consumidor (Fiallos, 2000).

2.10.1.8 Almacenamiento

El almacenamiento del producto tiene como propósito conservar la fruta y mantener su calidad con fines de comercialización. Para cumplir con este fin se deben manejar algunos aspectos como (FAO, 2006):

- **Temperatura**

Cuando se disminuye la temperatura se retardan los procesos de respiración y la maduración es más lenta.

- **Humedad Relativa**

Influye sobre la intensidad de la transpiración y la pérdida de agua. Una humedad relativa elevada disminuye la pérdida de agua del fruto, pero favorece el desarrollo de microorganismos como hongos y bacterias.

- **Contenido de Etileno**

Este gas es el responsable de la maduración; lo producen las frutas climatéricas como la naranjilla. La madurez de los frutos se retarda cuando sus concentraciones son bajas en la bodega.

Las recomendaciones para un buen almacenamiento son las siguientes (FAO, 2006):

- ✓ Colocar la fruta en un lugar sombreado, fresco, cubierto, protegido del sol y de la lluvia.
- ✓ Almacenar solo frutas en buen estado.
- ✓ Comercializar la fruta de 12 a 24 horas después de cosecharla, si no se accede a almacenamiento en frío.

2.10.1.9 Almacenamiento en frío

Si en la zona de cultivo hay cuarto frío, se debe cosechar la naranjilla con 40% de desarrollo de color amarillo de su cáscara. Se deben almacenar a una temperatura de 7.5 °C y una humedad relativa de 90%, en estas condiciones la fruta puede estar almacenada hasta por 22 días. Si se almacena la fruta con mayor índice de madurez se puede conservar hasta por 10 días (Lamúa, 2000).

Cuando la fruta se almacena a temperatura inferior a la recomendada, se producen daños irreversibles consistentes en manchas oscuras en la corteza del fruto y ablandamiento de la pulpa, estos frutos no maduran y por lo tanto no se puede comercializar (Arthey & Ashurts, 1997).

2.10.1.10 Transporte

Comprende el desplazamiento de la fruta desde la zona de cultivo hasta los canales de distribución y comercialización (FAO, 2006).

2.10.2 PÉRDIDAS POSCOSECHA

Las pérdidas poscosecha en productos agrícolas entre estos la naranjilla, se definen como la falta de calidad de los mismos, provocada por cambios biológicos, físicos, químicos y fisiológicos, que pueden presentarse desde la

cosecha hasta el momento del consumo. Este déficit en la calidad se convierte en la reducción del valor comercial.

Las frutas y hortalizas padecen diferentes tipos de daños, los cuales pueden clasificarse en tres grupos: daños mecánicos, daños fisiológicos y daños causados por plagas y/o enfermedades (García & García, 2001).

2.10.2.1 Daños mecánicos

Las frutas poseen una estructura y textura blanda que las hace débiles al deterioro por impactos, cortes, abrasión, presión, causados en gran parte por la manipulación durante el acondicionamiento, embalaje, empaque, transporte y almacenamiento inapropiado (García & García, 2001).

Los daños mecánicos se dividen en dos grupos, que se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Daños mecánicos en la poscosecha de naranjilla

LESIÓN	EFEECTO
Mecánica	Causa de grandes pérdidas ya sea por la lesión física o por la infección, disminuyendo su valor comercial. Pueden presentarse antes de la cosecha debido al viento, granizo, lluvias o la compresión entre las frutas a medida que se apilan estas en contenedores demasiado llenos. Otras causas son originadas por objetos agudos, recipientes y manipulación inadecuada, en el momento del empaque, trasvase, acondicionamiento y transporte.
Por insectos	Este tipo de lesiones provocadas por insectos son originadas en el campo, y pueden ocasionar deformaciones durante el crecimiento, manchas rojizas, cicatrices, entre otros. Algunos insectos se reproducen en el interior de la fruta, empleando como alimento a los tejidos carnosos.

(López, 2011)

2.10.2.2 Daños fisiológicos

Los daños fisiológicos están involucrados con el normal funcionamiento de la fruta, es decir procesos de transpiración y respiración, los cuales provocan pérdida de agua, también el consumo de reservas alimenticias propias de la fruta. Cualquier factor que acelere estos procesos reducirá el tiempo de vida útil y calidad de la fruta. Se considera de mayor importancia el factor ambiental (Tamayo, 2001; García & García, 2001).

Los desórdenes fisiológicos de mayor consideración se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Desórdenes fisiológicos en la poscosecha de naranjilla

CAUSA	DESORDEN FISIOLÓGICO
Temperatura alta (exposición directa y excesiva de la fruta al sol, falta de ventilación de los recipientes, medios de transporte y lugares de almacenamiento)	Causa que las frutas eleven su tasa de respiración y transpiración, deshidratación, textura blanda y marchitez, adquiriendo sabores desagradables y una acelerada descomposición.
Enfriamiento o congelación (exposición de las frutas a temperaturas de refrigeración o congelación inferiores a su nivel de tolerancia)	Provoca decoloración interna y superficial, presencia de áreas café endógenas, falta de sabor, áreas de la pulpa saturadas de agua, picaduras descomposición o deterioro acelerado, maduración anormal o ausencia de la misma, crecimiento de patógenos y desarrollo de enfermedades.
Humedad (exposición a la lluvia o condiciones de humedad elevada)	Causa el ataque de hongos y ablandamiento del producto.
Luz	Los rayos ultravioleta pueden decolorar la fruta ocasionando pérdida de color.
Contaminación química	Se produce por el almacenamiento de frutas con productos químicos, uso de contenedores tratados con conservantes, colocación del producto en cajas contaminadas no desinfectadas.

(García & García, 2001)

2.10.2.3 Daños por plagas o enfermedades

La exposición del producto al ataque de insectos roedores, pájaros y microorganismos; falta de asepsia en los sitios de acopio y almacenamiento; son la causa de contaminación del producto por hongos y/o bacterias, por lo tanto rechazo del producto por los consumidores (García & García, 2001).

Las enfermedades causan grandes pérdidas en la poscosecha, con la senescencia precoz de la fruta después de la cosecha. Se originan por el uso de utensilios, gavetas, inadecuada manipulación, agua de lavado contaminada, cortes en la superficie o por la penetración de insectos en la superficie. Estas lesiones mecánicas permiten la invasión de microorganismos, dando lugar a anomalías como manchas, pudriciones, mosaicos, deformaciones, marchitamientos, entre otros (Tamayo, 2001).

Para que el desarrollo de la enfermedad tenga lugar es necesaria la presencia del hospedador susceptible, el parásito y el ambiente.

El hospedador susceptible será la fruta a la cual microorganismos específicos (generalmente el parásito en las frutas son hongos y el inóculo por esporas) atacarán por su genotipo, grado de madurez y manipulación. Mientras que la velocidad de crecimiento de los microorganismos estará dada por el ambiente (humedad, agua libre y temperatura) (López, 2011; CORPOICA, 2001).

A continuación en la tabla 6, se menciona enfermedades poscosecha por acción de microorganismos relevantes de la naranjilla (López, 2011):

Tabla 6. Enfermedades poscosecha de naranjilla

ENFERMEDAD	SÍNTOMAS
Podredumbre bacteriana (<i>Erwinia sp.</i>)	Frutos blandos con pudrición acuosa de color café oscuro y mal olor
Antracnosis (<i>Collectotrichum sp.</i>)	Manchas de café oscuro a negro que se hundan, desarrollo de masas cremosas de color salmón en la superficie del fruto.
Candidiasis (<i>Candida sp.</i>)	Desarrollo de micelio blanco y frutos blandos
Pudrición amarga (<i>Geotrichum sp.</i>)	Fruto blando y crecimiento blanco en la superficie del fruto y la corona, luego se transforma en masa acuosa descompuesta y olor desagradable.
Moho verde (<i>Penicillium sp.</i>)	Inicio de la lesión en un punto pequeño y ligeramente decolorado, aumenta su diámetro en 36 horas, pudriendo la pulpa, luego presencia de polvo verde oliva en la superficie de la fruta.
Pudrición blanda (<i>Rizhopus sp.</i>)	Inicialmente la apariencia es acuosa y blanda, a través de las heridas del fruto, crecimiento algodonoso color gris oscuro, cáscara arrugada y blanda, la que al manipularla se rompe ocasionando la salida de un líquido amarillo blancuzco.

(CORPOICA, 2002)

2.11 TECNOLOGÍA POSCOSECHA

Las tecnologías poscosecha buscan la prolongación de la vida útil en fresco de productos vegetales posterior a la cosecha, esto involucra el establecimiento de condiciones ambientales adecuadas que permitan controlar la velocidad de los procesos vitales (actividad respiratoria, transpiración, producción y acción de etileno) y reducir el riesgo de ataque de agentes microbianos causantes de enfermedades.

De acuerdo con lo anterior, es importante tener presente todos los factores, y el efecto que éstos pueden tener, para conseguir el periodo máximo de vida útil de productos vegetales perecederos y reducir pérdidas poscosecha (Bosquez, 1992).

Los factores que incluyen son:

- La naturaleza del producto (tipo de órgano vegetal, especie, variedad, metabolismo, estado de desarrollo o madurez, composición, susceptibilidad a enfermedades y fisiopatías).
- Acondicionamiento (lavado, tipo de aditivos y concentración, reguladores del crecimiento, películas o recubrimientos, enfriamiento, etc.).
- Condiciones del almacenamiento (Temperatura, humedad relativa, circulación de aire, sanidad y purificación del aire, número, tipo de material y diseño de envases, patrón de estibamiento, concentración de gases como O₂, CO₂, C₂H₂).

La definición de las condiciones estará en función del destino que se fije a cada producto y de las ventajas y desventajas que ofrecen las tecnologías disponibles, ya que con frecuencia se requiere varias tecnologías de conservación en forma simultánea o secuencial para obtener los resultados ideales. Cada tecnología ofrece ventajas para aumentar la vida poscosecha de los productos hortofrutícolas, sin embargo, cada una tiene sus propias limitaciones; de la misma manera su efecto combinado puede generar efectos sinérgicos positivos o negativos (Bosquez, 1992).

En la poscosecha, los procesos fisiológicos y metabólicos, e invasión de microorganismos disminuyen notablemente la calidad de los productos; por lo tanto la aplicación de tratamientos poscosecha es importante para mantener la calidad organoléptica, nutritiva y comercial de los productos agrícolas. Estas son algunas de las tecnologías en uso y otras aun en investigación para hortalizas y frutas, entre estas la naranjilla: aplicación de frío, tratamientos con calor, tratamientos químicos, atmósferas modificadas y controladas, aplicaciones con ozono, tratamientos con radiaciones ionizantes y radiaciones UV-C, control biológico, aplicación de películas y

recubrimientos comestibles y tratamientos combinados (Valencia, Vásquez, Pólit, Muñoz, Ruales, Alvarado, & Mirari, 2010).

En el caso específico de la naranjilla el método común y generalmente utilizado ha sido almacenamiento en frío manteniendo el producto por debajo de la temperatura de multiplicación microbiana entre 2°C y 10 °C con una humedad relativa entre 80% y 90% o simplemente a temperatura ambiente. El mantenimiento de la fruta en una atmósfera fría y húmeda evita la deshidratación, la actividad enzimática se reduce notablemente, retarda la maduración, reacciones ligadas con la respiración, sin embargo se conserva sólo a corto plazo, ya que la humedad favorece la proliferación de hongos y levaduras y no destruye los microorganismos, solo los detiene (Larrañaga, Carballo, Rodríguez, & Fernández, 1999).

Actualmente existen estudios para la aplicación de nuevas tecnologías poscosecha y combinación de las mismas, algunas de estas se ha experimentado con la naranjilla.

IICA (1996) estudió varios métodos de conservación de la naranjilla en su estado pre-climatérico inmediatamente después de la cosecha traducido por un aumento en la tasa de respiración y el índice de madurez acompañado por el pre-climatérico utilizando atmósfera modificada, absorbedor de etileno y refrigeración. Se logró preservar la fruta hasta 10 días en estado verde con madurez fisiológica sin cambios apreciables en sus características físico-químicas en bolsas de polietileno de 25 micras, 15 días adicionando un controlador de etileno (permanganato de potasio), 25 días refrigerado a 7,5°C y 30 días combinando atmósfera modificada, controlador de etileno y refrigeración a 7,5°C. El valor de 6°C se encontró como el límite de temperatura bajo la cual se observan en la naranjilla desórdenes fisiológicos por frío.

