

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS**  
**ALIMENTARIAS**



**EFFECTO DEL TIEMPO DE EXPOSICIÓN AL OZONO GASEOSO Y  
TIEMPO DE ALMACENAMIENTO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS  
FISICOQUÍMICAS, MICROBIOLÓGICAS Y ACEPTABILIDAD  
GENERAL EN FRESAS (*Fragaria vesca L.*)**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**DIEGO MARTÍN VITE CHÁVEZ**

**TRUJILLO, PERÚ**

**2015**

La presente tesis ha sido revisada y aprobada por el siguiente Jurado:

---

Dr. Carlos Eduardo Lescano Anadón  
PRESIDENTE

---

Ms. Gabriela del Carmen Barraza Jáuregui  
SECRETARIO

---

Ms. Ana Cecilia Ferradas Horna  
VOCAL

---

Ms. Carla Consuelo Pretell Vásquez.  
ASESOR

## DEDICATORIA

*Dedico esta tesis a Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada paso de mi vida, por cuidarme y darme sabiduría siempre.*

*A mis padres José y Lucía, por ser mi mayor amor y motivo, a ellos les doy mis gracias infinitas por su apoyo y confianza en todo lo necesario para cumplir mis objetivos como persona y estudiante.*

*A mis hermanos Ricardo y Carol por ayudarme, acompañarme, motivarme y ser un ejemplo a diario para mí.*

*A mi sobrino José Bruno, para quien espero ser un ejemplo y motivación.*

## **AGRADECIMIENTO**

Primero dar gracias a Dios, por ser mi guía, darme fuerza e iluminar mi mente, por darme la oportunidad de conocer a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante mi etapa universitaria.

A mi madre por su apoyo y motivación constante; por ayudarme, cuidarme y comprenderme siempre, por darme su amor y cariño a diario, y más que nada por todo su esfuerzo y dedicación en todo este tiempo.

Mi más sincero agradecimiento a quienes con su ayuda han colaborado en la realización del presente trabajo, en especial a la Ing. Carla Pretell Vásquez, por darme la oportunidad de trabajar a su lado, por la orientación, el seguimiento y la supervisión continua, pero sobre todo por la motivación, exigencia y el apoyo recibido a lo largo de estos años.

A los miembros del jurado por sus valiosas sugerencias para la mejora de este trabajo: Dr. Carlos Eduardo Lescano Anadón, Ms. Gabriela Barraza Jáuregui y Ms. Ana Cecilia Ferradas Horna.

Al Ing. Jesús Obregón Domínguez, por su amistad y apoyo en estos años de estudio y por haber contribuido con la parte estadística del presente trabajo.

A mis amigos, quienes con su ayuda, motivación y consejos pudieron contribuir a la realización de la parte experimental de este trabajo

Un agradecimiento muy especial merece la comprensión, paciencia y el ánimo recibido de mi familia y amigos.

## ÍNDICE GENERAL

Carátula .....	i
Aprobación por el Jurado de Tesis .....	ii
Dedicatoria .....	iii
Agradecimiento .....	iv
Índice general .....	v
Índice de Cuadros .....	viii
Índice de Figuras .....	x
Índice de Anexos .....	xi
Resumen .....	xii
Abstract .....	xiii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA .....	6
2.1. Fresa .....	6
2.1.1. Generalidades .....	6
2.1.2. Fresa en el Perú .....	7
2.1.2.1. Variedades cultivadas en el Perú .....	9
2.1.2.2. Zonas productoras .....	11
2.1.2.3. Clasificación y calidad .....	11
2.1.2.4. Comercialización e industrialización .....	12
2.1.3. Composición de la fresa .....	12
2.1.4. Conservación .....	13
2.1.5. Maduración e índices de cosecha .....	14
2.2. Fenoles totales .....	15
2.2.1. Antocianinas .....	20
2.3. Ozono .....	21
2.3.1. Definición .....	21

2.3.2. Acción del ozono .....	22
2.3.3. Métodos de producción de ozono.....	26
2.3.4. Ventajas del uso de ozono.....	27
2.4. Almacenamiento refrigerado.....	29
2.4.1. Factores de la refrigeración .....	30
2.4.1.1. Respiración.....	30
2.4.1.2. Transpiración .....	31
2.4.1.3. Producción de etileno .....	31
2.5. Poliestireno.....	31
2.6. Policloruro de vinilo (PVC).....	32
2.7. Parámetros de calidad a evaluar .....	33
2.7.1. Pérdida de peso.....	33
2.7.2. Firmeza.....	33
2.7.3. Color .....	33
2.7.4. Contenido de antocianinas .....	34
2.7.5. Crecimiento de mohos y levaduras.....	34
2.7.6. Aceptabilidad general .....	34
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	37
3.1. Lugar de ejecución .....	37
3.2. Material de estudio y materiales .....	37
3.3. Equipos e instrumentos de laboratorio .....	37
3.4. Métodos.....	38
3.4.1. Esquema experimental .....	38
3.4.2. Diagrama de flujo del proceso experimental.....	40
3.5. Métodos de análisis .....	41
3.5.1. Pérdida de peso.....	41
3.5.2. Firmeza.....	42
3.5.3. Color .....	42
3.5.4. Determinación del contenido de antocianinas totales.....	43
3.5.5. Recuento de mohos y levaduras .....	44

3.5.6. Aceptabilidad general .....	44
3.6. Método estadístico.....	46
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
4.1. Efecto del tiempo de exposición al ozono gaseoso y tiempo de almacenamiento sobre la pérdida de peso.....	47
4.2. Efecto del tiempo de exposición al ozono gaseoso y tiempo de almacenamiento sobre la firmeza.....	53
4.3. Efecto del tiempo de exposición al ozono gaseoso y tiempo de almacenamiento sobre el color.....	59
4.4. Efecto del tiempo de exposición al ozono gaseoso y tiempo de almacenamiento sobre el contenido de antocianinas.....	72
4.5. Efecto del tiempo de exposición al ozono gaseoso y tiempo de almacenamiento sobre el recuento de mohos y levaduras .....	78
4.6. Efecto del tiempo de exposición al ozono gaseoso y tiempo de almacenamiento sobre la aceptabilidad general .....	83
V. CONCLUSIONES.....	88
VI. RECOMENDACIONES .....	89
VII. BIBLIOGRAFÍA .....	90
VIII. ANEXOS .....	100

## ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Clasificación taxonómica de la fresa .....	7
Cuadro 2. Composición proximal de la fresa .....	13
Cuadro 3. Contenido de vitamina C de la fresa .....	13
Cuadro 4. Prueba de Levene modificada para la pérdida de peso en fresas expuestas al ozono gaseoso.....	50
Cuadro 5. Análisis de varianza de la pérdida de peso en fresas expuestas al ozono gaseoso .....	51
Cuadro 6. Prueba de Duncan para la pérdida de peso en fresas expuestas al ozono gaseoso .....	52
Cuadro 7. Prueba de Levene modificada para firmeza en fresas expuestas al ozono gaseoso .....	56
Cuadro 8. Análisis de varianza de la firmeza en fresas expuestas al ozono gaseoso .....	57
Cuadro 9. Prueba de Duncan para la firmeza en fresas expuestas al ozono gaseoso .....	58
Cuadro 10. Prueba de Levene modificada para L* en fresas expuestas al ozono gaseoso.....	62
Cuadro 11. Análisis de varianza de L* en fresas expuestas al ozono gaseoso .....	62
Cuadro 12. Prueba de Duncan para la L* en fresas expuestas al ozono gaseoso .....	64
Cuadro 13. Prueba de Levene modificada para a* en fresas expuestas al ozono gaseoso .....	67
Cuadro 14. Análisis de varianza de a* en fresas expuestas al ozono gaseoso .....	67
Cuadro 15. Prueba de Duncan para la a* en fresas expuestas al ozono gaseoso .....	68



Cuadro 16. Prueba de Levene modificada para $b^*$ en fresas expuestas al ozono gaseoso.....	70
Cuadro 17. Análisis de varianza de $b^*$ en fresas expuestas al ozono gaseoso .....	71
Cuadro 18. Prueba de Duncan para la $b^*$ en fresas expuestas al ozono gaseoso .....	72
Cuadro 19. Prueba de Levene modificada para el contenido de antocianinas en fresas expuestas al ozono gaseoso.....	75
Cuadro 20. Análisis de varianza para el contenido de antocianinas en fresas expuestas al ozono gaseoso.....	76
Cuadro 21. Prueba de Duncan para el contenido de antocianinas en fresas expuestas al ozono gaseoso.....	77
Cuadro 22. Prueba de Levene modificada para el recuento de mohos y levaduras en fresas expuestas al ozono gaseoso .....	80
Cuadro 23. Análisis de varianza para el recuento de mohos y levaduras en fresas expuestas al ozono gaseoso.....	81
Cuadro 24. Prueba de Duncan para el recuento de mohos y levaduras en fresas expuestas al ozono gaseoso.....	82
Cuadro 25. Prueba de Friedman para la aceptabilidad general en fresas expuestas al ozono gaseoso .....	86
Cuadro 26. Prueba de Wilcoxon para la aceptabilidad general en fresas expuestas al ozono gaseoso .....	87

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Esquema experimental de fresas sometidas a tratamiento con ozono gaseoso.....	39
Figura 2. Diagrama de flujo para la obtención de fresas envasadas en atmósfera ozonificada.....	40
Figura 3. Ficha de evaluación de aceptabilidad general en fresas expuestas al ozono gaseoso .....	45
Figura 4. Pérdida de peso (%) en fresas expuestas al ozono gaseoso ....	47
Figura 5. Valores de firmeza en fresas expuestas al ozono gaseoso.....	53
Figura 6. Valores de Luminosidad (L*) en fresas expuestas al ozono gaseoso .....	59
Figura 7. Valores de a* en fresas expuestas al ozono gaseoso .....	65
Figura 8. Valores de b* en fresas expuestas al ozono gaseoso .....	69
Figura 9. Contenido de antocianinas en fresas expuestas al ozono gaseoso .....	73
Figura 10. Recuento de mohos y levaduras en fresas expuestas al ozono gaseoso .....	78
Figura 11. Aceptabilidad general en fresas expuestas al ozono gaseoso .....	83

## ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Pérdida de peso en fresas expuestas al ozono gaseoso durante el almacenamiento.....	100
Anexo B. Evaluación de la firmeza en fresas expuestas al ozono gaseoso durante el almacenamiento .....	101
Anexo C. Valores de Luminosidad ( $L^*$ ) en fresas expuestas al ozono gaseoso durante el almacenamiento .....	102
Anexo D. Valores de $a^*$ en fresas expuestas al ozono gaseoso durante el almacenamiento.....	103
Anexo E. Valores de $b^*$ en fresas expuestas al ozono gaseoso durante el almacenamiento.....	104
Anexo F. Contenido de antocianinas en fresas expuestas al ozono gaseoso durante el almacenamiento .....	105
Anexo G. Recuento de mohos y levaduras en fresas expuestas al ozono gaseoso.....	106
Anexo H. Resultados de la evaluación sensorial en fresas expuestas al ozono gaseoso durante el almacenamiento.....	107
Anexo I. Diagrama de flujo para la obtención de fresas con exposición al ozono gaseoso.....	111

## RESUMEN

Se evaluó el efecto del ozono gaseoso y tiempo de almacenamiento sobre la pérdida de peso, firmeza, color, contenido de antocianinas, recuento de mohos y levaduras, y aceptabilidad general en fresas. Los frutos fueron seleccionados, clasificados, pesados y colocados en bandejas, pasaron a la cámara para exponerlas al ozono gaseoso durante 5 y 10 minutos, luego fueron almacenadas a 4°C por 4, 8 y 12 días, para ser evaluadas. Las pruebas estadísticas para las variables paramétricas y no paramétricas se realizaron con un nivel de confianza del 95%. La prueba de Levene modificada demostró homogeneidad de varianzas. El análisis de varianza indicó un efecto significativo del tiempo de exposición y tiempo de almacenamiento sobre la pérdida de peso, contenido de antocianinas, recuento e mohos y levaduras, y aceptabilidad general en fresas, además el tiempo de almacenamiento presentó un efecto significativo sobre la firmeza y color. La prueba de Duncan determinó que el tiempo de exposición de 10 minutos presentó la menor pérdida de peso (1.95%) y recuento de mohos y levaduras (19054 ufc/g); así como, la mayor firmeza (1.64 N), L\*(23.73), a\*(18.52) y b\*(3.79) y contenido de antocianinas totales (66.43 mg/100g) al final del almacenamiento.

## ABSTRACT

The effect of gaseous ozone and storage time on weight loss, firmness, color, anthocyanins, yeast and mold count, and overall acceptability on strawberries was evaluated. The fruits were selected, sorted, weighted and placed in trays, they were located in the chamber to expose the gaseous ozone for 5 to 10 minutes, then they were stored at 4 °C for 4, 8 and 12 days for evaluation. Parametric and nonparametric variables were performed with a confidence level of 95%. The modified Levene test showed variances homogeneity. Analysis of variance indicated a significant effect of exposure time and storage time on weight loss, anthocyanin content, and yeast and mold count, and overall acceptability in strawberries, longer storage time had a significant effect on firmness and color. Duncan test determined that the exposure time 10 minutes had the lowest weight loss (1.95 %) and yeast and mold (19054 cfu/g); as well as the strongest (1.64 N), color L\* (23.73), a\* (18.52) and b\* (3.79) and total anthocyanins (66.43 mg/100g) at the end of storage.

## I. INTRODUCCIÓN

La falta de manejo postcosecha en el Perú, es uno de los grandes problemas en la conservación de frutas y hortalizas frescas, el principal obstáculo es de orden tecnológico, educativo y económico para el financiamiento de la enseñanza y/o capacitación que se puede brindar a los agricultores. La aplicación de nuevas tecnologías en el ámbito de la conservación de alimentos pretende dar respuesta al incremento de la demanda, por parte de los consumidores de alimentos con aromas más parecidos a los frescos o naturales, más nutritivos y fáciles de manipular. Las tecnologías más estudiadas en la actualidad se basan en el empleo de sistemas de destrucción o inactivación bacteriana sin necesidad de emplear un tratamiento térmico intenso, como la Alta Presión Hidrostática (HHP, son sus siglas inglesas) y el Campo Eléctrico Pulsado (PEF), así como todos aquellos sistemas de envasado y modificación de la atmósfera gaseosa y otras (Devlieghere y otros, 2009).

Las frutas son alimentos frágiles al momento de almacenarlas, debido a que contienen un alto porcentaje de agua, 90% aproximadamente, que permiten aumentar la humedad relativa del ambiente de almacenamiento, generando las condiciones óptimas para el desarrollo de microorganismos, como consecuencia se generan malos olores y se deteriora la apariencia del producto, esto último hace necesario la desinfección posterior de todo el ambiente de almacenamiento para evitar que las bacterias y hongos se transmitan a la partida siguiente; esto ocasiona grandes pérdidas económicas en la industria de frutas y hortalizas para evitarlas o disminuirlas es recomendable la aplicación de métodos de conservación, como la aplicación de ozono gaseoso, desde el transporte, así como la desinfección de los cestos o cajones contenedores al momento de la

recolección, logrando así que lleguen a las cámaras en buenas condiciones. Añadir ozono gaseoso en la atmósfera donde se almacenan las frutas y hortalizas retrasa hasta un 30% su alteración, ya que esta gama de alimentos es una de las más perecederas del mercado y en algunos casos, incluso se tienen que desechar antes de su comercialización por su rápido deterioro, por eso la aplicación del ozono gaseoso se ve como una buena opción. Este gas tiene la capacidad de eliminar de forma rápida los diversos metabolitos volátiles, como son los aldehídos o el etileno que desprenden los vegetales y que son los responsables de acelerar su proceso de maduración. El ozono no solo los conserva, sino que mantiene sus características físicas, sus propiedades organolépticas y calidad durante más tiempo además no deja residuos detectables en el producto tratado, se descompone rápidamente en oxígeno y es amigable con el ambiente, se le caracteriza por ser un poderoso agente antimicrobiano, efectivo contra patógenos para el ser humano, además de reducir la incidencia y la severidad del deterioro causado por diferentes microorganismos, pudiendo ser usado incluso en la eliminación de pesticidas (Beltrán, 2010; Parzanese, 2001; Gimferrer, 2011).

