



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS



CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS

Tema: Mejora de la conservación postcosecha de la naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) mediante atmósferas modificadas.

Trabajo de Titulación, Modalidad Proyectos de Investigación, previo a la obtención del Título de Ingeniera en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de La Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos.

Este trabajo es parte del proyecto “Puesta en marcha de línea de cocción a vacío de jugos de frutas y línea de envasado en atmósferas modificadas de alimentos vegetales mínimamente procesados” aprobado por el Honorable Consejo Universitario en Resolución 1371-CU-P-2014 y financiado por la Dirección de Investigación y Desarrollo de la Universidad Técnica de Ambato.

Autora: Jessica Fernanda Guevara Correa

Tutor: Dr. Ignacio Ángel Angós Iturgaiz

Ambato – Ecuador

Octubre - 2017

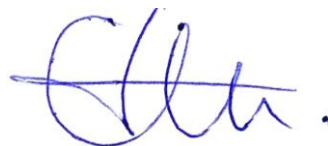
APROBACIÓN DEL TUTOR

Dr. Ignacio Ángel Angós Iturgaiz

CERTIFICA:

Que el presente trabajo de titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto autorizo la presentación de este Trabajo de Titulación modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad.

Ambato, 19 de Julio del 2017



Dr. Ignacio Ángel Angós Iturgaiz
C.I. 1756978225

TUTOR

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Jessica Fernanda Guevara Correa, manifiesto que los resultados obtenidos en el proyecto de investigación, previamente a la obtención del título de Ingeniero en Alimentos, son absolutamente originales, auténticos y personales, a excepción de las citas.



Jessica Fernanda Guevara Correa
C.I. 172011818-9
AUTOR

APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos profesores calificadores, aprueban el presente Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:



Presidente del tribunal
C.I. 1801167109



MSc. Cecilia Mercedes Carpio
C.I. 1704627650



Dr. Milton Rubén Ramos Moya
C.I. 1801119635

Ambato, 04 de Octubre del 2017

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este proyecto de investigación o parte del documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Proyecto, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este Proyecto dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.



Jessica Fernanda Guevara Correa
CI: 172011818-9
AUTOR

DEDICATORIA

A mi madre Marcela y hermana Sandra por su amor, apoyo incondicional en el transcurso de la carrera, son parte de mi vida y mi guía para no rendirme y salir adelante, a mi querido Padre Aníbal que desde el cielo me está protegiendo, él fue mi maestro al que debo mis triunfos. A mi hermana Geovanna por ser esa persona perseverante a la cual admiro, a mis queridos Tíos Edith, Jorge y primas, por ser un ejemplo a seguir, para mi abuelita Luz que me aconsejo de la mejor manera para alcanzar mis objetivos.

Jessica

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme fuerza para no rendirme en momentos difíciles y seguir adelante para culminar con los objetivos que me planteé desde el momento que vine a estudiar y vivir a otra ciudad.

A la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos por formarme como profesional y ser una persona ética y responsable en mis actividades que realice.

A mi tutor Ph.D. Ignacio Angós, por instruirme en el transcurso de la Tesis al compartir sus conocimientos y confianza. A la Ing. Wilma Lerena por su ayuda cuando se presentaban dificultades. Al Ing. Mario, Ing. Mónica y al Ing. Geovanny por su contribución y buenos consejos. A las personas que formaron parte del grupo de investigación, a Jonathan mi compañero con el que hubo apoyo para no rendirnos y culminar el trabajo. A Melissa mi compañera de tesis quién me brindó su ayuda. A Pedro y Magali que colaboraron durante el proyecto, muchas gracias a todos.

A mi amada familia por ser el soporte y pilar fundamental de mi vida, para culminar con mi carrera y seguir adelante. A David por ser una gran persona y desde el momento que nos llegamos a conocer me ofreció su amistad, ayuda en los tiempos más difíciles y alegres que tuve. A mis queridas amigas Ladys, con las que pasé cada instante malo y bueno, pero que con su alegría y valentía para seguir, dan felicidad al lugar donde ellas se encuentran. A todos mis compañeros y amigos que conocí, especialmente a Johana, gracias por formar parte de mi vida.

Jessica

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	iii
APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	iv
DERECHOS DE AUTOR	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS.....	vii
ÍNDICE GENERAL.....	1
ÍNDICE DE FIGURAS.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	4
RESUMEN	6
ABSTRACT.....	7
INTRODUCCIÓN.....	8
CAPÍTULO I.- EL PROBLEMA.....	10
1.1. TEMA.....	10
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	10
1.3. OBJETIVOS.....	11
1.3.1. Objetivo general	11
1.3.2. Objetivos específicos	12
CAPÍTULO II.- MARCO TEÓRICO	13
2.1. NARANJILLA.....	13
2.1.1. Botánica	13
2.1.3. Características del fruto	15
2.1.5. Cosecha	16
2.1.6. Postcosecha.....	17
2.2. TASA RESPIRATORIA.....	17
2.3. ATMÓSFERAS MODIFICADAS	18
2.4. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	19
2.5. HIPÓTESIS.....	20
2.5.1. Señalamiento de variables de la hipótesis	20
CAPÍTULO III.- MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
3.1. MATERIALES	22
3.1.1. Material vegetal.....	22

3.2. MÉTODOS.....	22
3.2.1. Caracterización fisicoquímica de la fruta.....	22
3.2.2. Aplicación de atmósferas modificadas	25
3.2.3. Determinación de tasa respiratoria (TR)	26
3.2.4. Efecto de la atmósfera modificada sobre los parámetros fisicoquímicos y de calidad.....	27
3.2.5. Análisis estadísticos	32
CAPÍTULO IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
4.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	33
4.1.1. Comportamiento respiratorio de la fruta a temperatura y condiciones atmosféricas normales	33
4.1.2. Caracterización fisicoquímica de la fruta	34
4.1.3. Determinación de la tasa de respiración	35
4.1.4. Efectos de la atmósfera modificada sobre los parámetros fisicoquímicos y de calidad.....	38
4.1.5. Aspectos fisiológicos en la calidad de la fruta	43
4.2. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS	52
CAPÍTULO V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
5.1. CONCLUSIONES.....	54
5.2. RECOMENDACIONES.....	55
CAPITULO VI.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales destinos de las exportaciones de naranjilla y demás cítricos desde Ecuador % Participación Miles USD FOB Año 2013. Fuente: PROECUADOR (2014).....	8
Figura 2. Naranjilla de jugo, variedad INIAP-Quitoense 2009. Fuente: Montenegro (2015)	15
Figura 3. Etapas de crecimiento de la naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.)	16
Figura 4. Esquema del sistema cerrado para la determinación de tasas de respiración y generación de las mezclas gaseosas. Dónde: TR es la tasa de respiración con tres réplicas (botes para respiración) y DR son los días de ensayo con dos réplicas de los días 1, 4,7 y 10 (botes destructivos)	27
Figura 5. Escala gráfica para la evaluación visual de defectos en naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.).....	30
Figura 6. Evolución de la tasa respiratoria de la naranjilla pintona y madura a condiciones ambientales, en atmósfera modificada pasivamente.	33
Figura 7. Crecimiento de bacterias ácido lácticas (BAL) en naranjilla, almacenadas en cinco atmósferas modificadas: (A) 2,5 O ₂ /2,5 CO ₂ ; (B) 2,5 O ₂ /5,0 CO ₂ ; (C) 80 O ₂ /10 CO ₂ ; (D) 80 O ₂ /20 CO ₂ ; (E) 90 O ₂ /10 CO ₂ . (1) Número estimado de bacterias ácido lácticas según el literal 9.2.2 de la Norma INEN 1529-5 (INEN, 2006). (2) Número estimado de bacterias ácido lácticas según el literal 9.2.1 de la Norma INEN 1529-5 (INEN, 2006).....	47
Figura 8. Crecimiento de aerobios mesófilos en naranjilla, almacenadas en cinco atmósferas modificadas: (A) 2,5 O ₂ /2,5 CO ₂ ; (B) 2,5 O ₂ /5,0 CO ₂ ; (C) 80 O ₂ /10 CO ₂ ; (D) 80 O ₂ /20 CO ₂ ; (E) 90 O ₂ /10 CO ₂ . (1) Número estimado de aerobios mesófilos según el literal 9.2.2 de la Norma INEN 1529-5 (INEN, 2006). (2) Número estimado de aerobios mesófilos según el literal 9.2.1 de la Norma INEN 1529-5 (INEN, 2006).....	49
Figura 9. Crecimiento de mohos levaduras en naranjilla, almacenadas en cinco atmósferas modificadas: (A) 2,5 O ₂ /2,5 CO ₂ ; (B) 2,5 O ₂ /5,0 CO ₂ ; (C) 80 O ₂ /10 CO ₂ ; (D) 80 O ₂ /20 CO ₂ ; (E) 90 O ₂ /10 CO ₂ . (1) Número estimado de mohos levaduras según el literal 9.2.2 de la Norma INEN 1529-5 (INEN, 2006). (2) Número estimado de mohos levaduras según el literal 9.2.1 de la Norma INEN 1529-5 (INEN, 2006).	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Evaluación visual de los daños fisiológicos en el fruto de naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.).....	29
Tabla 2. Composición de las atmósferas modificadas a emplear en los estudios de conservación de naranjilla.	32
Tabla 3. Caracterización fisicoquímica de la naranjilla en diferentes estados de madurez.	35
Tabla 4. Efecto de las atmósferas modificadas en la tasa de respiración (consumo de oxígeno) promedio de la naranjilla durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 7 °C. Unidades: mg kg ⁻¹ h ⁻¹	36
Tabla 5. Efecto de las atmósferas modificadas en la tasa de respiración (producción de dióxido de carbono) promedio de la naranjilla durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 7 °C. Unidades: mg kg ⁻¹ h ⁻¹	37
Tabla 6. Efecto de las atmósferas modificadas sobre la firmeza (N) promedio de la naranjilla durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 7 °C.....	38
Tabla 7. Efecto de las atmósferas modificadas sobre la luminosidad (L*) promedio de la naranjilla durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 7 °C.....	39
Tabla 8. Efecto de las atmósferas modificadas sobre el croma (C*) promedio de la naranjilla durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 7 °C.....	39
Tabla 9. Efecto de las atmósferas modificadas sobre el Hue o tonalidad (h°) promedio de la naranjilla durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 7 °C.....	40
Tabla 10. Efecto de las atmósferas modificadas sobre la pérdida de peso (%) promedio de la naranjilla durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 7 °C.....	41
Tabla 11. Efecto de las atmósferas modificadas sobre el pH promedio de la naranjilla durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 7 °C.	41
Tabla 12. Efecto de las atmósferas modificadas sobre los sólidos solubles totales (°Brix) promedio de la naranjilla durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 7 °C.....	42

Tabla 13. Efecto de las atmósferas modificadas sobre la acidez titulable. Contenido de ácido cítrico promedio (g/100 g peso fresco) de la naranjilla durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 7 °C..... 43

Tabla 14. Efecto de las atmósferas modificadas sobre el marchitamiento promedio de la naranjilla durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 7 °C. 1=fruta totalmente marchita; 5=fruta sin daños..... 44

Tabla 15. Efecto de las atmósferas modificadas sobre los daños por frío promedio de la naranjilla durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 7 °C. 1=fruta totalmente dañada; 5=fruta sin daños..... 45

Tabla 16. Efecto de las atmósferas modificadas sobre la maduración irregular promedio de la naranjilla durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 7 °C. 1=maduración totalmente irregular; 5=maduración totalmente regular. . 46

RESUMEN

El presente trabajo estudió la capacidad de diversas atmósferas modificadas para mejorar la calidad físico-química, sensorial y microbiológica de naranjilla almacenada en refrigeración a 7 °C durante un periodo de 10 días. En la primera parte del estudio se llevó a cabo la caracterización fisicoquímica, microbiológica y de calidad de la naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) y se determinaron los estados de madurez de la fruta empleada. En la segunda fase experimental, se cosecharon frutas sin daños fisiológicos ni mecánicos en las etapas de madurez dos y tres y se almacenaron en refrigeración a 7 °C. durante 10 días. Las mezclas gaseosas generadas a partir de oxígeno y dióxido de carbono fueron: 2,5 %/2,5 %, 2,5 %/5,0 %, 80 %/10 %, 80 %/20 % and 90 %/10 %. Se realizaron pruebas microbiológicas, fisicoquímicas y de calidad sensorial y se midió la tasa respiratoria los días 1, 4, 7 y 10, por triplicado.

Los mejores resultados fisicoquímicos y fisiológicos se obtuvieron empleando la combinación de gases 2,5 O₂ /2,5 CO₂. Este tratamiento redujo la tasa de respiración de la fruta en un 60 %, dando como resultado una mayor firmeza (9,8 %) que el tratamiento control (aire). En el aspecto microbiológico este tratamiento produjo una reducción del crecimiento de microorganismos aeróbicos mesófilos y bacterias lácticas, pero no afectó al crecimiento de mohos y levaduras.

Palabras clave: oxígeno, dióxido de carbono, efectos fisiológicos, tasa de respiración, firmeza, crecimiento microbiano.

ABSTRACT

The present work studied the capacity of several modified atmospheres to improve the physical-chemical, sensory and microbiological quality of naranjilla fruit stored refrigerated at 7 °C during a 10 days period. The study was divided into two phases. In the first one the physicochemical, microbiological and quality characterization of the naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.), collected in the sector of the Chaco of the Province of Napo were determined. From this characterization it was determined the maturity stages of the fruit used in the experimental work. In the second experimental phase, fruit without physiological and mechanical damages was harvested at maturity stages two and three and stored in refrigeration at 7 °C for 10 days. The oxygen and carbon dioxide-based gaseous mixtures used were: 2.5 %/2.5 %, 2.5 %/5.0 %, 80 %/10 %, 80 %/20 % and 90 %/10 %. Test Microbiological, physical-chemical and sensory quality tests were performed on days 1, 4, 7 and 10 in triplicate.

The best physicochemical and physiological results were obtained by means of the gas combination 2.5 O₂/2.5 CO₂. This treatment reduced the respiration rate of the fruit by 60 %, resulting in a higher firmness (9.8 %) than the control treatment (air). In the microbiological aspect this treatment produced a reduced growth of aerobic mesophilic microorganisms and lactic acid bacteria, but its influence was negligible on molds and yeasts growth.

Keywords: oxygen, carbon dioxide, physiological effects, respiration rate, fruit firmness, microbial growth.

INTRODUCCIÓN

Ecuador es un sector biodiverso, posee una gran variedad de frutas no tradicionales que han invadido un espacio en el mercado internacional en los últimos años, debido a la posición geográfica en la que se encuentra ubicado y a la existencia de microclimas. En la actualidad los diversos sabores de las frutas son demandados en muchos mercados, la consumen fresca por el particular aroma que desprende (**PROECUADOR, 2014**).

La información entregada por el MAG del último Censo del Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador del 2016, registró que el cultivo de naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.), cuenta con 9459 ha de superficie plantada, entre cultivos permanentes asociados y cultivos independientes. A nivel nacional existe 5866 ha de superficie de cosecha y una producción de 15969 T de naranjilla (**MAG, 2016; SICA, 2006**). En Ecuador, el destino de exportaciones analizadas para frutas exóticas lidera Estados Unidos con una tasa de crecimiento anual entre 2009 – 2013 de 52 %, seguido por España con 41 % (Fig. 1).

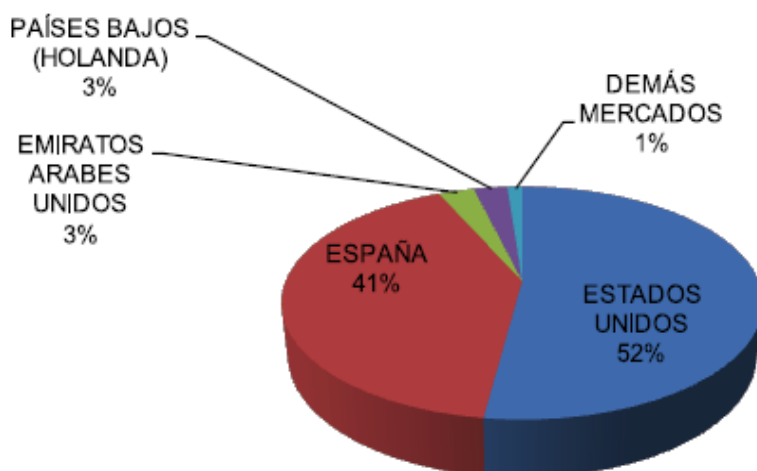


Figura 1. Principales destinos de las exportaciones de naranjilla y demás cítricos desde Ecuador % Participación Miles USD FOB Año 2013. Fuente: **PROECUADOR (2014)**.

