



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS**

Tema: Mejora de la conservación postcosecha del tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) variedad mora 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: Magali Fernanda Alcocer Pérez

Tutor: Dr. Ignacio Ángel Angós Iturgaiz

Ambato – Ecuador

Julio - 2018

APROBACIÓN DEL TUTOR

Dr. Ignacio 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, 17 de mayo del 2018



Dr. Ignacio Angós Iturgaiz

C.I. 1756978225

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Magali Fernanda Alcocer Pérez, manifiesto que los resultados obtenidos en el Proyecto de Investigación, previamente a la obtención del título de Ingeniera en Alimentos, son absolutamente originales, auténticos y personales, a excepción de las citas.

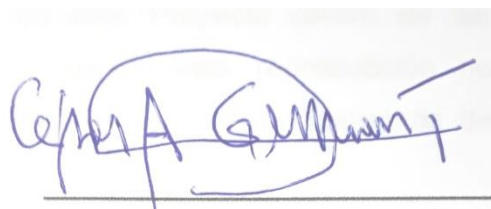
A handwritten signature in blue ink that reads "Magali Alcocer P." with a decorative flourish underneath.

Magali Fernanda Alcocer Pérez
C.I. 050340214-1
AUTORA

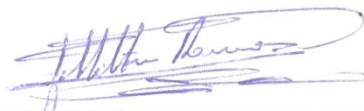
APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO

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



MIEMBRO DEL TRIBUNAL
Dr. Milton Rubén Ramos Moya
C.I. 180111963-5



MIEMBRO DEL TRIBUNAL

MSc. Fernando Cayetano Álvarez Calvache
C.I. 180104502-0

Ambato, 20 de junio del 2018

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.

A handwritten signature in blue ink, reading "Magali Alcocer P.", with a horizontal line drawn underneath it.

Magali Fernanda Alcocer Pérez
CI: 050340214-1
AUTORA

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación va dedicado a mi familia,

A mí querido padre José por todo su esfuerzo y sacrificio para sacar adelante a su familia, por inculcarme valores de superación y dedicación y demostrarme que nunca debemos rendirnos a pesar de las dificultades.

A mi mamita Eli por sus palabras de amor y su dulzura, por estar siempre a mi lado alentándome a cumplir mis metas, por ser un ejemplo de lucha constante por ver felices a los suyos.

A mi hermano Israel y mi cuñada Mayra por sus consejos y apoyo incondicional, por ser parte importante para la culminación de mi carrera.

A mi hermanita Pamela por ser un ejemplo de perseverancia, a pesar de las duras pruebas que Dios le ha puesto, jamás se ha dado por vencida. Te admiro mucho mi pequeña, sigue adelante y cumple tus sueños, que yo estaré ahí para apoyarte siempre.

A mis pequeños Siaily, Zelyne y Aarón por alegrarme cada día con sus hermosas sonrisas y ser la inspiración para culminar este trabajo.

Al amor de mi vida, mi amado esposo Carlos Julio por ser la persona que camina de mi mano, brindándome su amor, paciencia y apoyo incondicional, por ser mi motivación para salir adelante.

A mis abuelitas Elvia y Cristina.

A mis angelitos que desde el cielo me protegen Moisés, Ángel, Eudocia y mi amor chiquito Valentina.

Este trabajo es para ustedes, con amor Magali

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la vida y permitirme llegar a cumplir esta meta.

A la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos por formarme como una excelente profesional.

Un especial agradecimiento a mi tutor Ph.D. Ignacio Angós por permitirme ser parte de su equipo de investigación, por compartir sus conocimientos y experiencias en el transcurso del proyecto.

A la Ing. Wilma Llerena por ser la guía en esta investigación y tener la capacidad para resolver problemas cuando éstos se presentaban, gracias amiga por haberme brindado tu mano cuando más lo necesitaba.

A las personas que formaron parte del equipo de investigación Pedro, Melissa, Jessica, David y Jonathan muchas gracias por toda su ayuda y colaboración durante y después del proyecto.

A mí querida prima y mejor amiga Raquel te agradezco mucho por estar siempre a mi lado, por apoyarme y no dejar que me rinda tan fácilmente, gracias por estar en los momentos más difíciles de mi vida, con certeza puedo decir que el lazo que nos une es muy fuerte y es así, como esta meta la cumpliremos juntas, te quiero mucho.

A mis queridos padres, quedaré eternamente agradecida por todo el sacrificio que han hecho para que este sueño se haga realidad, no me alcanzará la vida para devolverles todo lo que han hecho por mí, sin ustedes estoy segura que esto no hubiese sido posible. Gracias por creer en mí, papis los amo mucho.

A Carlos Julio, gracias amor por tu paciencia, por tu confianza, por entenderme y darme tu mano para levantarme cuando ya casi me daba por vencida, gracias por estar siempre para mí, a pesar de las dificultades que nos ha puesto la vida, tú has buscado la salida y nunca me has dejado sola, con tus palabras de aliento me has motivado a seguir adelante, a no rendirme jamás, este logro también es tuyo.

A mis hermanos, gracias por sus palabras de ánimo y su apoyo para culminar mi trabajo, a pesar de las diferencias, siempre nos tendremos el uno para el otro, para querernos, ayudarnos y protegernos.

A Jorge, gracias amigo por ayudarme con tus palabras a terminar mi trabajo de titulación, gracias por tus ocurrencias que me sacaron una sonrisa, en los momentos difíciles cuando estuve a punto de derramar una lágrima.

A mí querida familia y amigos, gracias por estar siempre al pendiente de mi bienestar tanto en personal como en lo académico.

A mi querida familia política, gracias por sus consejos y por incentivar me a seguir adelante para poder cumplir esta meta tan anhelada.

Para finalizar gracias por ser parte de mi vida y por su amistad sincera, gracias por todos los momentos vividos y las experiencias a lo largo de mi vida universitaria, los llevaré siempre en mi corazón queridos amigos de “La Banda”.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|------|
| Portada | i |
| ÍNDICE GENERAL..... | viii |
| ÍNDICE DE FIGURAS | iv |
| ÍNDICE DE TABLAS | vi |
| RESUMEN..... | viii |
| ABSTRACT..... | viii |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO I.- EL PROBLEMA..... | 4 |
| 1.1. TEMA DE INVESTIGACIÓN | 4 |
| 1.2. JUSTIFICACIÓN..... | 4 |
| 1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN..... | 5 |
| 1.3.1. Objetivo general | 5 |
| 1.3.2. Objetivos específicos..... | 5 |
| CAPÍTULO II.- MARCO TEÓRICO..... | 6 |
| 2.1. TOMATE DE ÁRBOL..... | 6 |
| 2.1.1. Botánica | 6 |
| 2.1.2. Características del fruto..... | 7 |
| 2.1.3. Fisiología de crecimiento | 8 |
| 2.1.4. Cosecha | 9 |
| 2.1.5. Postcosecha..... | 9 |
| 2.2. TASA RESPIRATORIA | 10 |
| 2.3. ATMÓSFERAS MODIFICADAS..... | 11 |
| 2.4. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS..... | 11 |
| 2.5. HIPÓTESIS..... | 13 |
| 2.5.1. Señalamiento de las variables de las hipótesis..... | 13 |

| | |
|---|----|
| CAPITULO III.- MATERIALES Y MÉTODOS | 14 |
| 3.1. MATERIALES | 14 |
| 3.1.1. Material vegetal | 14 |
| 3.2. MÉTODOS..... | 15 |
| 3.2.1. Caracterización fisicoquímica de la fruta..... | 15 |
| 3.2.2. Aplicación de atmósferas modificadas | 18 |
| 3.2.3. Determinación de la tasa respiratoria (TR) | 18 |
| 3.2.4. Efecto de la atmósfera modificada sobre los parámetros fisicoquímicos y de calidad | 20 |
| 3.2.5. Análisis estadísticos | 25 |
| CAPÍTULO IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 27 |
| 4.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS..... | 27 |
| 4.1.1. Comportamiento respiratorio de la fruta a temperatura ambiente y condiciones atmosféricas normales..... | 27 |
| 4.1.2. Caracterización fisicoquímica de la fruta..... | 28 |
| 4.1.3. Determinación de la tasa de respiración..... | 30 |
| 4.1.4. Efecto de la atmósfera modificada sobre los parámetros fisicoquímicos y de calidad | 33 |
| 4.1.5. Aspectos fisiológicos en la calidad de la fruta | 39 |
| 4.1.6. Selección de la mejor atmósfera modificada para el tomate de árbol | 49 |
| 4.2. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS | 49 |
| CAPÍTULO V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 51 |
| 5.1. CONCLUSIONES | 51 |
| 5.2. RECOMENDACIONES | 52 |
| CAPITULO VI.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 53 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Principales países exportadores de fruta fresca, a nivel mundial en 2016 (partida NANDINA 081090: tomate de árbol, maracuyá, entre otros) en 2016. Fuente: Luna (2016)..... | 1 |
| Figura 2. Evolución de la maduración en el tomate de árbol. Fuente: García (2008) | 8 |
| Figura 3. Escala de color del tomate de árbol. Fuente: Norma (INEN 2009a) .. | 14 |
| Figura 4. Esquema del sistema cerrado para la determinación de tasas de respiración y generación de las mezclas gaseosas. Donde: 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). | 20 |
| Figura 5. Escala gráfica para la evaluación visual de daños en tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.). Fuente: Tamayo (2001)..... | 23 |
| Figura 6. Evolución de la tasa respiratoria del tomate de árbol en términos de producción de CO ₂ durante el período de maduración en postcosecha. Fuente: Márquez, et al. (2007) | 27 |
| Figura 7. Crecimiento de mohos y levaduras en tomate de árbol, 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 y levaduras según el literal 9.2.2 de la Norma INEN 1529-5 (INEN 2006). (2) Número estimado de mohos y levaduras según el literal 9.2.1 de la Norma INEN 1529-5 (INEN 2006)..... | 44 |
| Figura 8. Crecimiento de aerobios mesófilos en tomate de árbol, 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).....46

Figura 9. Crecimiento de bacterias ácido lácticas (BAL) en tomate de árbol, 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).....48

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Evaluación visual de los daños fisiológicos en el fruto de tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.)..... | 22 |
| Tabla 2. Composición de las atmósferas modificadas a emplear en los estudios de conservación de tomate de árbol. | 25 |
| Tabla 3. Caracterización fisicoquímica del tomate de árbol en diferentes estados de madurez..... | 28 |
| Tabla 4. Caracterización fisicoquímica del tomate de árbol en diferentes estados de madurez (continuación) | 29 |
| Tabla 5. Efecto de las atmósferas modificadas en la tasa de respiración (consumo de oxígeno) promedio del tomate de árbol durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 4 °C. Unidades: mg kg ⁻¹ h ⁻¹ | 30 |
| Tabla 6. Efecto de las atmósferas modificadas en la tasa de respiración (producción de dióxido de carbono) promedio del tomate de árbol durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 4 °C. Unidades: mg kg ⁻¹ h ⁻¹ | 32 |
| Tabla 7. Efecto de las atmósferas modificadas sobre la firmeza (N) promedio del tomate de árbol durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 4 °C. ... | 33 |
| Tabla 8. Efecto de las atmósferas modificadas sobre la luminosidad (L*) promedio de la piel de tomate de árbol, durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 4 °C..... | 34 |
| Tabla 9. Efecto de las atmósferas modificadas sobre el croma (C*) promedio del tomate de árbol durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 4 °C. ... | 35 |
| Tabla 10. Efecto de las atmósferas modificadas sobre el Hue o tonalidad (h°) promedio del tomate de árbol durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 4 °C..... | 35 |

| | |
|--|----|
| Tabla 11. Efecto de las atmósferas modificadas sobre la pérdida de peso (%) promedio del tomate de árbol durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 4 °C..... | 36 |
| Tabla 12. Efecto de las atmósferas modificadas sobre los sólidos solubles totales (SST) promedio del tomate de árbol durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 4 °C..... | 37 |
| Tabla 13. Efecto de las atmósferas modificadas sobre la acidez titulable. Contenido de ácido cítrico promedio (g/100 g peso fresco) del tomate de árbol durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 4 °C. | 38 |
| Tabla 14. Efecto de las atmósferas modificadas sobre el pH promedio del tomate de árbol durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 4 °C. | 39 |
| Tabla 15. Efecto de las atmósferas modificadas sobre el daño por frío promedio del tomate de árbol durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 4 °C. 1: fruta sin daño; 5: fruta con daño severo. | 40 |
| Tabla 16. Efecto de las atmósferas modificadas sobre la maduración irregular promedio del tomate de árbol durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 4 °C. 1: maduración totalmente regular; 5: maduración totalmente irregular. ... | 41 |
| Tabla 17. Efecto de las atmósferas modificadas sobre la incidencia de patógenos promedio del tomate de árbol durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 4 °C. 1: fruta sin daño; 5: fruta con daño severo. | 42 |
| Tabla 18. Resumen de las diferencias entre los tratamientos de almacenamiento bajo atmósfera modificada y atmósfera control, en relación a los parámetros respiratorios, físico-químicos, sensoriales y microbiológicos de tomate de árbol almacenado 10 días en refrigeración (4 °C)..... | 49 |

RESUMEN

El presente estudio abordó el efecto de diversas atmósferas en la calidad físico-química, sensorial y microbiológica del tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) variedad mora almacenado en refrigeración a 4 °C durante 10 días.

En la primera parte de la experimentación se realizó la caracterización físico-química de la fruta en los diferentes estados de madurez (verde, pintón y maduro). En la segunda parte, se almacenó la fruta cosechada en estado de madurez 5 sin daño fisiológico, bajo cinco mezclas gaseosas modificadas G1: 2,5 % O₂, 2,5 % CO₂ y 95 % N₂; G2: 2,5 % O₂, 5 % CO₂ y 92,5 % N₂; G3: 80 % O₂, 10 % CO₂ y 10 % N₂; G4: 80 % O₂, 20 % CO₂ y 0 % N₂ y G5: 90 % O₂, 10 % CO₂ y 0 % N₂. Se determinó la tasa de respiración los días 1, 4, 7 y 10, por triplicado. Además se realizaron análisis físico-químicos, de calidad sensorial y microbiológicos de igual manera por triplicado, los mismos días.

La mezcla gaseosa G1 permitió reducir la tasa respiratoria de consumo de oxígeno. De forma similar, las mezclas gaseosas G2, G3, G4 y G5 permitieron reducir la tasa respiratoria de consumo de dióxido de carbono. La mezcla gaseosa G3 permitió tener mejores resultados en luminosidad (L*) y croma (C*), pero provocó mayor irregularidad en la maduración. La mezcla gaseosa G4 permitió tener mejores resultados en croma (C*) y tonalidad (h °), no habiendo diferencias significativas para los demás parámetros.