Con el propósito de conocer los efectos del recubrimiento con películas de quitosano se aplicó en la conservación de naranjilla fisiológicamente madura (*Solanum quitoense*, var. *Agría*) almacenada a diferentes temperaturas, y se concluyó que las películas de quitosano retardan la pérdida de humedad y extienden el período de almacenamiento a temperaturas de 20°C o superiores, a temperaturas bajas el efecto es mínimo y a 7° se pueden conservar las frutas por un mes, y también inhibe de forma significativa el crecimiento de hongos y levaduras (Valencia & col., 2010).

El mejoramiento genético es otro mecanismo que se ha empleado para facilitar el manejo poscosecha, con el fin de que las frutas toleren y resistan la manipulación y por ende el deterioro. El Programa Nacional de fruticultura del INIAP, a partir del año 2000 realiza estudios para desarrollar variedades de frutos andinos entre esos la naranjilla de jugo en la que se ha generado materiales con tolerancia a algunas plagas, frutos redondos y grandes, piel gruesa, color amarillo intenso, larga vida útil, tolerancia a la deshidratación (Valencia & col., 2010).

2.11.1 RADIACIÓN UV-C

Se llama radiaciones ultravioleta (UV) al conjunto de radiaciones no ionizantes que forman parte del espectro electromagnético con longitudes de onda menores que la radiación visible (luz), desde los 400 hasta los 100 nm (Universidad de Navarra, 2009).

2.11.1.1 Tipos de radiación ultravioleta

Los científicos clasifican la radiación ultravioleta en tres tipos o bandas como se muestra en la figura 3: UVA, UVB y UVC. La capa de ozono de la estratosfera absorbe algunos de estos tipos de radiación ultravioleta, pero no todos (EPA, 2010):

- UVA: No absorbida por la capa de ozono (315-400 nm).
- UVB: Absorbida en su mayor parte por la capa de ozono, pero una parte llega a la superficie terrestre (280-315 nm).
- La radiación UVA y UVB que llega a la superficie de la tierra contribuye a los trastornos graves de salud.
- UVC: Completamente absorbida por la capa de ozono y el oxígeno (200-280 nm).

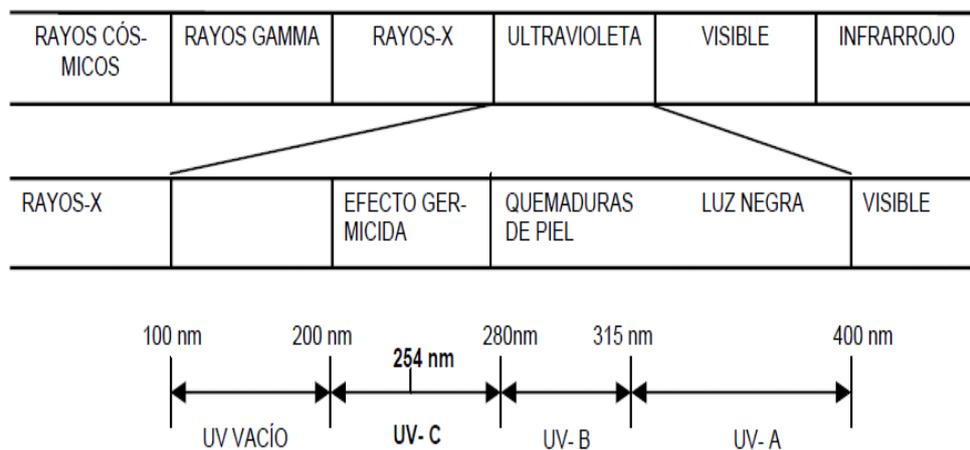


Figura 3. Espectro electromagnético (modificado de Snowball y Hornsey, 1988).
(Rivera et al., 2007)

2.11.1.2 La radiación UV-C como tratamiento poscosecha

Los tratamientos de radiación UV-C en poscosecha consisten en la exposición de productos durante un determinado período de tiempo en un banco de lámparas UV, con una emisión máxima a 254 nm (Civello et al., 2006).

La irradiación UV-C tiene su máximo pico de emisión a 254 nm y se ha comprobado que a esta longitud de onda es donde se presenta una

considerable acción germicida, por lo que ha sido experimentada en varios tejidos vegetales.

En base a la intensidad y longitud de onda, la irradiación UV puede inducir un estrés biológico en plantas y desarrollar algunos mecanismos de defensa de los tejidos vegetales, con la producción de fitoalexinas. La acumulación de estos compuestos podría inducir otros sistemas de defensa, como modificación de las paredes celulares, síntesis de enzimas de defensa, o hasta muerte celular.

Por las ventajas que presenta la irradiación UV-C se ha considerado como un tratamiento alternativo para preservar la calidad de frutas y hortalizas (Rivera, Gardea, Martínez, Rivera, & González, 2007).

La luz UV-C se aplica en frutas frescas, vegetales y raíces después de la cosecha antes de ser almacenados con el propósito de reducir la carga microbiana inicial en la superficie del producto e inducir la resistencia a los microorganismos.

El efecto benéfico que causa la luz UV-C en alimentos frescos se llama “hórmesis” y el agente (luz UV) se denomina “efecto hormético” (Stevens et al., 1997, 1999). El efecto hormético puede estimular la producción de fenilalanina amonía-liasa (PAL) que induce la formación de las fitoalexinas (compuestos fenólicos), que pueden aumentar la resistencia de frutas y vegetales de microorganismos (Guerrero & Barbosa, 2004).

El uso de tratamientos de radiación UV-C podría ser la visión de un prometedor proceso no térmico en la tecnología de poscosecha.

El beneficio de los tratamientos UV-C se podría añadir a las herramientas ya disponibles y ser considerados en la calidad poscosecha y programas de manejo de enfermedades.

La adaptación definitiva de la tecnología UV-C dependerá de la eficacia a escala hasta los tratamientos de estudios de laboratorio a los escenarios semicomercial y comercial (Civello et al. 2006).

2.11.1.3 Efecto hormónico de la radiación UV-C

La luz UV-C puede inducir resistencia a varios factores en tejidos vía “hórmesis”. Se lo puede considerar como una respuesta adaptiva con características diferenciales por la relación entre dosis y respuesta, que es inducida por un proceso de acción directa o de sobre estimulación a dosis bajas (Rivera et al., 2007).

En productos agrícolas es el efecto de la aplicación de dosis bajas de un tratamiento biótico o abiótico potencialmente dañino, que induce respuestas positivas o negativas en los tejidos contra varios tipos de estrés.

La exposición de los tejidos a dosis bajas puede inducir a la producción de compuestos fungicidas como fitoalexinas, y retardar la maduración y senescencia del producto por consiguiente reducir pérdidas poscosecha ocasionadas por desórdenes fisiológicos, como daño por frío, ataque de fitopatógenos, daños mecánicos entre otros.

El efecto “hormético” fue estudiado por el investigador Clauzell Stevens de la Universidad Auburn, quien expuso duraznos a la luz UV-C, y luego observó una reducción en el crecimiento de hongos latentes (Fonseca, 2009; Rivera et al., 2007).

La luz UV-C puede extender la vida útil de frutas y hortalizas mediante algunos efectos. Por ejemplo se observó que el tratamiento de luz UV-C redujo daño por frío en chile campana a nivel metabólico, por disminución en

la salida de electrolitos de las paredes celulares, tasa de respiración y contenido de fenoles.

Además, algunos estudios sugieren que la UV-C puede alterar la composición nutricional de algunas frutas y hortalizas, logrando que puedan aportar más beneficios a la nutrición básica, como alimentos funcionales. Una investigación española (Fonseca, 2009) reporta, que se puede obtener 10 veces más contenido de resveratrol, compuesto que interviene en las propiedades anticancerígenas en uvas, cuando se exponen a la luz UV-C después de la cosecha. Se estima que estas uvas producen resveratrol en una cantidad aproximada de siete vasos de vino tinto (Rivera et al., 2007).

2.11.1.4 Reducción microbiana con luz ultravioleta

La luz UV-C se utiliza como método para la esterilización química, ya que reduce el crecimiento de microorganismos en superficies inertes y en frutos. 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. Los hongos y levaduras son más resistentes durante la desinfección; sin embargo, los niveles altos de microorganismos deben tomarse en cuenta cuando se usa UV-C para desinfectar (Rivera et al., 2007).

El mecanismo de acción directa de la irradiación UV-C está en el daño que causa al ADN. También actúa de forma indirecta al inducir mecanismos de resistencia por la acumulación de compuestos fungicidas como fenoles, flavonoides y poliaminas (Rivera et al., 2007).

La radiación absorbida por el ADN puede detener el crecimiento celular y producir la muerte celular. La luz UV-C que absorbe el ADN causa un cambio físico de electrones que provocan la ruptura de los enlaces del ADN,

retrasa la reproducción o muerte celular. Esto significa que el efecto bactericida de la UV-C es básicamente a nivel del ácido nucleico. Un enlace cruzado entre tiamina y citosina (Nucleótido de bases Pirimidicas) en la misma cadena de ADN ocurre por la radiación de UV-C. Los fotoproductos más comunes de ADN son dímeros ciclobutil pirimidina. El efecto obtenido es que la transcripción y réplica del ADN se bloquean, comprometiendo a las funciones celulares y eventualmente produciendo la muerte celular. Los efectos en los enlaces cruzados del ADN son proporcionales a la cantidad de exposición de luz UV-C (Rivera et al., 2007).

La fotoreactivación puede ocurrir cuando las células dañadas por UV-C se exponen a longitudes de onda mayores a 330 nm. El daño ocurrido a nivel ADN se puede reparar por factores proteínicos (ADN repara genes). La separación del ácido nucleico con tratamiento con luz UV-C se puede foto reactivar (luz fluorescente) debido a la activación de la enzima fotoliasa que monomeriza los dímeros (separación de tiamina y otras piridinas) formados después del proceso de radiación. Sin embargo, un ambiente oscuro puede evitar la fotoreactivación de productos irradiados o restaurar las células expuestas a la luz UV-C (Noboa, 2011).

En general los reportes de uso de radiación UV-C mencionan que la composición química y organización estructural propia del alimento influye de forma importante en el daño causado por la irradiación UV-C en el ADN de los microorganismos, ya que dosis similares de UV-C tienen efectos diferentes en el desarrollo de una misma especie microbiana (Shama & Alderson, 2005).

La aplicación de la luz UV-C en frutas y hortalizas ha resultado un tratamiento efectivo para prolongar la vida útil de estos productos por la acción letal que tiene sobre los microorganismos. Baka, Mercier, Corcuff, Castaigne, & Arul (1999) la aplicaron en fresas para controlar la pudrición por *Botrytis cinerea* y aumenta la vida útil de 4 a 5 días. Stevens, Khan, Lu,

Wilson, Pusey, & Igwegbe (1997), comprobaron que la irradiación UV-C fue efectiva para reducir la pudrición en durazno por *Monilinia fructicola*, en manadarina *Penicillium digitatum* y en tomate de árbol durante su almacenamiento por *Rhizopus stolonifer*. Por esto resulta imprescindible la evaluación de esta tecnología en cada producto en particular para así poder definir las condiciones óptimas de aplicación y los posibles cambios organolépticos (Rivera et al., 2007).

2.11.1.5 Retraso de maduración y senescencia

Entre los principales objetivos de las tecnologías poscosecha aplicadas para la conservación de frutas y hortalizas es retardar la maduración y senescencia; tal retraso está controlado por reguladores de crecimiento, esencialmente el etileno y las poliaminas; compuestos que poseen una ruta de síntesis común y se estimula bajo un tipo de estrés ambiental, como la exposición a la luz UV-C, o en una etapa crítica del desarrollo del fruto.

La exposición a luz UV-C disminuye la degradación enzimática de la pared celular, siendo estas enzimas susceptibles a la irradiación UV-C para inducir proteólisis o reducir su síntesis, así se explica los procesos de maduración y senescencia lentos por la dosis hórmica de UV-C (Rivera et al., 2007).

Estudios reportan que la aplicación de UV-C a dosis bajas en frutos como manzana (Liu, Stevens, Khan, Kabwe, & Wilson, 1991) y durazno (González-Aguilar, Wang, Buta, & Krizet, 2004) retrasa el proceso de maduración.

La acción antisenescente de las poliaminas radica en su alta capacidad para secuestrar radicales libres. En el caso de tomate se sostiene que las poliaminas suprimen la degradación celular y la actividad de la poligalacturonasa; en trozos de melón procesados expuestos a irradiación UV-C, menor pérdida de firmeza que los frutos testigos o tratados después

del corte, al parecer mediante la inactivación de enzimas de degradación de la pared celular (Rivera et al., 2007).