La naranjilla es una fruta climatérica, redonda u ovalada, se encuentra internamente dividida por cuatro secciones, su pulpa es de color verde con numerosas semillas, la parte superficial está cubierta por pelos que la recubre, es de color naranja cuando la naranjilla está completamente madura, en este

estado se fermenta rápidamente, mientras que en estado pintón se mantiene en buenas condiciones, en general es susceptible a daños fisiológicos si no se la maneja con cuidado **(Casanova y Cordova, 2013; Lara, 2012)**.

La cosecha se debe realizar en las horas de la mañana y de forma manual con la ayuda de una tijera, sin arrancar el cáliz de la fruta, para que no se deshidrate rápidamente y no sea propenso a daños fisiológicos. No se recomienda recolectar la fruta en momentos de lluvia, ya que la humedad provoca ablandamiento, deterioro por hongos, rajaduras, fermentaciones; en los días soleados provoca la deshidratación de la fruta **(Brito et al., 2012; Díaz, 2012)**.

La etapa de postcosecha se comienza con una limpieza manual, retirando las espinas que recubren la fruta, se realiza con cepillos suaves o de tela que no causen daño al fruto debido a que las pérdidas se ocasionan mayormente por daños mecánicos, al no tener un debido cuidado en el transporte y manipulación de la fruta **(Casierra et al., 2004)**.

El efecto de las atmósferas modificadas (AM) sobre la fruta, depende del estado de madurez, cultivo, calidad inicial, temperatura, concentraciones de CO₂ y O₂. Someter un producto fuera de sus límites de tolerancia, mediante concentraciones bajas de oxígeno y altas de dióxido de carbono, a una temperatura y tiempo específico resulta en un estrés al tejido vegetal vivo, produciendo trastornos como maduración irregular, olores indeseables y mayor susceptibilidad a la descomposición **(Kader, 1986; Kader et al., 1989; Sandhya, 2010)**.

El manejo óptimo de los niveles de gases para atmósferas modificadas, ayudan acelerar o retardar la maduración, según las exigencias en las operaciones o condiciones de mercado, tiene beneficios en lesiones por frío, heridas, radiación ionizante, reducción en la tasa de respiración, efecto inhibitorio en ciertos microorganismos de acuerdo a la mezcla gaseosa que se le aplique **(Kader, 1994; Martínez et al., 2002)**.

CAPÍTULO I.- EL PROBLEMA

1.1. TEMA

MEJORA DE LA CONSERVACIÓN POSTCOSECHA DE LA NARANJILLA (*Solanum quitoense* Lam.) MEDIANTE ATMÓSFERAS MODIFICADAS.

1.2. JUSTIFICACIÓN

La naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) es una fruta nativa de la región interandina de Colombia, Ecuador y Perú. Se caracteriza por el color naranja brillante de su corteza en estado maduro y su exquisito sabor y aroma. En Ecuador, se cultiva en diversas provincias de la región Sierra y Oriente, siendo las zonas de mayor producción nacional las provincias de Morona Santiago, Pichincha y Bolívar **(IPEI, 2014)**.

Según información de **IPEI (2014)** la exportación de la fruta en estado natural ha presentado una disminución del 9 % en el año 2015 en comparación al año 2014. Sin embargo, si se suman los valores de exportación entre el año 2009 y 2013, se observa una tendencia claramente alcista, observándose un incremento promedio cercano al 28 %, siendo lideradas las exportaciones principalmente por mango, pitahaya y maracuyá.

El manejo postcosecha de esta fruta la hace propensa al deterioro tanto por daño físico, como por el ataque de enfermedades y plagas, por lo que es necesario mantener un riguroso control desde la cosecha en el campo, hasta el proceso de empaque y transporte al mercado. El proceso postcosecha de la naranjilla debe llevarse a cabo teniendo en cuenta consideraciones como la cosecha en el adecuado estado de madurez (color de la piel amarillo-verdosa al 50 %), temperatura de almacenamiento refrigerado (7 a 10 °C) y humedad relativa entre el 70 y el 80 % **(Gallozzi y Duarte, 2007)**.

En el presente trabajo se pretende estudiar la capacidad de prolongar la vida útil de esta fruta exótica de una forma eficaz y económica a través del empleo de diferentes atmósferas modificadas compuestas por una mezcla de oxígeno (O₂), dióxido de carbono (CO₂) y nitrógeno (N₂) que permitan frenar o ralentizar una serie de procesos fisiológicos responsables del deterioro de la naranjilla, de forma similar a como se ha establecido para un buen número de frutas desde el inicio del uso de esta técnica, hasta la actualidad (**Angós, 2008; Cameron, 1989; Kader, 2002, 2003, 2010; Kidd y West, 1927; Kitinoja et al., 2011**). La aplicación de atmósferas modificadas tiene la capacidad de reducir las tasas respiratorias y la generación de etileno derivada de la rotura tisular, reduciendo los cambios de color, los fenómenos de senescencia y por ende una gran parte de los procesos clave implicados en el deterioro de la fruta, una vez separada del árbol (**Burton, 1982; Fonseca et al., 2002; Kader, 1986**).

A través del trabajo de investigación, se evaluará el efecto de las diferentes mezclas gaseosas de O₂, CO₂, N₂, sobre las propiedades fisicoquímicas y de calidad de la fruta, con el objetivo de prolongar el tiempo de conservación de la naranjilla. En la disminución de las pérdidas de postcosecha del cultivo, se desea aportar con información para la distribución de mercados alejados, incrementar la distancia de reparto y abrir espacio a un mercado global.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Mejorar la conservación postcosecha de la naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) mediante atmósferas modificadas.

1.3.2. Objetivos específicos

- Estudiar el comportamiento postcosecha de la naranjilla en base al proceso de respiración de la fruta a temperatura y condiciones atmosféricas normales.
- Determinar la tasa respiratoria de la naranjilla almacenada bajo atmósferas controladas, en base a diversas combinaciones gaseosas de O₂, CO₂ y N₂, en condiciones de refrigeración.
- Evaluar el efecto de los tratamientos de almacenamiento estudiados sobre las características fisicoquímicas y la presencia de defectos de origen fisiológico en la fruta.
- Establecer el efecto de la aplicación de los tratamientos de almacenamiento estudiados en la calidad microbiológica de la fruta.

CAPÍTULO II.- MARCO TEÓRICO

2.1. NARANJILLA

2.1.1. Botánica

La naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) es un árbol frutal perteneciente a la familia de las solanáceas, con diferentes nombres comunes como lulo, naranjilla de Quito o lulo de Castilla, entre otros. Es una fruta compuesta por una corteza muy delgada y susceptible a los golpes, de color amarillo intenso cuando alcanza la madurez **(Angulo, 2006; Gallozzi y Duarte, 2007)**.

La naranjilla pertenece a la especie *Solanum quitoense*, se conocen como principales las siguientes variedades: 'Quitoense', cuyos tallos y hojas no tienen espinas y 'Septentrionale', que posee espinas, conociéndose la existencia de otras doce especies del género *Solanum* **(Angulo, 2006; Gallozzi y Duarte, 2007; Orozco, 2003; Viteri et al., 2009)**.

Las condiciones de cultivo de la naranjilla son exigentes en cuanto a nutrientes. Para el desarrollo adecuado del fruto se requiere un suelo franco-arenoso o franco-arcilloso, con un valor de pH entre 5,5 y 6,5, que debe ser rico en materia orgánica para mejorar las características químicas, permitiendo la mineralización y poniendo a disposición los macro y micro nutrientes como: Nitrógeno, Potasio, Fósforo, Calcio, Magnesio, Azufre, entre otros **(Revelo et al., 2010; Viteri et al., 2009)**. Ha de evitarse el cultivo de la planta a plena exposición solar para no propiciar su debilitamiento fisiológico y reducir la incidencia de enfermedades. Esto es especialmente importante en el hábitat habitual de cultivo de la Amazonía ecuatoriana, ya que un suelo sin protección boscosa tiende a perder su fertilidad aceleradamente debido al rápido proceso de lavado de nutrientes generado por las fuertes precipitaciones. La planta de naranjilla no tolera cambios bruscos de climatología, principalmente temperatura, ni corrientes intempestivas de viento **(Castañeda, 1992)**.

La naranjilla se desarrolla desde los 1600 hasta los 2400 msnm, siendo la altura óptima alrededor de los 1800 msnm en la zona ecuatorial y algo más baja en zonas más alejadas del Ecuador. El rango de temperatura aceptado para el cultivo es de 16 °C a 24 °C, teniendo como temperaturas óptimas 17 °C a 18 °C (**Gallozzi y Duarte, 2007**).

- **Clasificación taxonómica**

La clasificación taxonómica de la naranjilla según **Quinchia y Cabrera (2006)** es:

Reino: Vegetal

Subreino: Espermatofhyta

División: Angiosperma

Subdivisión: Dicotiledónea

Clase: Simpétala

Subclase: Pentacíclica

Orden: Tubiflorales

Familia: Solanáceas

Género: Solanum

Especie: Solanum quitoense Lam.

Variedades: quitoense quitoense (sin espina)

quitoense septentrional (con espina)

2.1.3. Características del fruto



Figura 2. Naranjilla de jugo, variedad INIAP-Quitoense 2009. Fuente: Montenegro (2015)

El fruto tiene un exquisito sabor y aroma y está recubierto por un vello protector espinoso. Su forma es redonda a ovoide de aproximadamente 4 y 8 cm de diámetro, con un peso que oscila entre 60 y 100 g. Internamente está dividida en cuatro secciones, separadas por particiones membranosas (Fig. 2). La pulpa es jugosa, de color verde oscura, con un valor de pH entre 3,5 y 5,0, que tiene muchas semillas pequeñas, normalmente utilizada en jugos, néctares, helados, mermeladas, jaleas, aderezos y salsas (Duque y Morales, 2005; González et al., 2014).

2.1.4. Fisiología de crecimiento

Al separar el fruto de la planta, ésta continúa con sus procesos metabólicos, como la respiración y maduración, estos se deterioran en la senescencia. Se distingue tres fases de crecimiento (Fig. 3). La fase inicial se caracteriza por la división celular del fruto, su crecimiento va de 8 a 14 días. En la segunda fase, se produce la madurez fisiológica, existe un alargamiento celular, donde el fruto aumenta de tamaño y cuyo proceso dura alrededor de 84 días; la

tercera fase se inicia en el proceso de maduración, poco crecimiento, existe la madurez de consumo, momento en el desarrollo fisiológico donde el fruto alcanza las mejores características organolépticas como sabor, olor, aroma, textura. La fruta luego de ser cosechada vive a expensas de la cantidad de nutrientes que haya acumulado durante las etapas de formación, crecimiento y desarrollo de la planta; por lo tanto su vida útil depende directamente de las reservas alimenticias propias de la fruta **(Gallozzi y Duarte, 2007; Montenegro, 2015; Navarro y Suarez, 2009; Revelo et al., 2010)**.



Figura 3. Etapas de crecimiento de la naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.)

2.1.5. Cosecha

Según **Quinchia y Cabrera (2006)**, las frutas producidas se cosechan cuando han alcanzado la mitad de su color total, es decir a partir del leve cambio del color verde a amarillo. La naranjilla es una fruta climatérica con una tasa respiratoria relativamente baja, incluso durante el pico climatérico. La madurez en la fruta se relaciona con el aumento de sólidos solubles totales (SST), lo que resulta en una pulpa dulce en etapas posteriores. El valor de pH no varía significativamente con la maduración **(Acosta et al., 2009)**.

Los estados de maduración y condiciones de almacenamiento influyen en la firmeza del fruto, sobre la relación de SST y acidez titulable, existen cambios

asociados con esta etapa de desarrollo como color, sabor, aroma, textura, los cuales son rápidos intensos y variados, su maduración continúa en la planta o después de ser cosechada. **(Arias y Toledo, 2007; Casierra et al., 2004).**

2.1.6. Postcosecha

La etapa postcosecha se inicia con una limpieza manual de cada fruta para retirar las “espinas” (pubescencias) que la cubren. Esta limpieza se realiza manualmente con cepillos o telas que no causen abrasión, en fruta seca o mojada a manera de secado. Existe también la alternativa de eliminar las espinas mediante un proceso mecánico que utilice cepillos. Se debe poner especial énfasis en el cuidado durante esta etapa, pues generalmente es la que causa las mayores pérdidas por maltrato de la fruta. La naranjilla completamente madura se suaviza y fermenta rápidamente, mientras que la fruta en estado de madurez medio se mantendrá en buenas condiciones a temperatura ambiente durante 8 días **(Díaz, 2012; Guayasamín, 2015).**

2.2. TASA RESPIRATORIA

La tasa de respiración de los productos frescos se puede expresar como la tasa de consumo de O₂ o la producción de CO₂ por unidad de peso y tiempo.

Para su determinación se utilizará el sistema cerrado en el cual, en un recipiente de sellado hermético con un volumen conocido, se introduce un peso conocido de fruta. A continuación, se cierra herméticamente, y se permite que, debido a los procesos respiratorios de la fruta, se modifiquen las concentraciones iniciales de oxígeno y dióxido de carbono durante un tiempo determinado, acorde con la tasa respiratoria propia de la fruta. Al cabo del tiempo estipulado para el ensayo se analizan las concentraciones finales de oxígeno y dióxido de carbono y se efectúan los cálculos para estimar la tasa respiratoria promedio durante el periodo de ensayo mediante las siguientes ecuaciones **(Fonseca et al., 2002).**

$$RO_2 = \frac{(y^{ti}O_2 - y^{tf}O_2) \times V}{100 \times M \times (t_f - t_i)} \quad \text{Ec. 1}$$

$$RCO_2 = \frac{(y^{tf}CO_2 - y^{ti}CO_2) \times V}{100 \times M \times (t_f - t_i)} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

RO_2 y RCO_2 : tasas respiratorias de consumo de O_2 y producción de CO_2 , en $mL \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$

$t_f - t_i$: intervalo de tiempo (h) entre muestreos

y^{ti} e y^{tf} : concentraciones volumétricas de O_2 en los instantes inicial y final en (%)

M: masa de la fruta envasada, en kg

V: es el volumen libre del envase, en mL (vol. envase – vol. fruta)

2.3. ATMÓSFERAS MODIFICADAS

El envasado en atmósfera modificada (MAP, en sus siglas en inglés) es una técnica de preservación de alimentos consistente en empaquetar los productos alimenticios en materiales que no permitan la difusión de gases, generando en su interior un ambiente gaseoso cuya composición ha sido modificada respecto a la composición de la atmósfera normal (20,9 % oxígeno, 79 % nitrógeno, 0,04 % dióxido de carbono). Los efectos beneficiosos de las atmósferas modificadas incluyen la reducción de la tasa de respiración, la inhibición de la producción y la acción del etileno, el retraso de madurez y el mantenimiento de la calidad nutricional. Retrasar la maduración facilita el transporte y el almacenamiento de frutas tropicales a temperaturas inferiores a las que causan daño por frío, característicos de cada tipo de fruta (**Lutz y Hardenburg, 1966**). La exposición a corto plazo de frutas tropicales a niveles de O_2 en torno a 2,5-5,0 % y niveles de CO_2 no superiores a 10 % puede reducir la incidencia y gravedad de los trastornos fisiológicos, tales como daño por frío, patógenos e insectos, aunque existen también estudios en los que la aplicación de atmósferas enriquecidas en oxígeno acompañadas de

concentraciones moderadas de dióxido de carbono parecen tener efectos beneficiosos en ciertas frutas y hortalizas (**Angós, 2008; Day, 1996, 2001, 2003; Kader, 1994, 2002**).

2.4. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Arango et al. (1996), realizaron estudios sobre el comportamiento de postcosecha de naranjilla al alcanzar su madurez fisiológica, realizaron un seguimiento fisicoquímico en ambiente hasta llegar a la senescencia, observaron el comportamiento climatérico después de la cosecha, como el aumento de tasa respiratoria, índice de madurez, cambio de color de verde a anaranjado. Estudiaron varios métodos de conservación, entre ellos la aplicación de atmósferas modificadas, evaluando el control de etileno y refrigeración, utilizando bolsas de polietileno para absorber etileno comercial, con una humedad relativa del 90 %, logrando conservar la fruta hasta diez días en estado verde, la investigación se realizó en Costa Rica.