Palabras claves: manejo postcosecha, conservación de frutas, conservación de alimentos, tomate de árbol, atmósferas modificadas.

ABSTRACT

The present study addressed the effect of various atmospheres on the physical-chemical, sensory and microbiological quality of the tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.) “mora” variety stored in refrigeration at 4° C for 10 days.

In the first part of the experimentation, the physical-chemical characterization of the fruit was determined in the different state of maturity (green, half-ripe and ripe). During the second part, fruits harvested at maturity state 5 and without physiological hurt were stored under five modified gas mixtures: G1, 2.5 % O₂, 2.5 % CO₂ and 95 % N₂; G2, 2.5 % O₂, 5 % CO₂ and 92.5 % N₂; G3, 80 % O₂, 10 % CO₂ and 10 % N₂; G4, 80 % O₂, 20 % CO₂ and 0 % N₂ and G5, 90 % O₂, 10 % CO₂ and 0 % N₂. The respiration rate was determined on days 1, 4, 7 and 10, in triplicate. In addition, physical-chemical analysis, sensory and microbiological quality determinations were carried out in the same way in triplicate, on the same days.

The gas mixture G1 allowed reducing the respiratory rate of oxygen consumption. Similarly, gaseous mixtures G2, G3, G4 and G5 allowed reducing the respiratory rate of carbon dioxide production. The gas mixture G3 allowed to have better results in luminosity (L *) and Chroma (C *) but caused greater irregularity in maturation. The gas mixture G4 allowed to have better results in Chroma (C*) and hue (h°), having no significant differences for the rest of parameters.

Keywords: postharvest handling, fruit preservation, food preservation, tree tomato, modified atmospheres.

INTRODUCCIÓN

Ecuador posee una gran variedad de frutas no tradicionales dentro de su oferta exportable, debido a la estratégica posición geográfica en la que se encuentra ubicado el país y a la existencia de microclimas que favorecen la producción de ciertos cultivos para obtener frutas de excelente calidad. Las frutas que se encuentran dentro de este grupo son principalmente: mango, piña, pitahaya, papaya, naranjilla, tomate de árbol, limón (Tahití, Sutil), mora, uvilla, maracuyá, kiwi, guayaba, guanábana o granadilla, entre otros productos **(PROECUADOR, 2012)**.

La superficie cosechada de tomate de árbol a nivel nacional aumentó un 5 % durante el 2016 respecto al 2015. Las provincias que más contribuyeron a este incremento fueron Imbabura, Carchi y Azuay. Respecto al rendimiento, este se ubicó en 13,7 t/ha, lo que significa un incremento del 68 % respecto al 2015. Las exportaciones a nivel mundial de frutos frescos (incluyendo granadilla, maracuyá, chirimoya, guanábana, tomate de árbol, pitahaya, uvillas y naranjilla) se incrementaron un 35 % con respecto al 2015. De acuerdo al porcentaje comercializado del volumen total, los principales exportadores de frutos frescos en el 2016 fueron: Vietnam (37 %), Tailandia (20 %), Turquía (7 %), Hong Kong-China (4 %), China (3 %) y Egipto (3 %) **(Luna, 2016)**

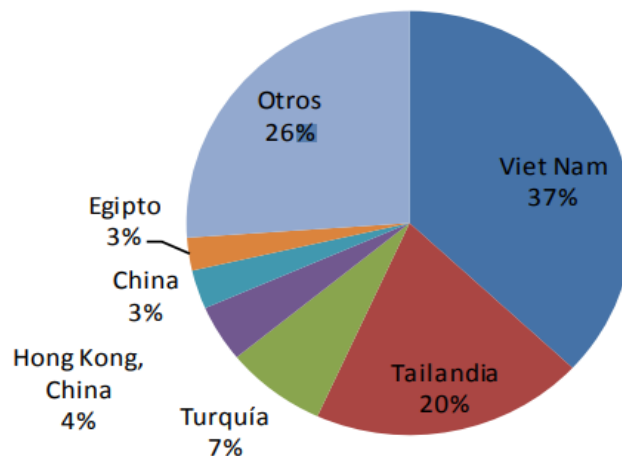


Figura 1. Principales países exportadores de fruta fresca, a nivel mundial en 2016 (partida NANDINA 081090: tomate de árbol, maracuyá, entre otros) en 2016. Fuente: **Luna (2016)**.

El tomate de árbol es una fruta no climatérica, es decir, que no muestra cambios importantes en sus bajas tasas respiratorias y de producción de etileno durante el proceso de madurez, por lo que debe ser cosechada cerca de la madurez de consumo para obtener las mejores características organolépticas. El fruto es una baya de forma ovalada, esférica o piriforme que se encuentra suspendida por un pedúnculo largo. Su epidermis es lisa y brillante, tomando tonalidades de amarillo, anaranjado, rojo y púrpura oscuro. La pulpa es de color anaranjado claro o intenso, tiene sabor agridulce típico, algo más dulzón en las líneas neozelandesas tipo mora **(León et al., 2004)**.

La cosecha se realiza de forma manual durante el día con buena luminosidad y humedad relativa alta. Este proceso consiste en separar la fruta de la planta, dejando el pedúnculo adherido a la fruta para una mejor conservación. Durante la cosecha la fruta debe ser manipulada con cuidado para evitar golpes o heridas que causen daños a ésta y su posterior deterioro, para lo que se recomienda emplear recipientes poco profundos en buen estado. Una vez realizada la cosecha, los recipientes donde se recoge la fruta deben permanecer a la sombra, antes de trasladarlos a su lugar de acopio **(García, 2008)**.

La postcosecha es un conjunto de operaciones que comprenden la selección, clasificación, empaque, embalaje, transporte y almacenamiento, ocurren desde el momento que se recolecta la fruta hasta que llega al consumidor en estado fresco o es utilizada en un proceso de transformación. Se ha podido determinar que se puede perder hasta un 50 % de la cosecha por un inadecuado manejo de los frutos, sin embargo, su realización total y parcial o la secuencia de ellas depende de cada cultivo **(Jaramillo et al., 2007)**.

A pesar de la evolución en tecnologías de conservación, los problemas y las preocupaciones fundamentales del sector se han mantenido relativamente sin cambios, con grandes pérdidas postcosecha, sistemas de comercialización deficientes, escasa capacidad de investigación y desarrollo como principales limitaciones. Por este motivo, se ha visto necesario el estudio de conservación en atmósferas modificadas para mejorar la vida postcosecha del tomate de árbol **(Kader, 2003; Thompson, 2010)**.

El mantenimiento o mejora de la calidad postcosecha y la vida postcosecha de las frutas y hortalizas frescas es cada vez más importante, se ha demostrado que el almacenamiento en atmósfera controlada es una tecnología que puede contribuir a estos requisitos del consumidor, ya que, en ciertas circunstancias, con ciertas variedades de cultivos y el tratamiento adecuado, la vida comerciable puede ampliarse mucho más **(Thompson, 2010)**.

Las atmósferas modificadas (AM), con niveles de O₂ de 3 - 10 % y CO₂ hasta el 20 % permiten prolongar el tiempo de vida útil de la fruta, retrasando su deterioro. Las concentraciones bajas O₂ retrasan la pérdida de brillo de la piel y de la acidez de la pulpa, así como la decoloración del pedúnculo. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que niveles demasiado bajos de O₂ pueden generar situaciones de anaerobiosis que provocan la aparición de sabores extraños debido a la acumulación de acetaldehído y etanol procedentes de la fermentación **(Yommi et al., 2004)**.

La elección apropiada de los niveles de gases para la generación de atmósferas modificadas puede reducir potencialmente la tasa de respiración, la producción y actividad de etileno (C₂H₄), la oxidación, el proceso de maduración y la inhibición del crecimiento de microorganismos responsables del deterioro de la fruta **(Castellanos, 2012)**.

CAPÍTULO I.- EL PROBLEMA

1.1. TEMA DE INVESTIGACIÓN

MEJORA DE LA CONSERVACIÓN POSTCOSECHA DEL TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum* Cav.) VARIEDAD MORA MEDIANTE ATMÓSFERAS MODIFICADAS

1.2. JUSTIFICACIÓN

En Ecuador el tomate de árbol ocupa una superficie aproximada de 5000 ha, localizadas en los valles interandinos, registrando rendimientos entre 60 y 80 T·ha⁻¹ año⁻¹ de fruta **(Feicán et al., 2016)**. La producción nacional de tomate de árbol en fruta fresca en el 2016 presentó un aumento del 76 % respecto al 2015, esto se debió al aumento de la superficie cosechada y el rendimiento del cultivo. Las exportaciones de tomate de árbol durante el 2016 se elevaron un 70 % en relación al 2015, al igual que las importaciones un 165 % **(Luna, 2016)**.

Después de la recolección, el tomate de árbol sigue respirando, transpirando y liberando etileno, lo que origina una serie de cambios fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales **(Márquez et al., 2007)**. El objetivo de la aplicación de tratamientos postcosecha generalmente es prevenir pérdidas potenciales durante el almacenamiento de las frutas. Entre las diversas técnicas disponibles, el uso de las atmósferas modificadas (AM) permite prolongar la vida útil de los frutos, empleando combinaciones gaseosas variables de oxígeno, dióxido de carbono y nitrógeno diferentes a las que componen la atmósfera normal (20,9 % O₂, 0,04 % CO₂, 79 % N₂). Se ha demostrado con consistente evidencia científica que diversas mezclas gaseosas poseen un efecto positivo en la conservación de muchas frutas y hortalizas al ayudar a reducir su tasa de respiración y las pérdidas de agua **(Aglar et al., 2017; Gorny, 2003)**.

En el caso del tomate de árbol, la literatura sobre el uso de AM para su conservación es muy escasa o virtualmente inexistente. A este respecto, la poca información disponible permite saber que las condiciones más favorables

para su almacenamiento se encuentran en el empleo de temperaturas entre 3,0 y 4,5 °C y humedades relativas de 90 a 95 %, pero existe un amplio campo de investigación acerca de las atmósferas idóneas, que merece ser explorado, objetivo principal de este trabajo (**Prohens y Nuez, 2001**). De esta forma, en la presente investigación se evaluó el efecto de diferentes mezclas gaseosas de O₂, N₂ y CO₂, sobre las propiedades fisicoquímicas, fisiológicas y de calidad microbiológica de la fruta, con el objetivo de mejorar la conservación postcosecha del tomate de árbol.

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo general

- Mejorar la conservación postcosecha del tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) variedad mora mediante atmósferas modificadas.

1.3.2. Objetivos específicos

- Estudiar la tasa respiratoria de la fruta a temperatura ambiente y condiciones atmosféricas normales.
- Determinar la tasa respiratoria del tomate de árbol almacenado bajo atmósferas controladas, en base a 5 combinaciones gaseosas de O₂, CO₂ y N₂, en condiciones de refrigeración.
- Evaluar el efecto de los tratamientos de almacenamiento de este estudio sobre las características fisicoquímicas y sensoriales con respecto a la presencia de defectos de origen fisiológico en la fruta.
- Analizar el efecto de la aplicación de los tratamientos de almacenamiento estudiados en la calidad microbiológica de la fruta.

CAPÍTULO II.- MARCO TEÓRICO

2.1. TOMATE DE ÁRBOL

2.1.1. Botánica

El tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) es un cultivo andino poco tecnificado, sin embargo es bastante popular en los mercados locales, especialmente de América del Sur, consumiéndose en jugos y como fruta fresca. Este cultivo representa una alternativa importante para la diversificación de la producción tanto en su región de origen como en otras áreas del mundo. Se han realizado importantes esfuerzos para el desarrollo del cultivo en Colombia, Ecuador y Nueva Zelanda, donde la producción y la exportación han aumentado marcadamente en las últimas décadas (**Espin et al., 2016**).

El tomate de árbol es una especie perteneciente a la familia *Solanaceae*, siendo originaria de la vertiente oriental de los Andes de Colombia, Ecuador y Perú. Se cultiva en las zonas de climas templados y frescos de la sierra ecuatoriana, en las provincias de Carchi, Pichincha, Tungurahua, Cotopaxi, Chimborazo, Cañar, Azuay y Loja en altitudes comprendidas entre 1.200 a 3.000 m.s.n.m. (**Bolaños et al., 2008**).

El árbol tiene una altura de 1 a 5 m, dependiendo del genotipo y las condiciones del suelo y el medio ambiente. Puede considerarse una especie de vida corta, por lo general entre 5 y 12 años. El fruto presenta un desarrollo rápido en temperaturas ideales entre 18 °C y 22 °C y precipitación anual de 600 a 800 mm, también puede desarrollarse en climas más fríos con temperaturas no inferiores a 10 °C, debido a que el frío extremo puede dañar las plantas. La producción de la fruta puede comenzar un año después de la siembra, obteniendo mejores rendimientos en el tercer año y se prolonga durante siete u ocho años (**Pedrosa, 2016**).

- **Clasificación taxonómica**

La clasificación está dada según **Revelo et al. (2011)**.

Reino: Vegetal

División: Fanerógamas

Subdivisión: Angiospermas

Clase: Dicotiledóneas

Subclase: Simpétalas

Orden: Tubifloras

Familia: *Solanaceae*

Género: *Solanum*

Especie: *Solanum betaceum* (Cav.) Sendt.

Nombre común: Tomate de árbol

2.1.2. Características del fruto

El fruto es una baya de forma ovalada. Su longitud varía de 8 a 10 cm y su diámetro ecuatorial alcanza de 4 a 6 cm con epidermis lisa y brillante, su peso es mayor a 120 g, la corteza es gruesa y tiene una cutícula de sabor amargo. Los frutos de tomate de árbol empiezan su proceso de maduración al cuarto mes a partir de la floración (color verde), llegando a la maduración organoléptica de consumo al sexto mes a partir de la floración (color rojo). La pulpa del fruto es de color anaranjada o morada y su sabor típico es agridulce, algo más dulzón en las líneas neozelandesas (**INEN 2009b**).

Esta fruta exótica se destaca por sus componentes bioactivos (antocianinas, carotenoides y flavonoides) y sus cualidades nutricionales (alto contenido de fibra, vitaminas y minerales) (**Contreras et al., 2016; Meza y Méndez, 2009; Osorio et al., 2012**).

2.1.3. Fisiología de crecimiento

La fruta permanece de color verde hasta que cesa el crecimiento. Alrededor del cuarto mes después de la floración comienza a aparecer un color violáceo en el extremo apical que posteriormente se va a extender sobre el fruto entero. En el quinto mes después de la floración el color verde de base empieza a tornarse amarillo y el color púrpura a rojo. La coloración violácea del tejido que rodea a las semillas se evidencia alrededor del tercer mes después de la floración y se intensifica hasta el quinto mes, cuando empieza a disminuir la intensidad nuevamente. El período de floración es relativamente largo, de modo que en un momento dado, cada árbol tiene frutos en distintos estados de desarrollo. El crecimiento del fruto sigue una curva simple, mostrando un incremento de peso fresco y de volumen rápido y lineal entre la sexta semana y cuarto mes después de la floración. Después de este período, el crecimiento cesa, sin embargo, el peso seco del fruto continúa incrementándose hasta llegar a su máximo en el quinto mes después de la floración. Los tomates de árbol se consideran comercialmente maduros entre el quinto y sexto mes después de la floración **(Contreras, 2014; Portela, 1999)**



Figura 2. Evolución de la maduración en el tomate de árbol. Fuente: **García (2008)**.