2.11.1.6 Efectos negativos de la luz UV-C

Para los alimentos, aparte del agua, se ha utilizado en un intento de conseguir la desinfección de la superficie de canales y de carne, sobre todo por su facilidad de uso, su escasa toxicidad para los manipuladores y su precio normalmente bajo. Sin embargo, se ha demostrado que induce la generación de componentes que inician la oxidación de alimento. Esto implica un problema muy serio, puesto que no sólo se produce una modificación de las características organolépticas del producto, sino que además ésta implica una alteración del alimento. Ante esta expectativa no parecería que el tratamiento fuese lo suficientemente ideal. No obstante, cuando se aplica de forma controlada o pulsada, el escaso tiempo de exposición limita la presentación de estas sustancias, lo que permite evitar este efecto secundario indeseable (Rodríguez, 2004).

En el caso de productos vegetales la tolerancia del tejido al tratamiento de irradiación UV-C difiere notablemente entre variedades, estados fisiológicos, composición y grosor de la piel del fruto u hortaliza. Es decir la aplicación de UV-C puede tener efectos negativos cuando la intensidad es superior a la tolerada por el producto. El principal efecto negativo ocurre con dosis muy altas y se presenta como manchado o decoloración de la piel y su intensidad es directamente proporcional al tiempo de exposición a la UV-C. En tomate una dosis superior a $2 \times 10^4 \text{ kgf s}^{-2}$ provocó una maduración anormal y pardeamiento del exocarpio, similar al escaldado por el sol, y decoloración del endocarpio (Rivera et al., 2007).

3. METODOLOGÍA

3. METODOLOGÍA

3.1 MATERIAL VEGETAL

El estudio se realizó con naranjilla (*Solanum quitoense* Lam. var. Baeza) cosechada a 75% de madurez en la Hacienda “La Sucia”, Cantón San Miguel de Los Bancos en la provincia de Pichincha ubicado a 94 kilómetros de la ciudad de Quito. Se realizó dos cosechas en abril y mayo, los frutos cosechados fueron trasladados a los laboratorios de la Universidad Tecnológica Equinoccial, se clasificaron, limpiaron (se retiró las vellosidades de la piel de los frutos con la ayuda de esponjas) y se seleccionaron frutos sin defectos.

3.2 APLICACIÓN DE RADIACIÓN UV-C Y ALMACENAMIENTO

Los frutos fueron etiquetados con el grupo correspondiente: grupo control o tratados con dosis de 8 kJ/m² y 12.5 kJ/m², radiación que fue medida con un radiómetro digital UV (UVX RADIOMETER UVP). En la cámara de radiación UV-C, como se muestra en la figura 4, los frutos fueron colocados en cubetas de cartón a 30 cm de distancia de 4 lámparas UV-C (lámparas Phillips TUV G30T8 de 30W). La radiación se aplicó por los dos lados de los frutos para que la exposición a la luz UV-C sea uniforme.

Terminado el tratamiento de irradiación, el proceso de empaçado se realizó en la cámara de flujo laminar y se colocó 45 frutos por cada tratamiento en bandejas plásticas de 40x25cm. Los frutos control y tratados (8 kJ/m² y 12.5 kJ/m²) se almacenaron a dos condiciones: ambiente (17°C y 68 %HR) y refrigeración (7°C y 86 %HR).



Figura 4. Cámara de radiación UV-C

3.3 ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS

En el día que se inició el estudio, y cada siete días, durante el almacenamiento, se tomaron al azar seis frutos de cada tratamiento y se realizaron los siguientes análisis: pérdida de peso, índice de daño, tasa de respiración, firmeza, color, análisis químicos y microbiológicos.

3.3.1 ÍNDICE DE DAÑO

El índice de daño se determinó mediante una escala subjetiva, para evaluar el estado físico de la fruta durante el almacenamiento, tomando en cuenta una calificación de 1 a 4 (1 = sin daño, 2 = daño leve, 3 = daño moderado, 4 = daño severo), para los siguientes síntomas de daño:

- **Escaldaduras:** se consideró la susceptibilidad de presentar escaldaduras o “arrugas” en la superficie debido a la deshidratación del fruto a lo largo del almacenamiento.

- 1 = 0% superficie sin escaldaduras
- 2 = 0-10% superficie con desarrollo ligero de escaldaduras
- 3 = 10-20% superficie con desarrollo moderado de escaldaduras
- 4 = >20% superficie con desarrollo severo de escaldaduras

- **Manchas:** se evaluó la susceptibilidad al desarrollo de manchas oscuras superficiales en el fruto, causadas por invasión microbiana y daños mecánicos.

- 1 = 0% superficie sin manchas
- 2 = 0-10% superficie con desarrollo ligero de manchas
- 3 = 10-20% superficie con desarrollo moderado de manchas
- 4 = >20% superficie con desarrollo severo de manchas

- **Desarrollo de mohos:** se estimó la susceptibilidad al desarrollo de mohos en el pedúnculo del fruto.

- 1 = 0% sin desarrollo de mohos
- 2 = 0-10% desarrollo ligero de mohos
- 3 = 10-20% desarrollo moderado de mohos
- 4 = >20% desarrollo severo de mohos

- **Cambio de color:** se determinó el color superficial del fruto de forma visual de acuerdo al cambio a color amarillo (maduración) del fruto.

- 1 = < 80% color amarillo
- 2 = 80-90% color amarillo
- 3 = 90-100% color amarillo
- 4 = 100% color amarillo

La evolución de cada síntoma de daño se calculó según la Ecuación 2:

$$\text{Índice de cada síntoma de daño} = \frac{\text{nivel de daño} \times \text{número de frutos por nivel}}{\text{número total de frutos evaluados}} \quad [2]$$

El índice de daño (**ID**) se calculó como la sumatoria del índice de cada síntoma de daño evaluado, dividido para el número de síntomas de daño evaluados de acuerdo a la Ecuación 3:

$$\text{Índice de daño ID} = \frac{\text{índice de cada síntoma de daño}}{4} \quad [3]$$

3.3.2 PÉRDIDA DE PESO

Para determinar la pérdida de peso, para cada tratamiento se seleccionó 15 frutas que fueron codificadas y pesadas al inicio del estudio y cada siete días durante el almacenamiento. La pérdida de peso se expresó como el porcentaje de pérdida de masa en relación a la masa inicial, como se muestra en la ecuación 4.

$$\text{Pérdida de peso (\%)} = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso día de análisis}}{\text{peso inicial}} \times 100\% \quad [4]$$

3.3.3 TASA DE RESPIRACIÓN

Para determinar la tasa de respiración se utilizó un método estático, según Kader (2007).

Se codificó 15 frutas de cada tratamiento y en grupos de cinco. Para cada día de análisis se registró el peso de las muestras, se colocaron en frascos con un volumen aproximado de 3,78 L, se cerraron herméticamente, y mediante un medidor de gases Check Point O₂/CO₂, se midió la concentración de CO₂ al inicio y después de una hora, como se muestra en la figura 5.

Las determinaciones de tasa respiratoria se realizaron de forma periódica a lo largo del almacenamiento, mediante la ecuación 5:

$$TR = \frac{PV}{RT} \times \frac{\Delta CO_2 \times M}{m \times t} \quad [5]$$

Donde:

- TR = tasa de respiración (mgCO₂/kg-h)
- P= presión atmosférica (atm)
- M= peso molecular del CO₂ (g/mol)
- V= volumen del recipiente (litros)
- R= constante molar de los gases (atm·l/mol·K)
- T= temperatura de almacenamiento (K)
- m= masa de la muestra (kg)
- t= tiempo (1 hora)



Figura 5. Determinación de tasa de respiración

3.3.4 COLOR

El color se midió en seis frutas con un colorímetro (Color Analyzer Probe marca Lutron, modelo RGB-1002) y para evaluar los cambios de color se

usó la siguiente escala (Ding & kheng, 2010): °Hue (H), saturación (S) y luminosidad (L), como se muestra en la figura 6.

L: medida de la luminosidad del fruto que corresponde a una escala de 0% a 100, donde 0%= negro y 100% = blanco.

°H: es el ángulo de matiz o tono, que gira a 360°. El color amarillo se representa en el ángulo de 90°, el verde en 180°, el azul en 270° y el rojo/violeta en 0° (360°).

S: es el grado de desviación del color gris o blanco y representa la intensidad o pureza del ángulo matiz.



Figura 6. Medición del color

3.3.5 FIRMEZA

La firmeza se midió con un penetrómetro (Tr Italy) de frutas como se muestra en la figura 7. Se tomaron seis frutos por cada tratamiento, se eliminó la corteza de la zona ecuatorial del fruto y se realizaron tres mediciones por cada fruto con una punta de 0.5 cm. La lectura se registró en newton (N).



Figura 7. Determinación de firmeza

3.4 ANÁLISIS QUÍMICOS

3.4.1 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Se seleccionó aleatoriamente 6 frutos de cada tratamiento, se realizó una homogenización usando una licuadora, y se filtraron a través de una gasa estéril de algodón, para obtener un volumen aproximado de 50 ml de jugo de cada muestra. Con el jugo filtrado se midió los siguientes parámetros:

3.4.1.1 Medición de pH

El pH se determinó con un potenciómetro Mettler Toledo Delta 320, mediante la inmersión del electrodo en el filtrado de la muestra. Las mediciones se realizaron por duplicado.

3.4.1.2 Sólidos solubles totales

Los sólidos solubles se midieron con un refractómetro marca B&C (0-32% °Brix). Las mediciones se realizaron por duplicado.

3.4.1.3 Acidez total titulable

La acidez titulable se determinó en 2 ml de muestra de jugo de naranjilla y 50 ml de agua destilada, con de NaOH 0.1N y fenoltaleína como indicador de viraje de color. Los resultados se expresaron como porcentaje de ácido cítrico.

3.4.1.4 Índice de madurez

Se expresó como el coeficiente de sólidos solubles y acidez titulable de la fruta, como se indica en la ecuación 6.

$$\text{Índice de madurez} = \frac{\text{°Brix}}{\% \text{ acidez}} \quad [6]$$

3.5 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

Los análisis microbiológicos se realizaron inmediatamente después de la radiación UV-C (día 0), y al día 14 y 28 de almacenamiento a 17 y 7°C respectivamente. Los análisis fueron: recuento de aerobios mesófilos totales y mohos & levaduras.

3.5.1 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA E INOCULACIÓN

Se colocaron 10 g de muestra previamente homogenizada en 90 ml de agua destilada estéril (dilución 10^{-1}), a partir de esta se realizaron dos diluciones sucesivas (10^{-2} y 10^{-3}).

De cada dilución se tomó una alícuota de 1 ml y se inoculó en placas petrifilm, para recuento de mohos & levaduras y aerobios totales según la guía de interpretación 3M Petrifilm.

3.5.2 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Para el recuento de mohos y levaduras, la guía de interpretación Petrifilm (2004) indica incubar las placas por 5 días entre 21 °C y 25 °C según AOAC (2005) método oficial 997.02

La Guía de interpretación 3M Petrifilm permitió reconocer la diferencia entre las colonias de mohos y levaduras.

Levaduras: colonias pequeñas, de bordes definidos, color rosa tostado o azul verdoso, abultadas (“3D”) y color uniforme.

Mohos: colonias grandes, de bordes difusos, color variable, apariencia plana y núcleo oscuro.

Las placas Petrifilm para recuento de aerobios totales fueron incubadas por 48 ± 3 horas a $35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ según el método oficial 990.12 (AOAC 2005).

De igual manera la Guía de interpretación 3M Petrifilm permitió reconocer las colonias de aerobios mesófilos totales, que son de color rojo, sin importar su tamaño o intensidad.

3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico de los resultados se realizó mediante el análisis de varianza con un diseño completamente al azar con un solo factor, empleando un test de Tukey con una significancia de 5% usando el software StatGraphics Centurion XV.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ÍNDICE DE DAÑO

En la figura 8 y 9, se expone la variación en los índices de daño en función del tiempo y temperatura de almacenamiento.

Las muestras control almacenadas a 17°C evidenciaron un daño leve a moderado a partir del día 7 (ID=2.4). En el día 14 alcanzaron un daño moderado a severo (ID= 2,9), condiciones similares a las dosis 8 kJ/m² y 12.5 kJ/m², aunque con valores menores (ID= 2,7 y 2,5). Para este tiempo de almacenamiento los frutos perdieron su calidad comercial, como se observa en la figura 8.

Por otro lado, los frutos tratados almacenados a 7°C mantuvieron su calidad comercial durante 21 días (ID= 1,6 y 1,5), mientras que los frutos control evidenciaron un daño leve a moderado (ID= 1,9) a partir del día 21, alcanzando el día 28 daño moderado a severo (ID= 2,7), pérdida de calidad comercial. Los frutos tratados con UV-C en combinación con almacenamiento refrigerado (7°C) presentaron menor índice de daño luego de 28 días de almacenamiento, evidenciando un daño leve a moderado (ID= 2,4 y 2,1), para dosis 8 kJ/m² y 12.5 kJ/m² respectivamente, como se observa en la figura 9.