En Colombia, para reducir la pérdida de postcosecha en la comercialización de la fruta, se diseñaron empaques que ayuden a mantener por más tiempo dicho producto (**Muñoz et al., 1999**). En Ecuador mediante el Programa de Fruticultura del INIAP-Quito, se estudió la naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) tomando como referencia cinco estados de madurez y analizando sus propiedades fisicoquímicas a partir del desarrollo de una variedad mejorada INIAP Quitoense 2009, sobre la cual realizaron experimentos e investigaciones para que sea resistente a plagas.

Los estudios realizados por **Gallo et al. (1990)**, determinaron que mezclas de gases en las que se incrementó el nivel de CO₂ y se disminuyó la de O₂, redujeron la tasa de respiración, inhibieron el desarrollo de microorganismos y disminuyeron el deterioro enzimático, alargando el tiempo de vida útil.

Al revisar las investigaciones de **Zaro et al. (2014)** se observa como evaluaron la efectividad de la aplicación de atmósfera modificada para retrasar el deterioro de postcosecha de naranjilla mínimamente procesada, la cual es un fruto climatérico altamente consumido en Ecuador, seleccionaron naranjillas en estado de madurez comercial, por tamaño, ausencia de defectos, dividiendo en frutos control (FC) y frutos tratados (FT). El ensayo consistió en colocar 100 g de fruta pelada y cortada en octavos, en un recipiente de plástico con perforaciones, sellado, con fruta control sin ningún tratamiento, mientras que durante el almacenamiento de la fruta tratada se acumuló CO_2 alrededor del 2 % y el O_2 se redujo a 19,5 %, analizaron los resultado en donde encontraron que la FT tiene una diferencia significativa menor a la FC, en pérdida de calidad, color, firmeza, SST, para lo cual la AM en la naranjilla mínimamente procesada permitió conservar la calidad de naranjilla y alargar su vida útil por 14 días.

2.5. HIPÓTESIS

H₀: La aplicación de diferentes combinaciones gaseosas mediante atmósferas modificadas no influye en la tasa respiratoria, las propiedades fisicoquímicas, la presencia de defectos de origen fisiológico o la carga microbiana de la naranjilla.

H_a: La aplicación de diferentes combinaciones gaseosas mediante atmósferas modificadas influye en la tasa respiratoria, las propiedades fisicoquímicas, la presencia de defectos de origen fisiológico o la carga microbiana de la naranjilla.

2.5.1. Señalamiento de variables de la hipótesis

a) Variables independientes

- Tratamientos gaseosos (combinaciones de gas/tiempo)

b) Variables dependientes

- Firmeza
- Pérdida de peso
- Color (tono, croma e índice de oscurecimiento)
- pH
- Acidez titulable
- Sólidos solubles totales
- Mohos y levaduras
- Aerobios mesófilos
- Bacterias ácido lácticas

CAPÍTULO III.- MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES

3.1.1. Material vegetal

La fruta empleada en este proyecto de investigación fue naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) variedad INIAP Quitoense 2009, proveniente de la Provincia de Napo, Parroquia Santa Rosa de Quijos, con un estado de madurez entre grado 2-3, de acuerdo a la escala establecida por el INIAP (**Brito et al., 2012**). La recolección de la fruta se realizó un día antes del ensayo, mediante la utilización de tabla de color con uso de guantes para protección de las espinas y tijera para cortar el pedúnculo, se cosechó en horas de la mañana, y se transportó por la noche en gavetas plásticas desinfectadas con alcohol a los laboratorios de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, de la Universidad Técnica de Ambato.

3.2. MÉTODOS

3.2.1. Caracterización fisicoquímica de la fruta

- **Caracterización física**

La caracterización física de la naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.), se efectuó siguiendo la metodología planteada por **Llerena et al. (2014)**, para las determinaciones de peso (balanza analítica, Mettler Toledo XPE 204), longitud y diámetro (Calibrador Vernier; Whale Brand-RL224; Jiangsu-China).

- **Firmeza**

Los cambios en la firmeza de la fruta, se evaluó con la ayuda de un texturómetro Brookfield CT3 10000 (Massachusetts-EEUU) en base al método publicado por **Penchaiya et al. (2009)**. Para las determinaciones, se usó una

sonda de acero inoxidable TA39 (2 mm Diámetro, 20 mm Longitud, Stainless Steel) y una mesa de base estándar (TA-BT-KIT), los parámetros generales del test (valor meta 10 mm, carga de activación 0,07 N, velocidad del Test 1,00 m/seg). La firmeza de la fruta se determinó como la fuerza máxima de ruptura de la superficie del fruto empleando el Software TexturePro CT V1.2 Build 9.

- **Color**

Las mediciones se realizaron en 20 puntos alrededor de toda la fruta mediante un colorímetro universal Hunter Lab (Mini Scan EZ) empleando un iluminante D65 y un ángulo de observación de 10°, siguiendo las directrices de **Alvarado y Aguilera (2001)**, evitando el ingreso de luz al campo de medición, para que no afecte la lectura. Los resultados se reportaron como el valor promedio de 15 mediciones.

A partir de las coordenadas colorimétricas (L^* a^* b^*) reportadas con el equipo, se calculó el Croma (C^*) y Tono o *Hue* (h°) mediante las ecuaciones 4 y 5:

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad \text{Ec. 4}$$

$$h^\circ = \text{Arc tan} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad \text{Ec. 5}$$

Los valores de h° se deben transformar de radianes a grados sexagesimales (Ecuación 6) Los valores negativos fueron transformados, sumando 180° al resultado.

$$\text{Grados}^\circ = \text{rad} * 2\pi/360 \quad \text{Ec. 6}$$

- **Caracterización química**

Dentro de la caracterización química de la fruta se evaluaron los parámetros de acidez titulable, pH, sólidos solubles ($^\circ$ Brix) e índice de madurez.

- **Sólidos solubles totales (SST)**

La determinación de SST se llevó a cabo mediante el método reportado en la norma NTE INEN-ISO 2173 (**INEN, 2013b**) con la ayuda de un Refractómetro Atago (modelo POCKET Pal- α ; 0-85 °Brix; Tokio-Japón).

- **Acidez titulable (AT)**

La determinación de la acidez titulable (Ecuación 7) se llevó a cabo con el método reportado en la norma NTE INEN-ISO 750 (**INEN, 2013d**) empleando un titulador automático (Mettler Toledo Compact Titrator G20; Ohio-EE.UU.).

$$AT(\%) = \frac{V_{\text{NaOH}} * N_{\text{NaOH}} * V_{\text{sol.}} * EQ_{\text{AC}}}{P_{\text{pul.}} * V_{\text{alíc.}}} * 100 \quad \text{Ec. 7}$$

Donde:

AT: acidez titulable en porcentaje de ácido cítrico;

V_{NaOH} : volumen de hidróxido de sodio consumido en ml;

$V_{\text{sol.}}$: volumen de la solución preparada en ml;

EQ_{AC} : factor de equivalencia del ácido orgánico predominante (ac. cítrico: 0,064);

$P_{\text{pul.}}$: peso de la pulpa en gramos;

$V_{\text{alíc.}}$: volumen de la solución que se usó para la titulación.

- **Índice de madurez (IM)**

El índice de madurez de la fruta se determinó en función de la metodología empleada por **Ayala et al. (2013)** mediante la relación entre el contenido de sólidos solubles totales (°Brix) y la concentración del ácido orgánico predominante, en este caso ácido cítrico (acidez titulable) mediante la ecuación:

$$IM = \frac{SST(^{\circ} \text{ Brix})}{ATT}$$

Ec. 8

Donde:

IM: índice de madurez;

SST: sólidos solubles totales (g sacarosa/100 g pulpa);

ATT: acidez titulable total (g ácido/100 g pulpa).

- **pH**

La medición del pH se realizó en la pulpa de naranjilla del aire control y de las mezclas gaseosas (2,5/2,5; 2,5/5,0; 80/10; 80/20; 90/10), con el método reportado en la norma NTE INEN-ISO 1842 (**INEN, 2013a**) empleando un pH-metro portátil OAKTON (EUTECH INSTRUMENTS).

3.2.2. Aplicación de atmósferas modificadas

La generación de las diferentes combinaciones gaseosas se realizó empleando un mezclador de gases KM100-3 FLOW (WITT Gasetechnik, Alemania) usando como suministro bombonas de gas a presión de oxígeno (pureza 99,5 %), nitrógeno (pureza 99,5 %) y CO₂ (pureza 99,9 %) de diversos proveedores locales (Linde Ecuador, OXICEN 3), un tanque de almacenamiento de mezcla de acero inoxidable (10 L) fabricado por WITT Gasetechnik, Alemania y un sistema completo de racorería neumática que incluye reguladores de presión de doble etapa (tipo Harris), válvulas de control de caudal, válvulas de corte, reducciones, conexiones rápidas y tubería de material polimérico, teflón y poliamida.

Las combinaciones gaseosas se compararon frente atmósferas control, las cuales se generaron mediante la inyección de aire atmosférico con un compresor de membrana libre de aceite (Marathon Electric, modelo 5KH33GN293KX, México), a una presión de 450 mL h⁻¹, para arrastrar de forma efectiva los gases generados en el interior de las cámaras de

respiración y almacenamiento. Todas las mezclas gaseosas generadas se humidificaron (90 % de HR aproximadamente) por burbujeo a través de agua, dicho procedimiento se muestra en la Figura 4.

3.2.3. Determinación de tasa respiratoria (TR)

Para la determinación de la tasa respiratoria de naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) se aplicó el método del sistema cerrado presentado por **Fonseca et al. (2002)**. En un recipiente de sellado hermético con un volumen conocido se introduce un peso conocido de fruta. A continuación, con la finalidad de acondicionar la fruta se cierra y se permite el ingreso de forma controlada de las diferentes atmósferas previamente modificadas, por un periodo de 24 horas. Luego del periodo de acondicionamiento se cierra el sistema (6-8 horas) y se permite el cambio en las concentraciones de O₂ y CO₂ por efecto de la respiración de la fruta. Finalmente, se abre el sistema y se permite el ingreso de la atmósfera modificada, el ensayo se realizó los días 1, 4, 7 y 10 (**Angós et al., 2008**). La experimentación se realizó en una cámara frigorífica provista de un controlador digital FULLGAUGE MT-512Ri Plus y un contactor METASOL MC-18b (18 A) aplicando una temperatura de $12 \pm 0,6$ °C. La cuantificación de O₂ y CO₂ se realizó mediante un analizador de gases de espacio de cabeza MAPY 4.0 LE SP O₂/CO₂ (WITT Gasetechnik, Alemania).

Los ensayos se realizaron en triplicado frente a una muestra control con aire, como se muestra en la Figura 4. Además, se determinó la TR en fruta sin mezcla gaseosa ni refrigeración, en condiciones de temperatura del laboratorio (21 ± 1 °C).

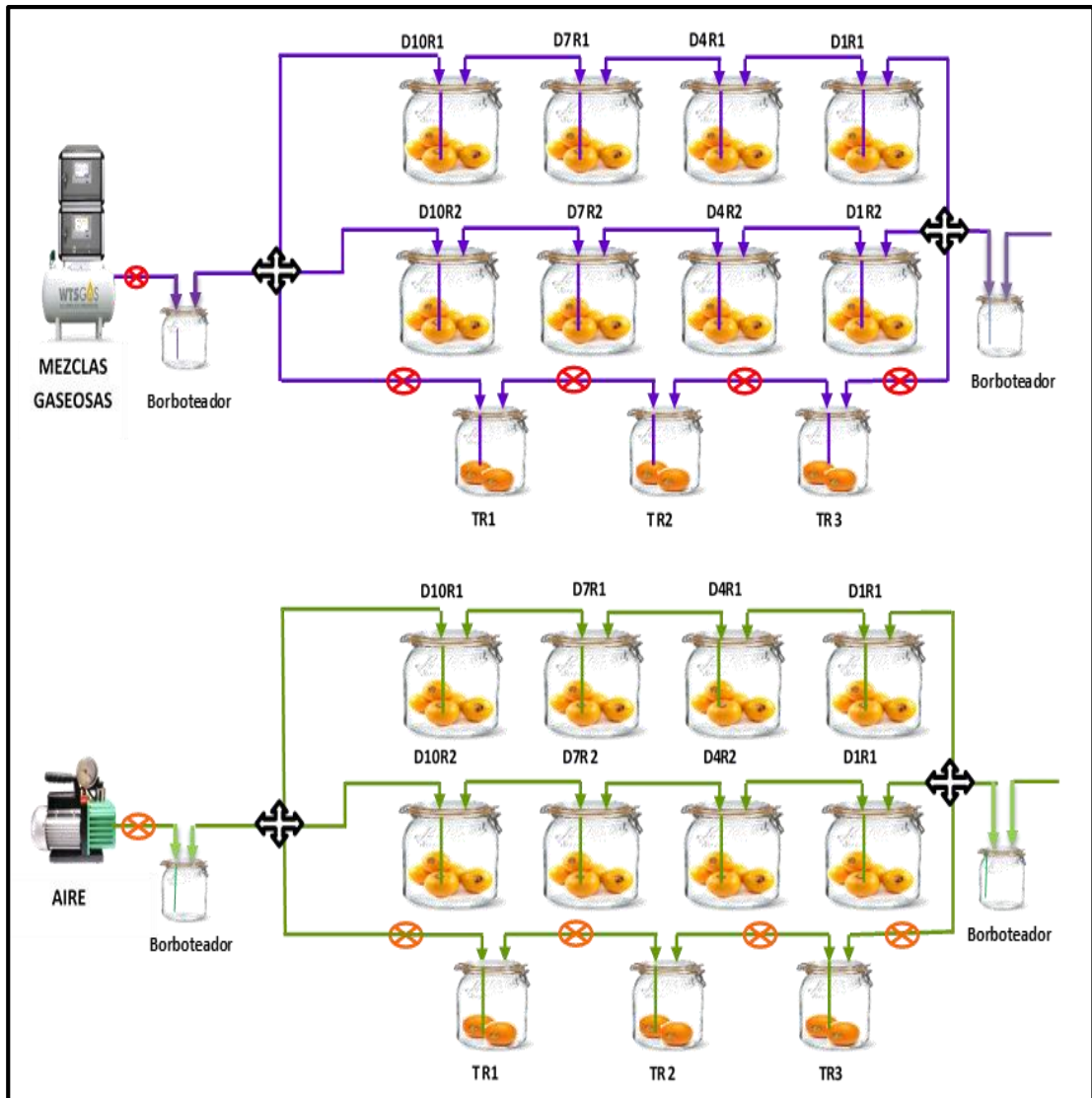


Figura 4. Esquema del sistema cerrado para la determinación de tasas de respiración y generación de las mezclas gaseosas. Dónde: TR es la tasa de respiración con tres réplicas (botes para respiración) y DR son los días de ensayo con dos réplicas de los días 1, 4,7 y 10 (botes destructivos)

3.2.4. Efecto de la atmósfera modificada sobre los parámetros fisicoquímicos y de calidad

Para realizar los análisis sobre los efectos de las mezclas gaseosas en la fruta, se desconectó el bote de la línea (botes destructivos) según el día de análisis. De las cuatro frutas, una se usó para realizar los parámetros microbiológicos y químicos, las otras tres se designaron para realizar análisis físicos (análisis destructivos) y de calidad.

Parámetros físicos

- **Pérdida de peso**

El porcentaje de pérdida de peso de la fruta se determinó por gravimetría mediante el método descrito por **Rahman et al. (2016)**. El cálculo se realizó en base a la Ecuación 9, las determinaciones se realizaron para cada día de análisis.

$$\text{Pérdida de peso (\%)} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \quad (\text{Ec.9})$$

Donde P_i es el peso inicial de las frutas sin exposición al gas y P_f es el peso de la fruta después de ser expuesta al gas.

- **Firmeza y color**

Los parámetros mencionados se realizaron en las frutas que corresponden a cada día de análisis, siguiendo la metodología expuesta en el literal 3.2.1.

Parámetros químicos

- **Acidez titulable (AT), sólidos solubles totales (SST) y pH**

Para la determinación de AT, SST y pH se utilizó una fruta de cada bote, la cual se trituró (licuadora Oster, modelo 6805, México) y una parte se usó para las determinaciones químicas. Los ensayos se ejecutaron en base a la metodología mencionada en el literal 3.2.1., para cada parámetro.