2.1.4. Cosecha

El tomate de árbol es un fruto no climatérico, por lo que debe ser cosechado en su estado de madurez organoléptica para ser consumido inmediatamente. El momento óptimo para su cosecha se determina a través de diversos parámetros, como el índice de madurez, o en base al color de piel, firmeza, contenido de jugo y contenido de sólidos solubles **(Tabares, 2003)**.

La recolección de los frutos se debe realizar dejando el pedúnculo adherido a la fruta para evitar su deshidratación, el ingreso de patógenos, retrasar la maduración y mejorar su aspecto **(Sandoval y Calispa, 2015)**.

La cosecha se debe hacer durante el día con buena luminosidad y humedad relativa alta. Durante este proceso se recomienda evitar la caída de la fruta al suelo para prevenir daño mecánico, así como emplear recipientes plásticos en buen estado, limpios, desinfectados y poco profundos (máximo 20 kg) para disminuir los daños por compresión en la fruta depositada en el fondo **(Ávila, 2015)**.

2.1.5. Postcosecha

La postcosecha de la fruta comienza en el momento de recolección del fruto. Cualquier golpe, roce o lastimadura que se provoque en la cosecha y durante su transporte afectará la calidad de la fruta y por tanto su precio.

La postcosecha en Ecuador consiste básicamente en la selección de frutos sanos y del mismo color, su clasificación en base al tamaño y forma y su embalaje y almacenamiento manteniendo siempre el pedúnculo adherido. De manera general, esta labor se realiza en forma manual en los lugares de acopio (bodegas rústicas), estando establecidas tres categorías de calidad: primera, con un peso promedio entre 160 y 200 g; segunda, con un peso entre 120 y 160 g; y tercera con un peso del fruto entre 60 y 120 g **(INEN 2009b; Revelo, et al., 2011)**.

2.2. TASA RESPIRATORIA

La tasa de respiración, al ser un indicador de la velocidad a la que la fruta produce cambios en su composición, puede tomarse como un índice del tiempo de su vida útil. A mayor tasa de respiración, las reservas del fruto se agotan más rápidamente y la fruta inicia de forma acelerada la etapa de senescencia o muerte. El incremento de la tasa respiratoria puede deberse a una temperatura elevada, daños mecánicos en la fruta y la presencia de etileno en el ambiente **(García, 2008)**.

La tasa de respiración se puede determinar de manera sencilla mediante la utilización del método de sistema cerrado o estático. El método consiste en la colocación de un peso conocido de fruta dentro de un recipiente de volumen conocido y cerrado herméticamente y se hace circular la atmósfera modificada por el interior de los envases en los que se coloca la fruta. Finalmente, se determinan las concentraciones de oxígeno y dióxido de carbono después de un tiempo establecido para calcular la tasa respiratoria mediante las siguientes ecuaciones **(Fonseca et al., 2002a)**.

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

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

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 entre muestreos, en horas

y^{t_i} e y^{t_f} : 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 almacenamiento en atmósfera modificada implica el cambio de las proporciones de los componentes atmosféricos normales, nitrógeno, oxígeno y dióxido de carbono, dentro de un envase que requiere de un alto nivel de impermeabilidad al gas para proporcionar una atmósfera capaz de aumentar el periodo de almacenamiento y la calidad de los alimentos (**Hashem y Ahmed, 2017; Oliveira et al., 2015**).

El mecanismo de acción de las atmósferas modificadas tiene como objetivo reducir la tasa respiratoria, disminuir el desarrollo microbiano y ralentizar el deterioro enzimático con la finalidad de prolongar la vida útil del producto (**Cartagena y Ospina, 2008**).

Las atmósferas con concentraciones inferiores al 8 % de O₂ y concentraciones de CO₂ superiores al 1 y 2 % evitan el marchitamiento de la fruta, así como la sensibilización a los daños mecánicos y al etileno, retrasan la maduración y el reblandecimiento de la fruta, reducen la degradación de la clorofila, la podredumbre microbiológica y el pardeamiento enzimático y con ello se retrasa la senescencia (**Fonseca y Malcata, 2003; Valenzuela y Meneses, 2008**).

Por otro lado, las atmósferas con altas concentraciones de oxígeno reducen los efectos adversos de las altas concentraciones de CO₂ y reducen el riesgo de anaerobiosis, mejoran la calidad sensorial y los beneficios antimicrobianos en los productos (**Angós, Fernández, et al., 2008; Kader, 2002**).

2.4. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Dayron et al. (2006), con el objetivo de prologar la vida útil de la mora de Castilla en postcosecha, almacenaron frutos en estado de madurez 3 y 5 según la norma (NTC 4106), empleando empaques de polietileno de baja densidad (PEBD) y polipropileno (PP), calibre 2 (0,035 mm) con atmósferas modificadas activas en concentraciones de 5 % O₂, 25 % CO₂ y 70% N₂ y 10 % O₂, 20 % CO₂, y 70 % N₂, temperatura de almacenamiento 4 °C y humedad relativa de 90 % a 95 % por 16 días. Los frutos en estado de madurez 3 que se almacenaron en empaque de (PP) y atmósfera modificada activa 5 % O₂, 25 %

CO₂ y 70% N₂, mantuvieron sus características organolépticas (sabor) hasta el día 6, el mismo comportamiento se observó en los frutos en estado de madurez 5 que se almacenaron en empaque de (PEBD) y una atmósfera modificada activa 10 % O₂, 20 % CO₂, y 70 % N₂. Los resultados demuestran que los empaques con atmósferas modificadas activas en frutos de la mora reducen los procesos de la maduración.

Cruz et al. (2008), evaluaron la conservación de fresas frescas en envases con atmósfera modificada en equilibrio (AME) con alta concentración de oxígeno (AAO) (película permeable), en envases con atmósfera modificada en equilibrio (AME) con alta concentración de oxígeno (AAO) con adición de adsorbedor de etileno (AE) y en envases macroperforados (aire control). En los envases con atmósfera modificada en equilibrio (95 % O₂ y 5 % N₂) emplearon una película de permeabilidad selectiva al O₂ y CO₂, a una temperatura de almacenamiento de 7 °C, realizaron conteos de anaerobios totales, bacterias ácido lácticas, levaduras y microorganismos psicrófilos. Además, evaluaron afectaciones por *Botrytis*, otros hongos y defectos. A los cinco días de almacenamiento las pérdidas por defectos alcanzaron valores superiores a 10 %, limitando la vida de anaquel a tres días en las frutas envasadas en AME.

Lanchero et al. (2007), en su estudio determinaron la mezcla de gases y el tipo de película de empaque a emplear para una adecuada conservación de la uvilla. Se evaluaron frutos con y sin cáliz, tres tipos de película (polietilentereftalato-polietileno, polipropileno biorientado-polietileno y poliolefina) y cuatro concentraciones de gas (5 % CO₂ y 5 % O₂; 5 % CO₂ y 10 % O₂; mezcla comercial y mezcla ambiental) en un diseño estadístico de parcelas subdivididas. Para todas las unidades experimentales se emplearon 75 g de fruta empacada y almacenada a una temperatura de 7 °C durante un mes y semanalmente se tomaron datos de variables físicas y químicas de tres unidades experimentales por cada tratamiento. Los frutos con cáliz conservaron mejor la firmeza y presentaron al término del ensayo un pH de 3,77, 13,1 °Brix y un índice de madurez de 9,3. La película de poliolefina mostró el mejor comportamiento y los frutos presentaron un pH de 3,8, 12,9 °Brix, índice de madurez de 9,9 y una pérdida de peso fresco de 0,75 %. Para las distintas concentraciones de gas no se encontraron diferencias

significativas. Los frutos almacenados sin empaque perdieron 4,58 % de su peso inicial mientras los almacenados en empaque plástico y atmósfera artificial perdieron en promedio 0,48 %.

2.5. HIPÓTESIS

H₀: El estudio de atmósferas modificadas mediante cinco combinaciones gaseosas diferentes no tiene efecto en la tasa respiratoria, los parámetros físico-químicos, la presencia de daños de origen fisiológico o el desarrollo microbiano del tomate de árbol.

H_a: El estudio de atmósferas modificadas mediante cinco combinaciones gaseosas diferentes tiene efecto en la tasa respiratoria, los parámetros físico-químicos, la presencia de daños de origen fisiológico o el desarrollo microbiano del tomate de árbol.

2.5.1. Señalamiento de las variables de las hipótesis

a) Variables independientes

- Mezclas gaseosas
- Tiempo de almacenamiento

b) Variables dependientes

- Pérdida de peso
- Longitud
- Diámetro
- Firmeza
- Color (Luminosidad (L*), Cromo (C*) y tono *Hue* (h°))
- Acidez titulable
- Potencial de hidrógeno (pH)
- Sólidos solubles totales
- Mohos y levaduras
- Aerobios mesófilos
- Bacterias ácido lácticas
- Tasa respiratoria

CAPITULO III.- MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES

3.1.1. Material vegetal

Para la ejecución del proyecto de investigación se tomaron frutos de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) cultivados por un mismo proveedor. El huerto está localizado en la provincia de Tungurahua, cantón Patate, parroquia La Matriz, barrio La Libertad. La fruta se recolectó en un estado de madurez grado 5, de acuerdo a la Norma **NTE INEN 1909 (2009b)**.

La fruta fue recolectada el mismo día del ensayo en horas de la mañana, de acuerdo a la escala de color del tomate de árbol que se indica a continuación:



Figura 3. Escala de color del tomate de árbol. Fuente: Norma **(INEN 2009a)**

Donde se considera que el color de 1 a 2 es VERDE, de 3 a 4 es PINTÓN y de 5 a 6 es MADURO.

La cosecha se realizó manualmente en cajas de cartón limpias y desinfectadas e inmediatamente fue transportada hacia los laboratorios de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, de la Universidad Técnica de Ambato, para su posterior procesamiento.

3.2. MÉTODOS

3.2.1. Caracterización fisicoquímica de la fruta

- **Caracterización física**

La caracterización fisicoquímica del tomate de árbol se efectuó siguiendo la metodología planteada por **Llerena et al. (2014)** para las determinaciones de peso (balanza de precisión, Mettler Toledo XS 4002 S), longitud y diámetro (Calibrador Vernier; Whale Brand-RL224; Jiangsu-China).

- **Firmeza**

La firmeza de la fruta se determinó a partir de ensayos de punción 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 utilizó 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 fueron: distancia de penetración 10 mm; carga de activación 0,07 N; y velocidad de penetración 1,00 mm/s). La firmeza se determinó como la fuerza máxima de ruptura de la superficie del fruto, empleando el Software TexturePro CT V1.2 Build 9.

- **Color**

La medida del color se realizó sobre la superficie o epidermis del fruto, tomando 20 lecturas en cada muestra, 10 longitudinales y 10 ecuatoriales. Para ello se utilizó el espectrocolorímetro universal Hunter Lab (Mini Scan EZ), empleando un iluminante D65 (luz día) y un ángulo de observación de 10°, siguiendo el método publicado por **Alvarado y Aguilera (2001)**. Los resultados se reportaron como el valor promedio de las 20 mediciones.

Se obtuvieron las coordenadas de color CIE L*a*b*, donde L* es un indicador de la luminosidad, a* indica la cromaticidad en el eje verde (-) a rojo (+), y b* la cromaticidad en el eje azul (-) a amarillo (+).

A partir de las coordenadas L*a*b* se calcularon los parámetros croma (C*) y tono o Hue (h°) mediante las ecuaciones 3 y 4:

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (\text{Ec. 3})$$

$$h^\circ = \text{Arc tan} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (\text{Ec. 4})$$

Los valores de h° se transformaron de radianes a grados sexagesimales (Ecuación 5). Los valores negativos fueron transformados sumando 180° al resultado.

$$\text{Grados}^\circ = \text{rad} * 2\pi/360 \quad (\text{Ec. 5})$$

- **Caracterización química**

Dentro de la caracterización química de la fruta se evaluaron los parámetros de acidez titulable (AT), potencial de hidrógeno (pH), sólidos solubles totales (SST) e índice de madurez (IM), realizando tres repeticiones de cada determinación.

- **Sólidos solubles totales (SST)**

Los sólidos solubles totales (SST) se determinaron empleando un Refractómetro Atago (POCKET, modelo H427741, Pal-α; 0-85 °Brix; Tokio-Japón), siguiendo el método reportado en la norma NTE INEN-ISO 2173 (**INEN 2013b**).

- **Acidez titulable (AT)**

La acidez titulable (AT) se determinó empleando un titulador potenciómetro (Mettler Toledo Compact Titrator G20; Ohio-EE.UU.), siguiendo el método reportado en la norma NTE INEN-ISO 750 (**INEN 2013b**) mediante la ecuación 6:

$$AT(\%) = \frac{V_{NaOH} * N_{NaOH} * V_{sol.} * EQ_{AC.}}{P_{pul.} * V_{alic.}} * 100 \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde:

AT: acidez titulable, expresada en porcentaje de ácido cítrico;

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

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

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

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

$V_{alic.}$: volumen de la solución que se usó para la titulación, en ml.

- **Índice de madurez (IM)**

El índice de madurez (IM) de la fruta se determinó empleando la metodología de **Ayala et al. (2013)** mediante la relación entre el contenido de sólidos solubles totales (SST) y la acidez total (AT) expresada como porcentaje del ácido orgánico predominante, en este caso ácido cítrico, mediante la ecuación 7:

$$IM = \frac{SST(^{\circ} Brix)}{AT} \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde:

IM: índice de madurez;

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

AT: acidez titulable (g ácido cítrico/100 g pulpa).

- **Potencial de hidrógeno (pH)**

El pH se determinó en la pulpa del tomate de árbol del aire control y de la mezcla gaseosa, empleando un pH-metro portátil (OAKTON, modelo 928628 EUTECH INSTRUMENTS; Singapore) siguiendo el método reportado en la norma NTE INEN-ISO 1842 (**INEN 2013a**).

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 de 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 un caudal de 450 mL h⁻¹, adecuado 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 hasta un 90 % de humedad relativa, aproximadamente, por burbujeo a través de agua. Dicho procedimiento se muestra en la Figura 4.

3.2.3. Determinación de la tasa respiratoria (TR)

La tasa respiratoria del tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) se determinó mediante el método de sistema cerrado o estático descrito por **Fonseca et al. (2002b)**.