Estudios realizados reportan reducción de síntomas de daño por frío y aumento de vida de almacenamiento en duraznos (González-Aguilar, 2004), y en mangos se incrementó la resistencia al deterioro, mejoró apariencia y textura, comparado con frutos no tratados (González-Aguilar, 2001), de igual manera en naranja (D'Hallewin et al., 1999).

Debido a los resultados encontrados en cuanto al efecto de la radiación UV-C sobre el avance de daño en los frutos, los análisis físico-químicos y

microbiológicos se realizaron durante 14 días para los frutos almacenados a 17°C y durante 28 días para los frutos almacenados a 7°C.

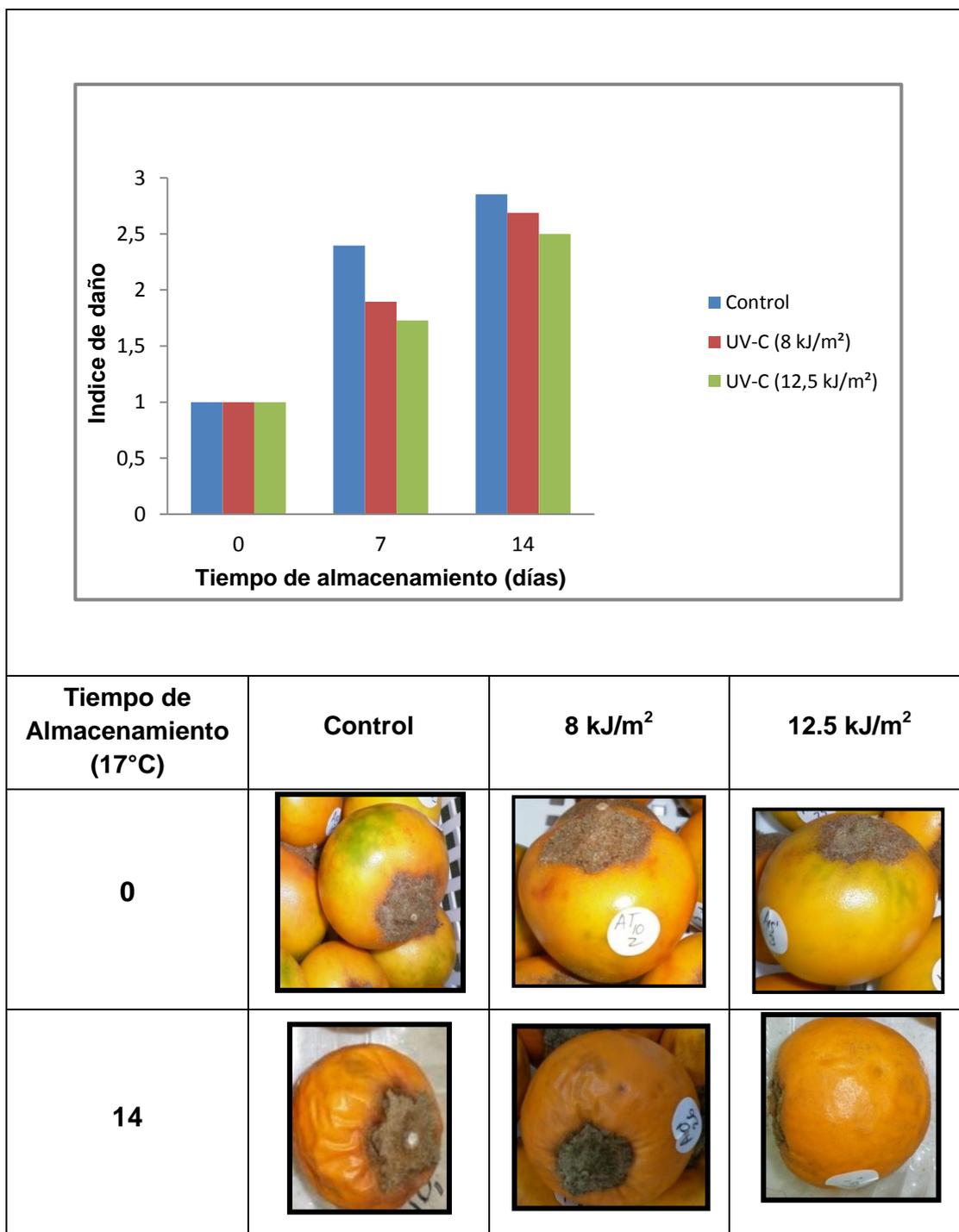


Figura 8. Índice de daño de naranjilla control y tratada (8 kJ/m² y 12.5 kJ/m²) durante el almacenamiento a 17°C

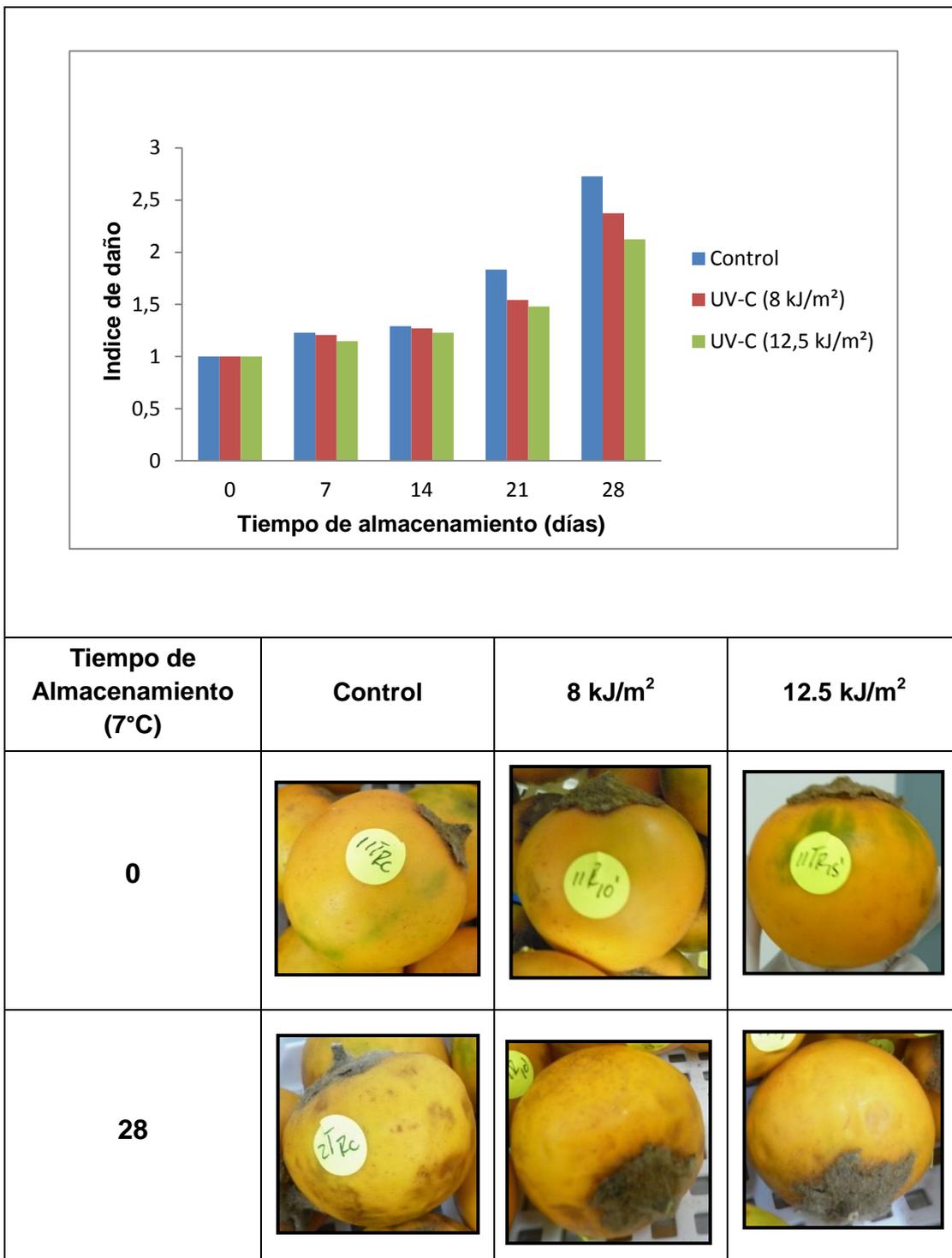


Figura 9. Índice de daño de naranjilla control y tratada (8 kJ/m² y 12.5 kJ/m²) durante el almacenamiento a 7°C

4.2 PÉRDIDA DE PESO

Los frutos control almacenados a 17°C presentaron un mayor porcentaje de pérdida de peso en relación a los frutos irradiados (dosis 8 kJ/m² y 12.5 kJ/m²), con diferencias estadísticamente significativas entre control y dosis 12.5 kJ/m² en el día 7 y 14 de almacenamiento. Al día 14 los frutos alcanzaron los siguientes valores: control, 18,5 % y tratados con dosis 8 kJ/m² y 12.5 kJ/m², 16,2% y 15,9% respectivamente, como se observa en la figura 10A.

Los frutos irradiados con dosis 12.5 kJ/m² y almacenados a 7°C, durante el almacenamiento presentaron menor pérdida de peso con valores significativamente diferentes a los frutos control y dosis 8 kJ/m², como se observa en la figura 10B.

Los resultados denotan que el empleo de radiación UV-C contribuyó a reducir la pérdida de peso en los frutos siendo uno de las principales causas de pérdidas poscosecha. Resultados similares se han reportado en granadas tratadas con radiación UV-C y atmósferas modificadas (López, 2007), en duraznos (González-Aguilar et al., 2004), en carambola mínimamente procesada (Andrade, Moreno, Henríquez, Gómez, & Concellón, 2010).

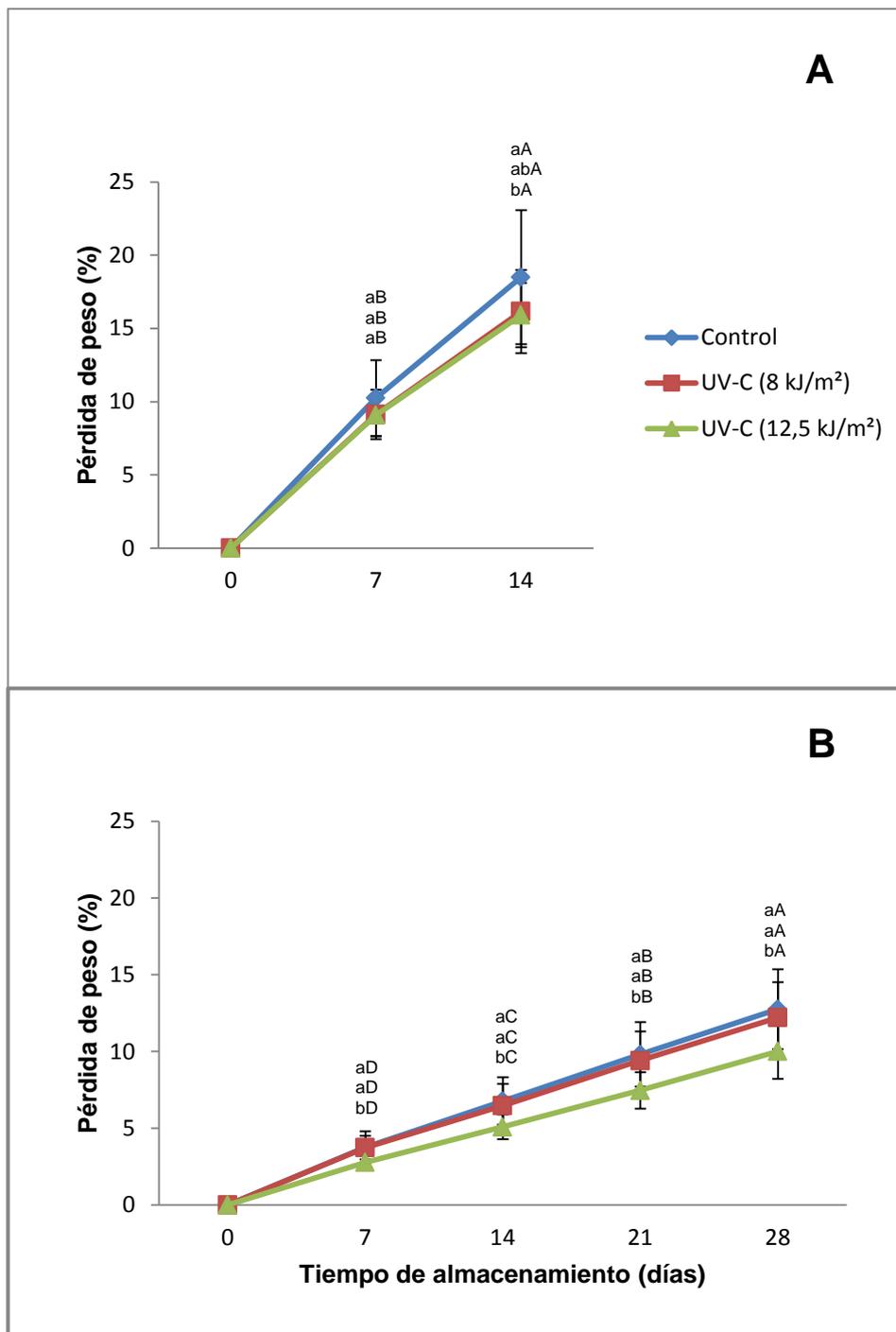


Figura 10. Pérdida de peso de naranjilla control y tratada (8 kJ/m² y 12.5 kJ/m²) durante el almacenamiento a 17°C (A) y 7°C (B)