- **Aspectos fisiológicos sobre la calidad de la fruta**

Las frutas provenientes de los diferentes tratamientos, se evaluaron usando una escala visual del 1 a 5 (5=fruta sana; 4=daño muy leve; 3=daño leve; 2=daño moderado; 1=daño severo) utilizando la Tabla 1 (Arango et al., 1996; Tamayo, 2001). La cata se realizó con un panel de tres catadores semientrenados, para visualizar la evolución de los defectos (Figura 5). El marchitamiento es la presencia de arrugas y hundimientos de la epidermis, para daños por frío se evaluó como la presencia de manchas pardas (escaldadura) en la epidermis y endurecimiento de la pulpa. La maduración no uniforme es el desarrollo del color de la fruta desde la coloración según el grado de cosecha (fruta sana) hasta fruta con coloración comercial.

Tabla 1. Evaluación visual de los daños fisiológicos en el fruto de naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.)

Daños fisiológicos	Fruta sana	Daño muy leve	Daño leve	Daño moderado	Daño severo
Marchitamiento	5	4	3	2	1
Daño por frío	5	4	3	2	1
Maduración no uniforme	5	4	3	2	1

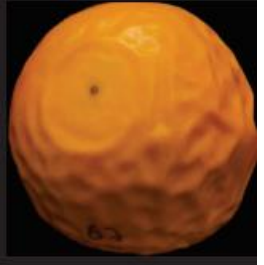










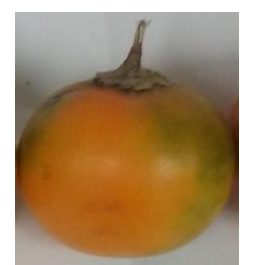

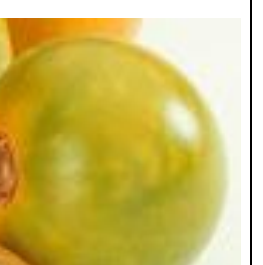

Daños fisiológicos	Daño Severo	Daño Moderado	Daño Leve	Daño Muy leve	Fruta Sana (Sin defectos)
<p>Marchitamiento</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aparición de arrugas en la epidermis. 					
<p>Daño por frío</p> <ul style="list-style-type: none"> - Presencia de manchas pardas en la epidermis y endurecimiento de la pulpa 					
<p>Maduración no uniforme</p> <ul style="list-style-type: none"> - Desarrollo de color 					

Figura 5. Escala gráfica para la evaluación visual de defectos en naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.).

- **Parámetros microbiológicos**

La determinación de parámetros microbiológicos se realizó en fruta triturada (licuadora Oster, modelo 6805, México). Se tomó 10 g de muestra y se diluyó en 90 ml de agua de peptona estéril (Merck KGaA; Darmstadt, Germany). De la solución madre se preparó soluciones en concentraciones de 10^{-1} hasta 10^{-4}

Los ensayos se realizaron los días 1, 4, 7 y 10. Las siembras se realizaron en cajas plásticas mono Petri por triplicado. El recuento se realizó en las placas que presentaron entre 15 y 300 colonias. Los resultados se expresaron como unidades formadoras de colonias por gramo (UFC/g).

- **Mohos y levaduras**

La determinación de mohos y levaduras se llevó a cabo con el método reportado en la norma NTE INEN 1529-10 (**INEN, 2013c**), en un medio de agar papa dextrosa (PDA; Neogen Corporation; Lansing, Michigan, EE. UU). Se inoculó 100 μ L sobre la superficie del medio y las placas se incubaron (Incubadora; Incucell) a 25 ± 1 °C durante 7 días.

- **Aerobios mesófilos**

La determinación de aerobios mesófilos se llevó a cabo con el método reportado en la norma NTE INEN 1529-5 (**INEN, 2006**), en un medio de agar para recuento en placa (PCA; Difco BD; New Jersey, Estados Unidos). Se inoculó 100 μ L sobre la superficie del medio y las placas se incubaron (Incubadora; ESCO IFA 110T8; Changi, Singapore) a 37 ± 1 °C durante 48 horas.

- **Bacterias ácido lácticas**

Para la determinación de bacterias ácido lácticas (BAL) se tomó 100 μ L de muestra y se inoculó en un medio nutritivo Man, Rogosa Sharpe (MRS;

Neogen Corporation; Lansing, Michigan, USA) con técnica de vertido en placas reportado por **(Ramos-Izquierdo et al., 2009)**. Para la incubación de las placas se armó un sistema de anaerobiosis, empleando botes de vidrio de sellado hermético con entrada de inyección de CO₂ (60 %). La concentración de gas se verificó con ayuda de un analizador del espacio libre de cabeza MAPY 4.0 LE SP O₂/CO₂ (WITT Gasetechnik, Alemania). Los botes con las placas se incubaron (Incubadora; ESCO IFA 110T8; Changi, Singapore) a 37 ± 1 °C durante 48 horas.

3.2.5. Análisis estadísticos

- **Diseño Experimental**

En la parte experimental sobre atmósferas modificadas, se aplicó un diseño experimental (ver Tabla 2) con un factor (mezcla gaseosa), para cuyo análisis se utilizó el modelo matemático descrito (Ecuación 4).

$$Y_{ij} = \mu + T_i + u_{ij} \quad \text{Ec.4}$$

La determinación de la tasa de respiración se realizó por triplicado y el efecto de las atmósferas modificadas sobre los parámetros fisicoquímicos y de calidad de la fruta por duplicado. Los resultados obtenidos fueron analizados mediante Statgraphics Centurion XVI (Statpoint Technologies Inc.; Virginia, EE. UU.).

Tabla 2. Composición de las atmósferas modificadas a emplear en los estudios de conservación de naranjilla.

ATMÓSFERA MODIFICADA	CONCENTRACIÓN DE GASES (%)		
	O ₂	CO ₂	N ₂
1	2,5	2,5	95,0
2	2,5	5,0	92,5
3	80,0	10,0	10,0
4	80,0	20,0	0,0
5	90,0	10,0	0,0

CAPÍTULO IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1.1. Comportamiento respiratorio de la fruta a temperatura y condiciones atmosféricas normales

Como se puede ver en la Figura 6, la intensidad respiratoria de la fruta es mayor a medida que avanza el proceso de maduración, lo que se ve reflejado en las diferentes pendientes de consumo de oxígeno (O_2) y generación de dióxido de carbono (CO_2). Las pendientes de consumo de O_2 evolucionan a medida que se agota el CO_2 de la atmósfera que rodea a la fruta. Se observa un comportamiento similar en el caso de las tasas de acumulación de CO_2 generado en el proceso respiratorio.

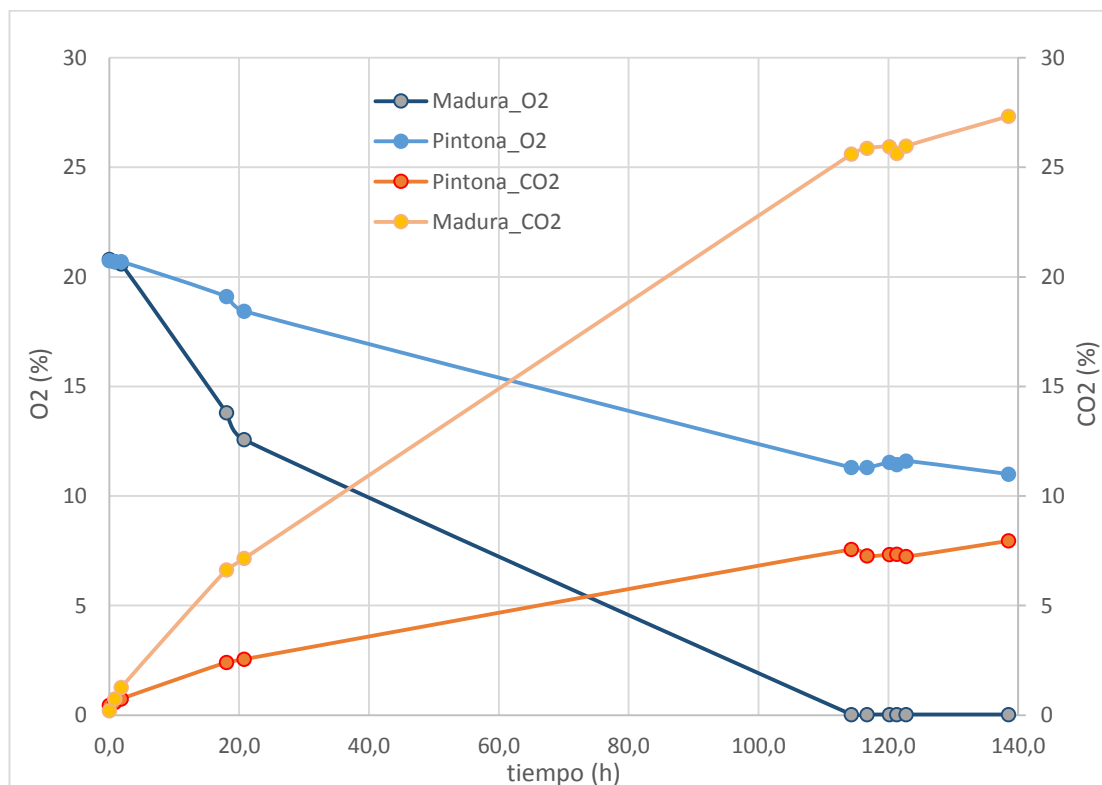


Figura 6. Evolución de la tasa respiratoria de la naranjilla pintona y madura a condiciones ambientales, en atmósfera modificada pasivamente.






4.1.2. Caracterización fisicoquímica de la fruta

La caracterización fisicoquímica de la fruta se realizó en cinco estados de madurez. En la Tabla 3 se visualiza el desarrollo fenológico de la fruta, relacionado con el color exterior de la piel. Los parámetros evaluados que determinan sus características físicas fueron: peso, que se encontró entre 76,41 g para un estado de madurez cero y 139,83 g para un estado de madurez cuatro, los cuales variaron de acuerdo al tamaño de la fruta; el rango de longitud estuvo entre 4,8 cm y 5,9 cm, y el diámetro entre 4,89 y 6,37 cm.

En la maduración se produjo un desarrollo de color amarillo-anaranjado y la pérdida de color verde, lo que se reflejó en el parámetro Hue. Adicionalmente, aumentó la luminosidad del fruto maduro, así como el croma, pero disminuyendo éste último en el mayor estado de madurez. La resistencia a la penetración medida disminuyó en cada grado de madurez a medida que esta fue evolucionando.

En los análisis químicos realizados a la naranjilla, presentó menor acidez total y mayor contenido de sólidos solubles en todos los grados de madurez. El pH en el estado cero, tres y cuatro es mayor en comparación al estado uno y dos; varía el índice de madurez, es mayor en el estado cero, dos y cuatro, en el estado de madurez uno y tres tiene un menor valor.

Tabla 3. Caracterización fisicoquímica de la naranjilla en diferentes estados de madurez.

Parámetros	GRADOS DE MADUREZ					
	0	1	2	3	4	
						
Peso (g)	76,41 ± 26,89 AB	93,42 ± 18,55 AB	106,72 ± 27,06 B	127,52 ± 16,3 A	139,83 ± 48,1 C	
Longitud (cm)	4,80 ± 0,68 A	5,01 ± 0,55 AB	5,42 ± 0,54 ABC	5,62 ± 0,32 BC	5,90 ± 0,84 C	
Diámetro (cm)	4,89 ± 0,73 A	5,42 ± 0,32 AB	5,69 ± 0,52 BC	6,00 ± 0,22 BC	6,37 ± 0,75 C	
Firmeza (N)	20,71 ± 1,67 D	18,89 ± 1,73 ABC	19,70 ± 1,41 BC	17,85 ± 1,39 AB	17,57 ± 0,95 A	
Color	L*	25,63 ± 2,47 A	33,23 ± 1,46 B	50,65 ± 1,06 C	54,06 ± 1,28 D	54,77 ± 0,51 D
	C*	34,80 ± 3,67 A	56,87 ± 2,33 B	87,41 ± 1,72 CD	93,26 ± 2,12 E	81,23 ± 11,07 C
	h°	108,68 ± 4,01 A	101,71 ± 0,77 B	78,23 ± 1,5 C	72,91 ± 1,29 D	64,41 ± 1,34 E
pH	3,94 ± 0,03 B	3,80 ± 0,04 A	3,73 ± 0,1 A	3,91 ± 0,06 B	4,16 ± 0,07 C	
SST (°Brix)	6,12 ± 0,66 A	7,74 ± 0,17 B	7,84 ± 0,51 B	7,46 ± 0,76 B	8,70 ± 0,42 C	
AT (% ácido cítrico)	1,72 ± 0,20 A	1,88 ± 0,09 AB	2,13 ± 0,37 B	2,40 ± 0,09 C	2,46 ± 0,13 C	
IM	3,57 ± 0,38 AB	4,12 ± 0,25 D	3,77 ± 0,62 BC	3,10 ± 0,31 A	3,54 ± 0,25 AB	

Letras indican la diferencia significativa ($p \leq 0,05$) entre los cinco estados de madurez. L*, luminosidad; C*, croma o saturación; h°, Hue o tonalidad; SST, sólidos solubles totales; AT, acidez titulable, IM, índice de madurez.

4.1.3. Determinación de la tasa de respiración

- **Tasa de respiración de consumo de oxígeno**

El análisis de los datos en la tasa de respiración en relación al consumo de oxígeno promedio efectuado en diferentes mezclas gaseosas se observa en

la Tabla 4, en la cual se compara el tratamiento control que utiliza aire con las distintas combinaciones gaseosas, donde existen diferencias significativas en todos los tratamientos, a excepción de la mezcla 2,5 O₂/5,0 CO₂.

Tabla 4. Efecto de las atmósferas modificadas en la tasa de respiración (consumo de oxígeno) promedio de la naranjilla durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 7 °C. Unidades: mg kg⁻¹ h⁻¹

RO ₂	Aire	Gas	Diferencia absoluta	Diferencia relativa	Sig. 95 %
A1 vs G1	11,57	4,65	-6,92	-60 %	***
A2 vs G2	5,72	0,16	-5,56	-97 %	ns
A3 vs G3	3,99	25,35	21,37	536 %	***
A4 vs G4	1,50	46,17	44,67	2978 %	***
A5 vs G5	6,37	37,11	30,74	482 %	***

Ai: atmósfera control (aire) de los diferentes bloques experimentales. **G1:** 2,5 % O₂-2,5 % CO₂; **G2:** 2,5 % O₂-5 % CO₂; **G3:** 80 % O₂-10 % CO₂; **G4:** 80 % O₂-20 % CO₂; **G5:** 90 % O₂- 10 % CO₂ ns: no hay diferencias significativas entre tratamientos con un 95 de probabilidad (p>0,05, LSD) *** hay diferencias significativas entre tratamientos (p<0,05; LSD).

En los dos primeros tratamientos, se determinó que en el aire control existió mayor consumo de oxígeno que en el ensayo de gas, mientras que en los tres tratamientos donde se compara el aire control con el gas de ensayo de mayor concentración de oxígeno, la tasa de respiración en consumo de oxígeno fue menor en el aire control en relación al gas de ensayo.

Este comportamiento, según **García y García (2001)**, se debe a que la fruta al respirar y consumir oxígeno, lo transforma en moléculas de dióxido de carbono y agua, en donde utiliza parte de las reservas de la fruta, que son los azúcares y los ácidos orgánicos, entre otros. Una vez agotadas las reservas de nutrientes, la fruta comienza su senescencia. Consecuentemente, en una atmósfera donde existe menor oxígeno, sin llegar a la anaerobiosis, la fruta, al respirar más despacio, consume nutrientes de forma más lenta y su vida útil se alarga.

- **Tasa de respiración como producción de dióxido de carbono**

En la Tabla 5 se identifica que el efecto de las atmósferas modificadas en la tasa de respiración de producción de dióxido de carbono no fue significativo en relación al aire control establecido en dicho experimento.