La fresa es uno de los frutos altamente apreciados en el mundo por su belleza, sabor y valor alimenticio ya que es rico en vitamina C (55 mg/100g); es una fruta con propiedades diuréticas y antirreumáticas, es un fruto consumido desde la antigüedad, ayuda a disminuir el nivel de colesterol en la sangre y tiene propiedades anticancerígenas, es rica en contenido de vitaminas y sales minerales, además de contener vitaminas A, B1 y B2, las fresas son notables por sus ácidos orgánicos (ácido cítrico en particular) los cuales, quemándose en el organismo, liberan bases que confieren a esta fruta un interesante poder alcalinizante, aunque algo ácida (pH 3.4); un kilogramo de fresa

produce en el organismo tanta alcalinidad como 9 g de bicarbonato sódico. Asimismo, proporcionan también calcio, fósforo y hierro; la relación calcio/fósforo (1/3) es muy interesante y se aproxima a la relación propia del organismo humano. Las fresas contienen también potasio, magnesio, sodio, cobre y otros importantes oligo-elementos (MINAG, 2009).

La fresa representa a uno de los berries de mayor difusión y consumo en los mercados internacionales. Se debe señalar que desde el 2004 los montos exportadores de esa fruta han sido ascendentes. La asociación de exportadores del Perú (ADEX) ha llamado la atención acerca del potencial existente para la exportación de berries en sus presentaciones de fresco, congelado así como en diversas presentaciones tales como: jugos, purés, mermeladas, concentrados en conserva, helados, yogurt teniendo también la oportunidad de utilizarse en la industria de colorantes y esencias (ADEX, 2009).

El ozono, además de tener una excelente eficacia en la conservación de los alimentos y sus propiedades nutricionales. Es muy eficaz como desinfectante y conservante para productos como la carne, el pescado, el marisco, las frutas, las hortalizas, los quesos o los huevos, entre otros, su descomposición produce radicales libres, principalmente hidroxilo, y sus efectos están asociados con la inactivación de las enzimas, la alteración de ácidos nucleicos y la peroxidación lipídica a nivel de las membranas microbianas. Este tratamiento podría ser la mejor alternativa para la conservación de alimentos, además es inocuo y posible en una amplia gama de productos (Pérez, 2012).

El almacenamiento a bajas temperaturas durante la distribución y venta al por menor es una etapa necesaria y exigible en las frutas y



hortalizas mínimamente procesadas. Esto se basa en la idea de que las temperaturas de refrigeración ralentizan el crecimiento de la mayoría de los microorganismos y son eficaces para reducir la actividad enzimática. Los frutos tipo bayas se pueden conservar durante 8 – 21 días de almacenamiento, en cámaras de frío entre 2 - 6 °C con humedad relativa de 90% (Blanco y Sierra, 2005).

La producción de fresas en el Perú es creciente, con mayor participación en las regiones de Lima y La Libertad, principalmente; Lima se produce todo el año, mientras que en La Libertad se produce mayormente entre Julio y Enero. La siembra de este producto se ha logrado incrementar gracias al mayor uso y acceso de mejores tecnologías. La oportunidad comercial de la fresa en el Perú se basa en que se destina más de 2000 hectáreas para el cultivo de fresas, lo cual se concentra en la región costa, su ciclo vegetativo varía de 4 a 6 meses, siendo los lugares óptimos para su producción los valles interandinos entre 1000 a 2000 msnm (AREX, 2013).

La vida postcosecha de las berries (incluida la fresa) es limitada, sufriendo deshidratación, pérdida de color y presencia de microorganismos, lo cual afecta su presentación comercial, disminuyendo su valor nutricional. Además inciden fuertemente en la durabilidad y calidad postcosecha. Es por ello que el avance de la tecnología de alimentos para la conservación de alimentos ha desarrollado el envasado en atmósferas modificadas y/o conservación con ozono (ya sea gaseoso o por inmersión), lo cual ha traído enormes adelantos en las últimas décadas. Esto han generado que los productos comercializados en esta forma presenten mejores características de calidad en comparación con aquellos que han sido almacenados al aire libre o refrigerados por sí solos, ya que en algunos puede causarles daños por frío (Artés, 2006).

El problema planteado para esta investigación fue:

¿Cuál será el efecto de dos tiempos de exposición a ozono gaseoso (5 y 10 min) y de cuatro tiempos de almacenamiento (0, 4, 8 y 12 días) sobre la pérdida de peso, firmeza, color, contenido de antocianinas, recuento de mohos y levaduras, y aceptabilidad general en fresas (*Fragaria vesca* L.)?

Los objetivos propuestos fueron:

- Evaluar el efecto del tiempo de exposición a ozono gaseoso y tiempo de almacenamiento sobre la pérdida de peso, firmeza, color, contenido de antocianinas, recuento de mohos y levaduras, y aceptabilidad general en fresas (*Fragaria vesca* L.).
- Determinar el tiempo de exposición a ozono gaseoso y el tiempo de almacenamiento que permitirán obtener la menor pérdida de peso, mayor firmeza, mejor color, mayor contenido de antocianinas, menor recuento de mohos y levaduras y mayor aceptabilidad general en fresas (*Fragaria vesca* L.).

## II. REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA

### 2.1. Fresa

#### 2.1.1. Generalidades

La fresa (*Fragaria vesca* L.) pertenece a la familia de las Rosáceas y género fragaria, esta es una planta herbácea, perenne y de pequeña altura, planta rastrera, de raíz fasciculada, tallos poco visibles y hojas tinfoliadas, es considerada como una fruta exótica de gran aroma, por lo que se convierte en un cultivo con grandes ofertas de demanda. En zonas productoras como Huaraz, se está tratando de mejorar y adaptar variedades de interés internacional (AREX, 2013).

Es una fruta no climatérica altamente perecible, debe ser cosechada en su madurez completa para alcanzar una calidad máxima en termino del aspecto visual (frescura, color ausencia de deterioro o desordenes fisiológicos), textura (firmeza, jugosidad), flavor y valor nutricional (vitaminas, minerales, fibra dietética) (Hernández-Muñoz y otros, 2008).

Las fresas encuentran las mejores condiciones para su cultivo en climas templados pero pueden ser cultivadas también en el sub trópico y a temperaturas frías. Los factores climáticos que más afectan su cultivo son la temperatura y el foto periodismo, siendo la temperatura el factor ambiental que tiene mayor influencia, aunque se tienen variedades o híbridos que tienen un rango de adaptabilidad muy amplio, que va de los 10 °C hasta temperaturas tropicales con altitudes a nivel del mar hasta 3500 msnm (Sánchez, 2006).

Para cada función vital existe una temperatura óptima y crítica que deben ser temperaturas consideradas por arriba de 10 °C con días igual o mayor de 12 horas, la planta tiende a vegetar aumentando la producción de estolones, a temperaturas más bajas el desarrollo floral es iniciado, en temperaturas extremadamente elevadas arriba de 25 °C la diferenciación floral es inhibida y encima de los 32 °C ocurren abortos aunque actualmente existen diferencias de comportamiento en relación a las condiciones climáticas (Sánchez, 2006).

La clasificación taxonómica de la fresa se presenta en el Cuadro 1.

**Cuadro 1. Clasificación taxonómica de la Fresa**

<b>Clasificación Taxonómica</b>	
Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Rosales</i>
Familia	<i>Rosaceae</i>
Subfamilia	<i>Rosoideae</i>
Género	<i>Fragaria</i>

Fuente: Sánchez (2006)

### **2.1.2. Fresa en el Perú**

En nuestro país el cultivo de fresa se ha venido incrementando, el Perú ocupó el 26° lugar de producción en el mundo durante el año 2007; debido a que hay condiciones de clima y suelo adecuado para el establecimiento de este cultivo (AREX, 2013).

La producción mundial de fresa en la presente década ha sido variable, mientras que la superficie dedicada a la producción disminuye en algunos países, en otros ha aumentado; pero en general, existe una ligera tendencia al incremento en la producción mundial. En nuestro país el cultivo de fresa se ha venido incrementando, el Perú ocupó el 24º lugar de producción en el mundo durante el año 2011 (fuente FAO); debido a que hay condiciones de clima y suelo adecuados para el establecimiento de este cultivo (AREX, 2013).

El cultivo de la fresa se ha convertido en una actividad productiva a tener muy en cuenta, principalmente en dos regiones, Lima e Ica. El crecimiento de la actividad es notable por el aumento en los niveles de producción y comercialización de fresa en presentaciones para consumo en fresco, así como en productos procesados diversos. Respecto a la Libertad la producción se da mayormente en zonas como Laredo, Trujillo, Simbal y Virú; y es en dicha región donde actualmente se ha mejorado el manejo tecnológico utilizando incluso especies libre de virus, la presentación que se viene procesando es mayormente en mermeladas, aunque esta actividad aun es incipiente (AREX, 2013).

La importancia de la fresa para las regiones productoras se debe principalmente al número de empleos que genera en la época de la cosecha, requiriendo canalizar importantes inversiones para cubrir los costos de producción, en diferentes regiones se dan atributos particulares que permiten buen desarrollo, como las condiciones de agua, aspecto agro climático, la fertilidad de los suelos y la disponibilidad de mano de obra (MINAG, 2009).

### 2.1.2.1. Variedades cultivadas en el Perú

En el Perú existen diversas variedades de fresa, las cuales se han introducido de Estados Unidos, Europa y otras regiones del mundo, pero en la actualidad son cinco las más cultivadas: “Chandler” (Americana), “Tajo” (Holandesa), “Sern” (Sancho), “Aromas” (Americana) y Camarosa, que son también las que más se comercializan en los mercados de Lima (AREX, 2013).

Para el clima de la costa del Perú se adaptan las variedades de día corto trasplantadas en los meses de abril a mayo, mientras que las de día neutro pueden ser sembradas durante todo el año como ocurre con la variedad “Aroma”. Para la sierra, en valles interandinos y valles abrigados se recomienda las variedades de día corto (Vergara, 2008).

**Variedades de día corto.** La floración se induce cuando el fotoperíodo es corto (12 horas de luz) y la temperatura fluctúa entre 14 y 18°C, por lo que se trasplanta generalmente en los meses de Abril a Mayo. En el Perú las más difundidas son:

Chandler, también conocida como “cañetana”, es originaria de la Universidad de California. Tiene muy buena aceptación en el mercado de consumo en fresco. Los frutos en forma cónica alargada de color rojo intenso y de tamaño grande, es de elevado rendimiento que puede tener producción continua desde Agosto hasta Enero y tiene tolerancia al transporte (AREX, 2013).

Tajo, conocida también como “Holandesa” y “cresta de gallo”, son frutos grandes de coloración rojo anaranjada, de forma ligeramente redondeada poco achatada con tendencia a ser

lobulada. Es de elevado rendimiento y tolerante al transporte (AREX, 2013).

Pájaro, también procede de la Universidad de California, es más tardío y de menor rendimiento que las anteriores (Vergara, 2008).

Camarosa, también proveniente de la Universidad de California, es precoz, de elevado rendimiento durante la campaña, presente frutos grandes, es de color rojo intenso y brillante en su parte externa, de forma cónica y achatada, tiene buen sabor y firmeza. Por sus mejores características viene reemplazando a la “Chandler” en Estados Unidos (Vergara, 2008).

**Variedades de día neutro.** El fotoperiodo no influye en la floración, la temperatura o la acumulación de horas frío tampoco induce la floración. Tienen la ventaja de producir en contraestación (Vergara, 2008). Entre las más difundidas en el Perú tenemos:

Sern, conocida también como “Sancho”, obtenido por la Universidad de California. Frutos de forma cónica oblonga, con tendencia a ser achatados de color rojo anaranjado brillante, calibre normal y firmeza consistente. Puede producirse en cualquier época del año. No tiene floración continua por lo que no se usa en cultivos intensivos (AREX, 2013).

Aromas, son de alta productividad, es planta de hábito erecto. Frutos de buen color y calibre muy consistente. Tiene amplio espectro de tolerancia a cambios de temperatura del medio ambiente (AREX, 2013).

### **2.1.2.2. Zonas productoras**

Las zonas productoras de fresa son las regiones de Lima en los valles de Huaral, Chancay, Huaura, Barranca y Cañete. En la región La Libertad se cultiva en los valles de Moche y Chao, y en las provincias de Simbal, Virú y Laredo; en los valles interandinos de Huaylillas, provincia de Pataz. Además en la región Apurímac se ha incrementado las áreas, en cambio en Tacna y Cuzco han disminuido; en cuanto a clima y suelos el Perú dispone de áreas en casi todas las regiones de la Costa y Sierra (MINAG, 2009).

### **2.1.2.3. Clasificación y calidad**

La cosecha de fresas se realiza entre los meses de Agosto a Febrero, al iniciar la cosecha en un campo se realiza el recojo cada 2 a 3 días, cogiendo frutas de color rojo maduro que son depositadas en cosecheras para luego ser trasladados a un centro de selección donde se forman categorías, tales como extra, primera, segunda y tercera; todo esto se hace considerando el tamaño, color, estado de frescura y homogeneidad del producto, además es recomendable utilizar cadena de frío con la finalidad de preservar el producto, se traslade en buenas condiciones a los mercados y mesa de consumidores, teniendo en cuenta que la temperatura es el principal factor de deterioro de la fresa. Para la fresa fresca destinada a exportación, existen especificaciones pre-establecidas según el país de destino y que deben ser rigurosamente cumplidas (Vergara, 2008).



#### **2.1.2.4. Comercialización e industrialización**

La comercialización de la fresa para el mercado nacional se realiza en los centros de acopio, donde los productores realizan la entrega de su cosecha a los mayoristas y algunos lo hacen directamente al mercado. El principal mercado de consumo de alimentos es la ciudad de Lima, es el mercado mayorista de frutas donde se recoge la información diaria de precios, volúmenes de ingreso y variedades de fresa (Vergara, 2008).

Para tener en cuenta, la Región Lima posee el 94% de la producción total anual de fresa, cultivo que se comercializa – principalmente en el mercado limeño (MINAG, 2009).

En el año 2012 las exportaciones de fresas frescas peruanas estuvieron destinadas a mercados como España, Italia, Alemania y EE.UU. En particular, España ocupa el primer lugar con un 66.84% del total exportado. Sin embargo si observamos a nivel mundial, dicho producto es muy demandado por países como EE.UU. con (14.39%) de participación al 2012, Canadá con (13.34%), Alemania (10.57%) y Francia (10.22%) que por lo tanto son mercados de destino muy potenciales al ser los principales importadores mundiales de fresa (AREX, 2013).

#### **2.1.3. Composición de la fresa**

Se ha realizado una serie de análisis de la composición de la fresa, en la que se han encontrado que las diferentes partes de la fresa contienen proteínas, grasas, hidratos de carbono total, cenizas y vitaminas, dentro de ellas se destaca el contenido de Vitamina C. En

los Cuadros 2 y 3, se puede apreciar los valores hallados por el MINSA (2008).

**Cuadro 2. Composición proximal de la fresa por 100 g porción comestible**

<b>Composición</b>	<b>%</b>
Agua	89.1%
Proteínas	0.7%
Grasas	0.8%
Carbohidratos	6.9%
Cenizas	0.5%

Fuente: MINSA (2008).

**Cuadro 3. Contenido de vitamina de la fresa por 100 g de producto fresco**

<b>Vitamina</b>	<b>mg</b>
C	55
A	1
B2	0.05
B1	0.04

Fuente: MINSA (2008).

#### **2.1.4. Conservación**

Las fresas, al ser frutas no climatéricas, deben cosecharse cuando el 75% de su superficie se ha puesto roja y el fruto está todavía firme,

la fresa es muy perecedera y se deteriora dentro de los 2 o 3 días de la cosecha en condiciones ambientales naturales (Sánchez, 2006). Sus mayores enemigos son el calor, transporte y humedad, se deteriora con mayor facilidad debido a su estructura delicada, tierna y poco consistente (Sánchez, 2004).

La temperatura es un factor muy importante en la duración de las fresas, generalmente se conservan bien entre 18 y 23 °C y a 85% de humedad relativa, a medida que la temperatura sube, estas berries se ablandan muy rápido y permite el crecimiento microbiano; las fresas deben ser cosechadas cuando sale el sol, transportadas al lugar de procesamiento lo más rápido posible, y mantenidas a la sombra en un lugar fresco hasta su procesamiento. No se deben lavar antes de guardarlas ni quitarles la corola para guardarlas además no deben colocarse amontonadas para su conservación (Sánchez, 2006).

#### **2.1.5. Maduración e índices de cosecha**

El índice de madurez para la fresa se basa en el color fruto.

- (1) Color rosado en tres cuartas partes de la superficie del fruto sobre un fondo blanquecino. Esta fruta tiene como destino al mercado para consumo al estado fresco.
- (2) Color rosado que cubre toda la superficie del fruto. Esta fruta también tiene como destino el mercado para consumo al estado fresco de diferentes mercados.
- (3) Color rojo a rojo oscuro, fruta para consumo en fresco de inmediato o para ser procesado industrialmente. Las fresas en condiciones de la costa peruana maduran de agosto – febrero,

aunque existen algunas variaciones en este periodo (AREX, 2013).