El método consiste en la colocación de un peso conocido de fruta dentro de un recipiente de volumen conocido cerrado herméticamente, con la finalidad de acondicionar la fruta se cierra y se hace circular de forma controlada la atmósfera previamente modificada por un periodo de 24 horas. Después del acondicionamiento, se cierra el sistema de 6 a 8 horas para permitir el cambio en las concentraciones de O₂ y CO₂ por efecto de la respiración de la fruta. Se analizan las concentraciones finales de oxígeno y dióxido de carbono después del tiempo establecido para determinar la tasa respiratoria. Finalmente, se abre el sistema y se permite el ingreso de la atmósfera modificada nuevamente. El ensayo se realizó los días 1, 4, 7 y 10 **(Angós, Vírseda, 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 $4 \pm 0,5$ °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.

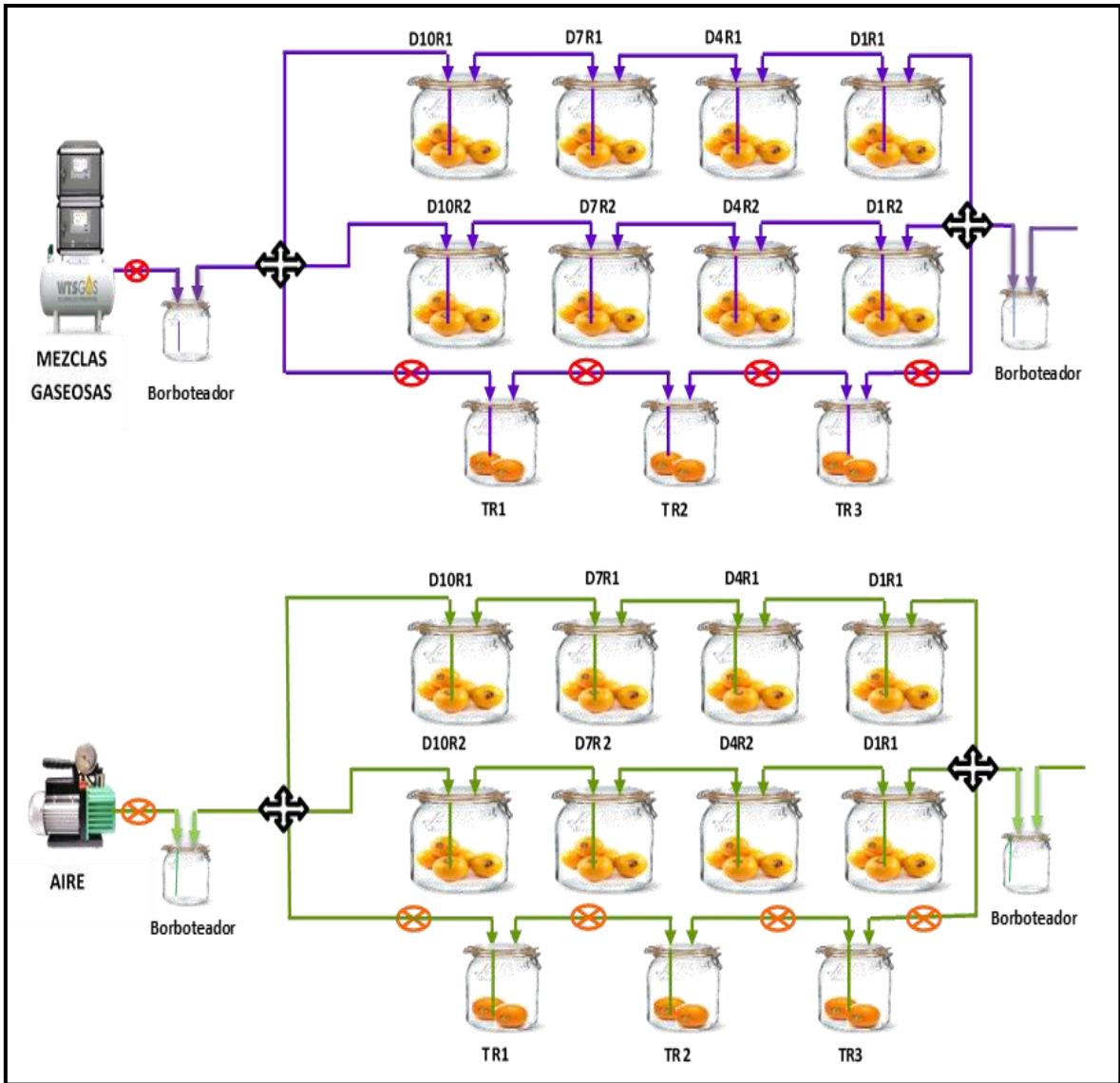


Figura 4. Esquema del sistema cerrado para la determinación de tasas de respiración y generación de las mezclas gaseosas. Donde: TR es la tasa de respiración con tres réplicas (botes para respiración) y DR son los días de ensayo con dos réplicas de los días 1, 4, 7 y 10 (botes destructivos).

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 para análisis destructivos) según el día de análisis. De los cinco frutos que se introdujeron en cada recipiente, uno se utilizó para realizar los parámetros microbiológicos y químicos, los otros cuatro se utilizaron 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)**. Las determinaciones se realizaron para cada día de análisis y el cálculo se realizó mediante la ecuación 8:

$$\text{Pérdida de peso (\%)} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \quad (\text{Ec.8})$$

Donde:

P_i: peso inicial de las frutas sin exposición al gas, en g.

P_f: peso de la fruta después de ser expuesta al gas, en g.

- **Firmeza y color**

Los parámetros mencionados se determinaron en los frutos correspondientes 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 potencial de hidrógeno (pH)**

Para la determinación de AT, SST y pH se utilizó un fruto de cada bote, el cual se trituró (licuadora Oster, modelo 6805, México). Del triturado, una parte se usó para las determinaciones químicas y otra las microbiológicas. 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 sometidas a los diferentes tratamientos se evaluaron en cuanto a la presencia de daños usando una escala visual de 1 a 5 (1=fruta sin daño; 2=daño muy leve; 3=daño leve; 4=daño moderado; 5=daño severo) (**Arango et al., 1996; Tamayo, 2001**). La cata se realizó con un panel de tres catadores semientrenados, para visualizar la evolución de los daños (Figura 5). El daño por frío se evaluó como presencia de manchas pardas (escaldadura) en la epidermis y endurecimiento de la pulpa, mientras que la maduración irregular se evaluó a partir de la presencia de áreas amarillas formando manchas irregulares en el fruto. Por último, la incidencia de patógenos se evaluó mediante la presencia de manchas circulares negras, hundidas, de bordes definidos y de consistencia seca debidas a antracnosis (*Colletotrichum acutatum* Simm.) (ver Tabla 1).

Tabla 1. Evaluación visual de los daños fisiológicos en el fruto de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.)

| Daños fisiológicos | Fruta sin daño | Daño muy leve | Daño leve | Daño moderado | Daño severo |
|------------------------------|----------------|---------------|-----------|---------------|-------------|
| Daño por frío (escaldaduras) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Maduración irregular | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Incidencia de patógenos | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
















| Defectos | Fruta sin daño | Daño muy leve | Daño leve | Daño moderado | Daño severo |
|---|---|--|---|---|---|
| <p>Daños por frío</p> <p>Presencia de manchas pardas en la epidermis y endurecimiento de la pulpa</p> |  |  |  |  |  |
| <p>Maduración irregular</p> <p>Presencia de áreas o manchas amarillas formando manchas irregulares en el fruto</p> |  |  |  |  |  |
| <p>Incidencia de patógenos</p> <p>Presencia de manchas circulares negras, hundidas, de bordes definidos y se tornan de consistencia seca</p> |  |  |  |  |  |

Figura 5. Escala gráfica para la evaluación visual de daños en tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.). Fuente: Tamayo (2001).

- **Parámetros microbiológicos**

La determinación de parámetros microbiológicos se realizó en fruta triturada (licuadora Oster, modelo 6805, México). Se tomaron 10 g de muestra y se diluyeron en 90 ml de agua de peptona estéril (Merck KGaA; Darmstadt, Germany). De la solución madre se prepararon soluciones en concentraciones de 10^{-2} y 10^{-3} .

Los ensayos se realizaron los días 1, 4, 7 y 10. Las siembras se realizaron en cajas plásticas Mono-Petri por duplicado. 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 inocularon 100 μ L de muestra 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 inocularon 100 μ L de muestra 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 tomaron 100 µL de muestra y se inocularon 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**

Se aplicó un diseño experimental (ver Tabla 2) con un factor (mezcla gaseosa).

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

| 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 |

Para el análisis se utilizó el modelo matemático descrito (Ecuación 9).

$$Y_{ij} = \mu + T_i + u_{ij} \quad (\text{Ec.9})$$

Donde:

Y_{ij} : i -ésima observación del j -ésimo tratamiento

μ : media del j -ésimo tratamiento

T_i : efecto sobre la respuesta del j -ésimo tratamiento

u_{ij} : i-ésimo error experimental del j -ésimo tratamiento

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

CAPÍTULO IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

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

El comportamiento respiratorio del tomate de árbol es el propio de las frutas no climatéricas (Figura 6).

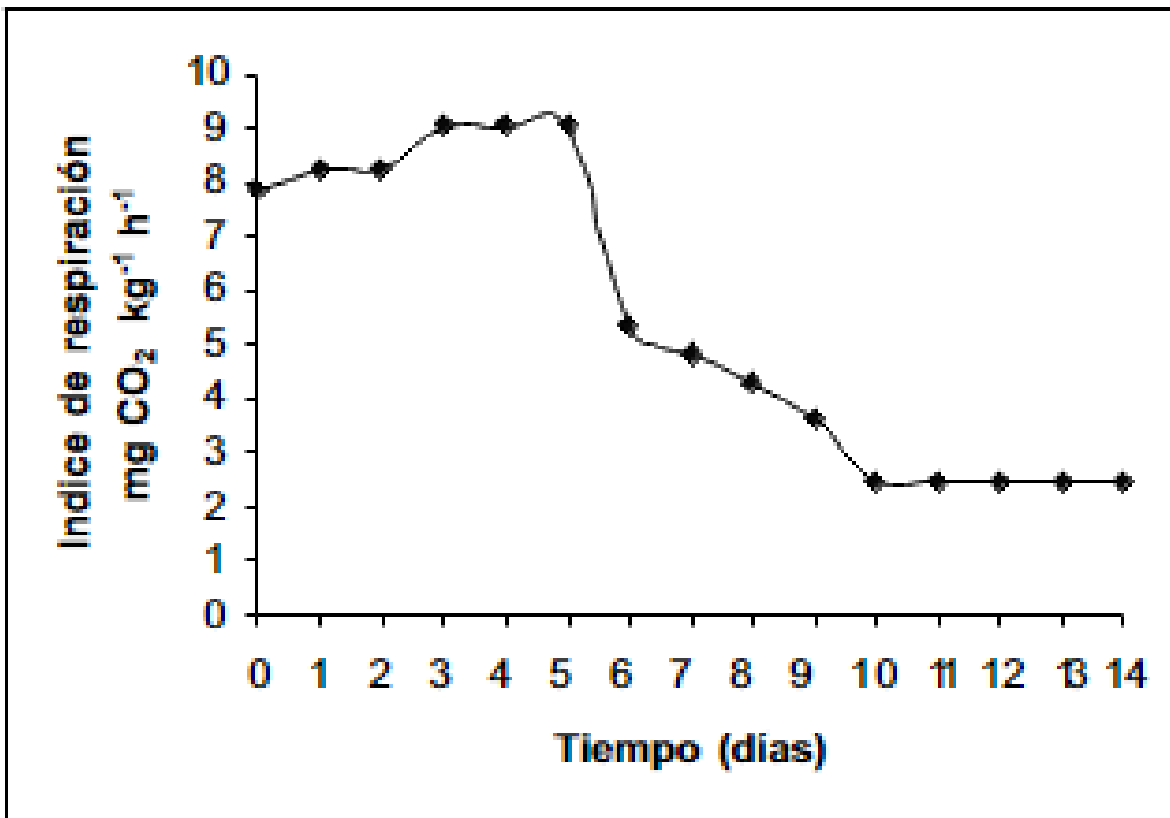


Figura 6. Evolución de la tasa respiratoria del tomate de árbol en términos de producción de CO₂ durante el período de maduración en postcosecha. Fuente: **Márquez, et al. (2007)**

Se observa que durante los primeros cinco días empiezan a desarrollarse algunas de sus características organolépticas con producción de CO₂ creciente. A partir del día 6 hasta el día 10 la producción de CO₂ es decreciente hasta un valor de producción constante, donde se considera que se logran las características fisicoquímicas y sensoriales ideales para el consumo. Después del día 10 se observa que el comportamiento del índice de respiración decrece de forma

asintótica, correspondiendo a los días de sobremaduración, donde los atributos de consumo empiezan a afectarse, tipificada por el arrugamiento de la epidermis, que se inicia en los sectores aledaños al pedúnculo.

4.1.2. Caracterización fisicoquímica de la fruta

La caracterización fisicoquímica de la fruta se realizó en tres estados de la fruta verde, pintón y maduro, de acuerdo a lo establecido en la Norma **NTE INEN 1909 (2009b)**.

En la Tabla 3 se puede apreciar que el peso de la fruta fue de 96,96 g en estado verde a 152,25 g en estado maduro, dependiendo de su longitud y diámetro.

Tabla 3. Caracterización fisicoquímica del tomate de árbol en diferentes estados de madurez.







| | | GRADOS DE MADUREZ | | |
|----------------------|-----------|---|--|---|
| | | VERDE | PINTÓN | MADURO |
| Parámetros | |  |  |  |
| Peso (g) | | 96,96 ± 16,92 | 105,74 ± 22,02 | 152,25 ± 18,82 |
| Longitud (cm) | | 6,80 ± 0,72 | 7,14 ± 0,46 | 8,54 ± 0,23 |
| Diámetro (cm) | | 5,37 ± 0,44 | 5,50 ± 0,34 | 6,26 ± 0,23 |
| Firmeza (N) | | 22,33 ± 4,85 | 17,17 ± 4,63 | 15,65 ± 4,15 |
| Color | L* | 41,14 ± 7,86 | 31,28 ± 8,24 | 20,55 ± 6,67 |
| | C* | 31,68 ± 7,71 | 49,58 ± 8,51 | 49,78 ± 6,75 |
| | h° | 90,86 ± 12,72 | 44,53 ± 8,92 | 36,66 ± 9,85 |

Tabla 4. Caracterización fisicoquímica del tomate de árbol en diferentes estados de madurez (continuación)

| Parámetros | GRADOS DE MADUREZ | | |
|-----------------------------|---|--|---|
| | VERDE | PINTÓN | MADURO |
| |  |  |  |
| pH | 3,48 ± 0,08 | 3,57 ± 0,11 | 3,59 ± 0,19 |
| SST (°Brix) | 6,89 ± 1,15 | 10,11 ± 1,40 | 11,07 ± 0,98 |
| AT (% ácido cítrico) | 1,23 ± 0,17 | 1,59 ± 0,07 | 1,88 ± 0,07 |
| IM (SST/AT) | 5,42 ± 1,07 | 6,54 ± 0,63 | 5,88 ± 0,40 |

Las características fisicoquímicas del tomate de árbol cambiaron de acuerdo a la evolución de la maduración. Se pudo observar una disminución de firmeza debido al proceso de maduración y una disminución del tono y luminosidad con un aumento de croma, variando desde un color verde claro a un rojo intenso en toda la superficie de la fruta (100 %).