Tabla 5. Efecto de las atmósferas modificadas en la tasa de respiración (producción de dióxido de carbono) promedio de la naranjilla durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 7 °C. Unidades: mg kg⁻¹ h⁻¹

RCO₂	Aire	Gas	Diferencia absoluta	Diferencia relativa	Sig. 95 %
A1 vs G1	2,53	3,69	1,16	46 %	ns
A2 vs G2	1,89	0,44	-1,44	-76 %	ns
A3 vs G3	0,99	2,51	1,52	154 %	ns
A4 vs G4	3,92	-1,67	-5,58	-143 %	ns
A5 vs G5	6,52	3,15	-3,38	-52 %	ns

Ai: atmósfera control (aire) de los diferentes bloques experimentales. **G1:** 2,5 % O₂-2,5 % CO₂; **G2:** 2,5 % O₂-5 % CO₂; **G3:** 80 % O₂-10 % CO₂; **G4:** 80 % O₂-20 % CO₂; **G5:** 90 % O₂. 10 % CO₂ ns: no hay diferencias significativas entre tratamientos con un 95 de probabilidad (p>0,05, LSD) *** hay diferencias significativas entre tratamientos (p<0,05; LSD)

El material vegetal muestra resistencia específica a la difusión de gases generándose una atmósfera interna diferente de la del aire. Al elevarse la temperatura ambiente, la tasa de respiración aumenta, acelerando los procesos relacionados con las oxidaciones enzimáticas que generan pardeamientos internos e incluso superficiales (**Artés, 2000; Artés y Artés-Hernández, 2004**). Este proceso puede invertirse mediante el uso de temperaturas de refrigeración y el uso de atmósferas modificadas que ralenticen el proceso respiratorio. Las investigaciones realizadas por **Gorny (2001)**, reportan que en lechugas cortadas, la aplicación de niveles de O₂ inferiores a 0,5 kPa permiten reducir el pardeamiento mediado por la polifenoloxidasas y que concentraciones de CO₂ superiores a 10 kPa permiten inhibir la biosíntesis de compuestos fenólicos. Las atmósferas descritas son útiles en frutas, pero su empleo debe vigilarse para que no exista desarrollo de aromas, sabores extraños y de microorganismos anaerobios.

4.1.4. Efectos de la atmósfera modificada sobre los parámetros fisicoquímicos y de calidad.

- **Parámetros físicos**

- **Firmeza**

Según se observa en la Tabla 6, no existió diferencias significativas entre los tratamientos control y las mezclas gaseosas, a excepción de la mezcla 2,5 O₂/2,5 CO₂ que presentó una mayor firmeza en relación al aire control. Estos valores son próximos a los reportados por **Ospina Monsalve et al. (2007)**, que obtuvieron una firmeza de 15,7 N en naranjilla almacenada en aire.

Tabla 6. Efecto de las atmósferas modificadas sobre la firmeza (N) promedio de la naranjilla durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 7 °C.

Firmeza	Aire	Gas	Diferencia absoluta	Diferencia relativa	Sig. 95 %
A1 vs G1	16,98	18,65	1,67	9,8 %	***
A2 vs G2	21,45	20,44	-1,00	-4,7 %	ns
A3 vs G3	17,06	16,84	-0,22	-1,3 %	ns
A4 vs G4	16,29	17,18	0,88	5,4 %	ns
A5 vs G5	16,40	16,55	0,16	1,0 %	ns

Ai: atmósfera control (aire) de los diferentes bloques experimentales. **G1:** 2,5 % O₂-2,5 % CO₂; **G2:** 2,5 % O₂-5 % CO₂; **G3:** 80 % O₂-10 % CO₂; **G4:** 80 % O₂-20 % CO₂; **G5:** 90 % O₂. 10 % CO₂ ns: no hay diferencias significativas entre tratamientos con un 95 de probabilidad (p>0,05, LSD) *** hay diferencias significativas entre tratamientos (p<0,05; LSD)

- **Color**

- **Luminosidad**

El análisis de varianza realizado, indica que la luminosidad de la fruta fue diferente en función del bloque experimental, lo que se achacó a diferencias en sus estados de madurez. Así, se tomó la decisión de realizar comparaciones relativas entre las diferencias de cada control frente a cada respectiva mezcla gaseosa, empleando para ello la prueba LSD. Como se aprecia en la Tabla 7, en ninguno de los casos se observó la existencia de diferencias significativas entre las naranjillas control y las almacenadas bajo atmósferas modificadas.

Tabla 7. Efecto de las atmósferas modificadas sobre la luminosidad (L*) promedio de la naranjilla durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 7 °C.

Luminosidad	Aire	Gas	Diferencia absoluta	Diferencia relativa	Sig. 95 %
A1 vs G1	55,31	55,51	0,20	0,4%	ns
A2 vs G2	50,64	51,29	0,65	1,3%	ns
A3 vs G3	52,41	52,62	0,21	0,4%	ns
A4 vs G4	50,10	49,37	-0,72	-1,4%	ns
A5 vs G5	52,24	53,05	0,82	1,6%	ns

Ai: atmósfera control (aire) de los diferentes bloques experimentales. **G1:** 2,5 % O₂-2,5 % CO₂; **G2:** 2,5 % O₂-5 % CO₂; **G3:** 80 % O₂-10 % CO₂; **G4:** 80 % O₂-20 % CO₂; **G5:** 90 % O₂- 10 % CO₂ ns: no hay diferencias significativas entre tratamientos con un 95 de probabilidad (p>0,05, LSD) *** hay diferencias significativas entre tratamientos (p<0,05; LSD)

▪ Croma

El croma indica el grado de saturación de un tono de color determinado. Según **Domene y Rodríguez (2014)**, el análisis de croma, representa la mayor o menor intensidad de color. Se puede observar en los datos presentados de la Tabla 8, que las combinaciones gaseosas tienen comportamiento similar al aire control a lo largo de los diez días de almacenamiento realizado en cada tratamiento experimental, no existiendo diferencias significativas.

Tabla 8. Efecto de las atmósferas modificadas sobre el croma (C*) promedio de la naranjilla durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 7 °C.

Croma	Aire	Gas	Diferencia absoluta	Diferencia relativa	Sig. 95 %
A1 vs G1	95,72	97,04	1,32	1,4 %	ns
A2 vs G2	87,23	87,18	-0,06	-0,1 %	ns
A3 vs G3	92,13	92,46	0,33	0,4 %	ns
A4 vs G4	89,85	88,72	-1,13	-1,3 %	ns
A5 vs G5	109,82	92,21	-17,60	-16,0 %	ns

Ai: atmósfera control (aire) de los diferentes bloques experimentales. **G1:** 2,5 % O₂-2,5 % CO₂; **G2:** 2,5 % O₂-5 % CO₂; **G3:** 80 % O₂-10 % CO₂; **G4:** 80 % O₂-20 % CO₂; **G5:** 90 % O₂- 10 % CO₂ ns: no hay diferencias significativas entre tratamientos con un 95 de probabilidad (p>0,05, LSD) *** hay diferencias significativas entre tratamientos (p<0,05; LSD)

▪ Tono

La percepción del color en la fruta se distingue mediante distintas tonalidades, en el caso de la naranjilla entre rojo, amarillo y verde. En la Tabla 9 se muestra la tonalidad de los tratamientos control frente a cada gas, apreciándose la no existencia de diferencias significativas entre ambas condiciones.

Tabla 9. Efecto de las atmósferas modificadas sobre el Hue o tonalidad (h°) promedio de la naranjilla durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 7 °C.

Hue	Aire	Gas	Diferencia absoluta	Diferencia relativa	Sig. 95 %
A1 vs G1	76,04	75,80	-0,24	-0,3 %	ns
A2 vs G2	77,80	80,29	2,49	3,2 %	ns
A3 vs G3	76,49	75,92	-0,58	-0,8 %	ns
A4 vs G4	72,79	73,62	0,83	1,1 %	ns
A5 vs G5	75,70	73,96	-1,74	-2,3 %	ns

Ai: atmósfera control (aire) de los diferentes bloques experimentales. **G1:** 2,5 % O₂-2,5 % CO₂; **G2:** 2,5 % O₂-5 % CO₂; **G3:** 80 % O₂-10 % CO₂; **G4:** 80 % O₂-20 % CO₂; **G5:** 90 % O₂. 10 % CO₂ ns: no hay diferencias significativas entre tratamientos con un 95 de probabilidad (p>0,05, LSD) *** hay diferencias significativas entre tratamientos (p<0,05; LSD)

○ Pérdida de peso

Los factores que determinan la pérdida de peso en la naranjilla son la relación entre el área superficial y volumen, su estado de madurez, la temperatura o la humedad relativa que le rodea. En la presente investigación se tomaron frutos sin daños mecánicos, control de temperatura a 7 °C, con base al planteamiento de **Casierra et al. (2004)**.

Al realizar el análisis estadístico, se encontraron diferencias significativas en los tratamientos uno, cuatro y cinco, donde se apreció una menor pérdida de peso respecto al ensayo control entre un 14 y un 32 %, aproximadamente, como se muestra en la Tabla 10. Los tratamientos restantes no presentan diferencias significativas. Estos resultados son similares con lo reportado por **Forero et al. (2016)**, que para el caso de naranjilla almacenada en aire reporta una pérdida de peso del 1,02 %.

Tabla 10. Efecto de las atmósferas modificadas sobre la pérdida de peso (%) promedio de la naranjilla durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 7 °C.

Pérdida peso	Aire	Gas	Diferencia absoluta	Diferencia relativa	Sig. 95 %
A1 vs G1	0,75	0,51	-0,24	-31,6 %	***
A2 vs G2	0,40	0,42	0,02	4,7 %	ns
A3 vs G3	0,35	0,32	-0,03	-9,6 %	ns
A4 vs G4	0,56	0,41	-0,15	-26,5 %	***
A5 vs G5	1,09	0,93	-0,16	-14,4 %	***

Ai: atmósfera control (aire) de los diferentes bloques experimentales. **G1:** 2,5 % O₂-2,5 % CO₂; **G2:** 2,5 % O₂-5 % CO₂; **G3:** 80 % O₂-10 % CO₂; **G4:** 80 % O₂-20 % CO₂; **G5:** 90 % O₂- 10 % CO₂ ns: no hay diferencias significativas entre tratamientos con un 95 de probabilidad ($p>0,05$, LSD) *** hay diferencias significativas entre tratamientos ($p<0,05$; LSD)

- **Caracterización química**

- **pH**

La Tabla 11 muestra que los valores de pH en la naranjilla almacenada en aire control tuvieron similitud a los de la naranjilla almacenada bajo las mezclas gaseosas en el transcurso de los diez días de prueba, no existiendo diferencias significativas en ningún caso.

Tabla 11. Efecto de las atmósferas modificadas sobre el pH promedio de la naranjilla durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 7 °C.

pH	Aire	Gas	Diferencia absoluta	Diferencia relativa	Sig. 95 %
A1 vs G1	3,59	3,78	0,19	5,3 %	ns
A2 vs G2	3,47	3,61	0,14	4,1 %	ns
A3 vs G3	3,61	3,52	-0,09	-2,6 %	ns
A4 vs G4	3,68	3,52	-0,16	-4,2 %	ns
A5 vs G5	3,63	3,72	0,09	2,5 %	ns

Ai: atmósfera control (aire) de los diferentes bloques experimentales. **G1:** 2,5 % O₂-2,5 % CO₂; **G2:** 2,5 % O₂-5 % CO₂; **G3:** 80 % O₂-10 % CO₂; **G4:** 80 % O₂-20 % CO₂; **G5:** 90 % O₂- 10 % CO₂ ns: no hay diferencias significativas entre tratamientos con un 95 de probabilidad ($p>0,05$, LSD) *** hay diferencias significativas entre tratamientos ($p<0,05$; LSD)

Forero et al. (2016), observaron que durante el periodo de maduración de la naranjilla, el valor de pH es muy similar y oscila entre 3,2 y 3,6, entre el primero y séptimo día después de la cosecha, almacenado a las mismas condiciones de temperatura, esto indica que el pH no debe ser tomado como un parámetro para determinar la madurez de la fruta. Estudios realizados en frutos tratados

como en los controles en carambola mínimamente procesada (**Andrade et al., 2010**) y mango (**Briceño et al., 2008**), reportan que no se evidenciaron cambios significativos en el pH durante el almacenamiento.

- **Sólidos solubles totales (SST)**

Las diferentes mezclas gaseosas no influyeron de manera significativa en el contenido de sólidos solubles totales de las naranjillas almacenadas bajo los tratamientos G1, G2, G4 y G5, cuando se compararon con las naranjillas almacenadas en la atmósfera control. Según la Tabla 12, en el transcurso de los diez días de almacenamiento en refrigeración a 7 °C, existió una excepción en el tratamiento G3 donde las naranjillas almacenadas bajo dicha atmósfera retuvieron un 11 % más de SST comparadas con sus equivalentes control. Con respecto a esta variable **Galvis y Herrera (1999)**, explican que durante el periodo de maduración varía de 7,8 a 9,3 hasta el séptimo día después de la cosecha, estos valores se incrementan de forma directa con el grado de madurez en el cual es cosechado el fruto, por lo que puede considerarse que estos valores son próximos a lo habitual en esta fruta.

Tabla 12. Efecto de las atmósferas modificadas sobre los sólidos solubles totales (°Brix) promedio de la naranjilla durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 7 °C.

SST	Aire	Gas	Diferencia absoluta	Diferencia relativa	Sig. 95 %
A1 vs G1	7,95	7,37	-0,57	-7,2%	ns
A2 vs G2	7,04	6,93	-0,11	-1,6%	ns
A3 vs G3	7,31	8,12	0,81	11,1%	***
A4 vs G4	7,93	7,64	-0,29	-3,6%	ns
A5 vs G5	7,35	6,93	-0,42	-5,8%	ns

Ai: atmósfera control (aire) de los diferentes bloques experimentales. **G1:** 2,5 % O₂-2,5 % CO₂; **G2:** 2,5 % O₂-5 % CO₂; **G3:** 80 % O₂-10 % CO₂; **G4:** 80 % O₂-20 % CO₂; **G5:** 90 % O₂- 10 % CO₂ ns: no hay diferencias significativas entre tratamientos con un 95 de probabilidad (p>0,05, LSD) *** hay diferencias significativas entre tratamientos (p<0,05; LSD)

- **Acidez titulable (AT)**

Como puede apreciarse en la Tabla 13, la acidez titulable de las naranjillas almacenadas bajo los tratamientos 2,5/2,5; 2,5/5,0; 80/20; 90/10, presentaron

diferencias significativas respecto a las almacenadas bajo atmósfera control (aire). De estas diferencias, sólo el tratamiento G2 permitió mejorar los valores de dicho parámetro, respecto a la atmósfera control, mientras que los restantes empeoraron significativamente dichos valores.

Tabla 13. Efecto de las atmósferas modificadas sobre la acidez titulable. Contenido de ácido cítrico promedio (g/100 g peso fresco) de la naranjilla durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 7 °C.

AT	Aire	Gas	Diferencia absoluta	Diferencia relativa	Sig. 95 %
A1 vs G1	1,95	1,78	-0,17	-8,6 %	***
A2 vs G2	1,97	2,27	0,30	15,1 %	***
A3 vs G3	1,91	2,06	0,14	7,4 %	ns
A4 vs G4	2,14	1,92	-0,21	-10,0 %	***
A5 vs G5	2,23	2,00	-0,23	-10,5 %	***

Ai: atmósfera control (aire) de los diferentes bloques experimentales. **G1:** 2,5 % O₂-2,5 % CO₂; **G2:** 2,5 % O₂-5 % CO₂; **G3:** 80 % O₂-10 % CO₂; **G4:** 80 % O₂-20 % CO₂; **G5:** 90 % O₂- 10 % CO₂ ns: no hay diferencias significativas entre tratamientos con un 95 de probabilidad (p>0,05, LSD) *** hay diferencias significativas entre tratamientos (p<0,05; LSD)

4.1.5. Aspectos fisiológicos en la calidad de la fruta

- **Marchitamiento**

Mediante la evaluación visual de los defectos de la naranjilla se observó que las mezclas gaseosas 2,5/2,5; 2,5/5,0; 80/20 redujeron el grado de marchitamiento de la naranjilla en comparación a su tratamiento control, cuyos datos se ven reflejados en la Tabla 14. La mayor diferencia relativa es de 9,3% que corresponde al tratamiento G4. Según **García y García (2001)**, la baja temperatura es un factor importante que impide el marchitamiento de la fruta, reduciendo su transpiración debido a que el aumento de la temperatura, incrementa la energía de las moléculas de agua, lo que genera una transferencia de agua de la fruta hacia el medio, ocasionando su desequilibrio interno, transformándola en una fruta flácida hasta llegar al marchitamiento.

Tabla 14. Efecto de las atmósferas modificadas sobre el marchitamiento promedio de la naranjilla durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 7 °C. 1=fruta totalmente marchita; 5=fruta sin daños.