En este caso, los dos primeros grados de coloración están relacionados con la distancia a los mercados y el tercero a propósitos industriales también puede estar determinado por el contenido de azúcar y la consistencia, la superficie debe presentar más de un 50% de color rojo y debe tener como valores mínimos °Brix = 7; pH= 2.9 (AREX, 2013).

## **2.2. Fenoles totales**

Los fenoles totales son compuestos que se encuentran en la naturaleza en una amplia variedad y presentan una estructura molecular caracterizada por la presencia de uno o varios anillos fenólicos. Se originan principalmente en las plantas, que los sintetizan en gran cantidad, como producto de su metabolismo secundario, algunos son indispensables para las funciones fisiológicas vegetales y otros participan en funciones de defensa ante situaciones de estrés y estímulos diversos (Skerget y otros, 2005).

La biosíntesis de los polifenoles como producto del metabolismo secundario de las plantas tiene lugar a través de dos importantes rutas primarias: la ruta del ácido siquímico y la ruta de los poliacetatos. La ruta del ácido siquímico proporciona la síntesis de los aminoácidos aromáticos (fenilalanina o tirosina), y la síntesis de los ácidos cinámicos y sus derivados (fenoles sencillos, ácidos fenólicos, cumarinas, lignanos y derivados del fenilpropano). La ruta de los poliacetatos proporciona las quinonas y las xantonas. La ruta del ácido siquímico es dependiente de la luz. Se inicia en los plastos por condensación de dos productos típicamente fotosintéticos, la eritrosa-

4-fostato, procedente de la vía de las pentosas fosfato, y el fosfoenolpiruvato, originario de la glucólisis. Tras diversas modificaciones, se obtiene el ácido siquímico, del que derivan directamente algunos fenoles. La vía del ácido siquímico puede continuar con la adhesión de una segunda molécula de fosfoenolpiruvato, dando lugar a la fenilalanina, un aminoácido esencial propio del metabolismo primario de las plantas. La fenilalanina entra a formar parte del metabolismo secundario por acción de la enzima fenilalanina amonioliasa, que cataliza la eliminación de un grupo amonio, transformando la fenilalanina en el ácido transcinámico. Posteriormente, el ácido trans-cinámico se transforma en ácido *p*-cumárico por incorporación de un grupo hidroxilo a nivel del anillo aromático. La acción de una Coenzima A (CoA), la CoAligasa, transforma el ácido *p*-cumárico en *p*-cumaroilCoA, que es el precursor activo de la mayoría de los fenoles de origen vegetal. La ruta de los poliacetatos comienza a partir de una molécula inicial de acetilCoA, y a través de una serie de condensaciones se originan los poliacetatos. Por reducción de los poliacetatos se forman los ácidos grasos, y por ciclación posterior se forman una gran variedad de compuestos aromáticos, como las quinonas y otros metabolitos que se generan a través de rutas mixtas, estas combinan precursores tanto de la vía del ácido siquímico como de la ruta de los poliacetatos. Este es el caso de un importante grupo de moléculas biológicamente activas, denominadas genéricamente flavonoides (Quiñones, 2012).

Existen varias clases y subclases de polifenoles que se definen en función del número de anillos fenólicos que poseen y de los elementos estructurales que presentan estos anillos. Los principales grupos de polifenoles son: ácidos fenólicos (derivados del ácido hidroxibenzoico o del ácido hidroxicinámico), estilbenos, lignanos,

alcoholes fenólicos y flavonoides. Los fenoles se clasifican en función del número de átomos de carbono de la cadena alifática que se encuentra sustituyendo el núcleo bencénico; así, se puede encontrar compuestos de tipo  $C_6-C_1$ , derivados del ácido benzoico, como los polímeros del ácido gálico, compuestos que en general se encuentran unidos a azúcares y constituyen el grupo de los taninos hidrolizables, de menor significación son los compuestos de tipo  $C_6-C_2$ , derivados del ácido fenilacético; se cita como ejemplo el ácido homogentísico. El grupo de fenoles simples más extenso es el  $C_6-C_3$ , que constituyen los cinamóil derivados. Estos compuestos, junto con los de tipo  $C_6-C_1$  y  $C_6-C_2$ , suelen acumularse en estructuras periféricas del vegetal, como las glándulas de esencias, pues son componentes de los aceites esenciales. Dentro de este grupo, los  $C_6-C_3$ , se encuentran también las cumarinas que son compuestos de tipo bicíclico y están ampliamente distribuidas en el reino vegetal, de las que se han aislado más de 1000 estructuras diferentes (Quiñones, 2012).

En las plantas, con frecuencia, aparecen fenoles de estructuras más complejas como las ligninas, polímeros de alto peso molecular de una distribución universal en las plantas superiores, donde se encuentran reforzando la pared de las células. Por el contrario, aunque el número de estructuras de estilbenos no sea muy amplio (200), estas estructuras se encuentran en un gran número de especies vegetales, localizándose principalmente en la médula del tronco de especies arbóreas como el pino o el eucalipto. La forma molecular más extendida de este grupo es el resveratrol, muy característico de las familias *Pinaceae* y *Vitaceae*. En esta última familia, a diferencia de la mayoría de vegetales, concretamente en el género *Vitis*, el resveratrol se encuentra en tejidos vivos que forman parte de diferentes órganos como las hojas o los frutos. Por ejemplo, en la uva el resveratrol se acumula principalmente en la epidermis, y por ello, las uvas y el vino

constituyen una fuente casi exclusiva de resveratrol, en la dieta humana (Quiñones, 2012; Skerget y otros, 2005).

Fenoles complejos son también los flavonoides e isoflavonoides, grupo que comprende más de 4000 estructuras químicas ampliamente representadas en la mayoría de las plantas superiores. Estos compuestos, están principalmente unidos a azúcares, aunque también se pueden encontrar sus formas libres. La presencia de muchos de ellos es fácilmente reconocible como pigmentos de flores y frutos. En la mayoría de los flavonoides la cadena carbonada que une los anillos A y C se cicla por acción de una isomerasa creando el núcleo del flavano (Quiñones, 2012).

De particular interés es el grupo de las antocianidinas, pigmentos muy abundantes que son responsables de las coloraciones rojo, azul y violeta; en general a pH ácido estos compuestos presentan coloraciones rojizas, mientras que a pH más básicos presentan tonos azulados. Las antocianidinas son especialmente complejas en la familia *Vitaceae*, donde se encuentran de 5 a 6 aglicones y la mayoría están como mono- o di-glucósidos, muchos de ellos acilados en diferentes posiciones. Estos compuestos pasan en parte al vino durante su proceso de elaboración, mayoritariamente en los vinos tintos, y pueden sufrir modificaciones durante el envejecimiento del vino, generando entre otros factores, sabores amargos (Gimeno, 2007).

Por migración del anillo C, de la posición 2 a 3 del anillo B se obtiene el grupo de los isoflavonoides que integra más de 230 estructuras, estos compuestos son importantes para los vegetales, porque defienden a las plantas del ataque de patógenos (Quiñones, 2012).

Los fenoles son compuestos denominados antioxidantes, que tienen diferentes funciones, entre ellas bloquear el efecto dañino de los radicales libres. Estos actúan como limpiadores absorbiendo los radicales libres antes de que estos consigan crear estragos en el cuerpo humano, es por ello que se ha promovido la realización de investigaciones en los campos de la horticultura, la ciencia de los alimentos y la nutrición para conocer la actividad antioxidante de antocianinas, carotenoides, flavonoides y vitaminas; para determinar su contenido y como su actividad puede ser mantenida o incluso mejorada a través del desarrollo de cultivos, métodos de cosecha, tecnología de procesamiento y condiciones de almacenamiento (Leyva, 2009).

Los compuestos fenólicos tienen su origen en el mundo vegetal. Son unos de los principales metabolitos secundarios de las plantas y su presencia en el reino animal se debe a la ingestión de éstas. Los fenoles son sintetizados por las plantas y son regulados genéticamente, tanto a nivel cualitativo como cuantitativo, aunque a este nivel también existen factores ambientales. Además, actúan como fitoalexinas (las plantas heridas secretan fenoles para defenderse de posibles ataques fúngicos o bacterianos) y contribuyen a la pigmentación de muchas partes de la planta, por ejemplo los antocianos son los responsables del color rojo, naranja, azul, púrpura o violeta que encontramos en las pieles de las frutas y hortalizas. Por otro lado, cuando los fenoles son oxidados, dan lugar a las quinonas que dan un color pardo que muchas veces es indeseable. Los fenoles se encuentran casi en todos los alimentos de origen vegetal. Son alimentos ricos en fenoles la cebolla, el té, el vino tinto, el cacao, el aceite de oliva virgen, etc. Estas sustancias influyen en la calidad, aceptabilidad y estabilidad de los alimentos, ya que actúan como colorantes, antioxidantes y proporcionan sabor. Así, por ejemplo, las



aceitunas contienen compuestos fenólicos que pasan en pequeña proporción al aceite durante el período de extracción (Gimeno, 2007).

En cuanto a sus características organolépticas, los taninos son conocidos por dar sensación de astringencia, por ejemplo el vino, ya que son capaces de unirse a las proteínas lubricantes de la saliva por puentes de hidrógeno (Gimeno, 2007).

El contenido de fenoles totales en bayas de fresa es de 525 a 550 mg/100g de fruto (Leyva, 2009).

### **2.2.1. Antocianinas**

Las antocianinas son compuestos fenólicos que se encuentran principalmente en frutos, flores y hojas de las plantas, y son visibles al ojo humano, son responsables de proporcionar los colores rojo, azul y violeta. Se sintetizan a partir de la conversión de los precursores fenilalanina y acetato, vía metabolismo de fenil propanoide. Las antocianinas, que se diferencian de otros polifenoles por poseer azúcares dentro de sus grupos funcionales, y en su mayoría presentar varios grupos OH. Las diferencias entre antocianinas dependen del número de grupo hidroxilo, la naturaleza y número de azúcares que están unidos a la molécula, a la posición de esa unión y la naturaleza y número de ácidos aromáticos unidos al azúcar en la molécula acumulándose en las vacuolas de las células hipodermales. Las antocianinas son derivados del catión 2-fenil benzopirilio y debido a la poca solubilidad en agua, no se encuentran de manera libre en la naturaleza, sino en su forma glucolisada, siendo uno de las más abundantes la cianidina-3-glucosido. El contenido de antocianinas es mayor en la piel de las fresas. El nivel de antocianinas en fresas puede variar entre 10 y 80

mg/100 g de fruta fresca (Leyva, 2009).

En los frutos, las antocianinas (glucósidos, moléculas compuestas de un glúcido - generalmente monosacáridos - y un compuesto no glucídico, desempeñan numerosas funciones importantes en los organismos vivos, muchas plantas almacenan los productos químicos importantes en forma de glucósidos inactivos; si estos productos químicos son necesarios, se hidrolizan en presencia de agua y una enzima, generando azúcares importantes en el metabolismo de la planta) se localizan principalmente en la cáscara, y en menor medida en la pulpa. En los arándanos contienen la combinación de cinco de las seis antocianidinas (agliconas) comunes. Las antocianinas presentan un gran potencial en la industria alimentaria al considerarse inocuas y seguras como aditivos, dado que las restricciones sanitarias hacia el uso de colorantes sintéticos han adquirido un gran peso (Coria y otros, 2008).

### **2.3. Ozono**

#### **2.3.1. Definición**

El ozono ( $O_3$ ), es una molécula de carácter oxidante formada por tres átomos de oxígeno de color azulado a temperatura ambiente y de refrigeración, con un penetrante y característico olor acre en estado gaseoso. Es un potente oxidante y el quinto en potencial de oxidación termodinámica, tras el flúor, cloro, trifluoruro, oxígeno atómico y es radical libre hidroxilo (Aguayo y otros, 2010).

El ozono ( $O_3$ ) se forma por un alto consumo de energía que divide una molécula oxígeno ( $O_2$ ) en el aire. Las moléculas de oxígeno

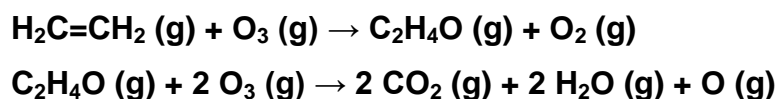
simple (O) rápidamente se combinan con el O<sub>2</sub> disponible para formar el ozono (O<sub>3</sub>). Comercialmente, la radiación ultravioleta y más frecuentemente el método de corona de descarga eléctrica es usado para generar ozono. El ozono es el único producto, que cuando se descompone, es oxígeno; por lo tanto los productos alimenticios tratados con ozono son libres de residuos desinfectantes como ocurre con otros desinfectantes como el hipoclorito de sodio. La eficiencia del ozono como desinfectante o fuerte removedor de residuos depende de factores ambientales. Un incremento de la temperatura o medio acuoso produce una disminución de su solubilidad y por lo tanto disminución de su eficiencia. La estabilidad del ozono aumenta con el descenso del pH. El incremento de la humedad es otro factor que afecta fuertemente la eficiencia del ozono (Karaca y Velioglu, 2007; Xu, 2008).

El ozono (O<sub>3</sub>) es el agente oxidante que actúa más rápidamente en la desinfección propiciando un excelente control microbiológico. El ozono es muy rápido y eficaz en su actuación, siendo además inodoro, insípido y no se le conoce derivados que pudieran ser perjudiciales para la salud (Gimferrer, 2011).

### **2.3.2. Acción del ozono**

El tratamiento con ozono gaseoso retrasa la maduración de muchos vegetales a concentraciones bajas (0.05 ppm) en la atmósfera de frigoríficos o cámaras, lo que permite la prolongación de su vida útil. Esto se debe principalmente a la acción sobre el etileno, compuesto orgánico que actúa en el inicio de la maduración de frutas y verduras; el ozono, como agente altamente oxidante, no solo preserva a la fruta de la formación de mohos y colonias de bacterias, sino que también retrasa la maduración en un 20 a 30% prolongando

el tiempo de almacenaje de ésta. Esto se consigue mediante la destrucción del etileno, transformándolos en dióxido de carbono y agua, a través de la siguiente reacción:



El óxido de etileno ( $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$ ), intermediario resultante de la primera reacción, es a su vez un inhibidor eficaz del crecimiento de microorganismos. Por lo tanto, se evidencia la acción sinérgica del ozono con otros compuestos. De este modo, la eliminación del etileno y otros volátiles ha encontrado recientemente la solución práctica mediante el empleo del ozono (Seminario y otros, 2010; Parzanese, 2001).

La principal utilidad de un generador de ozono en la conservación de alimentos vegetales es su habilidad de atacar, reducir y eliminar las bacterias que causan la mayoría de los problemas durante el almacenamiento, permitiendo un alto grado de humedad, por lo que hay menores pérdidas de peso. El ozono previene la aparición de mohos y hongos, actuando el Ozono sobre ellos destruyéndolos gracias a su alto poder oxidante. El Ozono se fija a las células y concretamente al ADN y ARN oxidándolo y evitando la división celular y con ello evitar la reproducción celular ocasionando su destrucción. Una vez cumplida su acción, el ambiente se torna refrescante, libre de olores no deseados (Seminario y otros, 2010; Parzanese, 2001; Pérez, 2012).

La fruta es uno de los alimentos más delicados en lo que a su conservación y almacenaje se refiere. Esta perecibilidad se debe a su alto contenido de agua, alrededor de un 90%, lo que en el

momento del almacenamiento genera un ambiente con humedad relativa elevada, creando en consecuencia las condiciones necesarias para el desarrollo y proliferación de microorganismos. Actualmente existen numerosos estudios que confirman la eficacia del ozono para la conservación de manzanas, duraznos, bananas, naranjas, melocotones, peras, plátanos, melones, fresas, uvas, papas, tomates, obteniendo resultados positivos en su conservación luego de la exposición al ozono gaseoso (Gimferrer, 2011).

El ozono es aplicado a las frutas y verduras, ya sea en una solución acuosa (ozono disuelto en agua) o en forma gaseosa en las instalaciones de almacenamiento en frío. El ozono es un desinfectante y oxidante de amplio espectro, matando con eficacia a todos los patógenos conocidos de los seres humanos y de los alimentos, incluyendo *E.coli*, *Listeria*, *Salmonella*, *Staphylococcus*, *Campylobacter*, *Pseudomonas* que pueden destruir rápidamente los alimentos en almacenamiento en frío, sin embargo, no deja residuos nocivos en los productos alimenticios (Guzel-Seydim y otros, 2004).