El tomate de árbol presentó valores bajos de AT y pH, los cuales no mostraron diferencias significativas entre los tres estados. Se puede apreciar que los valores de AT y pH aumentan según fue madurando la fruta. Con respecto a los SST se pudo apreciar un leve aumento según avanzó el proceso de maduración.

4.1.3. Determinación de la tasa de respiración

- **Tasa respiratoria del consumo de oxígeno (TRO₂)**

En la Tabla 5 se puede observar el efecto de las atmósferas modificadas sobre la TRO₂, donde existieron diferencias significativas en las mezclas gaseosas G1, G2, G3 y G4 con respecto al aire. Para la mezcla gaseosa G1 se observó un efecto positivo, reduciendo el consumo de oxígeno en un 39 %. Para las mezclas G2, G3 y G4 se evidenció un efecto inverso, aumentando la respiración en un 92 %, 437 % y 767 % respectivamente. La mezcla gaseosa G5 presentó una leve reducción del 15 % que no fue significativa con respecto al aire.

Tabla 5. Efecto de las atmósferas modificadas en la tasa de respiración (consumo de oxígeno) promedio del tomate de árbol durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 4 °C. Unidades: mg kg⁻¹ h⁻¹

| RO ₂ | Aire | Gas | Dif. Absoluta | Dif. Relativa | Sig. 95 % |
|-----------------|-------|-------|---------------|---------------|------------|
| A1 vs G1 | 2,44 | 1,50 | -0,95 | -39 % | *** |
| A2 vs G2 | 1,30 | 2,51 | 1,20 | 92 % | *** |
| A3 vs G3 | 2,11 | 11,33 | 9,22 | 437 % | *** |
| A4 vs G4 | 1,27 | 10,98 | 9,72 | 767 % | *** |
| A5 vs G5 | 11,95 | 13,77 | 1,82 | 15 % | 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)

Los procesos de deterioro en las frutas están asociados con la actividad fisiológica y bioquímica propia de cada fruto y dan comienzo una vez que éste es separado de la planta. Las células vivas de las plantas que han sido cosechadas continúan con su actividad respiratoria, utilizando oxígeno (O₂) de la atmósfera alrededor del producto y liberando dióxido de carbono (CO₂). El proceso de respiración involucra una serie de reacciones de óxido-reducción donde una variedad de sustratos presentes en las células de la planta son oxidados hasta CO₂. Este proceso, contribuye en gran manera a las pérdidas en la postcosecha de frutas y vegetales. La respuesta respiratoria de los productos frescos en postcosecha depende de la temperatura de la atmósfera que rodea el producto almacenado, así como también

de la composición de los gases, principalmente de O₂, CO₂ y etileno (**Castellanos, 2012**).

La reducción de O₂ es generalmente deseable para ralentizar la respiración pero, cada fruta posee un umbral inferior que es necesario no traspasar para permitir unos niveles mínimos de respiración del producto para que éste no entre en condiciones anaeróbicas que puedan acelerar la senescencia y el desarrollo de microorganismos anaeróbicos (**Martínez, 2010**).

El control de la maduración y senescencia de los tejidos vegetales se consigue con la disminución del metabolismo respiratorio y la inhibición de la síntesis y acción del etileno. Así, las bajas concentraciones de O₂ y CO₂ pueden reducir la intensidad de la respiración y disminuir o incluso suprimir la producción de etileno, tal como se observa en la Tabla 5 (**Oms-Oliú, 2008**).

- **Tasa respiratoria del consumo de dióxido de carbono (TRCO₂)**

En la Tabla 6 se puede observar el efecto de las atmósferas modificadas sobre la TRCO₂, donde existieron diferencias significativas en todas las mezclas gaseosas con respecto al aire. Con la mezcla G1 se obtuvo un aumento en la producción de dióxido de carbono del 304 %. Las mezclas G2, G3, G4 y G5 redujeron la producción de dióxido de carbono en un 58 %, 74 %, 43 % y 50 % respectivamente, siendo las mezclas G2 y G3 las que presentaron una mayor reducción de dióxido de carbono con respecto al aire.

Tabla 6. Efecto de las atmósferas modificadas en la tasa de respiración (producción de dióxido de carbono) promedio del tomate de árbol durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 4 °C. Unidades: mg kg⁻¹ h⁻¹

| RCO ₂ | Aire | Gas | Dif. Absoluta | Dif. Relativa | Sig. 95 % |
|------------------|------|------|---------------|---------------|-----------|
| A1 vs G1 | 0,42 | 1,69 | 1,27 | 304 % | *** |
| A2 vs G2 | 1,70 | 0,72 | -0,98 | -58 % | *** |
| A3 vs G3 | 3,17 | 0,83 | -2,33 | -74 % | *** |
| A4 vs G4 | 1,99 | 1,13 | -0,85 | -43 % | *** |
| A5 vs G5 | 5,44 | 2,72 | -2,71 | -50 % | *** |

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 la respiración aeróbica se consume una molécula de oxígeno por cada molécula de dióxido de carbono producida. En ausencia de oxígeno, es decir, respiración anaeróbica, el dióxido de carbono se produce sin el consumo concurrente de cantidades iguales de oxígeno. En condiciones anaeróbicas, el flujo de sustrato a través de los pasos iniciales de la respiración (reacciones anaeróbicas de la glucólisis) se incrementa para compensar la pérdida de producción de energía. Las reacciones glicolíticas (fermentación con producción de dióxido de carbono y alcohol) extraen menos del 10 % de la energía extraída por la respiración aeróbica. Como resultado del aumento en el uso del sustrato, la producción de dióxido de carbono puede aumentar considerablemente (**Saltveit, 2003**).

Concentraciones elevadas de CO₂ parecen poder provocar efectos dispares, desde un aumento de las tasas respiratorias, una disminución o mantenerlas en niveles similares dependiendo de la temperatura, producto y variedad. Los niveles de CO₂ por encima de los límites de tolerancia tienden a hacer al material vegetal más sensible a las bajas concentraciones de O₂ al incrementar el umbral de fermentación; pueden también afectar a la respiración, cuando la concentración es elevada a un 20 %, dependiendo del material vegetal y del nivel de O₂ se puede inducir a la respiración anaerobia (**Angós, 2008**).

Por otro lado, el CO₂ es un inhibidor del desarrollo microbiano, cuyo modo de acción no está enteramente entendido hasta el momento. Sin embargo, se conoce que el efecto inhibitorio está directamente relacionado con la cantidad de CO₂ presente. La solubilidad del CO₂ es inversamente proporcional a la temperatura de conservación, de manera que las bajas temperaturas tienen un efecto sinérgico a su acción (**Martínez, 2010**).

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

- **Parámetros físicos**

- ✓ **Firmeza**

En la Tabla 7 se puede observar el efecto de las atmósferas modificadas sobre la firmeza de la fruta, donde no existieron diferencias significativas entre los tratamientos control y las mezclas gaseosas.

Tabla 7. Efecto de las atmósferas modificadas sobre la firmeza (N) promedio del tomate de árbol durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 4 °C.

| Firmeza | Aire | Gas | Dif. Absoluta | Dif. relativa | Sig. 95 % |
|----------|-------|-------|---------------|---------------|-----------|
| A1 vs G1 | 19,08 | 19,51 | 0,43 | 2 % | ns |
| A2 vs G2 | 19,04 | 17,83 | -1,20 | -6 % | ns |
| A3 vs G3 | 14,94 | 14,35 | -0,58 | -4 % | ns |
| A4 vs G4 | 17,48 | 15,82 | -1,66 | -9 % | ns |
| A5 vs G5 | 19,32 | 20,29 | 0,97 | 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)

Nonzoque et al. (1994), evaluaron la conservación de fresas (*Fragaria* sp.) en atmósferas modificadas. El tratamiento que mantuvo la firmeza de las frutas sin mostrar cambios durante su almacenamiento fue la mezcla gaseosa de 5 % de oxígeno, 19 % de dióxido de carbono y 76 % de nitrógeno en un empaque de polietileno con EVA. Este tratamiento evitó la degradación rápida de los polisacáridos y azúcares.

✓ Color

▪ Luminosidad

La Tabla 8 muestra el efecto de las atmósferas modificadas sobre la luminosidad, donde el color de las frutas expuestas a la mezcla gaseosa G3 reflejaron significativamente más la luz que las mezclas gaseosas G1, G2, G4 y G5 con respecto al control.

Tabla 8. Efecto de las atmósferas modificadas sobre la luminosidad (L*) promedio de la piel de tomate de árbol, durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 4 °C.

| Luminosidad | Aire | Gas | Dif. Absoluta | Dif. relativa | Sig. 95 % |
|-------------|-------|-------|---------------|---------------|-----------|
| A1 vs G1 | 18,58 | 19,79 | 1,21 | 7 % | ns |
| A2 vs G2 | 24,31 | 25,27 | 0,96 | 4 % | ns |
| A3 vs G3 | 15,60 | 17,81 | 2,21 | 14 % | *** |
| A4 vs G4 | 18,72 | 20,47 | 1,75 | 9 % | ns |
| A5 vs G5 | 14,05 | 13,93 | -0,12 | -1% | 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)

Un aumento del valor L* en tejidos fotosintéticos durante el almacenamiento se relaciona con una fruta que refleja más la luz debido al amarilleamiento del producto provocado por la degradación de la clorofila que ocurre en la senescencia. El incremento del valor L* se relaciona con un mayor nivel de tasa respiratoria de consumo de oxígeno que favorece el desarrollo de procesos oxidativos que aceleran la senescencia de la fruta (**Mónaco et al., 2005**).

▪ Croma

La Tabla 9, muestra el efecto de las atmósferas modificadas sobre el grado de saturación o croma (C*) en la superficie de la fruta. Se puede observar que las muestras almacenadas bajo las mezclas gaseosas G3 y G4 desarrollaron un croma significativamente mayor que las muestras almacenadas en la atmósfera control.

Tabla 9. Efecto de las atmósferas modificadas sobre el croma (C*) promedio del tomate de árbol durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 4 °C.

| Croma | Aire | Gas | Dif. Absoluta | Dif. Relativa | Sig. 95 % |
|----------|-------|-------|---------------|---------------|------------|
| A1 vs G1 | 49,49 | 50,23 | 0,75 | 2 % | ns |
| A2 vs G2 | 51,33 | 52,80 | 1,47 | 3 % | ns |
| A3 vs G3 | 48,67 | 50,89 | 2,23 | 5 % | *** |
| A4 vs G4 | 45,61 | 51,96 | 6,35 | 14 % | *** |
| A5 vs G5 | 45,11 | 46,71 | 1,60 | 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)

Un croma más alto indica un color más intenso y saturado en la fruta (**Uquiche y Cisneros, 2002**). Las frutas almacenadas en G3 y G4 presentaron un color más intenso con respecto a las frutas almacenadas en aire, lo cual es deseable, ya que se asocia con el aumento en la concentración de carotenoides y presencia de antocianinas; además de esto empieza la degradación de clorofila.

▪ Tono

En la Tabla 10 se muestra la tonalidad de la piel de los frutos sometidos a los tratamientos control frente a cada gas, donde se aprecia que las frutas de G4 presentaron tonalidades significativamente diferentes respecto a las frutas del tratamiento control. Las mezclas gaseosas G1, G2, G3 y G5 no presentaron diferencias significativas con respecto al aire.

Tabla 10. Efecto de las atmósferas modificadas sobre el *Hue* o tonalidad (h°) promedio del tomate de árbol durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 4 °C.

| Hue | Aire | Gas | Dif.absoluta | Dif. relativa | Sig. 95 % |
|----------|-------|-------|--------------|---------------|------------|
| A1 vs G1 | 34,65 | 35,94 | 1,29 | 4 % | ns |
| A2 vs G2 | 39,82 | 40,92 | 1,10 | 3 % | ns |
| A3 vs G3 | 32,00 | 33,85 | 1,85 | 6 % | ns |
| A4 vs G4 | 31,94 | 34,10 | 2,16 | 7 % | *** |
| A5 vs G5 | 30,52 | 29,57 | -0,95 | -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)

De acuerdo con el diagrama de color Lab, las frutas almacenadas en aire mostraron un ángulo *hue* de 31° indicador de un color rojo intenso en la superficie, mientras que las frutas almacenadas en la mezcla gaseosa 80/20 mostraron un ángulo *hue* de 34° lo que es indicativo de un color de tonalidad rojo - anaranjada. En el tomate de árbol un color rojo intenso es indicativo de madurez, es decir las frutas almacenadas en aire se acercaron más a la maduración, en cambio la maduración en las frutas almacenadas bajo la mezcla gaseosa se ralentizó, permitiendo alcanzar uno de los objetivos de la investigación (**Restrepo y Aristizábal, 2010**).

✓ Pérdida de peso

La Tabla 11 muestra el efecto de las atmósferas modificadas sobre la pérdida de peso (PP). Las frutas almacenadas bajo las mezclas gaseosas no presentaron diferencias significativas con respecto a las frutas almacenadas en aire. Además, los valores absolutos de pérdida de agua fueron muy reducidos, debido al tipo de almacenamiento que se empleó (haciendo uso de gas humidificado) por lo que dichas pérdidas no afectaron a la calidad visual del tomate de árbol. Diversos autores mencionan que el deterioro visual de la fruta es evidente a partir de pérdidas de agua del 2 %, lo cual corroboraría los resultados obtenidos.

Tabla 11. Efecto de las atmósferas modificadas sobre la pérdida de peso (%) promedio del tomate de árbol durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 4 °C.

| Pérdida peso | Aire | Gas | Dif. absoluta | Dif. relativa | Sig. 95 % |
|---------------------|-------------|------------|----------------------|----------------------|------------------|
| A1 vs G1 | 0,39 | 0,37 | -0,03 | 6 % | ns |
| A2 vs G2 | 0,21 | 0,19 | -0,02 | -10 % | ns |
| A3 vs G3 | 0,42 | 0,48 | -0,05 | 13 % | ns |
| A4 vs G4 | 0,53 | 0,51 | -0,02 | -4 % | ns |
| A5 vs G5 | 0,48 | 0,62 | -0,15 | 30 % | 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).