Letras minúsculas diferentes en el día de análisis denotan diferencia estadísticamente significativa.
 Letras mayúsculas diferentes para un mismo tratamiento durante el almacenamiento denotan diferencia estadísticamente significativa.
 (n=30)

4.3 TASA DE RESPIRACIÓN

En las tablas 7 y 8 se puede observar las medias y desviaciones estándar de la tasa de respiración de cada tratamiento durante las dos condiciones de almacenamiento. En el almacenamiento a 17°C, las muestras control y las tratadas presentaron un comportamiento similar en la actividad respiratoria durante 14 días de almacenamiento. Al día 14 de almacenamiento a 17°C, los frutos control mostraron una tasa de respiración de 125,16 mgCO₂/kg-h y los tratados con dosis 8 kJ/m² y 12.5 kJ/m² alcanzaron una intensidad respiratoria de 106,78 mgCO₂/kg-h y 104,40 mgCO₂/kg-h, respectivamente. Por otro lado al día 28 de almacenamiento a 7°C, las frutas control presentaron una tasa de respiración de 34,38 mgCO₂/kg-h y los frutos tratados con dosis 8 kJ/m² y 12.5 kJ/m² alcanzaron una intensidad respiratoria de 32.67 mgCO₂/kg-h y 29.71 mgCO₂/kg-h, respectivamente.

Los frutos control presentaron una mayor intensidad respiratoria en relación a las muestras tratadas. Se obtuvo una menor actividad con la dosis 12.5 kJ/m². Se obtuvo una menor intensidad respiratoria, indistintamente de los tratamientos, en los frutos almacenados a 7°C, lo que comprueba que la refrigeración influye sobre el metabolismo respiratorio de la fruta, por otro lado el uso de radiación UV-C contribuyó a disminuir la tasa respiratoria y probablemente podría influir sobre la senescencia de los frutos.

Resultados similares se han reportado en mangos tratados con 5min, 10min, y 20min de radiación UV-C, y almacenados a 5°, que presentaron una menor producción de CO₂. Los resultados se puede atribuir a la respuesta que presentaron los frutos a la irradiación y al estrés que sufrieron durante el tiempo de almacenamiento a 5°C, existe un efecto conjunto del tratamiento UV-C y las bajas temperaturas que para el caso de 5 minutos fue perjudicial, ya que la tasa respiratoria se inhibió (Briceño-Contreras, Vargas-Solano, Camacho, Wachter-Rodarte, Márquez, 2005).

Tabla 7. Tasa de respiración durante los días de almacenamiento a 17°C

DÍAS	CONTROL	8 kJ/m ²	12.5 kJ/m ²
1	80,14 ± 21,03 ^{aA}	78,96 ± 6,54 ^{aC}	74,84 ± 16,12 ^{aB}
2	80,92 ± 27,94 ^{aA}	83,41 ± 16,68 ^{aBC}	89,68 ± 32,47 ^{aAB}
4	90,70 ± 18,31 ^{aA}	93,53 ± 16,29 ^{aABC}	102,13 ± 28,13 ^{aAB}
6	109,35 ± 27,57 ^{aA}	110,04 ± 16,91 ^{aAB}	113,41 ± 24,53 ^{aA}
8	122,25 ± 38,75 ^{aA}	111,03 ± 16,97 ^{aA}	116,48 ± 10,71 ^{aA}
9	111,46 ± 28,18 ^{aA}	89,39 ± 7,32 ^{aABC}	93,53 ± 12,61 ^{aAB}
11	104,91 ± 32,23 ^{aA}	95,74 ± 5,21 ^{aABC}	102,34 ± 14,82 ^{aAB}
13	117,38 ± 37,72 ^{aA}	108,30 ± 13,32 ^{aAB}	103,63 ± 8,80 ^{aAB}
14	125,16 ± 35,93 ^{aA}	106,78 ± 18,99 ^{aAB}	104,40 ± 10,66 ^{aAB}

Valor promedio ± desviación estándar (n= 6).

Medias con letras minúsculas diferentes en una misma fila denotan diferencias estadísticamente significativas en el día de análisis.

Medias con letras mayúsculas diferentes en una misma columna denotan diferencias estadísticamente significativas en el tratamiento.

Tabla 8. Tasa de respiración durante los días de almacenamiento a 7°C

DÍAS	CONTROL	8 kJ/m ²	12.5 kJ/m ²
1	44,13 ± 10,15 ^{aA}	42,64 ± 9,73 ^{aA}	40,43 ± 3,53 ^{aA}
2	18,56 ± 8,02 ^{aB}	17,26 ± 7,75 ^{aBC}	11,86 ± 1,82 ^{Ca}
4	21,47 ± 6,68 ^{aB}	17,08 ± 6,92 ^{aBC}	15,46 ± 4,73 ^{aBC}
6	23,73 ± 8,72 ^{aB}	17,23 ± 6,97 ^{aBC}	19,41 ± 4,61 ^{aBC}
8	32,54 ± 13,83 ^{aAB}	28,77 ± 6,13 ^{abABC}	17,99 ± 6,21 ^{bBC}
9	33,08 ± 5,37 ^{aAB}	15,75 ± 10,26 ^{bC}	16,60 ± 7,69 ^{bBC}
11	29,09 ± 4,18 ^{aAB}	17,25 ± 8,87 ^{bBC}	14,71 ± 10,32 ^{bC}
13	34,09 ± 8,92 ^{aAB}	21,33 ± 7,87 ^{bBC}	18,86 ± 8,18 ^{bBC}
15	34,42 ± 9,05 ^{aAB}	23,18 ± 5,48 ^{bBC}	19,22 ± 8,69 ^{bBC}
16	34,66 ± 9,13 ^{aAB}	25,78 ± 3,95 ^{bBC}	25,17 ± 3,96 ^{bBC}
18	25,06 ± 10,23 ^{aB}	22,31 ± 6,16 ^{aBC}	23,47 ± 10,65 ^{aBC}
20	30,40 ± 4,45 ^{abA}	22,30 ± 5,62 ^{bBC}	21,59 ± 8,42 ^{bBC}
22	30,27 ± 9,44 ^{abA}	22,77 ± 6,29 ^{aBC}	23,58 ± 6,50 ^{aBC}
25	28,92 ± 11,27 ^{abA}	18,65 ± 10,12 ^{aBC}	19,18 ± 6,18 ^{aBC}
27	35,27 ± 3,95 ^{abA}	26,91 ± 8,08 ^{abABC}	25,66 ± 9,95 ^{bBC}
28	34,38 ± 9,69 ^{abA}	32,67 ± 10,19 ^{aAB}	29,71 ± 7,53 ^{aAB}

Valor promedio ± desviación estándar (n= 6).

Medias con letras minúsculas diferentes en una misma fila denotan diferencias estadísticamente significativas en el día de análisis.

Medias con letras mayúsculas diferentes en una misma columna denotan diferencias estadísticamente significativas en el tratamiento.

4.4 COLOR

4.4.1 °HUE, SATURACIÓN Y LUMINOSIDAD

En la figura 11 se muestra la evolución de los parámetros de color (H, S, L) de los diferentes tratamientos a lo largo de los almacenamientos. No se evidenciaron diferencias significativas entre tratamientos para un mismo día de análisis en las dos condiciones de almacenamiento.

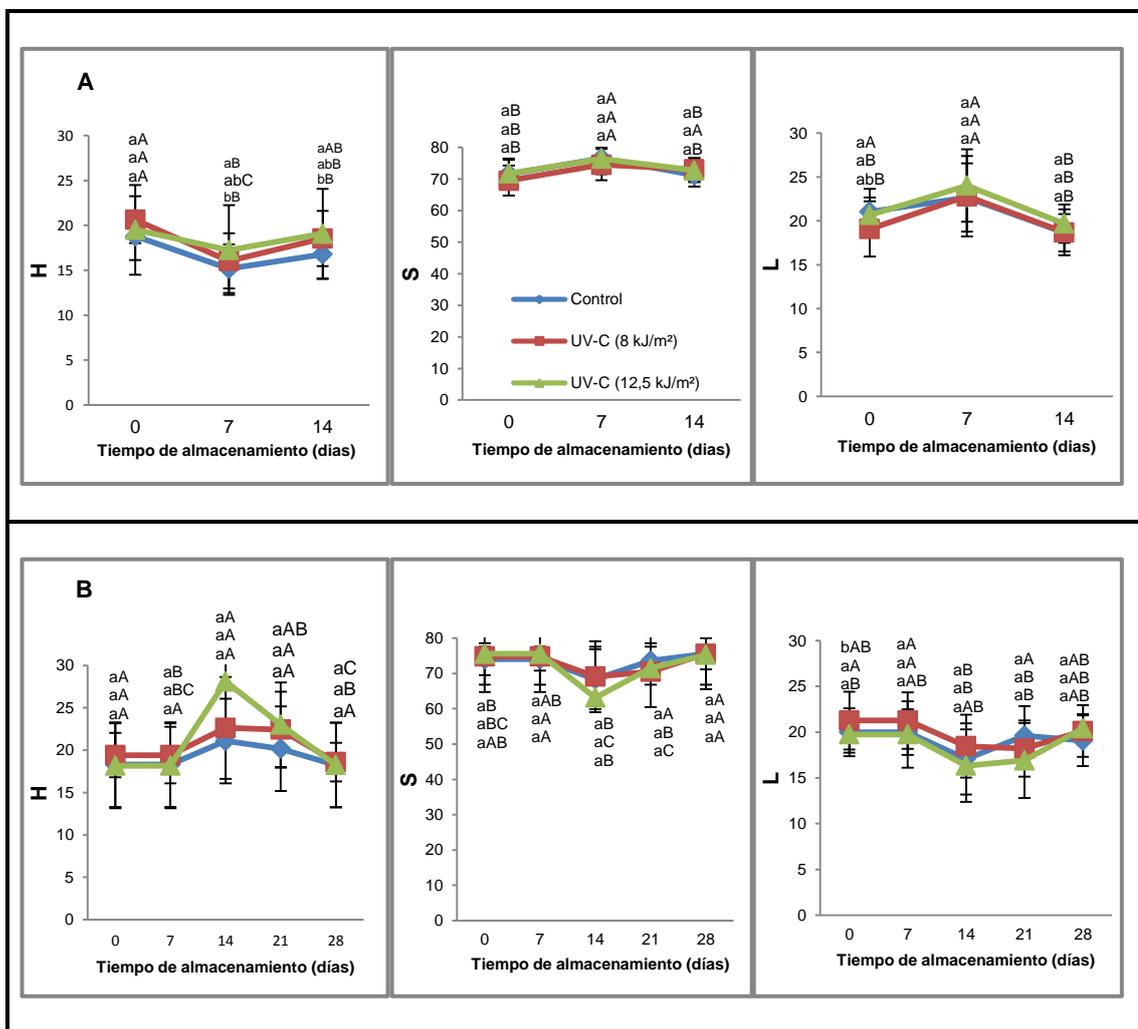


Figura 11. Hue (H), Saturación (S), Luminosidad (L), de naranjilla control y tratada (8 kJ/m^2 y $12,5 \text{ kJ/m}^2$) durante el almacenamiento a 17°C (A) y 7°C (B)

Letras minúsculas diferentes en el día de análisis denotan diferencia estadísticamente significativa. Letras mayúsculas diferentes para un mismo tratamiento durante el almacenamiento denotan diferencia estadísticamente significativa.

(n=24)

Los resultados obtenidos muestran, que los frutos tratados (8 kJ/m^2 y $12,5 \text{ kJ/m}^2$) y control almacenados a 7°C y 17°C no presentaron diferencias significativas en los parámetros de evaluación del color ($^\circ\text{H}$, S, L); es decir que los frutos no se vieron afectados en el color, por la exposición a luz UV-C.