La fruta es uno de los comestibles más susceptibles de maduración por el simple paso del tiempo y de su exposición a las factores climatológicos, por lo tanto es un grupo alimenticio sobre el que los cuidados se deben extremar a fin de tener un proceso de maduración seguro y sobre todo para evitar rápidas putrefacciones y creación de focos infecciosos. El ozono ayuda a la pulpa del alimento de manera que la endurece incrementando la vida del producto, presenta un efecto desodorante eliminando las emanaciones gaseosas de la fruta permitiendo la conservación de su olor inicial. Además permite disminuir la producción de Etileno, (gas producido en el proceso normal en la vida de los vegetales) al formar el Óxido de Etileno, el cual rompe posteriormente sus enlaces

produciendo como productos secundarios Dióxido de Carbono y Agua, ayudando a que la maduración sea más lenta y con ello alargamos el tiempo de vida del vegetal (Seminario y otros, 2010; Parzanese, 2001)

Las circunstancias y el poco desarrollo o más bien desconocimiento de la técnica de ozonización, ha desestimado su aplicación complementaria en cámaras frigoríficas, aun constituyendo un proceso totalmente ecológico que no reporta ningún tipo de producto perjudicial para la salud ni para los alimentos. Las cámaras frigoríficas son el medio más común en la conservación de distintos alimentos destinados al consumo humano. La aplicación de frío por medio de esta técnica ha permitido hasta la fecha una mejor conservación de los alimentos, pero realizando su misión inhibidora sobre los microorganismos sin eliminarlos, simplemente paralizándolos. Además esta paralización no es totalmente efectiva puesto que existen organismos que persisten aun en temperaturas cercanas a los 0 °C. La paralización de estos hongos, bacterias, etc., se produce durante un periodo de tiempo determinado, pero manteniéndolos e incrustándolos en las paredes de las cámaras y otros elementos de la misma, produciendo costras y focos infecciosos. Dichas circunstancias son fácilmente salvables tras la aplicación de ozono en el aire, ya que está demostrado que produce un incremento en el tiempo de vida de los vegetales, debido al endurecimiento de las cutículas de determinadas piezas, que lo hacen tener una mayor consistencia e incrementan el tiempo de maduración (Seminario y otros, 2010; Parzanese, 2001; Pérez, 2012).

### 2.3.3. Métodos de producción de ozono

El método más utilizado para producir importantes cantidades de ozono es el método de descarga en corona (“corona discharge”). Este método consiste en usar un generador que está formado por dos electrodos, uno de alta y otro de baja tensión, separados por un medio dieléctrico pegado al electrodo de alta tensión, de forma que se crea un espacio entre la capa de material y el electrodo de baja tensión, llamado hueco de descarga. Cuando se aplica una corriente alterna de alto voltaje a través del hueco de descarga en presencia de aire u oxígeno ( $O_2$ ), excita a los electrones del  $O_2$ , produciéndose la ruptura de la molécula de oxígeno ( $O_2$ ), los dos átomos libres se combinan con dos moléculas de oxígeno ( $O_2$ ) y se forman dos moléculas de ozono ( $O_3$ ). La producción de ozono depende del voltaje, de la frecuencia de la corriente de las propiedades y espesor del material dieléctrico, del hueco de descarga y de la presión absoluta dentro del hueco de descarga. Si se utiliza aire como fuente de alimentación del generador, se produce del 1 al 3% de ozono ( $O_3$ ). Sin embargo, usando  $O_2$  puro se puede conseguir un 6% de ozono. Además del método fotoquímico y del método de corona, el ozono se puede producir por métodos químicos, térmicos, quimionucleares y electrolitos. Un nuevo método en la producción de ozono implantado por Lynntech, es un proceso electroquímico, en el cual el agua se descompone en átomos de oxígeno que se combinan para formar ozono y moléculas de  $O_2$ , que al parecer produce sobre el 10 al 18% de ozono ( $O_3$ ) en la mezcla resultante (Guzel-Seydim y otros, 2004).

#### **2.3.4. Ventajas del uso de ozono**

El ozono (O<sub>3</sub>) gaseoso es elegido porque se puede utilizar en productos frescos, ya que no necesitan lavarse para el tratamiento con ozono gaseoso, y que son muy perecederos y susceptibles a cualquier golpe o cambio que afecte sus características físicas y propiedades organolépticas. El ozono es un potente oxidante, es muy eficaz como desinfectante y conservante para productos como carnes, mariscos, frutas y hortalizas, también tiene aplicación complementaria en cámaras frigoríficas, ya que es un proceso totalmente ecológico que no reporta ningún tipo de producto perjudicial para la salud ni para los alimentos. Las cámaras frigoríficas son el medio más común en la conservación de distintos alimentos destinados al consumo humano, la combinación de estas técnicas ha permitido hasta la fecha una mejor conservación de los alimentos. El ozono asegura la destrucción de los numerosos microorganismos que pululan en la superficie de los productos alimenticios, antes de introducirlos en las cámaras frigoríficas. Situación que se inicia con las operaciones de manipulación y transporte. Es bien sabido que cualquiera que sea la mercancía almacenada, la cámara desarrollará olores que pueden ser transmitidos a la nueva mercadería que entra en ella, lo cual resulta, en la mayoría de los casos como una condición contraproducente. En un principio las cámaras se deodorizaban o desinfectaban por medio de productos químicos, entre los que se utilizaban con mayor frecuencia el trioximetileno y el azufre, que daban resultados tangibles, pero difícilmente controlables. La operación de deodorización y purificación no era posible más que después de desalojar las mercancías almacenadas. En efecto, el modo de operación consistía en hacer quemar azufre por las pastillas de trioximetileno en la cámara a desinfectar. Pero, debido a lo



altamente tóxico de los gases desprendidos, era necesario tomar precauciones especiales, y el local quedaba herméticamente cerrado durante 48 horas por lo menos, a fin de que el gas producido tuviera tiempo necesario para actuar eficazmente. A continuación de esta operación era indispensable una aireación activa, para eliminar los gases de combustión, lo que prolongaba aún más el tiempo de inmovilización del local. En cambio el ozono presenta grandes ventajas acerca de la destrucción eficaz de los microorganismos y puede ser aplicado mientras la mercadería está almacenada, puesto que el gas, después de reaccionar oxidando al contaminante, en la mayoría de los casos, recupera la forma de oxígeno. Además el ozono tiene una excelente eficacia en la conservación de alimentos y sus propiedades nutricionales, ya que sus efectos están relacionados a evitar la producción de radicales libres, la inactivación de enzimas alteración de ácidos nucleicos y la peroxidación lipídica a niveles de las membranas microbianas (Seminario y otros, 2010; Parzanese, 2001; Pérez, 2012; Guzel-Seydim y otros, 2004).

El ozono no deja residuos detectables en el producto tratado, se descompone rápidamente en oxígeno y es amigable con el ambiente, es un poderoso agente antimicrobiano, efectivo contra patógenos para el ser humano, además de reducir la incidencia y la severidad del deterioro causado por diferentes microorganismos, pudiendo ser usado incluso en la eliminación de pesticidas. Además puede integrarse a cualquier configuración acuosa o gaseosa existente con un mínimo de adaptación al agua y la energía. El ozono acuoso puede ser utilizado a través de aspersores, duchas o cascadas, además puede ser conectado directamente a tanques de enjuague; mientras que el ozono gaseoso puede aplicarse en cualquier lugar de almacenamiento (Pérez, 2012; Seminario y otros, 2010).

El ozono, que puede ayudar a prolongar la vida útil mientras que preserva el sabor, la textura, olor y color de los productos frescos, es además utilizado como un desinfectante antimicrobiano directamente en productos alimenticios y como un desinfectante de superficies, antes, durante o después de ciclos de producción (Guzel-Seydim y otros, 2004).

La acción del ozono evita la producción de radicales libres, principalmente hidroxilo, y sus efectos están asociados con la inactivación de las enzimas, la alteración de ácidos nucleicos y la peroxidación lipídica a nivel de las membranas microbianas. Tiene una vida media de 20 a 30 min en agua a 20 °C, en función de la carga orgánica del medio en que se encuentre disuelto (Pérez, 2012).

Su uso se ha ido generalizando con el paso del tiempo en la desinfección de aguas, área donde muestra gran eficacia. Sus principales ventajas son que no deja residuos químicos y no confiere aromas u olores particulares al producto final, como ocurre con otros desinfectantes como el hipoclorito (Gimferrer, 2011).

## **2.4 Almacenamiento refrigerado**

El almacenamiento en refrigeración y la conservación por frío durante la distribución y venta, es una etapa necesaria y exigible en las frutas y hortalizas frescas y mínimamente procesadas. Esto se basa en la idea de que las temperaturas de refrigeración lentifican el crecimiento de la mayoría de microorganismos. Para las frutas y hortalizas existe una gran variación en la temperatura óptima de refrigeración. Casp y Abril (2003) prefieren denominar a las temperaturas entre 10 y 15 °C como temperaturas de enfriamiento y

entre 0-2 °C y 5-7 °C como temperaturas de refrigeración. De esta manera, es importante tener conocimiento de que las temperaturas de refrigeración y enfriamiento dependen en gran medida del tipo de alimentos de que se trate.

La refrigeración como obstáculo está suficientemente probada y es un factor de utilización continuado y un método de conservación de frutas y hortalizas frescas y mínimamente procesadas. Cuando se separan de la planta, las frutas, hortalizas y flores son aun tejidos vivos que respiran. El mantenerlos a la temperatura más baja posible (0 °C para los cultivos de climas templados o 10 a 12 °C para los cultivos sensibles al daño por frío) aumentara su vida de almacenamiento por la disminución de la velocidad de respiración, por su sensibilidad más baja al gas etileno y por la menor pérdida de agua que sufren. Reduciendo la tasa de pérdida de agua se disminuye también la velocidad de marchitamiento y resecamiento, que es una causa seria de pérdida postcosecha (Pelayo y Castillo, 2002; Casp y Abril, 2003).

Sin embargo si este almacenamiento en cámaras frigoríficas no se realiza en las condiciones adecuadas trae consigo mermas en el peso, deterioro en la presentación y disminución de aroma sabor y valores nutrientes (Schulz, 2006; Balboa, 2004; Madrid, 2011).

## **2.4.1. Factores que afectan la refrigeración**

### **2.4.1.1. Respiración**

La respiración es un proceso metabólico que toma como materia prima a los azúcares, almidón y ácidos orgánicos para someterlos

a una degradación oxidativa resultando en moléculas más simples. Tal actividad se manifiesta por la emisión de calor, CO<sub>2</sub> y vapor de agua. La velocidad de respiración se reduce a la mitad por cada 10 °C en que disminuye la temperatura (Balboa, 2004; Madrid, 2011).

#### **2.4.1.2. Transpiración**

La transpiración se da por la diferencia entre la presión del producto y la del ambiente que los rodea, se facilita la pérdida de agua en forma de vapor. La pérdida de este vapor de agua se produce por las estomas, lenticelas, cutículas y heridas provocando pérdida de firmeza, y puede llegar hasta el arrugamiento de la epidermis (Balboa, 2004).

#### **2.4.1.3. Producción de etileno**

El etileno es una fitohormona que se encuentra en los tejidos de los vegetales, y actúa:

- En productos climatéricos: Estimula la maduración y en exceso provoca pérdida de la calidad por aceleración de procesos metabólicos.
- En productos no climatéricos: provoca el cambio de color externo y acelera la senescencia (Balboa, 2004).

### **2.5. Poliestireno**

Es un material muy transparente comúnmente utilizado por sus características que son alta resistencia a la alteración química y mecánica a bajas temperaturas y muy baja absorción de agua, tiene elevada trasmisión gaseosa y una relativa alta relación CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>. Ha

sido ampliamente usado para envolver lechugas y tomates debido a su capacidad de termoretractilar, capacidad de una película, con distintas formas y tamaños, para ser sometido a una fuente de calor y retraerse hasta aproximadamente un 50% del tamaño inicial, con gran capacidad de adhesión (Aguayo, 2003).

Es relativamente inerte químicamente y posee un alto grado de claridad, muchos polímeros son asequibles con buena resistencia y adecuada relación  $\text{CO}_2/\text{O}_2$  pero la velocidad de transmisión gaseosa absoluta es demasiado baja para un conveniente uso (caso del nylon, poliéster y variantes del polivinilo) (Aguayo, 2003).

## **2.6. Policloruro de vinilo (PVC)**

Es el producto de la polimerización del monómero de cloruro de vinilo a policloruro de vinilo. Es el derivado del plástico más versátil, se puede producir mediante cuatro procesos diferentes: Suspensión, emulsión, masa y solución (Lamanna, 2008).

En la industria existen dos tipos:

- Rígido: para envases, ventanas, tuberías, las cuales han reemplazado en gran medida al hierro (que se oxida más fácilmente), muñecas antiguas.
- Flexible: cables, juguetes y muñecas actuales, calzados, pavimentos, recubrimientos, techos tensados.

Posee moderada permeabilidad al vapor de agua y es blando, transparente y duradero. Posee una elevada selectividad. Indeseable por llevar cloro en su molécula. El tipo de film retractilado se utiliza mucho para envolver bandejas de fruta u hortalizas frescas (Aguayo, 2003).

## **2.7. Parámetros de calidad a evaluar**

### **2.7.1. Pérdida de peso**

La pérdida de humedad con el correspondiente marchitamiento y arrugamiento, es uno de los cambios obvios en que se pierde la frescura de las frutas y hortalizas. Puesto que las frutas y hortalizas tienen un 72-95 % de agua, pierden humedad rápidamente siempre que la HR sea inferior al 90%. Normalmente una pérdida de humedad del 3-6% es suficiente para provocar un marcado deterioro de la calidad de muchos productos. En consecuencia, es importante reducir esas pérdidas de humedad mediante la disminución de la temperatura, incremento de la HR y reducción de movimiento del aire (Acuña, 2009; Albanese y otros, 2007).

### **2.7.2. Firmeza**

La firmeza es un atributo muy importante en la postcosecha de los frutos. El excesivo ablandamiento es uno de los principales factores determinantes de la pérdida de calidad, ya que los productos más firmes soportan mejor el manipuleo y el transporte porque son más propensos al desarrollo de microorganismos (Madrid, 2011).

### **2.7.3. Color**

El color es el primer contacto que tiene el consumidor con un alimento, condicionando sus preferencias e influenciando su elección. Durante la maduración de los frutos su color cambia debido a la pérdida de clorofilas y a la síntesis de otros pigmentos como los carotenoides y las antocianinas (Godoy, 2004).

#### **2.7.4. Contenido de antocianinas**

Las antocianinas son pigmentos hidrosolubles que se encuentran en algunas frutas, se hallan en las vacuolas de las células vegetales, van del color rojo, púrpura o azul, se encuentran presente en los arándanos, frambuesas, cerezas, sauco, fresa, uvas (De Pascual y Sánchez-Ballesta, 2008).

Se sabe que el contenido de antocianinas aumenta en un fruto de acuerdo a su madurez y durante la mala conservación por frío las frutas pierden su contenido de antocianinas, es por ello que es necesario conservarlas de manera adecuada (De Pascual y Sánchez-Ballesta, 2008).

#### **2.7.5. Crecimiento de mohos y levaduras**

Los microorganismos constituyen un factor muy importante en las frutas y hortalizas procesadas en fresco. Las bacterias, levaduras y mohos son responsables de hasta el 15% de la alteración post-cosecha y representan pérdidas económicas muy significativas en la cadena de distribución. Además, los productos que muestran signos de crecimiento microbiano incluso sin pudrición clara son estéticamente desagradables y no aceptables por el consumidor. Por lo tanto pueden ser un problema potencial en frutas y bebidas de frutas, especias, oleaginosas, granos, cereales y sus derivados (Camacho y otros, 2009).

#### **2.7.6. Aceptabilidad general**

La aceptabilidad general constituye en la actualidad una de las más importantes herramientas para el mejor desenvolvimiento de las

actividades de la industria alimentaria. Así pues, por su aplicación en el control de calidad y de los procesos, el diseño y desarrollo de nuevos productos y en la estrategia del lanzamiento de los mismos al comercio, la hace sin duda, coparticipe del desarrollo y avance mundial de la alimentación (Salas, 2010).

Es muy importante considerar las propiedades organolépticas de los alimentos y su evaluación desde el punto de vista de los sentidos humanos; el análisis sensorial comprende un conjunto de técnicas para la medida precisa de las respuestas humanas a los alimentos e intenta aislar las propiedades sensoriales de los alimentos y aporta una información muy útil para el desarrollo de productos, para los tecnólogos alimentarios y para las empresas (Salas, 2010).

### **Clasificación de pruebas sensoriales**

Las pruebas sensoriales se clasifican de diferentes formas. Los expertos en estadística las clasifican en pruebas paramétricas y no paramétricas de acuerdo al tipo de datos con la prueba. Los especialistas en pruebas sensoriales y los científicos de los alimentos las clasifican en:

- Afectivas (orientadas al consumidor)
- Analíticas (orientadas al producto)

#### **a) Pruebas orientadas al consumidor (afectivas)**

##### **- Pruebas hedónicas**

Cuando se desea evaluar más de dos muestras a la vez o cuando se desea obtener mayor información acerca de un



producto, se puede recurrir a las pruebas de medida del grado de satisfacción. Consiste en pedirle a los panelistas que den su informe sobre el grado de satisfacción que tienen de un producto. La escala verbal va desde me gusta muchísimo hasta me disgusta muchísimo, las escalas deben ser impares (5, 7, 9 puntos) con un punto intermedio de ni me gusta ni me disgusta. Se evalúa el rango promedio obtenido (Anzaldúa-Morales, 2005).