Las pérdidas de peso son atribuidas a la transpiración del vapor de agua y de los compuestos volátiles (**Márquez, et al., 2007**). Las pérdidas de peso en los productos agrícolas se deben al déficit de presión de vapor de agua entre la fruta y

el ambiente (humedad relativa), de forma que cuanto menor sea ésta en el medio de almacenamiento, mayor será la pérdida de peso en la fruta (**Lanchero, et al., 2007**).

- **Caracterización química**

- ✓ **Sólidos solubles totales (SST)**

La Tabla 12 muestra los efectos de las atmósferas modificadas sobre los SST, donde se puede observar que no existieron diferencias significativas entre las frutas almacenadas bajo las mezclas gaseosas con respecto a las frutas almacenadas en aire.

Tabla 12. Efecto de las atmósferas modificadas sobre los sólidos solubles totales (SST) promedio del tomate de árbol durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 4 °C.

| SST | Aire | Gas | Dif. absoluta | Dif. Relativa | Sig. 95 % |
|----------|-------|-------|---------------|---------------|-----------|
| A1 vs G1 | 10,15 | 10,21 | 0,06 | 1 % | ns |
| A2 vs G2 | 8,88 | 9,24 | 0,36 | 4 % | ns |
| A3 vs G3 | 10,81 | 10,81 | 0,00 | 0 % | ns |
| A4 vs G4 | 10,12 | 10,59 | 0,48 | 5 % | ns |
| A5 vs G5 | 10,44 | 10,51 | 0,07 | 1 % | 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)

En nuestro estudio no se pudieron apreciar diferencias significativas entre los tratamientos y los controles, pero en otros estudios como el de **Dayron, et al. (2006)** en mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth.), se ha podido evidenciar un aumento progresivo de sólidos solubles totales (SST) durante el tiempo de almacenamiento en atmósferas modificadas a temperatura de refrigeración. El aumento de los sólidos solubles totales (SST) puede atribuirse a la hidrólisis de los almidones y ácidos orgánicos, que se desdoblán en disacáridos y monosacáridos más simples como sacarosa, fructuosa y glucosa a medida que transcurre el tiempo de almacenamiento (**Capistrán et al., 2017**).

✓ Acidez Titulable (AT)

La Tabla 13 muestra los efectos de las atmósferas modificadas sobre la acidez titulable de las muestras, donde se puede observar que no existieron diferencias significativas en las frutas almacenadas bajo las mezclas gaseosas con respecto a las frutas almacenadas en aire.

Tabla 13. Efecto de las atmósferas modificadas sobre la acidez titulable. Contenido de ácido cítrico promedio (g/100 g peso fresco) del tomate de árbol durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 4 °C.

| AT | Aire | Gas | Dif. absoluta | Dif. Relativa | Sig. 95 % |
|----------|------|------|---------------|---------------|-----------|
| A1 vs G1 | 1,13 | 1,11 | -0,02 | -2 % | ns |
| A2 vs G2 | 1,55 | 1,52 | -0,03 | -2 % | ns |
| A3 vs G3 | 1,27 | 1,37 | 0,10 | 8 % | ns |
| A4 vs G4 | 1,55 | 1,39 | -0,16 | -11 % | ns |
| A5 vs G5 | 1,27 | 1,34 | 0,07 | 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)

Durante la maduración los ácidos orgánicos son empleados en los metabolismos respiratorios o convertidos en azúcares. Debido a ambos fenómenos, según avanza el proceso de maduración se produce una disminución del porcentaje de acidez de los frutos, esto representa una disminución en la cantidad de ácido cítrico, el cual es el ácido predominante en el tomate de árbol (**Contreras et al., 2011**). En el caso presente no se apreciaron diferencias, probablemente debido al corto periodo de tiempo que se tuvo la fruta almacenada.

✓ Potencial de hidrógeno (pH)

La Tabla 14 muestra los efectos de las atmósferas modificadas sobre el pH de la fruta, donde se puede observar que no existieron diferencias significativas en las muestras almacenadas bajo las mezclas gaseosas con respecto a las muestras almacenadas en aire.

Tabla 14. Efecto de las atmósferas modificadas sobre el pH promedio del tomate de árbol durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 4 °C.

| pH | Aire | Gas | Dif. Absoluta | Dif. Relativa | Sig. 95 % |
|----------|------|------|---------------|---------------|-----------|
| A1 vs G1 | 3,81 | 3,86 | 0,05 | 1 % | ns |
| A2 vs G2 | 3,53 | 3,60 | 0,07 | 2 % | ns |
| A3 vs G3 | 3,93 | 3,90 | -0,03 | -1 % | ns |
| A4 vs G4 | 3,87 | 3,92 | 0,05 | 1 % | ns |
| A5 vs G5 | 3,91 | 3,93 | 0,02 | 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)

El pH es la medida de la “acidez” o “alcalinidad” de la fruta. El pH en las frutas generalmente oscila entre 2,5 a 4,5. La pérdida de color verde es consecuencia de la degradación de la clorofila y esto a su vez se debe a varios procesos secuenciales donde el más relevante es el aumento de pH. En la Tabla 4 se puede apreciar que el pH aumenta según la fruta llega a la maduración con un valor de 3,59 ± 0,19. En el caso de la Tabla 14 se puede observar que no existieron diferencias significativas esto explica lo dicho anteriormente, ya que la fruta almacenada estuvo en su madurez organoléptica de consumo (**Salgado y Martínez, 2006**).

4.1.5. Aspectos fisiológicos en la calidad de la fruta

✓ Daño por frío

La Tabla 15 refleja el efecto de las atmósferas modificadas en los daños por frío de la fruta. Como se puede observar no existieron diferencias significativas en las muestras con mezclas gaseosas con respecto al aire, esto puede deberse a que en la investigación se trabajó a una temperatura de refrigeración de 4 °C, corroborando que resultó adecuada para evitar este efecto perjudicial en la fruta.

Tabla 15. Efecto de las atmósferas modificadas sobre el daño por frío promedio del tomate de árbol durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 4 °C. 1: fruta sin daño; 5: fruta con daño severo.

| Daño por frío | Aire | Gas | Dif. Absoluta | Dif. relativa | Sig. 95 % |
|----------------------|-------------|------------|----------------------|----------------------|------------------|
| A1 vs G1 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 0 % | ns |
| A2 vs G2 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 0 % | ns |
| A3 vs G3 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 0 % | ns |
| A4 vs G4 | 1,08 | 1,01 | -0,07 | -7 % | ns |
| A5 vs G5 | 1,03 | 1,00 | -0,03 | -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)

El daño por frío es un problema que debe ser tratado cuidadosamente, puesto que afecta sensiblemente la calidad del producto (**Castellanos, 2012**). El daño por frío es un daño fisiológico permanente e irreversible a los tejidos vegetales, órganos o células, el cual resulta al exponer a los productos sensibles a temperaturas inferiores a las críticas. La extensión de los daños por frío está definida tanto por la temperatura como por la duración de la exposición a la temperatura crítica (**Barreiro y Sandoval, 2006**). La temperatura óptima de almacenamiento para tomate de árbol es de 3,0 °C a 4,5 °C y una humedad relativa de 90 a 95 %. El almacenamiento a una temperatura por debajo de 3,0 °C podría provocar que los frutos sufran daños por frío (pardeamiento de la piel y presencia de pequeñas depresiones en la superficie del fruto) y a una temperatura mayor a 4,5 °C provocaría pérdidas por podredumbres y reducción de peso (**Portela, 1999; Prohens y Nuez, 2001**).

✓ **Maduración irregular**

La Tabla 16 muestra el efecto de las mezclas gaseosas en la maduración irregular de la fruta, permitiendo evidenciar la existencia de diferencias significativas en las frutas almacenadas bajo la mezcla gaseosa G3 con respecto a las frutas almacenadas en aire, donde las frutas expuestas a aquel gas tuvieron un daño muy leve del 25 % con respecto a las almacenadas en aire.

Tabla 16. Efecto de las atmósferas modificadas sobre la maduración irregular promedio del tomate de árbol durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 4 °C. 1: maduración totalmente regular; 5: maduración totalmente irregular.

| Maduración irregular | Aire | Gas | Dif. absoluta | Dif. Relativa | Sig. 95 % |
|----------------------|------|------|---------------|---------------|------------|
| A1 vs G1 | 3,60 | 3,48 | -0,13 | -4 % | ns |
| A2 vs G2 | 1,54 | 1,47 | -0,07 | -5 % | ns |
| A3 vs G3 | 1,73 | 2,16 | 0,43 | 25 % | *** |
| A4 vs G4 | 3,01 | 3,27 | 0,26 | 9 % | ns |
| A5 vs G5 | 2,86 | 2,93 | 0,06 | 2 % | 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)

Estudios basados en cultivares de mango de la Florida, determinaron que la gama óptima del nivel de oxígeno es de 3 a 5 % y el nivel de dióxido de carbono es de 5 a 10 % en atmósferas modificadas o controladas. La exposición de mangos verde-maduros durante varios días a niveles de oxígeno por debajo del 2 % o niveles de dióxido de carbono sobre el 10 % pueden inducir a decoloraciones en la piel, color grisáceo o palidez de la pulpa, maduración desigual, y desarrollo de malos sabores debido al metabolismo de fermentación (acumulación de acetaldehído y etanol) (**Slaughter, 2009**).

✓ Incidencia de patógenos

La Tabla 17 refleja el efecto de las atmósferas modificadas sobre la incidencia de antracnosis en la fruta. Como se puede observar, no existieron diferencias significativas en las muestras con mezclas gaseosas con respecto a las muestras almacenadas al aire.

Tabla 17. Efecto de las atmósferas modificadas sobre la incidencia de patógenos promedio del tomate de árbol durante 10 días de almacenamiento refrigerado a 4 °C. 1: fruta sin daño; 5: fruta con daño severo.

| Incidencia de patógenos | Aire | Gas | Dif. Absoluta | Dif. relativa | Sig. 95 % |
|-------------------------|------|------|---------------|---------------|-----------|
| A1 vs G1 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 0,0 % | ns |
| A2 vs G2 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 0,0 % | ns |
| A3 vs G3 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 0,0 % | ns |
| A4 vs G4 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 0,0 % | ns |
| A5 vs G5 | 1,00 | 1,00 | 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)

El inicio de la maduración en las frutas y la senescencia, hacen que sean más susceptibles a las infecciones de los patógenos (Velázquez, 2014). El uso de atmósferas modificadas tiene efecto directo o indirecto en los patógenos de postcosecha, en su incidencia y severidad. Estudios realizados demuestran que elevados niveles de CO₂ (10 a 15 %) inhiben significativamente el desarrollo de infección de botritis en frutillas, cerezas y otras frutas (Guarda, 2003).

El uso de atmósferas modificadas en el empaque o en el pallet durante el transporte o el almacenamiento, con un 15 a 20 % de dióxido de carbono y 5 a 10 % de oxígeno es muy ventajoso para los frutos de berries, ya que reduce el crecimiento de pudriciones, especialmente *Botrytis cinerea* (pudrición gris), disminuye la respiración y el ablandamiento de la fruta, manteniendo la calidad y extendiendo la vida postcosecha. Es importante asegurar que las concentraciones de oxígeno no sean menores al 2 % y de dióxido de carbono no sean superiores al 30 %, ya que estos niveles extremos de gases causan problemas en la fruta, incluyendo ablandamiento, sensibilidad a enfermedades y sabores desagradables (Yahia, 2016).

- **Parámetros microbiológicos**

- ✓ **Mohos y levaduras**

De acuerdo a los resultados obtenidos (Figura 7), se puede determinar que el crecimiento de mohos y levaduras en frutas sometidas a las atmósferas estudiadas no fue significativamente diferente en comparación con la fruta almacenada en aire, siendo que en todos superaron el límite de detección a 100 UFC/g el primer día de ensayo y fueron creciendo de forma similar conforme pasaron los días de ensayo.

Esta falta de efecto no se ha observado en otros productos hortícolas. Por ejemplo, el empleo de atmósferas modificadas en las fracciones de sandía retardó considerablemente el crecimiento de los microorganismos. Las cuentas totales de microorganismos encontradas fueron nulas hasta los 3 primeros días de almacenamiento, después de los cuales se detectó desarrollo microbiano, registrándose a los 21 días de vida de anaquel, cuentas de $2,5 \times 10^2$ UFC/g para bacterias, de 3×10^1 UFC/g para de hongos y de $2,6 \times 10^1$ UFC/g para levaduras **(Rojas et al., 2008)**.



Figura 7. Crecimiento de mohos y levaduras en tomate de árbol, 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 y levaduras según el literal 9.2.2 de la Norma INEN 1529-5 (INEN 2006). (2) Número estimado de mohos y levaduras según el literal 9.2.1 de la Norma INEN 1529-5 (INEN 2006).

✓ **Aerobios mesófilos**

En la Figura 8, se observa el crecimiento de aerobios mesófilos en tomate de árbol almacenado por diez días a 4 °C. En el apartado (A), se observa que el crecimiento microbiano en la mezcla gaseosa no fue significativamente mayor al control (aire) superando ambos el límite de detección. En el apartado (B) la fruta almacenada bajo la mezcla gaseosa 2,5/5 presentó un crecimiento microbiano similar, en comparación a la fruta control.

En el apartado (C) la mezcla gaseosa 80/10 controló el crecimiento de los aerobios mesófilos, reduciendo su crecimiento. 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 en el día 7 y 10. En el apartado (E) la mezcla gaseosa 90/10 controló el crecimiento de los aerobios mesófilos, manteniendo el crecimiento por debajo del límite de detección.

Estudios realizados en melón 'Piel de sapo' mínimamente procesado, han demostrado que atmósferas bajas en oxígeno 2,5 % y dióxido de carbono 7 % logran reducir los recuentos de aerobios mesófilos (3 log UFC/ g-1) por 14 días a 5 °C. La alta solubilidad del CO₂ genera fácilmente ácido carbónico, el que acidificaría el medio celular, inhibiendo el crecimiento microbiológico. Todos los recuentos microbiológicos se mantuvieron dentro de los límites fijados por la legislación chilena durante 11 días de almacenamiento (**González et al., 2013**).