Resultados similares fueron reportados en tomate tratado con radiación UV-C en combinación con atmósfera modificada (Robles, De Campos, Artés-Hernández, et al., 2007) y en pimientos pretratados con 7 kJ/m^2 UV-C y almacenados por 18 días a 10°C (Vicente, Pineda, Lemoine, Civello, Martínez, & Chaves, 2005), no presentaron cambios en el color con respecto a frutos control a lo largo del almacenamiento. Por otro lado en floretes de brócoli pretratados con 10 kJ/m^2 UV-C, almacenados 4 días a 20°C reportaron un descenso en el $^\circ\text{Hue}$, además de un ligero aumento en la luminosidad (Costa, Vicente, & Martínez, 2006).

4.5 FIRMEZA

Como se muestra en la figura 12A, al día 0 de análisis la firmeza registró valores entre 18 y 19 N; al día 14 de almacenamiento a 17°C la firmeza alcanzó valores inferiores de 1 a 2 N en frutos tratados (dosis 8 kJ/m^2 y $12,5 \text{ kJ/m}^2$) como en muestras control. Por otro lado, en el almacenamiento a 7°C en la figura 12B, se observó una disminución gradual de la firmeza, de valores iniciales entre 18 y 19 N, los frutos tratados (dosis 8 kJ/m^2 y $12,5 \text{ kJ/m}^2$) registraron valores de 12 y 13 N respectivamente, y los frutos control de 11 N, al día 28.

Estudios similares se han reportado en tomates pretratados con UV-C y atmósfera controlada, en donde la reducción de la firmeza fue leve a lo largo del almacenamiento (Robles et al., 2007). Por otro lado en fresas frescas la exposición a luz UV-C ($0,25 \text{ kJ/m}^2$) y almacenamiento a 4°C , redujo la pérdida de firmeza (Baka et al., 1999).

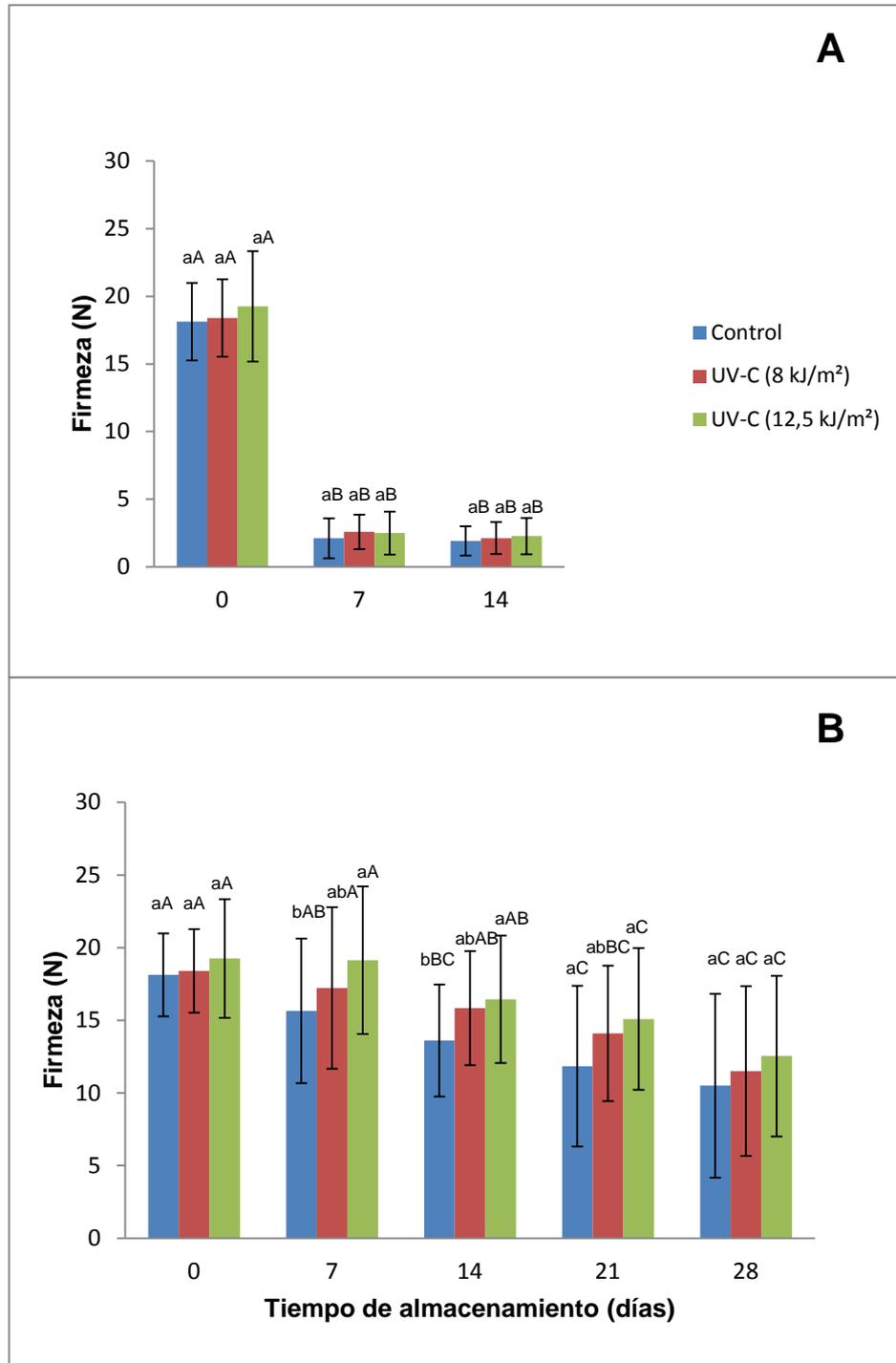


Figura 12. Firmeza de naranjilla control y tratada (8 kJ/m² y 12,5 kJ/m²) durante el almacenamiento a 17°C (A) y 7°C (B)

Letras minúsculas diferentes en el día de análisis denotan diferencia estadísticamente significativa. Letras mayúsculas diferentes para un mismo tratamiento durante el almacenamiento denotan diferencia estadísticamente significativa. (n=36)

4.6 ANÁLISIS QUÍMICOS

4.6.1 pH

Como se muestra en las tablas 9 y 10, no se observó diferencias estadísticamente significativas entre las frutas irradiadas y control almacenadas a 17°C y 7°C.

El pH se mantuvo entre 3 y 3,5, hasta el día final en las dos condiciones de almacenamiento.

Estudios realizados en mango (Briceño et al., 2005) y carambola mínimamente procesada (Andrade et al., 2010), reportan que no se evidenciaron cambios significativos en el pH durante el almacenamiento.

4.6.2 SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES (SST)

Los sólidos solubles totales no presentaron cambios significativos durante el almacenamiento a 17°C y 7°C.

Se registró un valor promedio de 7 °Brix en el día 0 de análisis, alcanzando un valor promedio de 9 °Brix en el día final para las dos temperaturas de almacenamiento. Este comportamiento se evidenció en frutos tratados y control, como se muestra en las tablas 9 y 10.

En carambola mínimamente procesada (Andrade et al., 2010), y en brócoli mínimamente procesado (Lemoine, Civello, Chaves, & Martínez, 2007) tratados con UV-C, tampoco se vieron afectados los sólidos solubles totales.

4.6.3 ACIDEZ TITULABLE TOTAL (ATT)

La acidez titulable total (% Ácido cítrico) presentó un ligero aumento a lo largo de las dos condiciones de almacenamiento, en frutos tratados y control, sin presentar diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para en el mismo día de análisis, como se muestra en las tablas 7 y 8.

Resultados similares fueron reportados en estudios de carambola mínimamente procesada (Andrade et al, 2010), donde no se observó cambios significativos en la acidez titulable.

Tabla 9. pH, sólidos solubles totales y acidez titulable total durante los días de almacenamiento a 17°C

PARÁMETRO	MUESTRA	TIEMPO DE ALMACENAMIENTO (días)		
		0	7	14
pH	Control	3.19 ± 0.02 ^{aB}	3.33 ± 0.07 ^{aA}	3.33 ± 0.09 ^{aA}
	8 kJ/m ²	3.22 ± 0.05 ^{aA}	3.29 ± 0.04 ^{aA}	3.27 ± 0.13 ^{aA}
	12,5 kJ/m ²	3.31 ± 0.20 ^{aA}	3.32 ± 0.05 ^{aA}	3.33 ± 0.07 ^{aA}
SST (°Brix)	Control	7.15 ± 0.87 ^{aA}	7.93 ± 0.30 ^{aA}	7.88 ± 0.15 ^{aA}
	8 kJ/m ²	7.65 ± 0.44 ^{aA}	7.73 ± 0.39 ^{aA}	8.08 ± 0.15 ^{aA}
	12,5 kJ/m ²	7.33 ± 0.54 ^{aA}	8.00 ± 0.00 ^{aA}	7.50 ± 0.41 ^{aA}
ATT (% ácido cítrico)	Control	2.35 ± 0.08 ^{bB}	2.47 ± 0.17 ^{aB}	2.61 ± 0.23 ^{aA}
	8 kJ/m ²	2.46 ± 0.06 ^{aAB}	2.47 ± 0.12 ^{aB}	2.65 ± 0.14 ^{aA}
	12,5 kJ/m ²	2.42 ± 0.14 ^{abA}	2.50 ± 0.22 ^{aA}	2.59 ± 0.11 ^{aA}

Valor promedio ± desviación estándar (n= 4)

Medias con letras minúsculas diferentes en una misma columna denotan diferencias estadísticamente significativas en el día de análisis.

Medias con letras mayúsculas diferentes en una misma fila denotan diferencias estadísticamente significativas en el tratamiento.

Tabla 10. pH, sólidos solubles totales y Acidez titulable total durante los días de almacenamiento a 7°C

PARÁMETRO	MUESTRA	TIEMPO DE ALMACENAMIENTO (días)				
		0	7	14	21	28
pH	Control	3.19 ± 0.02 ^{aA}	3.21 ± 0.08 ^{aA}	3.27 ± 0.04 ^{aA}	3.28 ± 0.15 ^{aA}	3.24 ± 0.08 ^{aA}
	8 kJ/m ²	3.22 ± 0.05 ^{aA}	3.30 ± 0.10 ^{aA}	3.31 ± 0.16 ^{aA}	3.29 ± 0.14 ^{aA}	3.27 ± 0.11 ^{aA}
	12,5 kJ/m ²	3.31 ± 0.20 ^{aA}	3.20 ± 0.13 ^{aA}	3.31 ± 0.05 ^{aA}	3.29 ± 0.07 ^{aA}	3.24 ± 0.07 ^{aA}
SST	Control	7.15 ± 0.87 ^{aC}	7.83 ± 0.24 ^{aBC}	7.55 ± 0.48 ^{aBC}	8.50 ± 0.58 ^{aAB}	9.13 ± 0.30 ^{aA}
	8 kJ/m ²	7.65 ± 0.44 ^{aB}	7.80 ± 0.22 ^{aB}	7.98 ± 0.33 ^{aB}	8.40 ± 0.59 ^{aAB}	9.05 ± 0.10 ^{aA}
	12,5 kJ/m ²	7.33 ± 0.54 ^{aC}	7.63 ± 0.48 ^{aBC}	7.88 ± 0.25 ^{aABC}	8.40 ± 0.71 ^{aAB}	8.90 ± 0.14 ^{aA}
ATT	Control	2.35 ± 0.08 ^{bB}	2.57 ± 0.24 ^{aAB}	2.62 ± 0.16 ^{aA}	2.65 ± 0.20 ^{aA}	2.79 ± 0.15 ^{aA}
	8 kJ/m ²	2.46 ± 0.06 ^{aB}	2.55 ± 0.19 ^{aAB}	2.61 ± 0.17 ^{aAB}	2.69 ± 0.08 ^{aA}	2.74 ± 0.13 ^{aA}
	12,5 kJ/m ²	2.42 ± 0.14 ^{abB}	2.62 ± 0.20 ^{aA}	2.65 ± 0.14 ^{aA}	2.69 ± 0.08 ^{aA}	2.72 ± 0.09 ^{aA}

Valor promedio ± desviación estándar (n= 4)

Medias con letras minúsculas diferentes en una misma columna denotan diferencias estadísticamente significativas en el día de análisis.

Medias con letras mayúsculas diferentes en una misma fila denotan diferencias estadísticamente significativas en el tratamiento.