Las pruebas hedónicas están destinadas a medir cuanto agrada o desagrade un producto. Para estas pruebas se utilizan escalas categorizadas y que comúnmente van desde “me desagrade muchísimo”, pasando por “no me agrada ni me desagrade”, hasta “me agrada muchísimo”. Las pruebas hedónicas se utilizan para evaluar la aceptación o rechazo de un producto determinado y aunque su realización puede parecer rutinaria, el planteo es muy complejo y debe hacerse con rigor para obtener ratios significativos (Anzaldúa – Morales, 2005).

**b) Pruebas orientadas al producto (analíticas)**

En las pruebas orientadas hacia el producto, se emplean pequeños paneles entrenados que funcionan como instrumentos de medición. Los paneles entrenados se utilizan para identificar diferencias entre productos alimenticios similares o para medir la intensidad de sus características tales como sabor (olor y gusto), textura y apariencia (Anzaldúa–Morales, 2005).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Lugar de ejecución**

Las pruebas experimentales y los análisis respectivos se realizaron en el Laboratorio de Tecnología de Alimentos y en la Planta Piloto de Industrias Alimentarias de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Privada Antenor Orrego.

#### **3.2. Material de estudio y materiales**

Material de estudio

- Fresas, variedad Aroma, provenientes del distrito de Simbal, Provincia de Poroto, Departamento de La Libertad.

Materiales

- Bandejas de poliestireno, 20 cm de largo x 14 cm de ancho x 3 cm de alto.
- Film de cloruro de polivinilo (PVC), con 12 microperforaciones/m<sup>2</sup> y diámetro de perforación 0.5mm.

#### **3.3. Equipos e instrumentos de laboratorio**

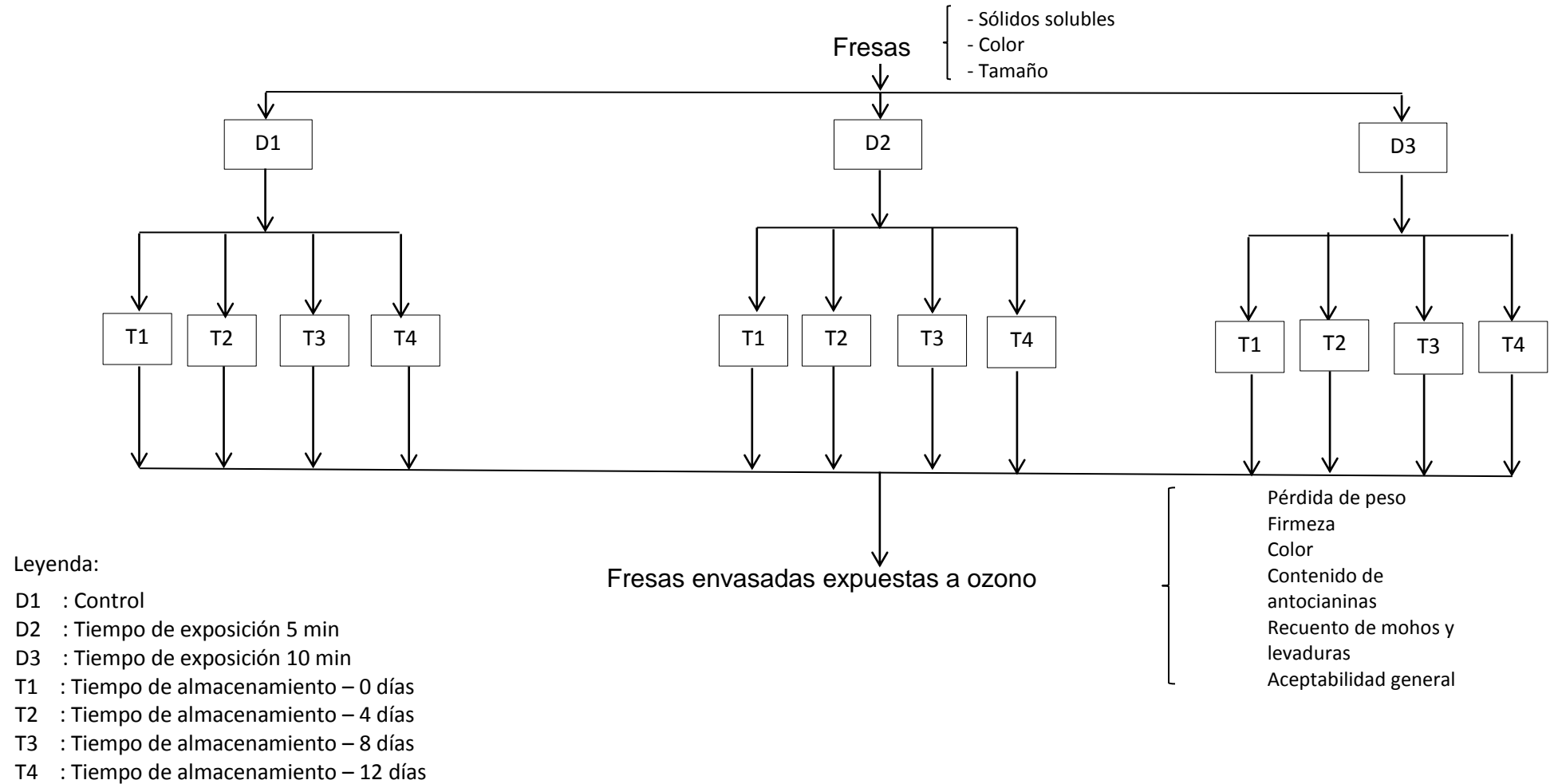
- Generador de ozono corona de descarga. Marca OZONOMATIC. Flujo: 500 mg/h. Voltaje 220.
- Espectrofotómetro. Marca SPECTRONIC 20 Génesis. Longitud de Onda: 325 – 1100 nm. Exactitud: 2 nm.
- Refrigeradora marca Bosch, modelo Frost 44.
- Termómetro digital marca Multidigital, rango de 1° – 100 °C.
- pH-metro marca METTLER TOLEDO, rango de 0 – 14.

- Balanza analítica marca METTELER TOLEDO con capacidad 0 – 210 g. Sensibilidad: 0.01 g.
- Refractómetro marca THOMAS SCIENTIFIC, rango: 0 – 32 ° Brix.
- Colorímetro Minolta. Modelo CR - 400
- Texturómetro Instron modelo 3342.
- Vasos de precipitación
- Placas Petri.

### **3.4. Métodos**

#### **3.4.1. Esquema experimental**

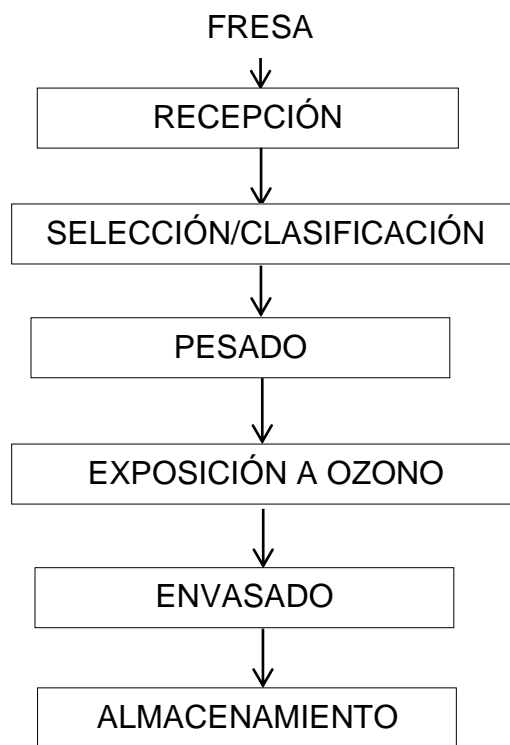
La Figura 1 muestra el esquema experimental para la aplicación de ozono gaseoso sobre fresas frescas para conservar sus principales características fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales. Para ello se trabajó con dos tiempos de exposición a ozono gaseoso (5 y 10 min) y cuatro tiempos de almacenamiento (0, 4, 8 y 12 días) para evaluar la pérdida de peso, firmeza, color, contenido de antocianinas, crecimiento de mohos y levaduras y la aceptabilidad general.



**Figura 1. Esquema experimental de fresas sometidas a tratamiento con ozono gaseoso.**

### 3.4.2. Diagrama de flujo del proceso experimental

En la Figura 2, se presenta el diagrama de flujo para la obtención de fresas envasadas y sometidas a tratamiento con ozono gaseoso (5 y 10 min) y luego almacenadas a temperatura de 4 °C para ser evaluadas periódicamente (4, 8 y 12 días).



**Figura 2. Diagrama de flujo para la obtención de fresas envasadas en atmósfera ozonificada**

A continuación se describe cada etapa del proceso para la obtención de fresas envasadas y desinfectadas con ozono gaseoso.

**Recepción.** Las fresas se cosecharon en función del color visual el cual fue un rojo intenso (Godoy, 2004).

**Selección/Clasificación.** Las fresas se seleccionaron en función a que no presentaron daños físicos ni presencia de hongos, la

clasificación fue de acuerdo a la uniformidad en el tamaño, color rojo intenso y contenido de sólidos solubles 7-8 °Brix (Godoy, 2004).

**Pesado.** Las fresas se pesaron aproximadamente 150 g por cada bandeja, usando una balanza analítica (Godoy, 2004).

**Exposición a ozono gaseoso.** Las fresas fueron colocadas en una cámara de vidrio de dimensiones: 99 cm largo, 59 cm ancho, 66 cm alto y espesor 1 cm, la cual estuvo conectada mediante una tubería de 14 mm de diámetro al equipo generador de ozono (flujo 500 mg/h) donde recibieron los tratamientos de 0, 5 y 10 minutos (0, 15 y 35 ppm, respectivamente), este tratamiento sirve para desinfectar el producto.

**Envasado.** Las fresas se envasaron en bandejas de poliestireno recubiertas con película de cloruro de polivinilo (PVC) microperforada (Godoy, 2004).

**Almacenado.** El almacenamiento de las fresas en bandejas y recubiertas con el film, fue a una temperatura de 4 °C, y una humedad relativa de 85-90% durante 4, 8 y 12 días para evaluar sus características fisicoquímicas, microbiológicas y su aceptabilidad general (Godoy, 2004).

### 3.5. Métodos de análisis

#### 3.5.1. Pérdida de peso

Se determinó periódicamente pesando los envases antes y después de cada periodo de almacenamiento. Los resultados fueron

expresados como porcentaje de pérdida de peso respecto al peso inicial, se trabajó con tres repeticiones (Godoy, 2004).

### **3.5.2. Firmeza**

La firmeza se determinó de manera instrumental, considerándose una muestra de 5 fresas por cada tratamiento, se utilizó un texturómetro Instrom modelo 3342 (Zapata y otros, 2010).

Los parámetros de ensayo se tomaron de la siguiente manera:

- Modo: Medida de fuerza de compresión.
- Opción: Retorno al inicio.
- Velocidad de pre-test: 1.0 mm/s.
- Velocidad de test: 1.0 mm/s.
- Velocidad de post-test: 10 mm/s.

### **3.5.3. Color**

Se utilizó el sistema CIELAB, usando un colorímetro Kónica-Minolta, modelo CR- 400. El equipo fue calentado durante 10 min y calibrado con un blanco estándar, se trabajó con un promedio de 5 muestras. Luego se determinó los parámetros de color expresados en términos de luminosidad,  $L^*$  ( $L^*=0$  para negro y  $L^*=100$  para blanco),  $a^*$  (valores negativos para verde y valores positivos para rojo),  $b^*$  (valores negativos para azul y valores positivos para amarillo) los cuales variaron durante el almacenamiento (Godoy, 2004).

### 3.5.4. Determinación del contenido de antocianinas totales.

#### Método por diferencia de pH

La extracción de las antocianinas se realizó colocando 10 g de muestra en 40 mL de etanol al 80% acidificando con HCl 0.1 M (pH 2), bajo agitación magnética en sombra durante 2 horas. Los extractos fueron centrifugados a 4200 rpm por 15 minutos y separados los sobrenadantes (Kuskoski y otros, 2005).

Se utilizó dos sistemas tampón: ácido clorhídrico/cloruro de potasio de pH 4.5 (0.025 M) y ácido acético/acetato sódico de pH 4.5 (0.4 M). A 0.2 mL de una muestra diluida (para conseguir una absorbancia en el rango de 0.1 – 1.2 a 520 nm), se añadió 1.8 mL de la correspondiente solución tampón y se midió la absorbancia en un espectrofotómetro UV-VIS frente a un blanco de 520 – 700 nm. Se calculó la absorbancia final a partir de:

$$A = (A_{520 \text{ nm}} - A_{700 \text{ nm}})_{\text{pH } 1.0} - (A_{520 \text{ nm}} - A_{700 \text{ nm}})_{\text{pH } 4.5}$$

$$\text{Antocianinas monoméricas (mg/100g)} = \frac{A \times PM \times FD \times 100}{\epsilon}$$

Dónde:

A: Absorbancia (nm)

PM: Peso molecular (g/mol)

FD: Factor de dilución, 50 mL

$\epsilon$ : absortividad molar (mL/(mol x mm))

La concentración final de antocianinas (mg/100 g muestra fresca) se calculó en base al volumen de extracto y peso de muestra. Se expresó en cianidina 3- glucósido (PM: 449.2 g/mol y  $\epsilon$ : 26900 mL/(molxmm)).



### **3.5.5. Recuento de mohos y levaduras**

Se pesó 10 g de muestra que fueron homogenizadas en 90 mL de agua peptonada al 0.1%. Se realizaron de diluciones preparadas en 9 mL de agua peptonada con 1 mL de alícuota y se extendió en la superficie del medio de cultivo selectivo. La numeración de mohos y levaduras se realizó en Agar Saboraud + cloranfenicol, seguido de una incubación a 21 °C por 48 horas. Los resultados se reportaron en ufc/g (Wei y otros, 2005).

### **3.5.6. Aceptabilidad general**

Las muestras se sometieron a un análisis sensorial para evaluar la aceptabilidad general usando una escala hedónica estructurada de 9 puntos, donde 9: me gusta muchísimo, hasta 1: me disgusta muchísimo. Se trabajó con 30 panelistas no entrenados, consumidores de frutos tipo bayas y representantes del público objetivo, el cual son personas de cualquier edad consumidoras de berries (Anzaldúa-Morales, 2005). Las tres muestras se entregaron al mismo tiempo a cada panelista para que puedan evaluarlas, la hora aproximada en que se realizó la prueba fue a las 4 pm; se les proporciono agua a fin de que se enjuaguen la boca con agua antes y después de cada evaluación. Se utilizaron los mismos panelistas en cada día del análisis de las muestras. En la Figura 3 se muestra el tipo de ficha de evaluación sensorial que se empleó en la investigación.

<b>Producto: Fresas frescas</b>			
<b>Ficha de evaluación</b>			
Nombre:.....		Fecha:.....	
<p>Deguste y clasifique cada muestra según la escala que se presenta en el cuadro, correspondiente a la apreciación según su nivel de agrado o desagrado</p>			
<b>ESCALA</b>	<b>419</b>	<b>312</b>	<b>217</b>
Me gusta muchísimo	_____	_____	_____
Me gusta mucho	_____	_____	_____
Me gusta bastante	_____	_____	_____
Me gusta ligeramente	_____	_____	_____
Ni me gusta ni me disgusta	_____	_____	_____
Me disgusta ligeramente	_____	_____	_____
Me disgusta bastante	_____	_____	_____
Me disgusta mucho	_____	_____	_____
Me disgusta muchísimo	_____	_____	_____
Comentarios:			
.....			
.....¿			
¡Muchas gracias!			