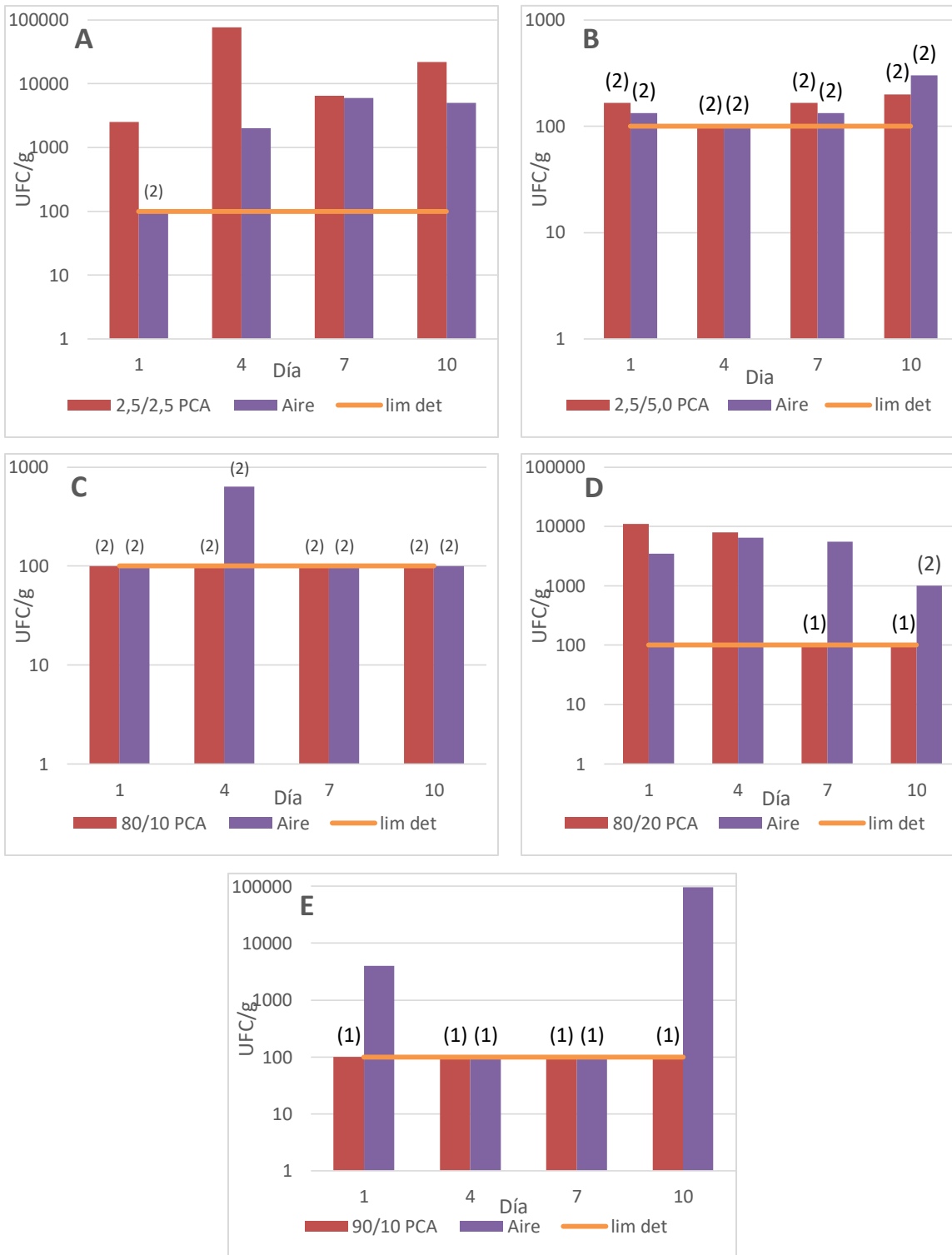


Figura 8. Crecimiento de aerobios mesófilos en tomate de árbol, almacenadas en cinco atmósferas modificadas: (A) 2,5 O₂/2,5 CO₂; (B) 2,5 O₂/5,0 CO₂; (C) 80 O₂/10 CO₂; (D) 80 O₂/20 CO₂; (E) 90 O₂/10 CO₂. (1) Número estimado de aerobios mesófilos según el literal 9.2.2 de la Norma INEN 1529-5 (INEN 2006).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

✓ **Bacterias ácido-lácticas**

En los resultados obtenidos (Figura 9), se observa el crecimiento de bacterias ácido lácticas en tomate de árbol almacenado por diez días a 4 °C, apreciándose que las cinco mezclas gaseosas (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, actuaron de forma eficaz para inhibir su crecimiento con respecto al aire.

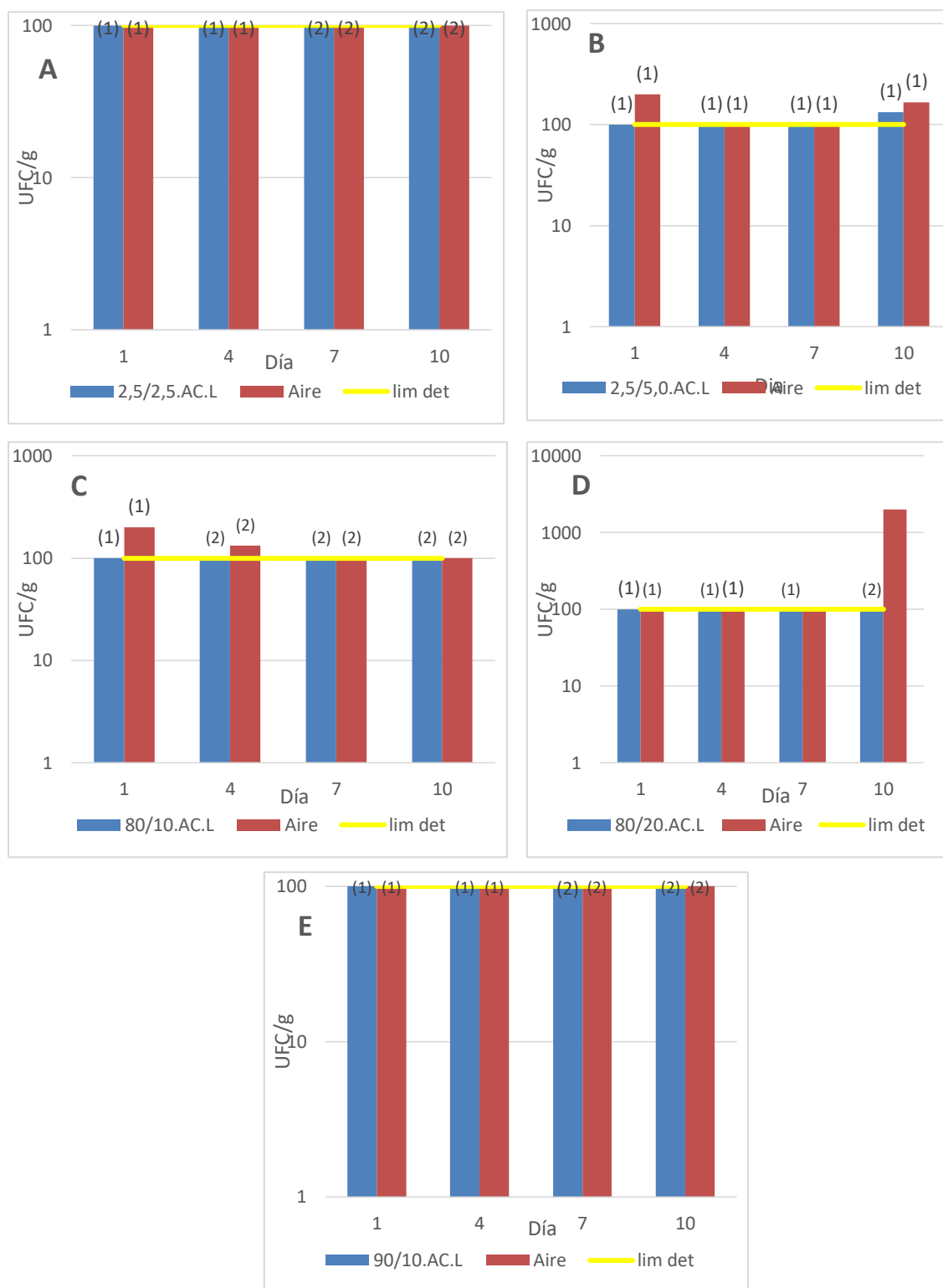


Figura 9. Crecimiento de bacterias ácido lácticas (BAL) en tomate de árbol, almacenadas en cinco atmósferas modificadas: (A) 2,5 O₂/2,5 CO₂; (B) 2,5 O₂/5,0 CO₂; (C) 80 O₂/10 CO₂; (D) 80 O₂/20 CO₂; (E) 90 O₂/10 CO₂. (1) Número estimado de bacterias ácido lácticas según el literal 9.2.2 de la Norma INEN 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).

4.1.6. Selección de la mejor atmósfera modificada para el tomate de árbol

Se resumieron los resultados de los análisis estadísticos de todas las variables estudiadas para determinar la atmósfera gaseosa idónea para el almacenamiento del tomate de árbol. Para ello se asignó un valor +1 a un resultado favorable a la atmósfera modificada frente a su control, 0 cuando se encontraron diferencias no significativas y un valor -1 a un resultado desfavorable a la atmósfera modificada frente a su control (Tabla 18).

Tabla 18. Resumen de las diferencias entre los tratamientos de almacenamiento bajo atmósfera modificada y atmósfera control, en relación a los parámetros respiratorios, físico-químicos, sensoriales y microbiológicos de tomate de árbol almacenado 10 días en refrigeración (4 °C).

| Tratam. | R _{O2} | R _{CO2} | Firm | L* | C* | h° | PP | pH | AT | SST | DF | IP | MI | BAL | Mes | MyL | TOT |
|-----------------|-----------------|------------------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|-----------|
| A1 vs G1 | +1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A2 vs G2 | -1 | +1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A3 vs G3 | -1 | +1 | 0 | -1 | +1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | 0 | -1 |
| A4 vs G4 | -1 | +1 | 0 | 0 | +1 | +1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| A5 vs G5 | 0 | +1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Firm: firmeza; L*: luminosidad; C*: saturación; h°: tonalidad; PP: pérdida de peso; pH: potencial de hidrógeno; AT: acidez titulable; SST: sólidos solubles totales; DF: daños por frío; IP: incidencia de patógenos; MI: maduración irregular; BAL: bacterias ácido lácticas; Mes: aerobios mesófilos; MyL: mohos y levaduras, +1: diferencia significativa a favor de MAP; 0: no hubo diferencias significativa entre MAP y AIRE (control); -1: diferencia significativa a favor del AIRE (control)

En la Tabla 18 se puede observar que la mezcla gaseosa 80/20 resultó ser la idónea para el almacenamiento de tomate de árbol a 4 °C, debido a que tuvo 3 parámetros positivos y 1 negativo y en el resto de parámetros no tuvo efecto.

4.2. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

- Se acepta la hipótesis alternativa en relación a la tasa respiratoria de consumo de oxígeno, debido a que existieron diferencias significativas entre el efecto de las mezclas gaseosas con respecto al control, con la excepción de la mezcla gaseosa 90/10, la misma que no presentó diferencias significativas frente al control, en este caso se acepta la hipótesis nula.

- Se acepta la hipótesis alternativa en relación a la tasa respiratoria de consumo de dióxido de carbono, debido a que existieron diferencias significativas en todas las mezclas gaseosas con respecto al control.
- Las propiedades fisicoquímicas firmeza, tono, pérdida de peso, pH, acidez titulable, sólidos solubles totales no presentaron diferencias significativas en relación al efecto de las mezclas gaseosas con respecto al control (aire), por tanto se acepta la hipótesis nula.
- La luminosidad y croma del tomate de árbol presentaron diferencias estadísticamente significativas en la mezcla gaseosa 80/10 con respecto al aire, en este caso se acepta la hipótesis alternativa. Las cuatro mezclas restantes no presentaron diferencias significativas, aceptándose la hipótesis nula.
- Las mezclas gaseosas no presentaron diferencias significativas con respecto al control (aire) en la aparición de daños por frío ni en la incidencia de patógenos, aceptándose la hipótesis nula. En el caso de la maduración irregular la mezcla gaseosa 80/10 presentó diferencias significativas con respecto al aire, aceptándose la hipótesis alternativa.
- La fruta sometida a las diferentes mezclas gaseosas estudiadas no presentó diferencias significativas en el crecimiento de bacterias ácido lácticas y aerobios mesófilos con respecto al control (aire), aceptándose la hipótesis nula. Para mohos y levaduras la mezcla gaseosa 90/10 presentó diferencias significativas con respecto al aire, en este caso se acepta la hipótesis alternativa; mientras que las demás mezclas gaseosas no presentaron diferencias significativas con respecto al aire, aceptándose la hipótesis nula.

CAPÍTULO V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- El empleo de la mezcla gaseosa 2,5/2,5 permitió reducir la intensidad respiratoria de consumo de oxígeno de la fruta en un 39 %, y el empleo de la mezcla gaseosa 80/10 permitió reducir la tasa respiratoria, consumo dióxido de carbono en un 74 % en comparación con las muestras almacenadas en aire.
- Ninguna de las mezclas gaseosas estudiadas influyó significativamente en las características fisicoquímicas (firmeza, pérdida de peso, acidez titulable, sólidos solubles y pH) del tomate de árbol almacenado en refrigeración a 4 °C.
- Los parámetros luminosidad y croma del tomate de árbol almacenado durante 10 días en refrigeración (4 °C) bajo la mezcla gaseosa 80/10 presentaron mejoras significativas con respecto a la atmósfera control (aire), mientras que en la mezcla gaseosa 80/20 presentaron mejoras significativas en croma y tonalidad.
- La calidad microbiológica de la fruta no presentó diferencias significativas entre los controles y los tratamientos gaseosos con respecto a la presencia de mohos y levaduras, bacterias ácido lácticas y aerobios mesófilos.

5.2. RECOMENDACIONES

- Para optimizar la vida útil del tomate de árbol, se recomienda emplear fruta en estado de madurez 5-6 (maduro), así como emplear la atmósfera compuesta por un 80 % de O₂ y un 20 % de CO₂.
- Se recomienda realizar un análisis de cata para determinar si existe un cambio de sabor durante el proceso de almacenamiento de la fruta.
- Se recomienda realizar estudios futuros empleando la atmósfera compuesta por un 80 % de O₂ y un 20 % de CO₂, con una temperatura de refrigeración menor a 3 °C y tiempo de almacenamiento mayor a dos semanas, para determinar la acción de la mezcla gaseosa en tomate de árbol.
- Se recomienda estudiar parámetros físico-químicos complementarios que permitan describir óptimamente la vida útil postcosecha de la fruta.