4.6.4 ÍNDICE DE MADUREZ

Al día 14 y 28 de almacenamiento a 17°C y 7°C respectivamente, se observó un menor índice de maduración en la dosis 12.5 kJ/m² pero sin diferencias significativas en relación a la dosis 8 kJ/m² y control, como se observa en las tablas 9 y 10. Estos resultados podrían relacionarse a que el indicador seleccionado para verificar el grado de madurez fue la diferencia entre sólidos solubles y acidez titulable, y tampoco en estos parámetros se evidenció cambios significativos por la exposición a la luz UV-C, por lo tanto tampoco en el índice de madurez. La exposición superficial de los tejidos de las frutas a dosis bajas de irradiación UV-C podría o no retrasar procesos de maduración y senescencia, ya que no se conoce con certeza como la radiación UV-C influye en las actividades bioquímicas y metabólicas de los diferentes frutos (Rivera et al, 2007).

Estudios en manzana y durazno (Liu et al, 1991), tomate (Liu et al., 1993), la radiación UV-C retrasó el proceso de maduración, es decir existió una mayor resistencia al deterioro, mientras que en pera (Piga, D´Hallewin, D´Aaquino,

& Aggabio, 1997), no se evidenció cambios en el proceso de maduración de la fruta.

Tabla 11. Índice de madurez durante los días de almacenamiento a 17°C

DÍAS	DOSIS		
	CONTROL	8 kJ/m ²	12,5 kJ/m ²
0	3,05 ± 0,41 ^{aA}	3,11 ± 0,18 ^{aA}	3,17 ± 0,30 ^{aA}
7	3,15 ± 0,12 ^{aA}	3,05 ± 0,09 ^{aA}	3,06 ± 0,16 ^{aA}
14	2,80 ± 0,06 ^{aA}	2,94 ± 0,09 ^{aA}	2,91 ± 0,20 ^{aA}

Valor promedio ± desviación estándar (n= 4)

Medias con letras minúsculas diferentes en una misma fila denotan diferencias estadísticamente significativas en el día de análisis.

Medias con letras mayúsculas diferentes en una misma columna denotan diferencias estadísticamente significativas en el tratamiento.

Tabla 12. Índice de madurez durante los días de almacenamiento a 7°C

DÍAS	DOSIS		
	CONTROL	8 kJ/m ²	12,5 kJ/m ²
0	3,05 ± 0,41 ^{aA}	3,11 ± 0,18 ^{aAB}	3,17 ± 0,30 ^{aA}
7	2,84 ± 0,14 ^{aA}	2,89 ± 0,16 ^{aB}	2,77 ± 0,10 ^{aA}
14	2,78 ± 0,10 ^{aA}	2,94 ± 0,13 ^{aB}	2,91 ± 0,16 ^{aA}
21	3,09 ± 0,23 ^{aA}	3,09 ± 0,15 ^{aAB}	3,10 ± 0,37 ^{aA}
28	3,15 ± 0,12 ^{aA}	3,30 ± 0,18 ^{aA}	3,24 ± 0,14 ^{aA}

Valor promedio ± desviación estándar (n= 4)

Medias con letras minúsculas diferentes en una misma fila denotan diferencias estadísticamente significativas en el día de análisis.

Medias con letras mayúsculas diferentes en una misma columna denotan diferencias estadísticamente significativas en el tratamiento.

4.7 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

4.7.1 AEROBIOS MESÓFILOS TOTALES

Se realizó un recuento de aerobios mesófilos totales al inicio y al final del ensayo, no obstante no se evidenció crecimiento microbiano (UFC), tanto en frutos control como tratados (dosis 8 kJ/m² y 12.5 kJ/m²).

4.7.2 MOHOS Y LEVADURAS

Como se muestra en la tabla 13, inmediatamente después del tratamiento (día 0), los frutos irradiados (8 kJ/m² y 12.5 kJ/m²) presentaron reducción ligera de población de mohos y levaduras con respecto a los frutos control. Al día 14 de almacenamiento a 17°C, en frutos tratados (8 kJ/m² y 12.5 kJ/m²) la población de mohos y levaduras se incrementó llegando a obtenerse valores superiores a los frutos control. Al día 28 de almacenamiento a 7°C, en frutos tratados (8 kJ/m² y 12.5 kJ/m²), se evidenció una reducción de la población de mohos y levaduras con respecto a frutos control.

Por otro lado, al final del almacenamiento a 17°C, la población de mohos y levaduras en frutos control se redujo 0,8 log₁₀ UFC/ml y en frutos tratados (8 kJ/m² y 12.5 kJ/m²) prácticamente se mantuvo constante por 14 días. Al final del almacenamiento a 7°C, se presentó una reducción de 0,6 log₁₀ UFC/ml en frutos control y de 0,6 y 1.4 log₁₀ UFC/ml en frutos irradiados (8 kJ/m² y 12.5 kJ/m²) respectivamente.

Estos resultados podrían deberse a que la radiación UV-C solo actúa a nivel superficial de la fruta y su efectividad puede verse afectada por diferentes factores como: tamaño de la célula y estructura, pigmentación y la actividad de los sistemas implicados en la reparación del daño por radiación (Ehling-Schulz, et al., 1997). A pesar de que la luz UV-C reduce la cantidad de

esporas vivas y/o retarda el crecimiento microbiano durante el tiempo de exposición, podría no inhibir totalmente el crecimiento a lo largo del almacenamiento, ya que también los nutrientes del sustrato y las condiciones de temperatura intervienen directamente en el desarrollo de microorganismos (Cárdenas, 2011; Arroyo, 2010).

Tabla 13. Recuento mohos y levaduras (\log_{10} UFC/ml) al inicio y al final del almacenamiento a 17°C y 7°C

Temperatura de almacenamiento	Tiempo de almacenamiento (días)	Muestras		
		CONTROL	8 kJ/m ²	12,5 kJ/m ²
°C	0	3,7	3,5	3,4
17°C	14	2,9	3,6	3,5
7°C	28	3,1	2,9	2,0

No se han reportado estudios precisos sobre la susceptibilidad de las distintas especies de microorganismos a la radiación UV-C, ya que diferentes cepas de una misma especie pueden presentar mayor resistencia o efectos de respuesta distintos. Se conoce que los mohos tienen células de estructuras más complejas que las bacterias y son mucho más resistentes a la UV-C germicida (Joux et al, 1999). El nivel de daño sufrido por el microorganismo depende de la cantidad de radiación efectivamente absorbida y la resistencia del mismo a la exposición de UV-C (Shama et al, 2005). Por ejemplo, una dosis de 4,1 kJ/m² no afectó a *Botrytis cinerea* permitiendo viabilidad de esporas, no obstante fue suficiente para retrasar la

germinación. En cambio, el mismo tratamiento no afectó en la germinación de esporas, cuando se aplicó a *Rhizopus sp.*, (Pan et al, 2004).

Por otro lado, estudios concluyen que la combinación de la irradiación UV-C con otras tecnologías poscosecha como bajas temperaturas de almacenamiento permite la aplicación efectiva de dosis más bajas y un mejor efecto de respuesta. Baka et al. (1999) aplicaron UV-C en fresas para controlar la pudrición por *Botrytis cinerea*, se encontró un efecto positivo a temperaturas de 4 a 13°C de almacenamiento. Marquenie, Michiels, Geeraerd, Schenk, Soontjens, Van Impe, Nikolai (2002), reportaron que la combinación UV-C y bajas temperaturas redujo el desarrollo fúngico de fresas en todas las dosis.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La exposición de luz UV-C (8 kJ/m^2 y $12,5 \text{ kJ/m}^2$) en naranjilla como tratamiento poscosecha, en combinación con almacenamiento a 17°C preservó el fruto por 14 días sin presencia de mohos, no obstante se produjo la pérdida de la calidad comercial (escaldaduras, manchas oscuras y textura blanda), mientras que en combinación con almacenamiento refrigerado a 7°C permitió mantener características organolépticas y la calidad comercial del fruto (índice de daño leve, sin presencia de escaldaduras y textura blanda) por 28 días.
- El tratamiento con luz UV-C no afectó de forma significativa parámetros químicos (pH, sólidos solubles, acidez titulable e índice de madurez) a lo largo del almacenamiento, los valores permanecieron similares a los frutos control. Las dosis de irradiación UV-C (8 kJ/m^2 y $12,5 \text{ kJ/m}^2$) probablemente actuaron en el tejido del fruto a nivel superficial, de modo que no produjeron cambios en estos índices de calidad.
- En parámetros de color (H, S, L) no se evidenciaron cambios significativos a lo largo de los almacenamientos a 7°C y 17°C , tanto en frutos control como irradiados (8 kJ/m^2 y $12,5 \text{ kJ/m}^2$).
- Inmediatamente aplicado el tratamiento UV-C (8 kJ/m^2 y $12,5 \text{ kJ/m}^2$), se obtuvo un menor recuento de mohos y levaduras, sin embargo al final del almacenamiento a 17°C , se evidenció un mayor crecimiento microbiano en frutos tratados. Esta diferencia podría deberse a la competencia natural que existe entre los microorganismos en los sistemas biológicos. Por el contrario, en combinación con almacenamiento refrigerado a 7°C , al día 28 se logró un recuento microbiano menor al inicial en frutos tratados y también con respecto a frutos control. Este resultado podría deberse a un efecto sinérgico-

germicida de la radiación UV-C con bajas temperaturas de almacenamiento. La dosis necesaria para controlar una enfermedad poscosecha en particular es variable y dependerá de la sensibilidad y concentración del microorganismo en el fruto, características del fruto y la superficie expuesta a la radiación, y condiciones de almacenamiento (temperatura).

- La irradiación a $12,5 \text{ kJ/m}^2$ en combinación con almacenamiento refrigerado 7°C , fue la dosis de mayor efecto positivo sobre la naranjilla, ya que permitió retrasar la aparición de síntomas de daño, reducir la pérdida de peso, la pérdida de firmeza y la flora microbiana, y conservar las características organolépticas y calidad de la naranjilla por 28 días.

5.2. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios de composición bioquímica de la naranjilla para conocer el efecto de la radiación UV-C en los compuestos antioxidantes, de manera que se pueda dilucidar los efectos a nivel metabólico del fruto frente a la radiación UV-C, y así complementar los resultados obtenidos en el presente estudio.
- Realizar estudios sobre el efecto del uso combinado de la radiación UV-C con otras tecnologías poscosecha como: atmósferas modificadas o controladas, recubrimientos comestibles o ceras, para determinar efectos a nivel físico, químico, biológico y microbiológico, ya que no se han reportado estudios al respecto en naranjilla.
- Realizar estudios más precisos para determinar la susceptibilidad a la radiación UV-C de los microorganismos de mayor impacto en naranjilla, y así establecer dosis efectivas para detener el crecimiento, la esporulación o la viabilidad de patógenos específicos, responsables de la descomposición poscosecha en naranjilla.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, J. (2002). Propiedades físicas del fruto, pulpa y jugo de naranjilla. Quito, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato. Casa de la cultura ecuatoriana. Revista Ciencia y Tecnología.
- Andrade, M. J., Moreno, C., Henríquez, A., Gómez A., & Concellón, A. (2010). Influencia de la radiación UV-C como tratamiento postcosecha sobre carambola (*Averrhoa carambola* L.) minimamente procesada almacenada en refrigeración. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, vol. 11, pp 18-27.
- AOAC. (2005). Official Method of analysis of the association analytical chemists internacional: 18.
- Arroyo, A. D. (2010). Tesis. Estudio del uso combinado de radiación UV-C y empacado al vacío para aumentar la vida poscosecha de (*averrhoa carambola* L.) mínimamente procesada. Quito, Ecuador. Universidad Tecnológica Equinoccial.
- ARTHEY D., ASHURST P., (1997). Procesado de Frutas. Zaragoza, España: Acribia S.A. .
- Baka M., Mercier, J., Corcuff, F., Castaigne, F., & Arul, J. (1999). Photochemical treatment to improve storability of fresh strawberries. J. Food Science, 1068-1072.
- Barka, E. A., Kalantari, S., Makhlof, J., & Arul, J. (2000). Effects of UV-C irradiation on lipid peroxidation markers during ripening of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) fruits. J. Plant Physiological, 667-671.
- Bosquez. (1992). Manual de prácticas de laboratorio de fisiología postcosecha de frutas y hortalizas: Efecto combinado de la aplicación de tecnologías postcosecha en la conservación en fresco de productos vegetales.
- Briceño-Contreras, C. I., Vargas-Solano, Z., Camacho, N. A., Wachter-Rodarte, C., & Márquez, M. A. (2005). Efecto de los tratamientos por irradiación UV-C sobre la actividad de la polifenol oxidasa y Peroxidasa en mangos variedad "ataulfo" almacenados a bajas temperaturas. 1-8.