Marchitamiento	Aire	Gas	Diferencia absoluta	Diferencia relativa	Sig. 95 %
A1 vs G1	4,90	5,00	0,10	2,0 %	***
A2 vs G2	4,88	5,00	0,13	2,6 %	***
A3 vs G3	5,00	4,94	-0,06	-1,1 %	ns
A4 vs G4	4,47	4,89	0,42	9,3 %	***
A5 vs G5	4,97	5,00	0,03	0,6 %	ns

Ai: atmósfera control (aire) de los diferentes bloques experimentales. **G1:** 2,5 % O₂-2,5 % CO₂; **G2:** 2,5 % O₂-5 % CO₂; **G3:** 80 % O₂-10 % CO₂; **G4:** 80 % O₂-20 % CO₂; **G5:** 90 % O₂. 10 % CO₂ ns: no hay diferencias significativas entre tratamientos con un 95 de probabilidad ($p>0,05$, LSD) *** hay diferencias significativas entre tratamientos ($p<0,05$; LSD)

- **Daño por frío**

Los daños por frío, se reflejan en la decoloración interna y superficial, la aparición de áreas internas de color café y áreas de la pulpa saturadas de agua y la descomposición o deterioro acelerado. Dichos daños se pueden observar durante el almacenamiento o después de trasladar el producto a un ambiente de mayor temperatura. Las atmósferas modificadas controlan algunos de estos desórdenes en los tejidos vegetales.

En la naranjilla se considera que temperaturas por debajo de 6 °C, son capaces de generar daños en la corteza que al bajar a 4 °C avanzan al interior de la corteza y llegan a afectar hasta un 30 % a la pulpa y al llegar a 2 °C afectan hasta al 80 % de la pulpa según **García y García (2001)**.

En el análisis estadístico realizado (Tabla 15), se identifica la no existencia de diferencias significativas en los ensayos de aire control respecto a las mezclas gaseosas, probablemente por haber trabajado a una temperatura de refrigeración de 7 °C, la cual evitó este efecto perjudicial en la fruta.

Tabla 15. Efecto de las atmósferas modificadas sobre los daños por frío promedio de la naranjilla durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 7 °C. 1=fruta totalmente dañada; 5=fruta sin daños.

Daño por frío	Aire	Gas	Diferencia absoluta	Diferencia relativa	Sig. 95 %
A1 vs G1	5,00	5,00	0,00	0,0 %	ns
A2 vs G2	5,00	5,00	0,00	0,0 %	ns
A3 vs G3	5,00	5,00	0,00	0,0 %	ns
A4 vs G4	4,56	4,63	0,07	1,6 %	ns
A5 vs G5	5,00	5,00	0,00	0,0 %	ns

Ai: atmósfera control (aire) de los diferentes bloques experimentales. **G1:** 2,5 % O₂-2,5 % CO₂; **G2:** 2,5 % O₂-5 % CO₂; **G3:** 80 % O₂-10 % CO₂; **G4:** 80 % O₂-20 % CO₂; **G5:** 90 % O₂- 10 % CO₂ ns: no hay diferencias significativas entre tratamientos con un 95 de probabilidad ($p>0,05$, LSD) *** hay diferencias significativas entre tratamientos ($p<0,05$; LSD)

- **Maduración irregular**

Es conocido que las atmósferas modificadas al cambiar la composición gaseosa que rodea al fruto pueden retardar las reacciones metabólicas que llevan a la senescencia del fruto, pero hay evidencias que indican que pueden afectar a la uniformidad de la maduración, tal como indican (**García y García, 2001**) o (**Fonseca et al., 2002**).

En la Tabla 16 se observa que en el tratamiento G2 permitió mejorar significativamente la uniformidad de la maduración de las naranjillas, mientras que los restantes tratamientos, o bien no afectaron diferencialmente a la maduración (G1 y G5) o deterioraron dicho parámetro significativamente (G3 y G4), por lo que es importante matizar, respecto a las opiniones anteriormente citadas, que la composición de la atmósfera es clave para determinar el grado de beneficio o daño colateral que provoca su uso, debiendo estudiarse, caso por caso.

Tabla 16. Efecto de las atmósferas modificadas sobre la maduración irregular promedio de la naranjilla durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 7 °C. 1=maduración totalmente irregular; 5=maduración totalmente regular.

Maduración irregular	Aire	Gas	Diferencia absoluta	Diferencia relativa	Sig. 95 %
A1 vs G1	2,81	2,58	-0,22	-7,9 %	ns
A2 vs G2	2,39	4,06	1,67	69,8 %	***
A3 vs G3	2,82	2,39	-0,43	-15,3 %	***
A4 vs G4	1,94	1,38	-0,57	-29,3 %	***
A5 vs G5	2,90	2,83	-0,07	-2,4 %	ns

Ai: atmósfera control (aire) de los diferentes bloques experimentales. **G1:** 2,5 % O₂-2,5 % CO₂; **G2:** 2,5 % O₂-5 % CO₂; **G3:** 80 % O₂-10 % CO₂; **G4:** 80 % O₂-20 % CO₂; **G5:** 90 % O₂- 10 % CO₂ ns: no hay diferencias significativas entre tratamientos con un 95 de probabilidad (p>0,05, LSD) *** hay diferencias significativas entre tratamientos (p<0,05; LSD)

- **Parámetros microbiológicos**
 - **Bacterias ácido-lácticas**

En la Figura 7 se observa el crecimiento de bacterias ácido-lácticas (BAL) en las muestras de naranjilla almacenadas bajo los tratamientos con cinco atmósferas modificadas y su relación con el control (solo con aire). Los gráficos (A) y (C) que corresponde a la mezcla gaseosa 2,5/2,5; 80/10 y sus respectivos controles, muestran un crecimiento de bacterias por debajo o en el límite de detección en los primeros días de almacenamiento, pero en el día siete y diez del control, se observa un número estimado de bacterias ácido lácticas de 133 y 167 UFC/g para (A) y (C) respectivamente.

Según **Sears y Eisenberg (1961)**, a temperatura y pH bajos, la capacidad inhibitoria del CO₂ es más eficiente, debido a que afecta la permeabilidad de la membrana celular de la bacteria. En los gráficos (B), (D) y (E), se aprecia un mayor crecimiento de bacterias en la muestra control (con aire) conforme pasan los días de ensayo, superando el límite de detección a partir del día cuatro. Las muestras mantenidas con las mezclas gaseosas aplicadas en dicho ensayo tuvieron un crecimiento de bacterias menor al control (con aire), a excepción de la mezcla gaseosa baja en oxígeno que corresponde al tratamiento 2,5/5,0. Esto pudo ser causado por haber recolectado la fruta y haberse transportado en condiciones inadecuadas.

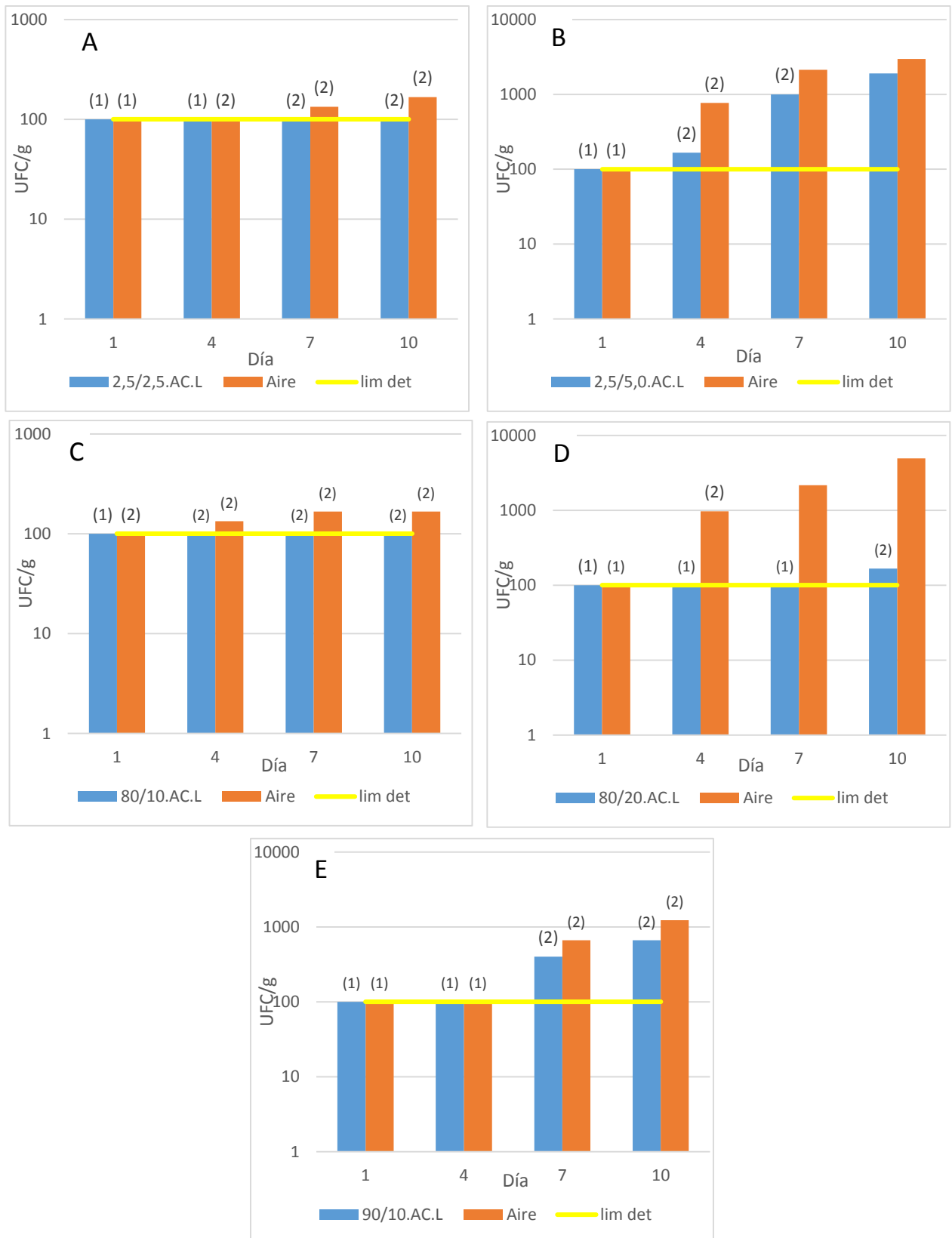


Figura 7. Crecimiento de bacterias ácido lácticas (BAL) en naranjilla, almacenadas en cinco atmósferas modificadas: **(A)** 2,5 O₂/2,5 CO₂; **(B)** 2,5 O₂/5,0 CO₂; **(C)** 80 O₂/10 CO₂; **(D)** 80 O₂/20 CO₂; **(E)** 90 O₂/10 CO₂. **(1)** Número estimado de bacterias ácido lácticas según el literal 9.2.2 de la Norma INEN 1529-5 (INEN, 2006). **(2)** Número estimado de bacterias ácido lácticas según el literal 9.2.1 de la Norma INEN 1529-5 (INEN, 2006).

- **Aerobios mesófilos**

Según **Jay et al. (2008)**, las atmósferas modificadas que contienen bajas concentraciones de O₂, hacen que el crecimiento de aerobios sea lento, pero no suprimido.

En los resultados obtenidos en la Figura 8 se observa el crecimiento de aerobios mesófilos en la naranjilla almacenada por diez días a 7 °C. En los apartados (A) y (B), se observa que el crecimiento microbiano en el control (con aire) se dio a partir del cuarto día, superando el límite de detección. La fruta almacenada bajo las mezclas gaseosas 2,5/2,5 y 2,5/5,0 presentaron un menor crecimiento microbiano aparente, pero este no fue significativo en comparación al de la fruta control.

En el apartado (D) se observa que la fruta almacenada bajo la mezcla gaseosa 80/20 presentó un menor crecimiento microbiano en comparación a su control. Como se puede apreciar en los apartados (C) y (E), el contenido de aerobios mesófilos para dichas mezclas gaseosas estuvo entre 266 y 4100 UFC/g y para el control de 233 a 2390,91 UFC/g, superando el límite de detección para ambos ensayos, siendo que la mezcla gaseosa 90/10 tuvo mayor crecimiento de microorganismos en comparación a los otros tratamientos, el comportamiento en las dos gráficas es inverso a las anteriores donde existe mayor crecimiento en gas que en aire control.

En el gas 80/20 se observó un crecimiento menor de aerobios mesófilos en comparación a los demás tratamientos, siendo mayor en el control que en el de la combinación gaseosa.

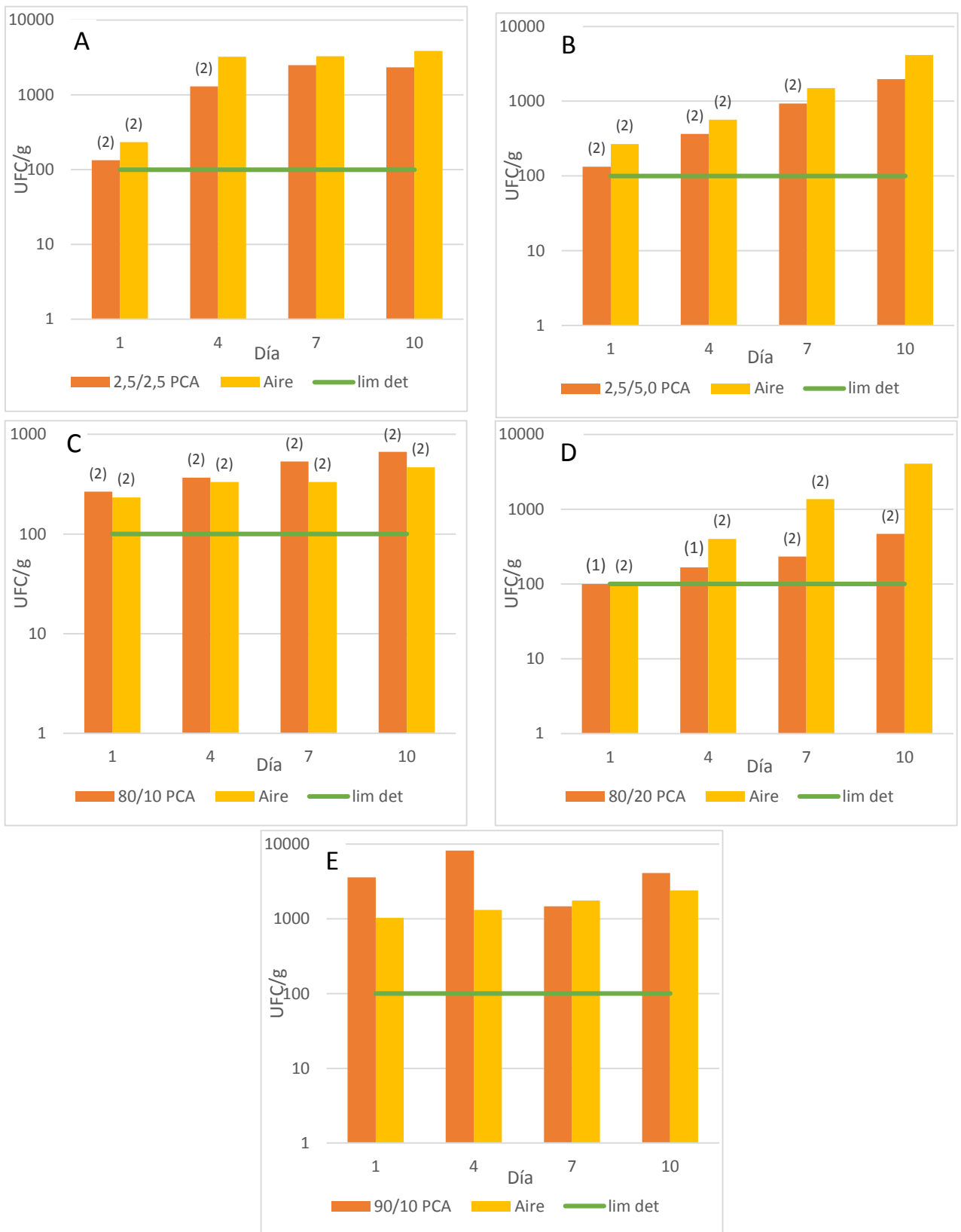


Figura 8. Crecimiento de aerobios mesófilos en naranjilla, almacenadas en cinco atmósferas modificadas: **(A)** 2,5 O₂/2,5 CO₂; **(B)** 2,5 O₂/5,0 CO₂; **(C)** 80 O₂/10 CO₂; **(D)** 80 O₂/20 CO₂; **(E)** 90 O₂/10 CO₂. **(1)** Número estimado de aerobios mesófilos según el literal 9.2.2 de la Norma INEN 1529-5 (INEN, 2006). **(2)** Número estimado de aerobios mesófilos según el literal 9.2.1 de la Norma INEN 1529-5 (INEN, 2006).