CAPITULO VI.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aglar, E., Ozturk, B., Guler, S. K., Karakaya, O., Uzun, S. y Saracoglu, O. (2017). Effect of modified atmosphere packaging and 'Parka'treatments on fruit quality characteristics of sweet cherry fruits (*Prunus avium* L.'0900 Ziraat') during cold storage and shelf life. *Scientia Horticulturae*, 222, 162-168.
- Alvarado, J. y Aguilera, J. (2001). *Métodos para medir propiedades físicas e industriales de alimentos*. España: Acibia.
- 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. 241
- Angós, I., Vírseda, 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>
- Angós, I. A., Fernández, T. y Vírseda, P. (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.
- 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.
- Ávila, E. (2015). Manual: Tomate de árbol: Cámara de Comercio de Bogotá.
- 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.
- Barreiro, J. y Sandoval, A. (2006). *Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas*: Equinoccio.
- Bolaños, V., Cruz, M. y Caicedo, C. (2008). Estudio de la producción, agroindustria, y consumo del Tomate de Árbol (*Solanum betaceum* Cav.) a nivel nacional e internacional (pp. 1 - 371): QUITO/UTE/2008.
- Capistrán, A., Aquino, E., Chávez, J., Velásquez, V., Vera, A., Viveros, R. y Verdalet, I. (2017). Cambios en los parámetros fisicoquímicos en tomate de árbol (*Solanum betaceum*) durante su almacenamiento poscosecha a 5 °C. *Avances de la Ciencia en México*, 1020-1027.

- Cartagena, J. y Ospina, S. (2008). La atmósfera modificada: una alternativa para la conservación de los alimentos. *Revista Lasallista de Investigación*, 5, 112 - 123.
- Castellanos, D. (2012). *Evaluation of the storage of baby banana (Musa acuminata AA) with modified atmosphere packaging*. Universidad Nacional de Colombia.
- Contreras, J. (2014). Características del Tomate de Árbol (*Cyphomandra betacea* Cav.). In B. Lisan (Ed.), *Documents pour le développement durable de l'Afrique à l'usage des ONG*. https://www.doc-developpement-durable.org/file/Arbres-Fruitiers/FICHES_ARBRES/Tamarillo_tomate_arbustive/Tamarillo%20-%20provar%20-%20principal.pdf.
- Contreras, J., Gamba, H. y Fischer, G. (2011). Características fisicoquímicas y organolépticas de frutos de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav) a dos temperaturas de almacenamiento y tipos de cera. *Revista Ciencia y Agricultura*, 5(2), 39-49.
- Contreras, K., Figueroa, J. y Márquez, C. (2016). Caracterización de mermeladas de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) elaboradas con edulcorantes no calóricos. *Agronomía Colombiana*, 34(1Supl), S990-S993.
- Cruz, L., Jacxsens, L., Siro, I., Devlieghere, F. y Devebere, J. (2008). Envasado de fresas en alta concentración de oxígeno con atmósfera modificada en equilibrio. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 18(3), 24-29. doi: <https://www.oceandocs.org/handle/1834/5015>
- Dayron, A., Fischer, G. y Flórez, R. (2006). Almacenamiento refrigerado de frutos de mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth.) en empaques con atmósfera modificada. *Agronomía Colombiana*, 24(2), 306-316. doi: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/download/20044/21168>
- Espin, S., Gonzalez, S., Taco, V., Poveda, C., Ayuda, B., Gonzalez, A. y Santos, C. (2016). Phenolic composition and antioxidant capacity of yellow and purple-red Ecuadorian cultivars of tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.). *Food chemistry*, 194, 1073-1080.
- Feicán, C., Encalada, C. y Becerril, A. (2016). Descripción agronómica del cultivo de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.). *Agroproductividad*, 9(8), 78 - 86.
- Fonseca, S. y Malcata, F. (2003). Application of controlled and modified atmospheres for the preservation of postharvest quality in fresh fruits and vegetables. *Food Agric. Environ*, 1, 82 - 87.

- Fonseca, S., Oliveira, F. y Brecht, J. (2002a). Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages. *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)
- Fonseca, S. C., Oliveira, F. A. R. y Brecht, J. K. (2002b). 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)
- García, M. (2008). Manual de manejo cosecha y poscosecha del tomate de árbol (pp. 1 - 99): Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - CORPOICA.
- González, M., Silveira, A., Char, C., Luchsinger, L. y Escalona, V. (2013). Ensaladas de frutas mínimamente procesadas compuestas por uva, manzana y nectarin almacenadas bajo atmósfera controlada. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 14(1).
- Gorny, J. R. (2003). A Summary of CA and MA Requirements and Recommendations for Fresh-Cut (Minimally Processed) Fruits and Vegetables. *Acta Horticulturae*, 600(2), 609-614.
- Guarda, N. (2003). *Optimización de la atmósfera modificada en kiwi variedad Hayward*. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Hashem, M. Y. y Ahmed, S. S. (2017). Modified atmospheres as an environmental friendly procedure to control the fennel wasp *Systole* sp.(Hymenoptera: Eurytomidae). *African Entomology*, 25(1), 183-192. doi: <http://dx.doi.org/10.4001/003.025.0183>
- INEN (2006). Control microbiológico de los alimentos *Determinación de la cantidad de microorganismos aerobios mesófilos*. Rep. (Vol. NTE INEN 1 529-5, pp. 11). Quito-Ecuador.
- INEN (2009a). Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1909. Frutas frescas. Tomate de árbol. Requisitos *Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización* (pp. 12). Quito (Ecuador).
- INEN (2009b). Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1909. Frutas frescas. Tomate de árbol. Requisitos *Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización*, 1 - 12.
- 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).
- Jaramillo, J., Rodríguez, V., Guzmán, M., Zapata, M. y Rengifo, M. (2007). Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en la producción de tomate bajo condiciones protegidas. *FAO*, 252-263.
- Kader, A. (2002). *Postharvest Technology of Horticultural Crops* (3rd Edition ed.): University of California at Davis. Division of Agriculture and Natural Resources.
- Kader, A. (2003). A perspective on postharvest horticulture (1978-2003). *HortScience*, 38(5), 1004-1008.
- Lanchero, O., Velandia, G., Fischer, G., Varela, N. y García, H. (2007). Comportamiento de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en poscosecha bajo condiciones de atmósfera modificada activa. *Corpoica. Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 8(1).
- León, F., Viteri, D. y Cevallos, A. (2004). Manual del cultivo de tomate de árbol. 61 8 - 10.
- Luna, F. (2016). *Boletín situación: tomate de árbol*. Retrieved from http://sipa.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/cultivo/2017/boletin_situacional_tomate_arbol_2016.pdf.
- 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.
- Márquez, C., Otero, M. y Cortés, M. (2007). Cambios fisiológicos, texturales, fisicoquímicos y microestructurales del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* S.) en poscosecha. *Vitae*, 14(2), 9-16.
- Martínez, J. (2010). Optimización del envasado en atmósfera modificada de la lechuga iceberg. 243.
- Meza, N. y Méndez, J. M. (2009). Características del fruto de tomate de árbol (*Cyphomandra betaceae* [Cav.] Sendtn) basadas en la coloración del arilo, en la Zona Andina Venezolana. *Revista Científica UDO Agrícola*, 9(2), 289-294.

- Mónaco, E., Chiesa, Á., Trincheró, G. y Fráschina, A. (2005). Selección de Películas Poliméricas para su empleo con lechuga en Atmosfera Modificada. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 34(1).
- Nonzoque, D. M., Sastoque, M. d. P., Castaño, J. J. y Posada, E. (1994). Conservación de fresa (*Fragaria* sp.) (Variedad Chandler. Categoría Extra) en atmósferas modificadas. *Alimentos Hoy*, 7(7), 8-11. doi: <http://www.alimentoshoy.acta.org.co/index.php/hoy/article/view/177/171>
- Oliveira, A., Alexandre, E., Coelho, M., Gomes, M. H., Almeida, D. y Pintado, M. (2015). Effect of modified atmosphere on polyphenols during storage of pasteurised strawberry purées. *LWT-Food Science and Technology*, 60(1), 377-384. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2014.09.038>
- Oms-Oliú, G. (2008). *Alternativas de envasado de pera y melón frescos cortados en atmósfera modificada*. Tesis doctoral, Universitat de Lleida, Lérida (España).
- Osorio, C., Hurtado, N., Dawid, C., Hofmann, T., Heredia-Mira, F. J. y Morales, A. L. (2012). Chemical characterisation of anthocyanins in tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.) and Andes berry (*Rubus glaucus* Benth.) fruits. *Food chemistry*, 132(4), 1915-1921.
- Pedrosa, A. (2016). *Genetic variability analysis of Tamarillo (Solanum betaceum (Cav.)) and optimization of micropropagation conditions*. University of Coimbra.
- 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>
- Portela, S. (1999). Fisiología y manejo de postcosecha del tamarillo (*Cyphomandra betacea*). *Avances en Horticultura*, 4(1), 33-43.
- PROECUADOR. (2012). Análisis sectorial de frutas no tradicionales. *Quito - Ecuador: MLFC*, 1 - 24.
- Prohens, J. y Nuez, F. (2001). The Tamarillo (*Cyphomandra betacea*) A Review of a Promising Small Fruit Crop. *Small Fruits Review*, 1(2), 43-68.
- 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), 151-171.
- Restrepo, J. y Aristizábal, I. (2010). Conservation of strawberry (*Fragaria X ananassa* Duch cv. Camarosa) by edible coating application of sabila gel mucilage (*Aloe barbadensis* miller) and carnauba wax. *Vitae*, 17(3), 252-263.
- Revelo, J., Pérez, E. y Maila, M. (2011). El cultivo de tomate de árbol. *Agroproductividad*, 1-93.
- Rojas, M., Vargas, L. y Tamayo, J. (2008). Sandía mínimamente procesada conservada en atmósferas modificadas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 9(2).
- Salgado, T. y Martínez, R. (2006). Relación entre la intensidad respiratoria y las propiedades fisicoquímicas del banano (*Musa sapientum* L) var. criollo, tomate de árbol (*Solanum betaceum*) var. morada y mango (*Mangifera*). 234.
- Saltveit, M. (2003). Measuring respiration. *University of California*, 5.
- Sandoval, C. A. y Calispa, A. (2015). Guía de Buenas prácticas agrícolas para tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) *Inocuidad de Alimentos* (pp. 83). Quito (Ecuador): Agrocalidad.
- Slaughter, D. (2009). Métodos para el manejo de la maduración en mango: Una revisión bibliográfica. 12.
- Tabares, J. (2003). Estudio de la vida de anaquel del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) osmodeshidratado empacado en atmósferas modificadas.
- Tamayo, P. (2001). *Principales enfermedades del tomate de árbol, la mora y el lulo en Colombia*: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-CORPOICA.
- Thompson, A. K. (2010). *Controlled atmosphere storage of fruits and vegetables*: CABI.
- Uquiche, E. y Cisneros, L. (2002). Efecto del escaldado y recubrimiento higroscópico sobre la calidad de zanahorias (*Daucus carota* var. Chantenay) pre-cortadas durante el almacenamiento. *Archivos latinoamericanos de Nutrición*, 52(2), 187-192.
- Valenzuela, J. y Meneses, S. (2008). La atmósfera modificada: una alternativa para la conservación de los alimentos. *Revista Lasallista de Investigación*.

- Velázquez, C. (2014). Evaluación de una cera de candelilla y carnauba en la postcosecha de calabacita zucchini (*Cucurbita pepo* L.).
- Yahia, E. (2016). Manejo y Tecnología Postcosecha de Berries. *Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura*, 5.
- Yommi, A., López, A., Godoy, C. y Horvitz, S. (2004). Effects of maturity stage and use of modified atmospheres on quality of sweet cherries cv. sweetheart. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias.*, 36(2), 39-48.

ANEXOS

FOTOGRAFÍAS

COSECHA Y POSTCOSECHA DE LA FRUTA

| | |
|---|--|
|  <p>Muestreo de árboles</p> |  <p>Enumeración de los árboles</p> |
|  <p>Fruta en cajas de cartón</p> |  <p>Enumeración de la fruta</p> |

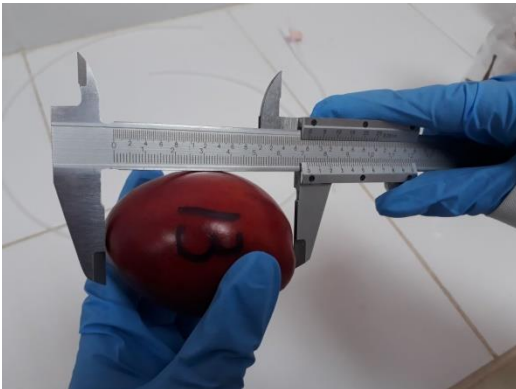
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS



Pesado de la muestra



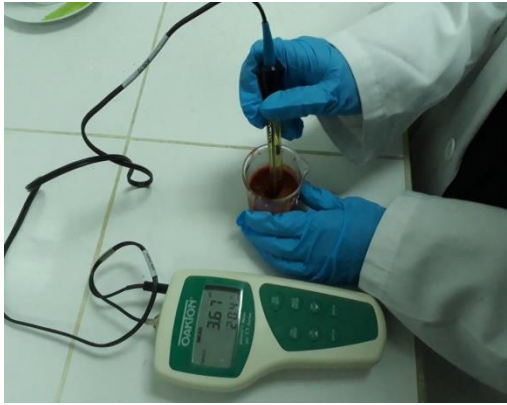
Medición de color



Medidas del calibre de la fruta



Medición de textura



Medición de pH



Medición de SST



Medición acidez titulable

MICROBIOLOGÍA



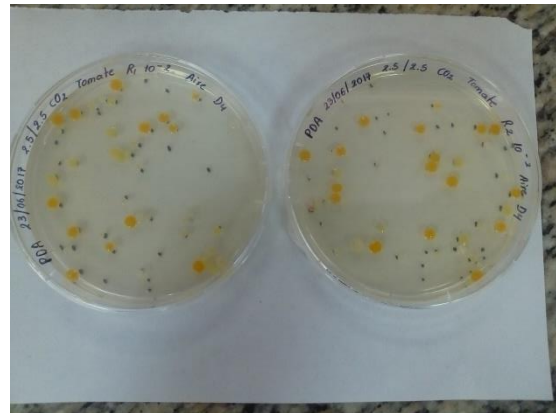
Esterilización



Siembra microbiológica



Inyección de CO_2 para generar anaerobiosis (análisis bacterias ácido lácticas)



Conteo de microorganismos

ANÁLISIS DE GASES



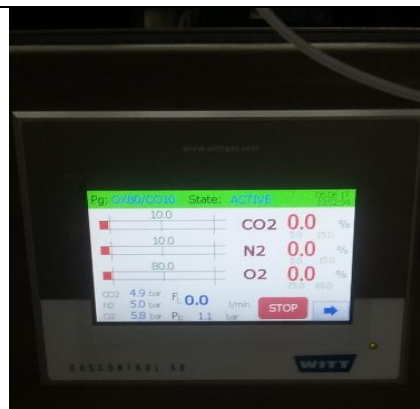
Bombonas de suministro de gas y calibración



Mezclador y analizador de gases



Analizador de gas



Mezclador de gases



Línea de gas y aire



Línea completa



Controlador para mantener la temperatura constante



Controlador digital de verificación adicional de temperatura



Tasa de respiración en condiciones normales



Acondicionamiento de la fruta en refrigeración