**Figura 3. Ficha de evaluación de aceptabilidad general en fresas expuestas al ozono gaseoso.**

### **3.6. Análisis estadístico**

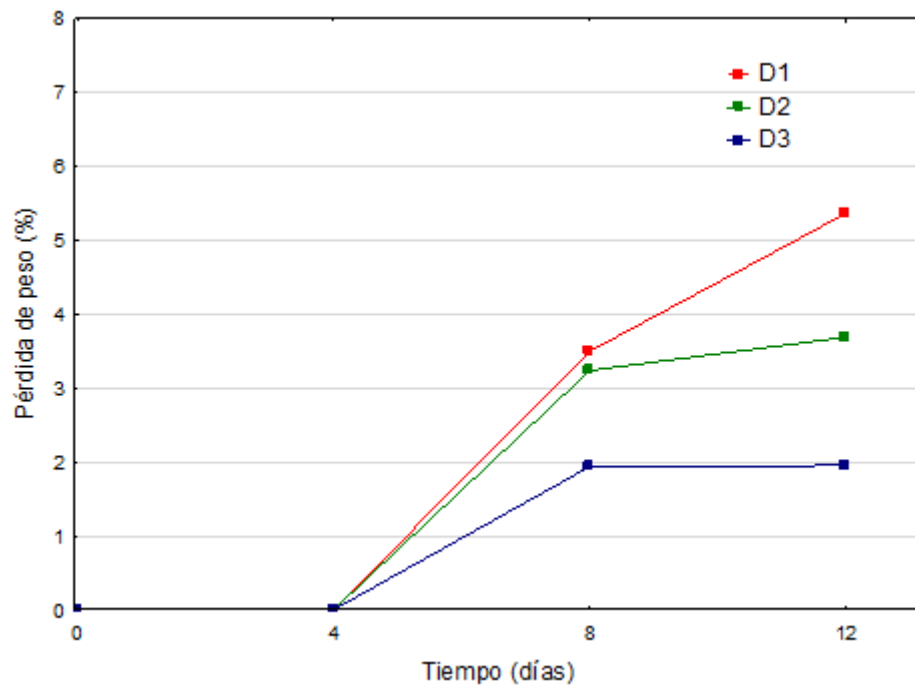
El método estadístico correspondió a un diseño bifactorial, con 3 repeticiones. Para pérdida de peso, firmeza, color ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ) contenido de antocianinas, recuento de mohos y levaduras, se empleó la prueba de Levene modificada para determinar la homogeneidad de varianzas (Montgomery, 2004), posteriormente se realizó un análisis de varianza (ANVA), y a continuación, al existir diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de Duncan la cual comparó los resultados mediante la formación de subgrupos y se determinó de esta manera el mejor tratamiento. La aceptabilidad general fue evaluada mediante las pruebas de Friedman y Wilcoxon (datos relacionados).

Todos los análisis estadísticos se realizaron con un nivel de confianza del 95%. Para procesar los datos se utilizó el software especializado Statistical Package for the Social Science (SPSS) versión 22.0 y para la elaboración de los gráficos se usó el paquete estadístico Statistica versión 12.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Efecto del tiempo de exposición al ozono gaseoso y tiempo de almacenamiento sobre la pérdida de peso.

En la Figura 4 se presenta la pérdida de peso en fresas expuestas al ozono gaseoso en función del tiempo de almacenamiento.



**D1:** control (sin exposición al ozono gaseoso).  
**D2:** tiempo de exposición al ozono gaseoso de 5 min.  
**D3:** tiempo de exposición al ozono gaseoso de 10 min.

**Figura 4. Pérdida de peso en fresas expuestas al ozono gaseoso.**

Se puede observar que la pérdida de peso fue incrementando en las fresas para todos los tratamientos a medida que transcurrieron los días de almacenamiento.

Las fresas almacenadas a 4 °C durante 12 días de almacenamiento, presentaron 1.95 y 3.69% de pérdida de peso para las muestras expuestas al ozono gaseoso por 10 minutos (D3) y 5 minutos (D2), respectivamente. Mientras que la muestra control (D1) mostró una pérdida de peso de 5.37%. Los resultados del porcentaje de la pérdida de peso durante el almacenamiento se observan en el Anexo A.

La fresa es un fruto muy perecedero debido a la velocidad con que transcurren los procesos metabólicos vitales como su alta velocidad respiratoria. El rápido deterioro comercial del producto viene determinado tanto por el consumo de sus propias reservas nutritivas como por la pérdida de agua por transpiración (Beltrán, 2010).

La pérdida de peso durante el almacenamiento, se asocia principalmente con la respiración y evaporación de la humedad a través de la piel, que en el caso de la fresa es una capa fina, haciéndola susceptible a una desecación y deterioro. La velocidad de transpiración depende de factores biológicos de cada producto y de las condiciones ambientales en las que son mantenidos; en caso de las fresas el vapor de agua de los tejidos es transferido al aire que rodea al producto, generando una variación de presión entre la parte externa e interna del fruto, dando como resultado cambios en el peso y en la textura del alimento. Este representa uno de los factores de deterioro comúnmente manifestado durante la postcosecha, debido al elevado contenido de agua, generando en el fruto una apariencia poco atractiva y considerables pérdidas de

peso, disminuyendo su calidad y valor comercial (Hernández-Muñoz y otros, 2008; Acuña, 2009).

Glowacz y otros (2014) evaluaron la pérdida de peso en pimiento rojo, con exposición al ozono gaseoso a 0.1 y 0.3 ppm, almacenados durante 14 días a 13 °C, obteniendo valores de pérdida de peso de 3.6 y 3.5%, respectivamente; y 3.8% para la muestra control. También evaluaron pepinos expuestos al ozono gaseoso a 0.01 ppm durante 6 días y almacenadas a 12 °C, obteniendo un valor de pérdida de peso de 1.5% mientras que para la muestra control el valor fue de 3.3%. Así mismo también evaluaron calabacines con exposición al ozono gaseoso a 0.3 ppm durante 6 días y almacenadas a 8 °C, obteniendo un valor de 5% de pérdida de peso en comparación con la muestra control que obtuvo un valor de 12%.

El mecanismo de acción de ozono puede implicar la menor pérdida de la cantidad de agua en las frutas durante el almacenamiento, sin embargo, también puede variar debido a grosor de la cutícula, y esto probablemente explica la mayor pérdida de peso observada en los calabacines en comparación con los pepinos y pimientos. La exposición al ozono permite reducir la acción del etileno evitando así la pérdida de peso (Glowacz y otros, 2014).

La menor pérdida de peso de los frutos tratados podría asociarse a los efectos sinérgicos, que producen la disminución de la velocidad de deterioro de los frutos por aplicación de las bajas temperaturas, junto con la supresión del etileno exógeno, como consecuencia de su inmediata oxidación por la presencia del ozono, lo que permite una mejor conservación (Amigo y Palacios, 2002).

Ali y otros (2013) reportaron la pérdida de peso en papaya, expuesta al ozono gaseoso a 1.5 ppm y 2.5 ppm almacenadas a 25 °C, los cuales fueron de 15.36 y 15.48% en el día 12, en comparación con la muestra control que fue de 18.40%.

Las pérdidas de peso, en un orden del 8-13% pueden causar en ciertas frutas deshidrataciones, marchitamientos o arrugamientos importantes, estas pérdidas en forma de agua transpirada promueven un aspecto arrugado, perdiendo su apariencia externa inicial (Beltrán, 2010).

En base a lo expuesto anteriormente, se puede apreciar que nuestros resultados siguen las mismas tendencias por lo que el comportamiento mostrado de los frutos podría ser explicado.

En el Cuadro 4, se presenta la prueba de Levene modificada aplicada a los valores de pérdida de peso en fresas expuestas al ozono gaseoso.

**Cuadro 4. Prueba de Levene modificada para la pérdida de peso en fresas expuestas al ozono gaseoso**

<b>Variable</b>	<b>Estadístico de Levene</b>	<b>P</b>
Pérdida de peso (%)	0.960	0.507

La prueba de Levene modificada determinó la existencia de homogeneidad de varianzas ( $p > 0.05$ ). Consecuentemente, se procedió a realizar el análisis de varianza y posteriormente la

prueba de Duncan para determinar la tendencia hacia el mejor tratamiento.

En el Cuadro 5 se muestra el análisis de varianza para los valores de pérdida de peso en fresas expuestas al ozono gaseoso.

**Cuadro 5. Análisis de varianza de la pérdida de peso en fresas expuestas al ozono gaseoso.**

Variable	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	P
Pérdida de peso (%)	Tiempo exposición: A	9.427	2	4.713	20.216	0.000
	Tiempo de almacenamiento: B	99.638	3	33.213	142.458	0.000
	A*B	12.243	6	2.040	8.752	0.000
	Bloques	0.065	2	0.033	0.140	0.870
	Error	5.129	22	0.233		
	Total	126.502	35			

$p < 0.05$ , existe efecto significativo

El análisis de varianza muestra que el tiempo de exposición al ozono gaseoso, tiempo de almacenamiento y la interacción (tiempo de exposición – tiempo de almacenamiento) presentaron efecto significativo ( $p < 0.05$ ) sobre la pérdida de peso.

Glowacz y otros (2014) encontraron efecto significativo ( $p < 0.05$ ) en la exposición al ozono gaseoso 0.1 y 0.3 ppm y tiempo de almacenamiento sobre la pérdida de peso en pimiento rojo, pepinos y calabacines.



Ali y otros (2013) encontraron efecto significativo ( $p < 0.05$ ) en la exposición al ozono gaseoso 1.5 y 2.5 ppm y tiempo de almacenamiento sobre la pérdida de peso en papaya almacenada a 25 °C durante 12 días de almacenamiento.

En el Cuadro 6, se muestra la prueba de Duncan aplicada a los valores de pérdida de peso, donde se puede observar que existió diferencia significativa entre los tratamientos denotados por la formación de subgrupos.

**Cuadro 6. Prueba de Duncan para la pérdida de peso en fresas expuestas al ozono gaseoso.**

Tiempo de almacenamiento (días)	Tiempo de exposición al ozono gaseoso (min)	Subgrupo			
		1	2	3	4
0	D1	0.00			
0	D2	0.00			
0	D3	0.00			
4	D1	0.00			
4	D2	0.00			
4	D3	0.00			
8	D3		1.94		
12	D3		1.95		
8	D2			3.24	
8	D1			3.50	
12	D2			3.69	
12	D1				5.37

**D1:** control (sin exposición al ozono gaseoso).

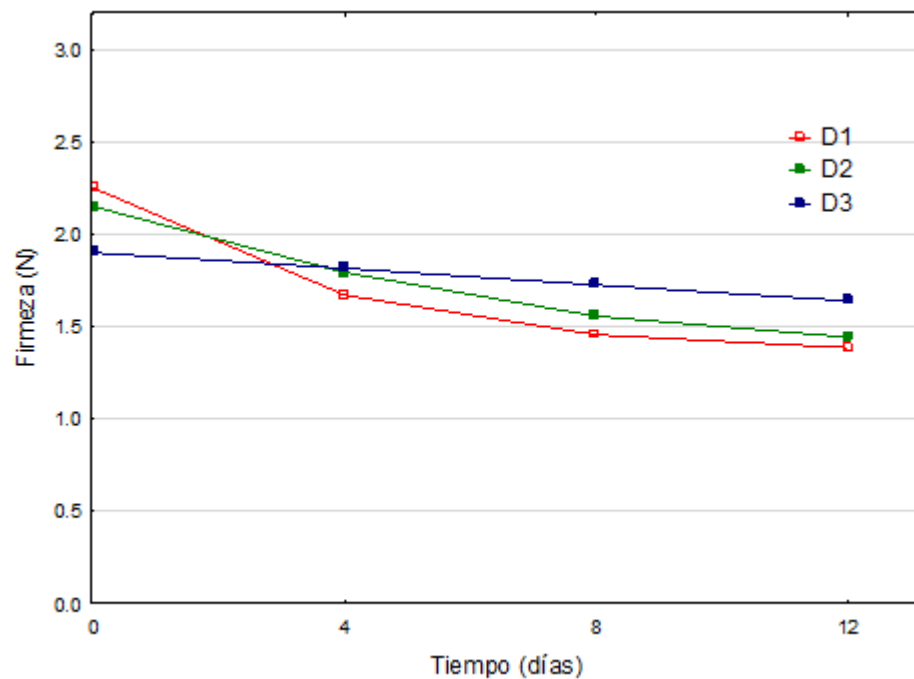
**D2:** tiempo de exposición al ozono gaseoso de 5 min.

**D3:** tiempo de exposición al ozono gaseoso de 10 min.

En el Cuadro 6 se observa la prueba de Duncan aplicada a los valores de pérdida de peso, donde se observa en el subgrupo 2 que la menor pérdida de peso 1.95% a los 12 días de almacenamiento se obtuvo con un tiempo de exposición de 10 minutos (D3).

#### 4.2. Efecto del tiempo de exposición al ozono gaseoso y tiempo de almacenamiento sobre la firmeza.

En la Figura 5 se presenta el comportamiento de la firmeza en fresas expuestas al ozono gaseoso en función del tiempo de almacenamiento.



**D1:** control (sin exposición al ozono gaseoso).  
**D2:** tiempo de exposición al ozono gaseoso de 5 min.  
**D3:** tiempo de exposición al ozono gaseoso de 10 min.

**Figura 5. Valores de firmeza en fresas expuestas al ozono gaseoso**

Se puede observar que la firmeza fue disminuyendo en las fresas para todos los tratamientos a medida que transcurrieron los días de almacenamiento.

Las fresas almacenadas a 4 °C durante 12 días de almacenamiento, presentaron 1.64 N y 1.44 N para las muestras expuestas al ozono gaseoso por 10 minutos (D3) y 5 minutos (D2), respectivamente. La muestra control (D1) denotó un valor de 1.39 N. Los resultados de la pérdida de firmeza durante el almacenamiento se observan en el Anexo B.

La fresa es un fruto que sufre una rápida pérdida de firmeza durante la maduración, la cual contribuye en acortar su vida de postcosecha haciéndola susceptible a la contaminación por hongos, el ablandamiento de la fruta se atribuye a la degradación de los componentes de la pared celular, principalmente pectinas, debido a la acción de enzimas específicas, tales como poligalacturonasa (Hernández-Muñoz y otros, 2008; Acuña, 2009).

La pérdida de firmeza constituye uno de los cambios fisicoquímicos más significativos y está asociado a la pérdida de agua generada a través de la transpiración y respiración del fruto, como consecuencia se produce marchitamiento y pérdida de consistencia del fruto, es uno de los principales factores utilizados para determinar la calidad de la fruta y la vida útil de postcosecha (Acuña, 2009; Pérez, 2003; Castillo, 2008).

Salvador y otros (2005) reportaron que el caqui expuesto al ozono gaseoso 0.15 ppm presentó una menor pérdida de firmeza después de almacenarlas a 15 °C por 35 días, mostrando un valor de 18.2 N, en comparación de la muestra control que presentó valor de 9.7 N,

siendo un valor no comercial. La disminución de la firmeza podría asociarse con la pérdida de peso, debido a que la muestra control perdió mayor contenido de agua, lo cual influyó directamente en la pérdida de firmeza del producto.

Selma y otros (2008) reportaron la disminución de la firmeza en cubos de melón con exposición al ozono gaseoso 5000 y 20000 ppm, después de un periodo de almacenamiento de 7 días a 5 °C, los valores reportados fueron de 11.3 N y 10.8 N, respectivamente, en comparación de la muestra control que fue 10 N. La pérdida de firmeza podría estar relacionada con el desarrollo microbiano y con un aumento del metabolismo en los tejidos debido a la senescencia de los mismos.

Ali y otros (2013) reportaron que la papaya, expuesta al ozono gaseoso a 1.5 ppm y 2.5 ppm almacenadas a 25 °C presentaron una menor pérdida de firmeza después de 12 días de almacenamiento, los cuales fueron de 13.58 N y 18.48 N, respectivamente, en comparación con la muestra control 11.38 N.

La pérdida de la firmeza durante el almacenamiento es un problema grave, ya que reduce la comerciabilidad del producto, está en parte asociado a la pérdida de agua. La firmeza en el mesocarpio no se ve afectada por la exposición al ozono gaseoso, ya que en varios estudios se reportó la mejor retención de la firmeza en frutos, donde el ablandamiento de la fruta, asociada con la maduración se retrasó, debido a que en la pared celular del fruto, se encontró una disminución de la actividad de pectina metilesterasa (PME) por acción del ozono gaseoso lo que permite el retraso del ablandamiento de la fruta relacionado a la reducción de la

solubilización y despolimerización de los polisacáridos de pectina (Glowacz y otros, 2014).

Los cambios de firmeza en frutas y hortalizas están relacionados a ciertos procesos enzimáticos y no enzimáticos. La pectina, es primero, parcialmente desmetilada por la enzima pectinmetilesterasa y, luego, despolimerizada por la poligalacturasa en ácido poligalacturónico causando la pérdida de firmeza, también está relacionada con la producción de radicales libres como resultado del avance de senescencia lo cual afecta la pared celular. El ozono gaseoso al entrar en contacto con la superficie del producto evita la producción de radicales libres, ya que evita la liberación y acción de las quinonas, las cuales al liberarse, permiten la degradación de los anillos aromáticos de los compuestos fenólicos, impidiendo la acción de los antioxidantes sobre los radicales libres e impidiendo el avance de la senescencia del producto; además la aplicación de ozono puede reducir significativamente la flora microbiana en la superficie de los alimentos, evitando así la pérdida de firmeza en los frutos durante el almacenamiento (Acuña, 2009; Lin y Zhao, 2007; Aguayo, 2010).