- **Mohos y levaduras**

En los resultados obtenidos (Figura 9), permitió determinar que el crecimiento de mohos y levaduras es mayor en el control aunque este no es significativo en comparación a las combinaciones gaseosas pertenecientes a 2,5/5,0; 80/10; 80/20; 90/10, todos superaron el límite de detección a 100 UFC/g y fueron creciendo conforme pasan los días de ensayo.

El tratamiento 2,5/2,5 tuvo mayor diferencia significativa en relación al control, el crecimiento de mohos y levaduras se mantuvo en el gas a partir del día cuatro.

A este respecto, es de destacar que los mohos son poco exigentes con el pH, crecen fácilmente en frutas a pesar del pH bajo, su nivel de tolerancia es amplio y se encuentra entre 4 y 8. La mayoría de mohos son aerobios, aunque existen especies que soportan condiciones de anaerobiosis estrictas, similares a algunas de las estudiadas en este trabajo. Por otro lado, las levaduras necesitan oxígeno, fuente de carbono orgánico y nitrógeno orgánico o mineral para su crecimiento y su pH óptimo oscila entre 4,5 y 6,5, aunque ciertas especies toleran variaciones de 2,8 a 8,5. Cabe recalcar que las levaduras no ocasionan toxiinfecciones alimentarias, pero causan alteraciones para alimentos altos en azúcar y ácidos (**Agós, 2008**).

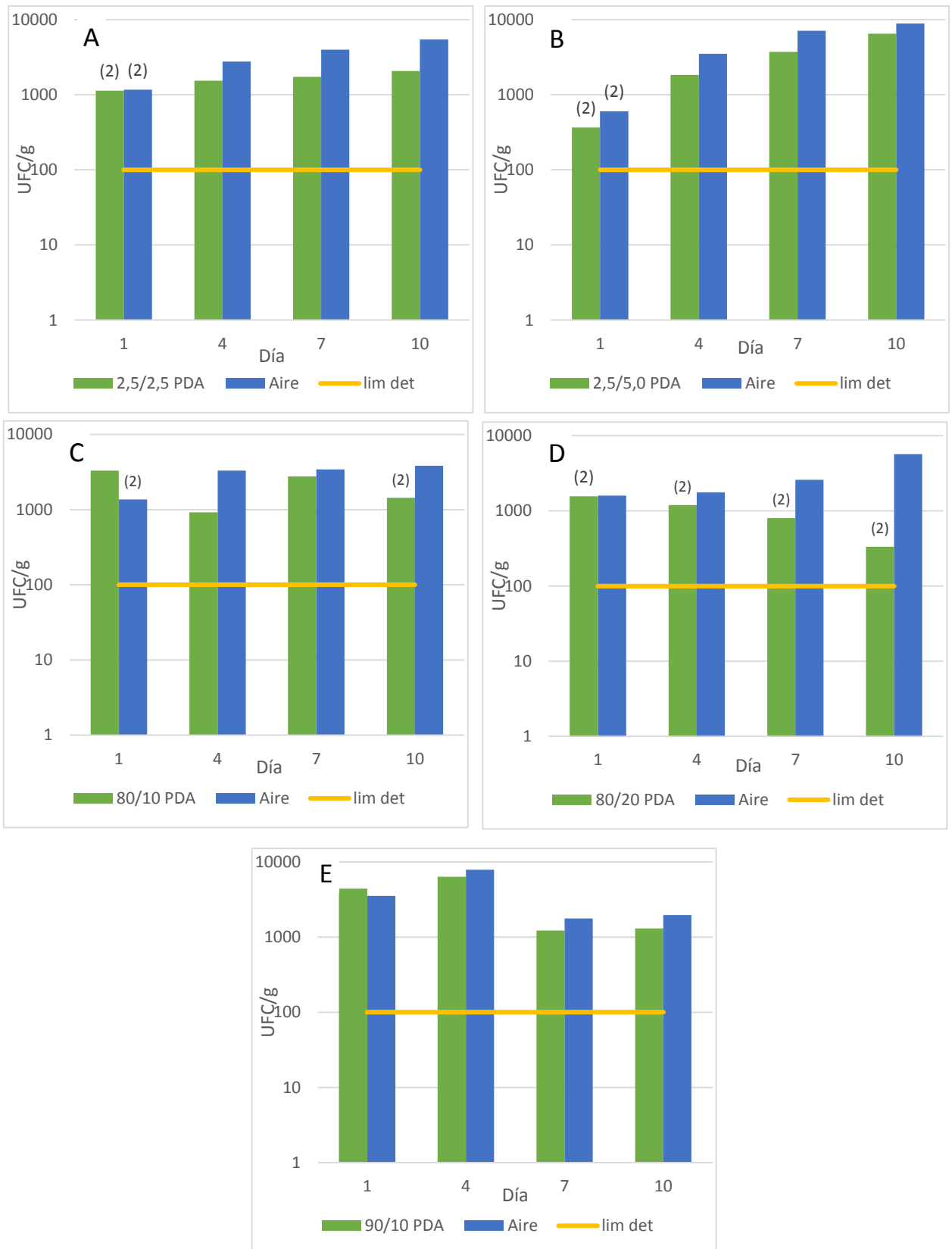


Figura 9. Crecimiento de mohos levaduras en naranjilla, almacenadas en cinco atmósferas modificadas: **(A)** 2,5 O₂/2,5 CO₂; **(B)** 2,5 O₂/5,0 CO₂; **(C)** 80 O₂/10 CO₂; **(D)** 80 O₂/20 CO₂; **(E)** 90 O₂/10 CO₂. **(1)** Número estimado de mohos levaduras según el literal 9.2.2 de la Norma INEN 1529-5 (INEN, 2006). **(2)** Número estimado de mohos levaduras según el literal 9.2.1 de la Norma INEN 1529-5 (INEN, 2006).

4.2. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

- Se observaron diferencias significativas debidas al efecto de las AM estudiadas, en relación a la tasa respiratoria de consumo de oxígeno de las frutas control, aceptando la hipótesis alternativa. Existió una excepción, del tratamiento dos (2,5/5,0), el cual no presentó diferencias significativas frente al control.
- La aplicación de las diferentes combinaciones gaseosas estudiadas no influyó la tasa respiratoria de producción de CO₂ de la naranjilla durante los diez días de ensayo a refrigeración de 7 °C, por lo cual se acepta la hipótesis nula.
- Las propiedades fisicoquímicas como luminosidad, croma, Hue y pH, no presentaron un efecto estadísticamente significativo respecto al control durante el almacenamiento de la naranjilla bajo las diferentes combinaciones gaseosas, aceptando la hipótesis nula.
- La firmeza de la naranjilla sometida a los tratamientos estudiados no presentó diferencias significativas respecto al control, salvo en el caso del tratamiento dos (2,5/5,0) donde se observó un comportamiento diferente a los descritos anteriormente, aceptando la hipótesis alternativa.
- Las frutas almacenadas bajo las AM 2,5/5,0; 80/10, no sufrieron pérdidas de peso significativamente diferentes a las almacenadas en aire, mientras que la fruta almacenada bajo las mezclas gaseosas 2,5/2,5, 80/20 y 90/10, mostraron diferencias significativas, por lo que se acepta la hipótesis alternativa.
- El contenido de sólidos solubles totales de la fruta presentó únicamente diferencias significativas en el tratamiento T3 (80/10) respecto al control, no observándose diferencias en el resto, aceptándose por tanto la hipótesis alternativa.
- La acidez titulable de las frutas se vio influenciada significativamente por las combinaciones gaseosas aplicadas en los

tratamientos T1 (2,5/2,5), T2 (2,5/5,0), T4 (80/20) y T5 (90/10), cambiando la intensidad de este atributo, por lo cual se aceptó la hipótesis alternativa.

- No todas las combinaciones gaseosas se comportaron de igual manera, respecto a la aparición de defectos en la naranjilla.

No se evidenciaron diferencias significativas en el marchitamiento de la fruta sometida a los tratamientos 80/10; 90/10, pero en las combinaciones correspondientes a 2,5/2,5; 2,5/5,0; 80/20, si existieron diferencias significativas, aceptándose la hipótesis alternativa.

Los daños por frío no se vieron influenciados por ninguna de las mezclas gaseosas empleadas, aceptándose la hipótesis nula.

En el caso de la regularidad de la maduración, no existieron diferencias significativas en las frutas sometidas a los tratamientos 2,5/2,5 o 90/10, aunque sí en el resto de los tratamientos, aceptándose la hipótesis alternativa.

- La fruta sometida a los tratamientos no presentó en ningún caso diferencias significativas respecto al control, en relación al desarrollo de mohos y levaduras durante su almacenamiento refrigerado.

En relación al desarrollo de bacterias ácido lácticas, se observaron diferencias significativas entre el control y la fruta almacenada bajo el tratamiento T4 (80/20).

Finalmente, se observaron diferencias significativas en el desarrollo de poblaciones de microorganismos mesófilos aerobios, en el caso de la fruta almacenada bajo el tratamiento T5 (90/10).

Teniendo en cuenta los diferentes parámetros microbiológicos estudiados, se acepta la hipótesis alternativa.

CAPÍTULO V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Las diferentes mezclas gaseosas estudiadas en el presente experimento actuaron de diferente manera sobre los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos, fisiológicos y sensoriales de la naranjilla, no habiendo un único tratamiento completamente beneficioso o perjudicial, globalmente hablando.
- La respiración de la naranjilla almacenada en atmósfera pasiva (inicialmente aire) se ve influenciada por la disminución paulatina de oxígeno y la correspondiente acumulación de CO₂ que tiene lugar.
- El empleo de las atmósfera 2,5/2,5 permitió reducir hasta un 60 % la tasa respiratoria de la naranjilla almacenada en refrigeración a 7 °C, mientras que el resto de las atmósferas estudiadas, o bien no tuvo un efecto significativo o bien aumentó la tasa respiratoria de la fruta.
- Ninguna de las atmósferas modificadas estudiadas modificó el pH y los parámetros de color (luminosidad, croma, Hue) de la naranjilla almacenada durante 10 días en refrigeración, respecto a la atmósfera control (aire).
- La atmósfera 2,5/5,0 fue la única que permitió mejorar la retención de acidez titulable de la naranjilla durante el almacenamiento, respecto al control, mientras que las atmósferas 2,5/2,5, 80/20 y 90/10 redujeron significativamente dicho parámetro respecto al control.
- Tres de las atmósferas estudiadas permitieron reducir el marchitamiento de la fruta respecto al control durante el almacenamiento, siendo la más adecuada, la mezcla 80/20, que permitió alcanzar hasta un 9,3 % menos de deterioro.
- Sólo una de las atmósferas modificadas en estudio permitió mejorar la homogeneidad de la maduración de la fruta (2,5/5,0), mientras que el resto, o no afectaba a dicho parámetro (2,5/2,5 y 90/10) o

resultó perjudicial (80/10 y 80/20) aumentando la irregularidad del desarrollo del color.

- El efecto de las atmósferas modificadas en el contenido de sólidos solubles totales no fue significativo, salvo en el tratamiento 80/10, que permitió mejorar dicho parámetro en un 11 % durante el almacenamiento refrigerado de la fruta.
- La calidad microbiológica de la fruta tuvo un desarrollo distinto dependiendo del tratamiento aplicado y el microorganismo estudiado:
 - En general, la aplicación de las atmósferas modificadas estudiadas, tendió a reducir el desarrollo de bacterias ácido-lácticas durante el almacenamiento refrigerado, especialmente notable y significativo en la combinación gaseosa 80/20.
 - La evolución del contenido de aerobios mesófilos fue similar en la fruta almacenada bajo atmósfera modificada, respecto a la almacenada en aire, salvo la combinación 90/10, que resultó perjudicial al incrementar, especialmente en las fases iniciales del almacenamiento, el desarrollo microbiano.
 - El desarrollo de mohos y levaduras en la fruta no se vio afectado, en sentido positivo o negativo, por ninguna de las atmósferas modificadas estudiadas, respecto a la atmósfera control.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar combinaciones gaseosas bajas en oxígeno para retardar la tasa de respiración de la naranjilla y poder alargar su vida útil sin afectar sus características fisicoquímicas.
- Se recomienda incorporar la aplicación de atmósferas controladas ricas en oxígeno y cantidades moderadas de CO₂ en la conservación de la naranjilla para reducir el crecimiento de microorganismos, en especial cuando prevalezcan los de carácter anaerobio.

- La fruta cosechada debe estar en perfecto estado sanitario, sin alteraciones o daños mecánicos que puedan intervenir negativamente en los análisis fisicoquímicos y microbiológicos a llevar a cabo.
- El planteamiento de estudios de conservación postcosecha de naranjilla requiere seleccionar fruta con un origen controlado y en un estado de madurez adecuado y lo más homogéneo posible, que permita reducir la variabilidad de sus parámetros fisicoquímicos y fisiológicos, permitiendo establecer comparaciones correctas entre tratamientos.

CAPITULO VI.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, O., Pérez, A. M. y Vaillant, F. (2009). Chemical characterization, antioxidant properties, and volatile constituents of naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) cultivated in Costa Rica. *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 59(1), 88-94.
- Agós, E. (2008). Microbiología. Mohos y levaduras *Curso de microbiología* (pp. 11,12). Pamplona (España): Centro de Formación Iturrondo.
- Alvarado, J. y Aguilera, J. (2001). *Métodos para medir propiedades físicas e industriales de alimentos*. España: Acribia.
- Andrade, M., Moreno, C., Henríquez, A., Gómez, A. y Concellón, A. (2010). Influencia de la radiación UV-C como tratamiento postcosecha sobre carambola (*Averrhoa carambola* L.) mínimamente procesada almacenada en refrigeración. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 11(1).
- Angós, I. (2008). *Empleo de atmósferas ricas en CO₂ y altas concentraciones de O₂ en la mejora de las características de calidad de patata mínimamente procesada del cv. monalisa almacenada en refrigeración*. (Tesis Doctorado), Universidad Pública de Navarra, Pamplona (España).
- Angós, I., Vírveda, P. y Fernández, T. (2008). Control of respiration and color modification on minimally processed potatoes by means of low and high O₂/CO₂ atmospheres. *Postharvest Biology and Technology*, 48(3), 422-430. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.10.019>
- Angulo, R. (2006). *Lulo: El cultivo* (Colciencia Ed. primera ed.). Bogotá-Colombia.
- Arango, H., Vélez, C. y Vaillant, F. (1996). Estudio sobre el comportamiento post-cosecha de la naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.). *Manejo Pre Y Post-Cosecha De Frutales Y Hortalizas Para Exportacion*, 30.
- Arias, C. y Toledo, J. (2007). Manual de manejo postcosecha de frutas tropicales. *Organización de las*.
- Artés, F. (2000). *Modificaciones de la atmósfera y tratamientos térmicos para reducir los daños por el frío en la postrecolección hortofrutícola*. Paper presented at the 2^o Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones. , Santa Fe de Bogotá (Colombia).
- Artés, F. y Artés-Hernández, F. (2004). Reducción de daños por el frío en la refrigeración hortofrutícola. *Alimentación, Equipos y Tecnología*(186), 56-64.

- Ayala, L., Valenzuela, C. y Bohórquez, Y. (2013). Variables determinantes de la madurez comercial en la mora de castilla (*Rubus glaucus* BENTH). *Revista Scientia Agroalimentaria*, 1, 6.
- Briceño, C., Vargas, S., Camacho, W., Wachter, C. y Trejo, M. (2008). *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*. Paper presented at the X Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Gómez-Palacio (México).
- Brito, B., Espín, S., Vásquez, W., Viteri, P., López, P. y Jara, J. (2012). Manejo poscosecha, características físicas y nutricionales de la naranjilla para el desarrollo de pulpas y deshidratados. In INIAP, FONTAGRO & SENESCYT (Eds.), *Plegable* (Vol. 386). Quito (Ecuador): Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Santa Catalina.
- Burton, W. G. (1982). *Post-Harvest Physiology of Food Crops. Cap. 5: Respiration*. Nueva York: Ed. Longman.
- Cameron, A. C. (1989). *Modified atmosphere packaging: A novel approach for optimizing package oxygen and carbon dioxide*. Paper presented at the Proceedings of 5th International CA Research Conference, Wenatchee, Washington, USA.
- Casanova, L. y Cordova, K. (2013). *Evaluación Postcosecha y de calidad fisicoquímica de dieciséis genotipos de lulo (Solanum quitoense Lam.) tolerantes al nudo radical causado por Meloidogyne spp.*, Universidad de Nariño, Pasto (Colombia).
- Casierra, F., García, E. y Lüdders, P. (2004). Determinación del punto óptimo de cosecha en el lulo (*Solanum quitoense* Lam. var. quitoense y septentrionale). *Agronomía Colombiana*, 22(1), 32-39.
- Castañeda, H. I. (1992). *El lulo su cultivo, su conservación* (Primera edición ed.). Pereira, Colombia: Ediciones Tecnológicas.
- Day, B. P. F. (1996). Novel MAP for Fresh Prepared Produce. *European Food and Drink Review*(1), 73-80.
- Day, B. P. F. (2001). Modified atmosphere packaging of fresh fruit and vegetables - An overview. *Acta Horticulturae - Proceedings of the IV International Conference on Postharvest Science (ISHS)*, 553, 585-590.
- Day, B. P. F. (2003). Industry Guidelines for High Oxygen MAP of Fresh Prepared Products. *Acta Horticulturae - Proceedings of the International Conference Postharvest Unlimited*, 599, 81-90.