- Cárdenas, B. B., (2011). Tesis. Estudio del efecto de la radiación UV-C sobre el decaimiento poscosecha en uvilla (*physalis peruviana* L.) orgánica. Quito, Ecuador. Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Civello, P. M., Vicente, A. R. & Martínez, G.A. (2006). UV-C technology to control postharvest diseases of fruits and vegetables. Transworld Research Network, 47 y116.
- Comité Regional de Frutas Amazónicas. (2009). Ficha técnica: Naranjilla. Quito: Biocomercio (CORPEI/EcoCiencia).
- Convenio MAG/IICA. (mayo de 2001). Identificación de mercados y tecnología para productos agrícolas tradicionales del Ecuador. Naranjilla. Quito, Ecuador.
- CORPOICA. (2002). El Cultivo del Lulo. Manual Técnico (1ª ed.). Manizales, Colombia: CORPOICA Regional Nueve.
- Costa, L., Vicente, A. R., Martínez, G. A. (2006). UV-C treatment delays postharvest senescence in brocoli florets. Postharvest Biological Technology, 204-210.
- D'Hallewin, G., Schirra, M. Manueddu, E., Piga, A., & Ben-Yehoshua, S. (1999). Scoporone and scopoletin accumulation and ultraviolet-C induced resistance to postharvest decay in oranges as influenced by harvest date. American Journal of Horticultural Science, 702-707.
- Ding, P., & kheng, Y. (2010). Application of exogenous ethylene on postharvest quality of dabai (*Canarium odontophyllum* Miq.) fruit. African Journal of Agricultural Research.
- Ehling-Schulz, M., Bilger, W., Scherer, S. (1997). J. Bacteriol., 179, 1940.
- EPA. (6 de mayo de 2010). Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. Recuperado el 22 de septiembre de 2011, de El programa SunWise: La radiación ultravioleta: www.epa.gov
- FAO. (2004). Conservación de frutas y hortalizas mediante tecnologías combinadas. Roma, Italia: Departamento de Agricultura.
- FAO. (2006). Fichas Técnicas "Productos frescos y procesados". Recuperado el 5 de julio de 2011, de lulo (*Solanum quitoense*): www.fao.org
- Fiallos, J. (2000). Naranjilla: híbrido interespecífico de alto rendimiento. Boletín divulgativo N-276. Palora, Ecuador: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.

- Fonseca, J. (Enero de 2009). Revista Productores de Hortalizas. Recuperado el 17 de Agosto de 2011, de Luz Ultravioleta-Efectos varios en la calidad de hortalizas: <http://www.hortalizas.com>
- Gallo. (1997). Manual de fisiología, patología, postcosecha y control de calidad de frutas y hortalizas. Quindío, Colombia: Convenio SENA - Natural Resources Institute.
- Galvis, J., & Herrera, A. (1999). El Lulo *Solanum Quitoense* Lam Manejo Postcosecha. Colombia: Sección Publicaciones SENA.
- García, M., & García, H. (2001). Manejo Poscosecha de Mora, Lulo y Tomate de Arbol. Bogotá, Colombia: CORPOICA.
- González-Aguilar, G. A., Wang, C. Y., Buta, G. J., & Krizet, D. T. (2001). Use of UV-C irradiation to prevent decay and maintain postharvest quality of ripe "Tommy Atkins" mangoes. *Internatl. J. food Science Technology*, 767-773.
- González-Aguilar, G. A., Wang, C. Y., Buta, G. J., & Krizet, D. T. (2004). UV-C irradiation reduces breakdown and chilling injury of peaches during cold storage. *J. Food Science Agriculture*, 415-422.
- Guerrero, J., & Barbosa, G. (2004). Advantages and Limitations on Processing Foods by UV Light. *Food Science and Technology International*, 1-12.
- Heiser. (1972). The relationships of the naranjilla. *Solanum Quitoense*. Biotrópica.
- IICA. (1987). Tecnología del Manejo de Postcosecha de Frutas y Hortalizas. Colombia.
- IICA. (1996). Manejo Pre Y Post-Cosecha De Frutales Y Hortalizas Para Exportacion: Estudio sobre el comportamiento post-cosecha de naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.). Quito, Ecuador: PROCIANDINO.
- IICA. (2007). Proyecto Red SITCA "Cultivos de diversificación para pequeños productores de frejón y maíz en América central" - Naranjilla y Cocona. Managua, Nicaragua: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- INIAP. (1995). Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Departamento Técnico de Crystal Chemical Inter-America.

- INIAP. (1999). Guía de Cultivos. Instituto Nacional Autonomo de Investigaciones Agropecuarias. Ecuador: INIAP.
- INIAP. (2011). Boletín de Prensa Nro. 042: "INIAP Realizará un Día de Campo en el Cultivo de Naranja". Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP). Quito: Coordinación de Comunicación Social INIAP.
- Joux, F., Jeffrey, W.H., Lebaron, P., Mitchell, D.L. (1999). Marine Bacterial Isolates Display Diverse Responses to UV-B Radiation. *Appl. Environ. Microbiol.* 65: 3820-3827
- Kader, A. A. (2007). Tecnología Postcosecha de Cultivos Hortofrutícolas. Davis, California: Universidad de California. Centro de Información e investigación en Tecnología Postcosecha.
- Lamúa, M. (2000). Aplicación del Frío a los Alimentos (1ª ed.). Madrid, España: A.Madrid Vicente, Ediciones & Mundi Prensa.
- Larrañaga, I., Carballo, J., Rodriguez, M., Fernández, J. (1999). Contro e higiene de los alimentos. Madrid, España: McGRAW-HILL.
- Lemoine, M., Civello, P., Chaves, A., & Martínez, G. (2007). Mantenimiento de la vida poscosecha de brócoli minimamente procesado mediante el tratamiento combinado con radiación UV-C y aire caliente. Recuperado el 2 de 12 de 2011, de Fresh Plaza: http://www.freshplaza.es/news_detail.asp?id=2514. España.
- Liu, J. Y., Stevens, C., Khan, V. A., Kabwe, M., & Wilson, C. L. (1991). The effect of ultraviolet irradiation on shelf-life and ripening of peaches and apples. *J. food Quality*, 299-305.
- Liu, J., Stevens, C., et al. (1993). Application of ultraviolet-C light on storage rots and ripening of tomatoes. *J. Food Protect*, 868-872.
- López, P. (2011). Tesis. Determinación de las Características Fisicoquímicas y Estudio de Índices de Calidad en el Comportamiento Poscosecha de Clones Élite Provenientes de Cruzamientos de Naranja, en la Provincia de Pastaza. Ibarra, Ecuador: Escuela de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Técnica del Norte.
- MAGAP. (Enero de 2011). Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. Recuperado el 20 de Febrero de 2012, de Principales cultivos del Ecuador (total de superficie cosechada, serie histórica 2000-2010): <http://www.magap.gob.ec>

- Manual Agropecuario. (2002). Tecnologías orgánicas de la granja integral autosuficiente. Colombia: Fundación Hogares Juveniles Campesinos.
- Marquenie, D., Michiels C. W., Geeraerd, A. H., Schenk, A., Soontjens, C., Van Impe, J. F., Nikolai, B. M. (2002). Using survival analysis to investigate the effect of UV-C and heat treatment on storage rot of strawberry and sweet cherry. *J. Food Microbiology*, 73: 187-196.
- Morton, J. (1987). Naranjilla. Fruits of warm climates. Miami.
- Noboa, D. (2011). Blog: Ingeniería y Calidad de Alimentos. Recuperado el 17 de Agosto de 2011, de Reducción Microbiana en Alimentos con Luz Ultravioleta: <http://diegonovoa.wordpress.com>
- Ochse, J., Soule, M., Dijkman, M., Wehlburg, C. (1972). Cultivo y Mejoramiento de Plantas Tropicales y Subtropicales. México: Limusa-Wiley S.A.
- Pan, J., Vicente, A., Martinez, G., Chaves, A., Civello, M. (2004). Combined use of UV-C irradiation and heat treatment to improve postharvest life of strawberry fruit. *J. Sci. Food Agric.* 84:1831-1838.
- Pastrana, E. (1998). Manejo Post-Cosecha y Comercialización de lulo (*Solanum Quitoense* Lam.). Bogotá, Colombia: Magnitud Ltda.
- Piga, A., D'Hallewin, G., D'Aquino, S., & Aggabio, M. (1997). Influence of film wrapping and UV irradiation on cactus pear quality after storage. *Packaging Technology Science*, 59-68.
- Proaño, M. (Enero de 2008). Tesis. Evaluación de la Calidad Poscosecha de Seis Ecotipos de Naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) Procedentes del Noroccidente de Pichincha. Quito, Ecuador: Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria. Escuela Politécnica Nacional.
- Rivera, D. M., Gardea, A., Martínez, M., Rivera, M., & González, G. (2007). Efectos bioquímicos postcosecha de la irradiación UV-C en frutas y hortalizas. *Revista Fitotecnia Mexicana*, vol. 30, pp. 361-372.
- Robles, P., De Campos, A., Artés-Hernández, F., & col. (2007). Acción combinada de la radiación UV-C y la atmósfera controlada para optimizar la calidad del tomate. V Congreso Iberoamericano de tecnología postcosecha y agroexportaciones, 159-165.
- Rodríguez, J. (21 de Abril de 2004). La radiación ultravioleta como descontaminante de alimentos. Recuperado el 17 de Agosto de 2011, de Eroski Consumer: <http://www.consumer.es>

- Rodríguez, V. (1966). Jugo de naranjilla. CENDES.
- Sanchez y col. (mayo de 2007). Acción combinada de la radiación UV-C y la atmósfera controlada para optimizar la calidad del tomate. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.
- Shama, G., & Alderson, P. (2005). UV hormesis in fruits: a concept ripe for commercialization. *Trends Food Science technology*, 128-136.
- Soria, J. (1989). La Naranjilla que Actualmente se Cultiva y Consume en Ecuador. *Boletín Divulgativo 5*. Quito, Ecuador: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.
- Stevens C., Khan, V. A., Lu, J. Y., Wilson, C. L., Pusey, P. L., & Igwegbe E. C. (1997). Integration of ultraviolet (UV-C) light with yeast treatment for control of postharvest storage rots of fruits and vegetables. *Biological Control*, 75-84.
- Tamayo, P. (2001). *Boletín Técnico 12*. Principales enfermedades del Tomate de Arbol, La Mora y El lulo en Colombia, primera. Medellín, Colombia: Impresos Begón Ltda.
- Universidad de Navarra. (2009). Libro electrónico: Ciencias de la tierra y del medio ambiente. Recuperado el 22 de septiembre de 2011, de Radiaciones ultravioletas: www.tecnun.es
- Valencia, S., Vásquez, W., Pólit, P., Muñoz, F., Rúales, J., Alvarado, J., & Mirari, A. (8 de abril de 2010). Seminario - Taller. Nuevas tendencias en la poscosecha de frutas y hortalizas. Quito, Pichincha, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional - Departamento de Ciencia de Alimentos y Biotecnología.
- Vargas, S. (2008). Tesis. Exportación de Pulpa de Naranjilla al Mercado Alemán. Quito, Ecuador: Universidad tecnológica Equinoccial.
- Vicente, A.R., Pineda, C., Lemoine, L., Civello, P. M., Martínez, G. A. & Chaves, A. R. (2005). UV-C treatments reduce decay, retain quality and alleviate chilling injury in pepper. *Postharvest Biological Technology*, 69-78.
- Villachica, H. (1996). *Frutales y Hortalizas Promisorias de la Amazonía*. Tratado de Cooperación Amazónica, Secretaría Pro-Tempore. Lima, Perú.
- Whalen, M., Costish, D. & Heiser, C. (1981). *Taxonomy of Solanum Section Lasiocarpa* (Vol. 12). Ithaca, N.Y.: Gentes Herbarum.

Wills, R., McGlasson., B, Graham, D., & Joyce, G. (1998). Introducción a la fisiología y manipulación poscosecha de frutas, hortalizas y plantas ornamentales (Segunda ed.). Zaragoza, España: Acribia, S.A.

ANEXOS

ANEXO I

ZONAS Y EPOCAS DE PRODUCCIÓN DE LA NARANJILLA

Región	Cantones	Meses											
		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Norte	Coca	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Loreto	1	1	1	2	1	1	1	1	3	1	1	1
Centro	Archidona/Tena	1	1	1	1	3	2	1	1	1	1	1	1
	Mera/Puyo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Palora	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	3	1
	Macas	1	1	1	3	1	2	1	2	1	2	1	2
	Sucúa/Logroño	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Méndez	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Gualaquiza	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sur	Yantzaza/El Pangui	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Nangaritza/C. Cóndor	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fuente: Entrevista directa con técnicos de las UMDS, INIAP y productores

Nomenclatura.	1: Producción Baja	2: Producción Media	3: Producción Alta
---------------	--------------------	---------------------	--------------------