En el Cuadro 7, se presenta la prueba de Levene modificada para la firmeza en fresas expuestas al ozono gaseoso.

**Cuadro 7. Prueba de Levene modificada para firmeza en fresas expuestas al ozono gaseoso.**

<b>Variable</b>	<b>Estadístico de Levene</b>	<b>p</b>
Firmeza (N)	0.610	0.802

La prueba de Levene modificada determinó la existencia de homogeneidad de varianzas ( $p > 0.05$ ). Por lo tanto es factible la aplicación de un análisis de varianza y la prueba de Duncan.

En el Cuadro 8, se presenta el análisis de varianza para los valores de firmeza en fresas.

**Cuadro 8. Análisis de varianza de la firmeza en fresas expuestas al ozono gaseoso.**

Variable	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
Firmeza (N)	Tiempo exposición: A	0.039	2	0.019	0.807	0.459
	Tiempo de almacenamiento: B	1.961	3	0.654	27.341	0.000
	A*B	0.412	6	0.069	2.869	0.032
	Bloques	0.069	2	0.034	1.437	0.259
	Error	0.526	22	0.024		
	Total	3.006	35			

$p < 0.05$ , existe efecto significativo

El análisis de varianza muestra que el tiempo de almacenamiento y la interacción (tiempo de exposición al ozono gaseoso – tiempo de almacenamiento) presentaron efecto significativo ( $p < 0.05$ ) sobre la firmeza en fresas. Por otro lado el tiempo de exposición resultó no ser significativa.

Salvador y otros (2005) reportaron un efecto significativo ( $p < 0.05$ ) del tiempo de almacenamiento sobre la firmeza en caqui con exposición al ozono gaseoso (0.15 ppm) y almacenada a 15 °C durante 35 días.

Ali y otros (2013) encontraron efecto significativo ( $p < 0.05$ ) en la exposición al ozono gaseoso (1.5 y 2.5 ppm) y tiempo de almacenamiento sobre la firmeza en papaya almacenadas a 25 °C durante 12 días de almacenamiento.

En el Cuadro 9 se presenta la prueba de Duncan aplicada a los valores de firmeza en fresas expuestas al ozono gaseoso.

**Cuadro 9. Prueba de Duncan para la firmeza en fresas expuestas al ozono gaseoso**

Tiempo de almacenamiento (días)	Tiempo de exposición al ozono gaseoso (min)	Subgrupo					
		1	2	3	4	5	6
12	D1	1.39					
12	D2	1.44	1.44				
8	D1	1.46	1.46				
8	D2	1.56	1.56	1.56			
12	D3	1.64	1.64	1.64	1.64		
4	D1	1.67	1.67	1.67	1.67		
8	D3		1.73	1.73	1.73		
4	D2			1.79	1.79		
4	D3			1.82	1.82		
0	D3				1.90	1.90	
0	D2					2.15	2.15
0	D1						2.25

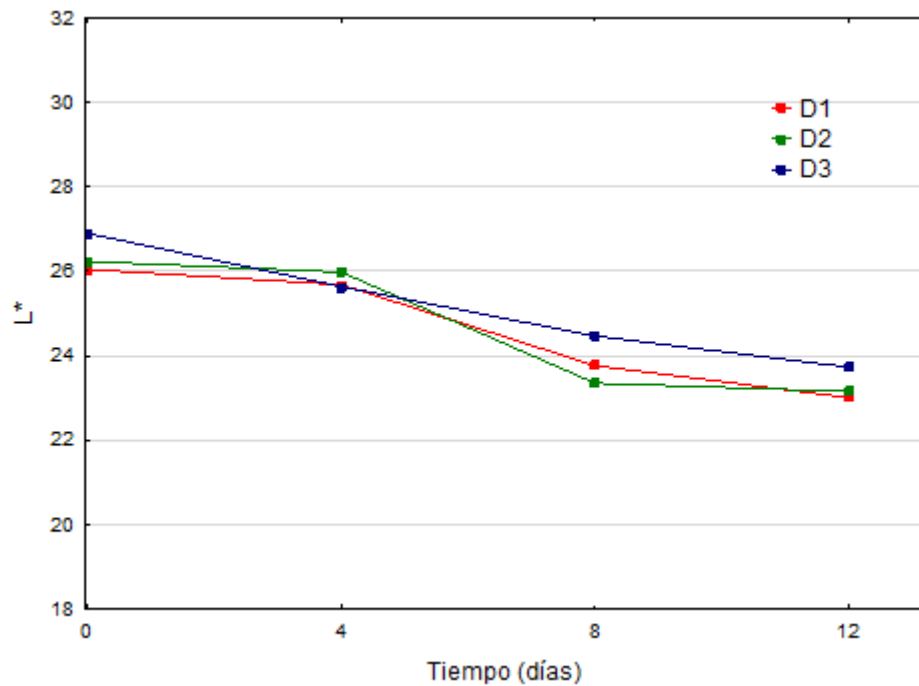
**D1:** control (sin exposición al ozono gaseoso).  
**D2:** tiempo de exposición al ozono gaseoso de 5 min.  
**D3:** tiempo de exposición al ozono gaseoso de 10 min.

En el Cuadro 9 se observa la prueba de Duncan aplicada a los valores de firmeza, donde se observa en el subgrupo 4 que la mayor

firmeza (1.64 N) a los 12 días de almacenamiento se obtuvo con un tiempo de exposición de 10 minutos (D3).

#### 4.3. Efecto del tiempo de exposición al ozono gaseoso y tiempo de almacenamiento sobre el color.

En la Figura 6, se presenta el comportamiento de la luminosidad ( $L^*$ ) en fresas expuestas al ozono gaseoso en función del tiempo de almacenamiento.



**D1:** control (sin exposición al ozono gaseoso).  
**D2:** tiempo de exposición al ozono gaseoso de 5 min.  
**D3:** tiempo de exposición al ozono gaseoso de 10 min.

**Figura 6. Valores de luminosidad ( $L^*$ ) en fresas expuestas al ozono gaseoso.**

Se puede observar que el valor de luminosidad ( $L^*$ ) fue disminuyendo en las fresas para todos los tratamientos a medida



que transcurrieron los días de almacenamiento, debido a la tonalidad que presentó en la combinación de las coordenadas  $L^*$ ,  $a$  y  $b$  donde fueron disminuyendo los valores de  $L^*$  y  $b$ , mientras que los valores de  $a$  fueron aumentando.

Las fresas almacenadas a 4 °C durante 12 días de almacenamiento, presentaron valores 23.73 y 23.15 de luminosidad ( $L^*$ ) para las muestras expuestas al ozono gaseoso por 10 minutos (D3) y 5 minutos (D2), respectivamente. La muestra control (D1) denotó 23.01. Los resultados de luminosidad ( $L^*$ ) durante el almacenamiento se observan en el Anexo C.

Rice (2007) reportó que bajo concentraciones de almacenamiento con ozono gaseoso a 0.0002 ppm por 5 horas por día durante 5 días, en manzana se produjo una disminución en la actividad de la catalasa y peroxidasa, enzima que cataliza la oxidación de fenoles propios de las células a quinonas que generan colores pardos (Estrella y otros, 2005).

Amigo y Palacios (2002) evaluaron la luminosidad en 3 variedades de frutos de tomate (caramba, kalyma y tavira) expuestos a 0.01 ppm al ozono gaseoso y almacenadas durante 20 días a 12 °C, obteniendo valores de 26.3, 26.9 y 25.8 para las muestras con ozono para las muestras expuestas con ozono, respectivamente, en comparación con las muestras control que reportaron valores de 23.1, 23.8 y 22.7, respectivamente. El ozono tiene la capacidad para inhibir la acción del etileno y como consecuencia de ello conservar el color durante el almacenamiento en las frutas.

Chiam y otros (2004) reportaron valores de luminosidad en zanahorias expuestas al ozono gaseoso (15 ppm) y almacenadas a

2 °C luego de 28 días, el valor obtenido fue de 51.2 en comparación con las muestras control que presentó un valor de 49.5.

Ali y otros (2013) evaluaron la luminosidad en papayas expuestas al ozono gaseoso (1.5 y 2.5 ppm) y almacenadas a 25 °C durante 12 días, los valores encontrados fueron de 55.64 y 53.08 para las muestras tratadas con ozono, respectivamente, en comparación con la muestra control que presentó un valor de 50.07. Los valores de luminosidad se reducen gradualmente cuando la fruta va madurando hasta llegar a su senescencia, esto significa que la fruta tratada con ozono retrasa su senescencia en comparación con la muestra control, donde la pérdida de clorofila hace que los tonos amarillos y rojos sean más evidentes debido a los carotenoides y otros pigmentos que son responsables de estos colores.

El color es un factor importante en la percepción de la calidad de la fruta. La disminución de la luminosidad se relaciona directamente con el aumento del oscurecimiento por la concentración de antocianinas totales, este cambio se produce durante el almacenamiento. El ozono gaseoso se utiliza en cámaras de almacenamiento postcosecha en frutas, este reacciona con el etileno, eliminándolo y retardando la senescencia, permitiendo la conservación del color inicial en frutas y hortalizas durante el almacenamiento (Garmendia y Vero, 2007; Horvitz y Cantalejo, 2012).

En el Cuadro 10, se presenta la prueba de Levene modificada para luminosidad ( $L^*$ ) en fresas expuestas al ozono gaseoso.

**Cuadro 10. Prueba de Levene modificada para L\* en fresas expuestas al ozono gaseoso**

Variable	Estadístico de Levene	P
L*	0.310	0.976

La prueba de Levene modificada determinó la existencia de homogeneidad de varianzas ( $p > 0.05$ ). Por lo tanto es factible la aplicación de un análisis de varianza y la prueba de Duncan.

En el Cuadro 11, se presenta el análisis de varianza para los valores de L\* en fresas expuestas al ozono gaseoso.

**Cuadro 11. Análisis de varianza para L\* en fresas expuestas al ozono gaseoso.**

Variable	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
L*	Tiempo exposición: A	2.283	2	1.141	1.584	0.228
	Tiempo de almacenamiento: B	59.52	3	19.84	27.544	0.000
	A*B	1.944	6	0.324	0.45	0.837
	Bloques	5.618	2	2.809	3.9	0.036
	Error	15.846	22	0.72		
	Total	85.211	35			

El análisis de varianza muestra que el tiempo de almacenamiento presenta un efecto significativo ( $p < 0.05$ ) sobre L\* en fresas. La variable tiempo de exposición y la interacción (tiempo de exposición – tiempo de almacenamiento) no presentaron efecto significativo sobre L\*.

Artés-Hernández y otros (2010) encontraron una diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) en la dosis y el tiempo de almacenamiento sobre  $L^*$  en uvas de mesa con exposición al ozono gaseoso (0.6 ppm por 2 minutos) a 5 °C almacenadas durante 23 días.

Chiam y otros (2004) encontraron una diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) en la dosis y tiempo de almacenamiento sobre  $L^*$  en zanahorias con exposición al ozono gaseoso 15 ppm almacenadas durante 28 días a 2 °C.

Ali y otros (2013) encontraron una diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) en la dosis de exposición y tiempo de almacenamiento sobre  $L^*$  en papaya con exposición al ozono gaseoso (1.5 y 2.5 ppm) almacenadas durante 12 días a 25 °C.

En el Cuadro 12, se muestran las pruebas de Duncan aplicada a los valores de  $L^*$  en fresas expuestas al ozono gaseoso.

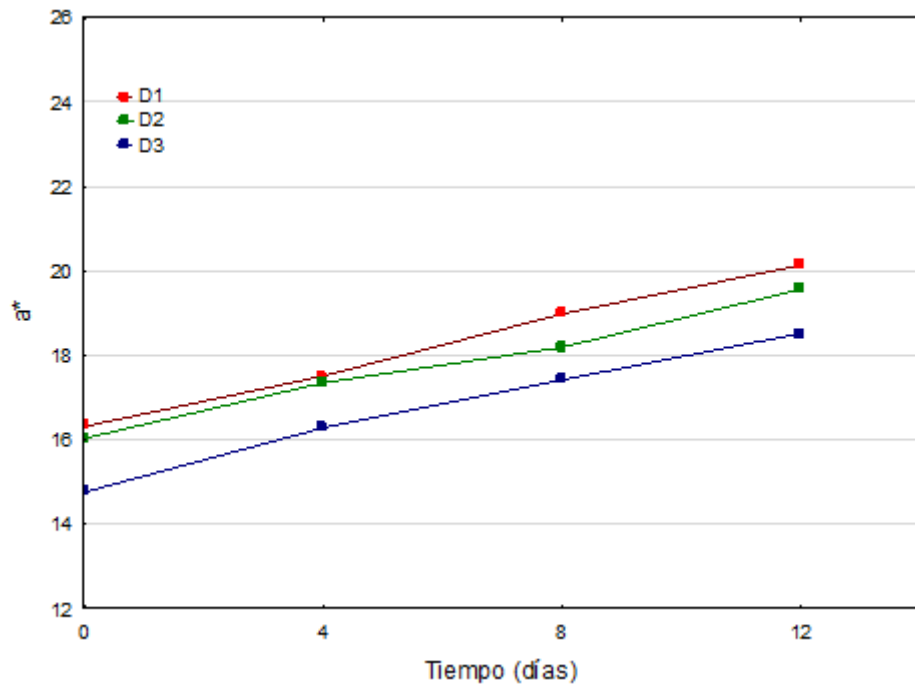
**Cuadro 12. Prueba de Duncan para L\* en fresas expuestas al ozono gaseoso**

Tiempo de almacenamiento (días)	Tiempo de exposición al ozono gaseoso (min)	Subgrupo		
		1	2	3
12	D1	23.01		
12	D2	23.15		
8	D2	23.35		
12	D3	23.73		
8	D1	23.76		
8	D3	24.47	24.47	
4	D3		25.64	25.64
4	D1		25.68	25.68
4	D2		25.98	25.98
0	D1		26.05	26.05
0	D2		26.23	26.23
0	D3			26.90

**D1:** control (sin exposición al ozono gaseoso).  
**D2:** tiempo de exposición al ozono gaseoso de 5 min.  
**D3:** tiempo de exposición al ozono gaseoso de 10 min.

En el Cuadro 12 se observa la prueba de Duncan aplicada a los valores de L\*, donde se observa en el subgrupo 1 el mejor valor de L\* (23.73) a los 12 días de almacenamiento se obtuvo con un tiempo de exposición de 10 minutos (D3).

En la Figura 7 se presenta el comportamiento del parámetro a\* en fresas expuestas al ozono gaseoso en función del tiempo de almacenamiento.



**D1:** control (sin exposición al ozono gaseoso).  
**D2:** tiempo de exposición al ozono gaseoso de 5 min.  
**D3:** tiempo de exposición al ozono gaseoso de 10 min.

**Figura 7. Valores de  $a^*$  en fresas expuestas al ozono gaseoso.**

Se puede observar que el valor de  $a^*$  fue aumentando en las fresas, debido a la disminución en las coordenadas de  $L^*$  y  $b$ , lo cual generó un oscurecimiento en todos los tratamientos a medida que transcurrieron los días de almacenamiento

Las fresas almacenadas a 4 °C durante 12 días de almacenamiento, presentaron valores 18.52 y 19.57 de  $a^*$  para las muestras expuestas al ozono gaseoso por 10 minutos (D3) y 5 minutos (D2), respectivamente. La muestra control (D1) denotó un valor de 20.14. Los resultados de  $a^*$  durante el almacenamiento se observan en el Anexo D.

El parámetro  $a^*$  es un indicador de la madurez de la fresa que va desde el color verde (-) hasta el rojo (+). El incremento de la coordenada  $a^*$  está relacionada con la disminución de las coordenadas de  $L^*$  y  $b$ , lo cual produce un oscurecimiento de la superficie de la fruta, el cual es debido al aumento de la concentración de antocianinas totales y la pérdida de agua en el transcurso de los días de almacenamiento, ya que durante el almacenamiento ocurren cambios en el color de la piel que se vuelve menos cromático y la pérdida del color verde, hasta llegar a la senescencia. La pérdida del color verde es consecuencia de la degradación de clorofila, donde las causas primordiales de esta degradación son los cambios de pH, la acción de algunas enzimas como las clorofilasas y la acción del etileno, el cual estimula la pérdida de la clorofila; mediante su acción oxidante. Se ha encontrado que el ozono retarda la acción del etileno y su acción oxidante el cual permite retrasar el desarrollo del pardeamiento enzimático disminuyendo así el oscurecimiento de las frutas durante el almacenamiento (Rivera y otros, 2007; Hernández-Muñoz y otros, 2008).