- Díaz, G. (2012). *Estudio de la capacidad antioxidante durante el almacenamiento en refrigeración de naranjilla (Solanum quitoense) tratada con Radiación UV-C*. (Tesis Grado), Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito (Ecuador).
- Domene, M. y Rodríguez, M. (2014). *Parámetros de calidad externa en la industria agroalimentaria*. Paper presented at the 3, España.
- Duque, C. y Morales, A. (2005). *El aroma frutal de Colombia*. Bogotá (Colombia): Univ. Nacional de Colombia.
- Fonseca, S. C., Oliveira, F. A. R. y Brecht, J. K. (2002). Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. *Journal of Food Engineering*, 52(2), 99-119. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00106-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00106-6)
- Forero, N., Gutiérrez, S., Sandoval, R., Camacho, J. y Meneses, M. (2016). Evaluación poscosecha de las características del lulo (solanum quitoense) cubierto con hoja de plátano. *Temas Agrarios*, 19(1), 73-85.
- Galvis, J. y Herrera, A. (1999). *El lulo Solanum quitoense Lam. Manejo de poscosecha*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia).
- Gallo, P., Gómez, F. y Gallo, C. (1990). Manejo poscosecha, almacenamiento y transporte de frutas de Colombia.
- Gallozzi, R. y Duarte, O. (2007). Cultivos de diversificación para pequeños productores de frijol y maíz en América central, Naranjilla y Cocona. *Guía práctica de manejo agronómico, cosecha, poscosecha y procesamiento de naranjilla*. (pp. 49). Managua-Nicaragua: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- García, M. y García, H. (2001). Manejo cosecha y poscosecha de mora, lulo y tomate de árbol.
- González, D., Ordóñez, L., Vanegas, P. y Vásquez, H. (2014). Cambios en las propiedades fisicoquímicas de frutos de lulo (Solanum quitoense Lam.) cosechados en tres grados de madurez. *Acta Agronómica*, 63(1), 11-17.
- Gorny, J. (2001). *A summary of CA and MA requirements and recommendations for fresh-cut (minimally processed) fruits and vegetables*. Paper presented at the VIII International Controlled Atmosphere Research Conference 600.
- Guayasamín, M. (2015). *Evaluación ex ante del impacto socio-económico del manejo convencional y mejorado del cultivo de naranjilla (Solanum quitoense) en el Ecuador*. Quito: UCE, Quito(Ecuador).

- INEN. (2006). Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1529-5. Control microbiológico de los alimentos. Determinación de la cantidad de microorganismos aerobios mesófilos. REP (pp. 6).
- INEN. (2013a). Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 1842. Productos vegetales y de frutas. Determinación de pH (IDT) (pp. 8). Quito-Ecuador.
- INEN. (2013b). Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 2173. Productos vegetales y de frutas. Determinación de sólidos solubles. Método refractométrico (IDT) (pp. 13). Quito-Ecuador.
- INEN. (2013c). Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1529-10. Control Microbiológico de los Alimentos. Mohos y levaduras viables. Recuento en placa por siembra en profundidad. (pp. 6).
- INEN. (2013d). Productos vegetales y de frutas *Determinación de sólidos solubles-Método refractométrico (IDT)* (Vol. NTE INEN-ISO 2173, pp. 13). Quito-Ecuador.
- IPEI. (2014). Análisis sectorial - Frutas exóticas. In P. ECUADOR (Ed.), (pp. 4-9). Quito - Ecuador: Instituto de Promoción de Exportaciones e Inversiones.
- Jay, J., Loessner, M. y Golden, D. (2008). *Modern food microbiology*: Springer Science & Business Media.
- Kader, A. A. (1986). Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. *Food Technology*, 40(5), 99-104.
- Kader, A. A. (1994). *Modified and Controlled Atmosphere Storage of Tropical Fruits*. Paper presented at the ACIAR - Postharvest handling of tropical fruits, Chiang Mai (Tailandia), 19-23/07/1993.
- Kader, A. A. (2002). *Postharvest Technology of Horticultural Crops* (3rd Edition ed.): University of California at Davis. Division of Agriculture and Natural Resources.
- Kader, A. A. (2003). A Summary of Requirements and Recommendations for Fruits other than Apples and Pears. *Acta Horticulturae*, 600(2), 737-740.
- Kader, A. A. (2010). Handling of horticultural perishables in developing vs. developed countries. *Acta Horticulturae*, 877(1), 121-126.
- Kader, A. A., Zagory, D., Kerbel, E. y Wang, C. (1989). Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 28(1), 1-30.

- Kidd, F. y West, C. (1927). A relation between the concentration of oxygen and carbon dioxide in the atmosphere, rate of respiration, and length of storage of apples (pp. 41-42). London, UK: Food Investigation Board.
- Kitinoja, L., Saran, S., Roy, S. K. y Kader, A. A. (2011). Postharvest technology for developing countries: challenges and opportunities in research, outreach and advocacy. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(4), 597-603.
- Lara, M. (2012). *Uso combinado de la radiación UV-C y almacenamiento refrigerado sobre el tiempo de vida útil de la naranjilla (Solanum quitoense Lam.)*. Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito (Ecuador).
- Lutz, J. M. y Hardenburg, R. E. (1966). *The commercial storage of fruits vegetables and florist and nursery stocks*. Washington (EE.UU.).
- Llerena, W., Samaniego, I., Ramos, M. y Brito, B. (2014). Caracterización fisicoquímica y funcional de seis frutas tropicales y andinas ecuatorianas. *Alimentos, Ciencia e Ingeniería*, 22(2), 13-22.
- MAG. (2016). Ministerio de Agricultura y Ganadería; Reporte Nacional de Censo. Quito (ECUADOR).
- Martínez, M., Harper, C., Pérez, F. y Chaparro, M. (2002). Modified atmosphere packaging of minimally processed mango and pineapple fruits. *Journal of Food Science*, 67(9), 3365-3371.
- Montenegro, L. (2015). *Estudio de la inhibición del pardeamiento enzimático por irradiación y de la calidad poscosecha durante el almacenamiento refrigerado de la naranjilla (Solanum quitoense Lam.) irradiada*. Quito, 2015.
- Muñoz, J. C., Puentes, Á. y Villamizar, C. (1999). Evaluación de pérdidas postcosecha del lulo (solanum quitoense lam.), comercializado en un empaque tradicional. *Ingeniería e Investigación; núm. 43 (1999); 46-50 Ingeniería e Investigación; núm. 43 (1999); 46-50 2248-8723 0120-5609*.
- Navarro, Y. y Suarez, J. (2009). Evaluación del proceso de maduración del lulo (Solanum quitoense Lam) variedad Castilla. @ *limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 8(1).
- Orozco, L. (2003). *Proyecto de elaboración de una bebida energizante de pulpa de naranjilla*. Universidad Tecnológica Equinoccial., Quito-Ecuador.
- Ospina Monsalve, D. M., Velásquez, C., José, H. y Aristizábal Tórres, I. D. (2007). Determination of surface fracture and firmness force in lulo fruit (Solanum quitoense x Solanum hirtum). *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, 60(2), 4163-4178.

- Penchaiya, P., Bobelyn, E., Verlinden, B. E., Nicolai, B. M. y Saeys, W. (2009). Non-destructive measurement of firmness and soluble solids content in bell pepper using NIR spectroscopy. *Journal of Food Engineering*, 94(3–4), 267-273. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.03.018>
- PROEcuador. (2014). Instituto de promoción de exportaciones e inversiones. Análisis sectorial frutas exóticas (pp. 16). Quito (Ecuador).
- Quinchia, F. y Cabrera, C. (2006). Manual técnico del cultivo de lulo (*Solanum quitoense* L.) en el departamento del Huila. In Gobernación del Huila & Cadena Frutícola del Huila (Eds.), (pp. 34). Neiva (Colombia).
- Rahman, M. M., Moniruzzaman, M., Ahmad, M. R., Sarker, B. C. y Khurshid, A. M. (2016). Maturity stages affect the postharvest quality and shelf-life of fruits of strawberry genotypes growing in subtropical regions. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 15(1), 28-37. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jssas.2014.05.002>
- Ramos-Izquierdo, B., Bucio-Galindo, A., Bautista-Muñoz, C., Aranda-Ibáñez, E. y Izquierdo-Reyes, F. (2009). Aislamiento, identificación y caracterización de bacterias ácido lácticas para la elaboración de queso crema tropical. *Universidad y ciencia*, 25(2), 159-171.
- Revelo, J., Viteri, P., Vásquez, W., Valverde, F., León, J. y Gallegos, P. (2010). Manual del Cultivo Ecológico de la Naranja Manual Técnico N° 77. Quito-Ecuador.
- Sandhya. (2010). Modified atmosphere packaging of fresh produce: Current status and future needs. *LWT-Food Science and Technology*, 43(3), 381-392.
- Sears, D. y Eisenberg, R. (1961). A model representing a physiological role of CO₂ at the cell membrane. *The Journal of general physiology*, 44(5), 869-887.
- SICA. (2006). Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, Ministerio de Agricultura y Ganadería, Servicio de Información Agropecuaria Indicadores económicos del Ecuador.
- Tamayo, P. (2001). *Principales enfermedades del tomate de árbol, la mora y el lulo en Colombia*: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-CORPOICA.
- Viteri, P., Vásquez, W., León, J., Viera, W., Posso, W., Hinojosa, M., . . . Ochoa, J. (2009). Naranja de jugo (*Solanum quitoense* Lam.) injerta en patrones de solanáceas silvestres resistentes a *Fusarium oxysporum* y a *Meloidogyne incognita*. In I. N. d. I. A. (INIAP) (Ed.), (Vol. 354).
- Zaro, M., Túqueres, A., Pillajo, A., Rosales, J. y Jara, S. (2014). *Efectividad de la aplicación de atmósfera modificada para retrasar el deterioro*

postcosecha de naranjilla mínimamente procesada. Paper presented at the VIII Congreso Iberoamericano de 8 Tecnología Poscosecha y Agroexportaciones. AITEP, Quito.

ANEXOS
FOTOGRAFÍAS

COSECHA Y POSTCOSECHA DE LA FRUTA



Muestreo de árboles



Enumeración de los árboles



Cosecha de la fruta



Frutas en gavetas



Fruta limpia

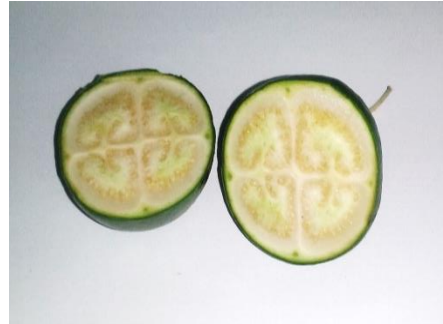


Fruta en diferentes estados de madurez

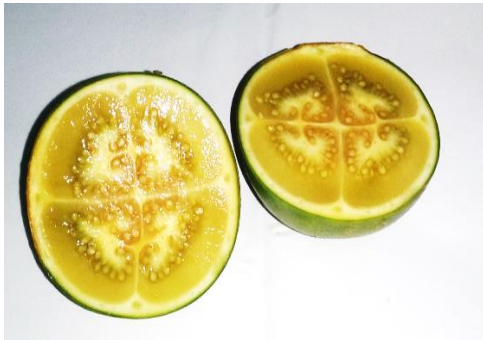
CARACTERIZACIÓN DE LA FRUTA



Cinco estados de madurez



Estado 0



Estado 1



Estado 2



Estado 3



Estado 4

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS



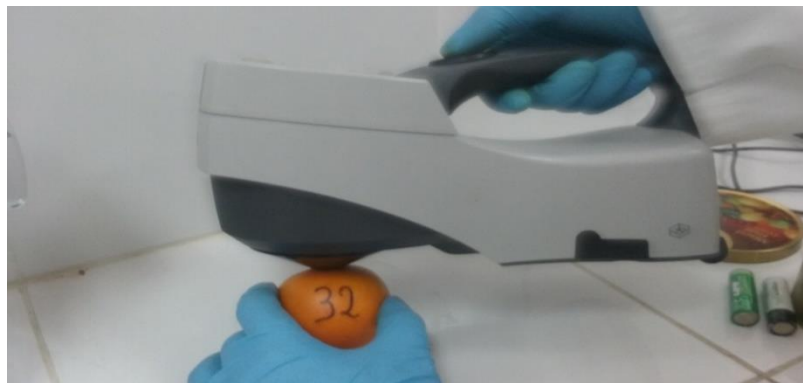
pH



Sólidos solubles totales



Medición de textura



Medición de color

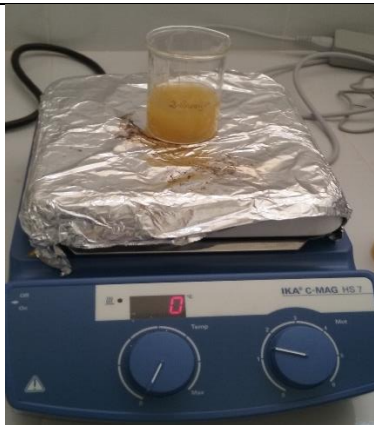
MEDICIÓN DE ACIDEZ



Preparación de la muestra



Determinación de peso para medición de acidez



Homogenización



Muestras homogenizadas



Preparación

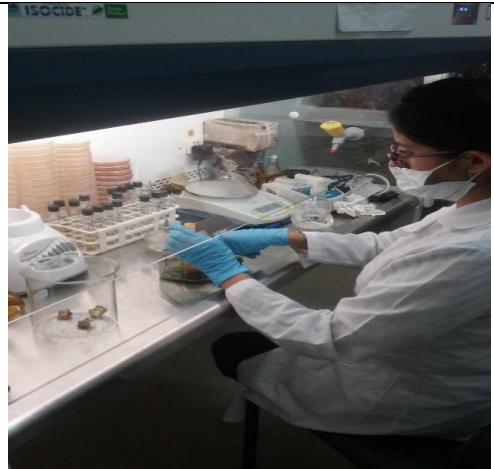


Medición de acidez

MICROBIOLOGÍA



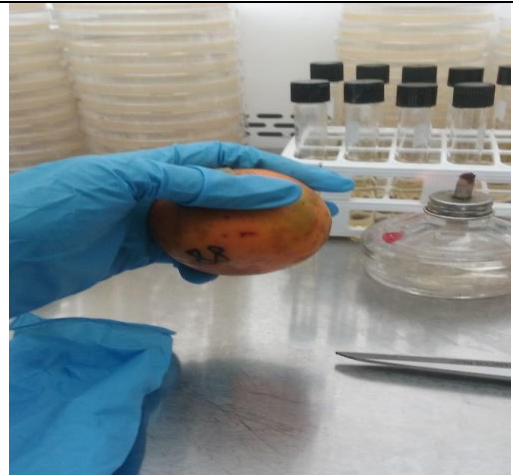
Esterilización



Preparación para el análisis microbiológico



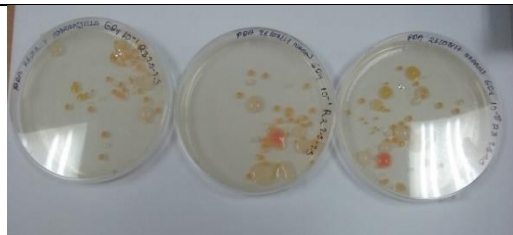
Ingreso de las muestras



Selección de la muestra para analizar



Inyección de CO₂ para cajas de microorganismos ácido lácticos



Conteo de microorganismos

ANÁLISIS DE GASES



Bombonas de suministro de gas y calibración



Mezclador de gases



Analizador de gas



Control de temperatura



Línea de gas



Línea completa



Controlador para mantener temperatura constante



Borboteador para gas



Armado de línea



Válvulas y pasamuros



Tasa de respiración en condiciones normales



Acondicionamiento de la fruta en refrigeración