Artés-Hernández y otros (2010) reportaron valores de  $a^*$  en uvas de mesa expuestas al ozono gaseoso (0.6 ppm por 2 minutos), después de 23 días de almacenamiento a 5 °C, el valor reportado fue de 10.9, en comparación de la muestra control que presentó valores de 14.3.

En el Cuadro 13, se presenta la prueba de Levene modificada para la firmeza en fresas expuestas al ozono gaseoso.

**Cuadro 13. Prueba de Levene modificada para a\* en fresas expuestas al ozono gaseoso**

Variable	Estadístico de Levene	p
a*	0.460	0.911

La prueba de Levene modificada determinó la existencia de homogeneidad de varianzas ( $p > 0.05$ ). Por lo tanto es factible la aplicación de un Análisis de Varianza y la prueba de Duncan.

En el Cuadro 14, se presenta el análisis de varianza para los valores de a\* en fresas expuestas al ozono gaseoso.

**Cuadro 14. Análisis de varianza para a\* en fresas expuestas al ozono gaseoso.**

Variable	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
a*	Tiempo exposición: A	14.000	2	7.000	6.122	0.008
	Tiempo de almacenamiento: B	67.671	3	22.557	19.728	0.000
	A*B	0.466	6	0.078	0.068	0.999
	Bloques	21.810	2	10.905	9.537	0.001
	Error	25.155	22	1.143		
	Total	129.102	35			

El análisis de varianza muestra que el tiempo de exposición y el tiempo de almacenamiento presentaron efecto significativo ( $p < 0.05$ ) sobre a\* en fresas. La interacción (tiempo de exposición – tiempo de almacenamiento) no presentó efecto significativo sobre a\*.



En el Cuadro 15, se muestran las pruebas de Duncan aplicada a los valores de  $a^*$  en fresas expuestas al ozono gaseoso.

**Cuadro 15. Prueba de Duncan para  $a^*$  en fresas expuestas al ozono gaseoso.**

Tiempo de almacenamiento (días)	Tiempo de exposición al ozono gaseoso (min)	Subgrupo				
		1	2	3	4	5
0	D3	14.77				
0	D2	16.04	16.04			
4	D3	16.29	16.29	16.29		
0	D1	16.32	16.32	16.32		
4	D2	17.35	17.35	17.35	17.35	
8	D3		17.42	17.42	17.42	
4	D1		17.51	17.51	17.51	17.51
8	D2		18.20	18.20	18.20	18.20
12	D3		18.52	18.52	18.52	18.52
8	D1			18.99	18.99	18.99
12	D2				19.57	19.57
12	D1					20.14

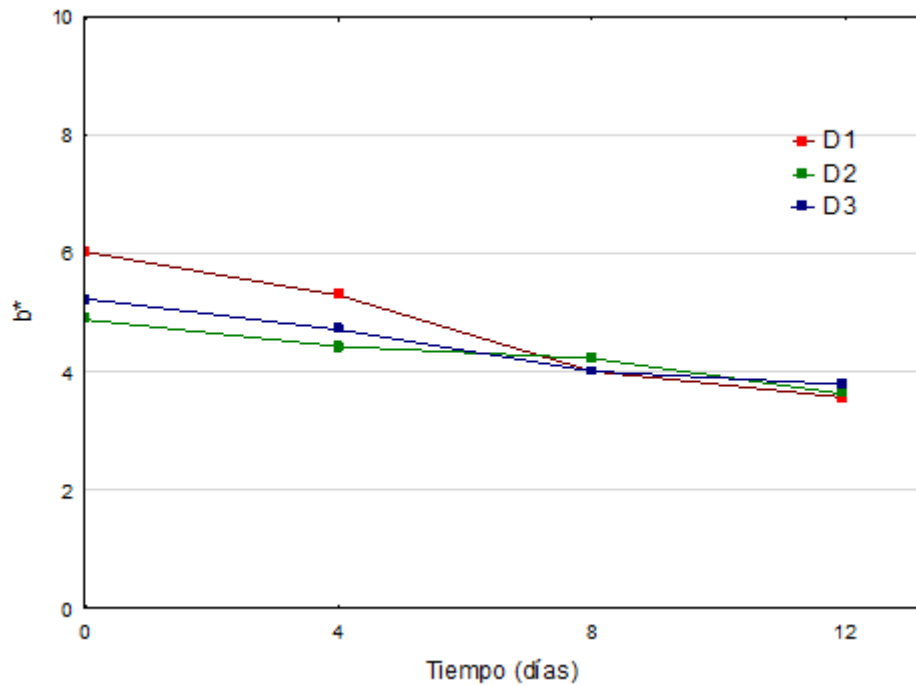
**D1:** control (sin exposición al ozono gaseoso).

**D2:** tiempo de exposición al ozono gaseoso de 5 min.

**D3:** tiempo de exposición al ozono gaseoso de 10 min.

En el Cuadro 15 se observa la prueba de Duncan aplicada a los valores de  $a^*$ , donde se observa en el subgrupo 5 el mejor valor de  $a^*$  (18.52) a los 12 días de almacenamiento, se obtuvo con un tiempo de exposición de 10 minutos (D3).

En las Figuras 8 se presenta el comportamiento del parámetro  $b^*$  en fresas expuestas al ozono gaseoso en función del tiempo de almacenamiento.



**D1:** control (sin exposición al ozono gaseoso).  
**D2:** tiempo de exposición al ozono gaseoso de 5 min.  
**D3:** tiempo de exposición al ozono gaseoso de 10 min.

**Figura 8. Valores de  $b^*$  en fresas expuestas al ozono gaseoso**

Se puede observar que el valor de  $b^*$  fue disminuyendo en las fresas para todos los tratamientos a medida que transcurrieron los días de almacenamiento.

Las fresas almacenadas a 4 °C durante 12 días de almacenamiento, presentaron valores 3.79 y 3.63 para las muestras expuestas al ozono gaseoso por 10 minutos (D3) y 5 minutos (D2), respectivamente. La muestra control (D1) denotó un valor de 3.57.

Los resultados de  $b^*$  durante el almacenamiento se observan en el Anexo E.

El parámetro  $b^*$  es la coordenada en el eje de las ordenadas que va desde el color azul (-) hasta el amarillo (+). Los valores de  $b^*$  fueron disminuyendo debido a la tonalidad que presentó la combinación de las coordenadas  $L^*$ ,  $a$  y  $b$ ; donde fueron disminuyendo los valores de  $L^*$  y  $b$ , mientras que los valores de  $a$  fueron aumentando.

Artés-Hernández y otros (2010) reportaron valores de  $b^*$  en uvas de mesa expuestas al ozono gaseoso (0.6 ppm por 2 minutos) después de 23 días de almacenamiento a 5 °C, el valor reportado fue de 5.8, en comparación de la muestra control que presentó valores de 8.6.

En el Cuadro 16, se presenta la prueba de Levene modificada para  $b^*$  en fresas expuestas al ozono gaseoso.

**Cuadro 16. Prueba de Levene modificada para  $b^*$  en fresas expuestas al ozono gaseoso.**

Variable	Estadístico de Levene	p
$b^*$	0.22	0.993

La prueba de Levene modificada determinó la existencia de homogeneidad de varianzas ( $p > 0.05$ ). Por lo tanto es factible la aplicación de un Análisis de Varianza y la prueba de Duncan.

En el Cuadro 17, se presenta el análisis de varianza para los valores de  $b^*$  en fresas expuestas al ozono gaseoso.

**Cuadro 17. Análisis de varianza para b\* en fresas expuestas al ozono gaseoso.**

Variable	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
b*	Tiempo exposición: A	1.174	2	0.587	4.129	0.030
	Tiempo de almacenamiento: B	15.803	3	5.268	37.063	0.000
	A*B	2.24	6	0.373	2.627	0.045
	Bloques	7.261	2	3.63	25.544	0.000
	Error	3.127	22	0.142		
	Total	29.604	35			

El análisis de varianza muestra que el tiempo de exposición, el tiempo de almacenamiento y la interacción (tiempo de exposición – tiempo de almacenamiento) presentan efecto significativo ( $p < 0.05$ ) sobre b\*, en fresas.

En el Cuadro 18, se muestra la prueba de Duncan aplicada a los valores de b\* en fresas expuestas al ozono gaseoso.

**Cuadro 18. Prueba de Duncan para b\* en fresas expuestas al ozono gaseoso.**

Tiempo de almacenamiento (días)	Tiempo de exposición al ozono gaseoso (min)	Subgrupo				
		1	2	3	4	5
12	D1	3.57				
12	D2	3.63	3.63			
12	D3	3.79	3.79			
8	D3	4.02	4.02	4.02		
8	D1	4.02	4.02	4.02		
8	D2	4.24	4.24	4.24	4.24	
4	D2	4.44	4.44	4.44	4.44	
4	D3	4.72	4.72	4.72	4.72	
0	D2		4.89	4.89	4.89	4.89
0	D3			5.24	5.24	5.24
4	D1				5.30	5.30
0	D1					6.04

**D1:** control (sin exposición al ozono gaseoso).

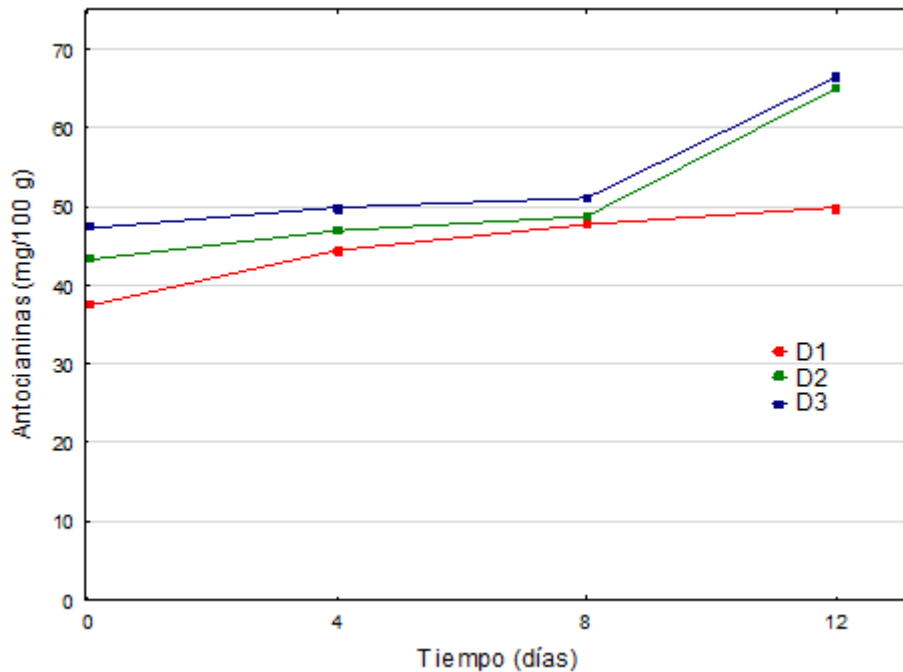
**D2:** tiempo de exposición al ozono gaseoso de 5 min.

**D3:** tiempo de exposición al ozono gaseoso de 10 min.

En el Cuadro 18 se observa el subgrupo 1 el mejor valor de b\* (3.79) a los 12 días de almacenamiento que se obtuvo con un tiempo de exposición de 10 minutos (D3).

#### **4.4. Efecto del tiempo de exposición al ozono gaseoso y tiempo de almacenamiento sobre el contenido de antocianinas totales.**

En la Figura 9 se presenta el contenido de antocianinas totales en las fresas expuestas al ozono gaseoso en función del tiempo de almacenamiento.



**D1:** control (sin exposición al ozono gaseoso).  
**D2:** tiempo de exposición al ozono gaseoso de 5 min.  
**D3:** tiempo de exposición al ozono gaseoso de 10 min.

**Figura 9. Contenido de antocianinas totales en fresas expuestas al ozono gaseoso.**

Se puede observar que el valor de antocianinas totales fue incrementando en las fresas para todos los tratamientos a medida que transcurrieron los días de almacenamiento.

Las fresas almacenadas a 4 °C durante 12 días de almacenamiento, presentaron valores de 66.43 y 65.03 (mg/100g) de antocianinas totales para las muestras expuestas al ozono gaseoso por 10 minutos (D3) y 5 minutos (D2), respectivamente. La muestra control (D1) denotó un valor de 49.90 (mg/100g). Los resultados de antocianinas totales durante el almacenamiento se observan en el Anexo F.

El ozono actúa sobre la pared celular, inhibiendo la formación de radicales libres al tener acción sobre las quinonas, las cuales no pueden liberarse y actuar sobre los anillos aromáticos de los compuestos fenólicos evitando así su degradación; además el ozono gaseoso provoca un incremento de la concentración total de antocianinas monoméricas y flavonoides, las cuales se acumulan para proteger al tejido, como mecanismo de defensa. Uno de los beneficios atribuidos por la exposición de ozono gaseoso es la inducción de mecanismos de defensa los cuales se relacionan positivamente con la resistencia a diferentes patógenos y con la reducción de desórdenes fisiológicos, evitando así la pérdida de color (Peña-Varela, 2006; Rivera y otros, 2007).

Keutgen y Pawlzik (2007) reportaron valores de antocianinas en fresas expuestas a ozono gaseoso (15.6 ppm) durante 5 días a 24 °C, el cual fue de 19.02 mg/100g en comparación con la muestra control que presentó un valor de 17.76 mg/100g.

En el producto se produce un equilibrio entre oxidantes/antioxidantes, cuando este equilibrio se rompe a favor de los oxidantes se produce un estrés oxidativo el cual está implicado en muchos procesos fisiopatológicos, es por ello que los compuestos fenólicos actúan como mecanismos de defensa para evitar el ataque de patógenos. La acumulación de compuestos fenólicos bajo tratamiento con ozono gaseoso durante el almacenamiento en frutas es consecuente con su capacidad para eliminar los radicales de oxígeno y evitar el estrés oxidativo, esto a menudo está asociado con la acumulación de fenoles totales y un aumento de fitoalexinas, estas son compuestos de bajo peso molecular de la naturaleza fenólica que se acumulan localmente y por lo tanto constituyen una parte importante como mecanismo de defensa del fruto. Además el

incremento de compuestos fenólicos, dentro de ellas las antocianinas, en las frutas durante la exposición al ozono se debe a la activación de enzimas específicas, dentro de ellas la fenilalanina amonio liasa, esta enzima es estimulada durante la exposición a sustancias gaseosas lo que permite actuar sobre la pared celular, durante el metabolismo de los fenilpropanoides, la fenilalanina amonio-liasa cataliza el primer paso comprometido en la vía de la biosíntesis fenólica, permitiendo un incremento de la capacidad antioxidante (Ali y otros, 2013; Alothman y otros, 2010; Minas y otros, 2010).

En el Cuadro 19, se presenta la prueba de Levene modificada para el contenido de antocianinas en fresas expuestas al ozono gaseoso.

**Cuadro 19. Prueba de Levene modificada para el contenido de antocianinas totales en fresas expuestas al ozono gaseoso.**

Variable	Estadístico de Levene	p
Antocianinas (mg/100 g)	0.870	0.580

La prueba de Levene modificada determinó la existencia de homogeneidad de varianzas ( $p > 0.05$ ). Por lo tanto es factible la aplicación de un Análisis de Varianza y la prueba de Duncan.

En el Cuadro 20, se presenta el análisis de varianza para los valores del contenido de antocianinas totales en fresas.



**Cuadro 20. Análisis de varianza para el contenido antocianinas totales en fresas.**

Variable	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
<b>Antocianinas (mg/100 g)</b>	Tiempo exposición: A	488.820	2	244.410	109.032	0.000
	Tiempo de almacenamiento: B	1554.642	3	518.214	231.176	0.000
	A*B	225.782	6	37.630	16.787	0.000
	Bloques	2.806	2	1.403	0.626	0.544
	Error	49.316	22	2.242		
	Total	2321.365	35			

p<0.05, existe efecto significativo

El análisis de varianza muestra que el tiempo de exposición al ozono gaseoso, tiempo de almacenamiento y la interacción (tiempo de exposición al ozono gaseoso – tiempo de almacenamiento) presentaron efecto significativo ( $p<0.05$ ) sobre el contenido de antocianinas totales en fresas.

Keutgen y Pawlzik (2007) encontraron efecto significativo ( $p<0.05$ ) en la dosis y tiempo de almacenamiento sobre el contenido de antocianinas en fresas expuestas al ozono gaseoso (15.6 ppm) durante 5 días a 24 °C.

En el Cuadro 21, se muestra la prueba de Duncan aplicada a los valores de antocianinas totales, donde se puede observar que existió diferencia significativa entre los tratamientos denotados por la formación de subgrupos.

**Cuadro 21. Prueba de Duncan para el contenido de antocianinas totales en fresas expuestas al ozono gaseoso.**

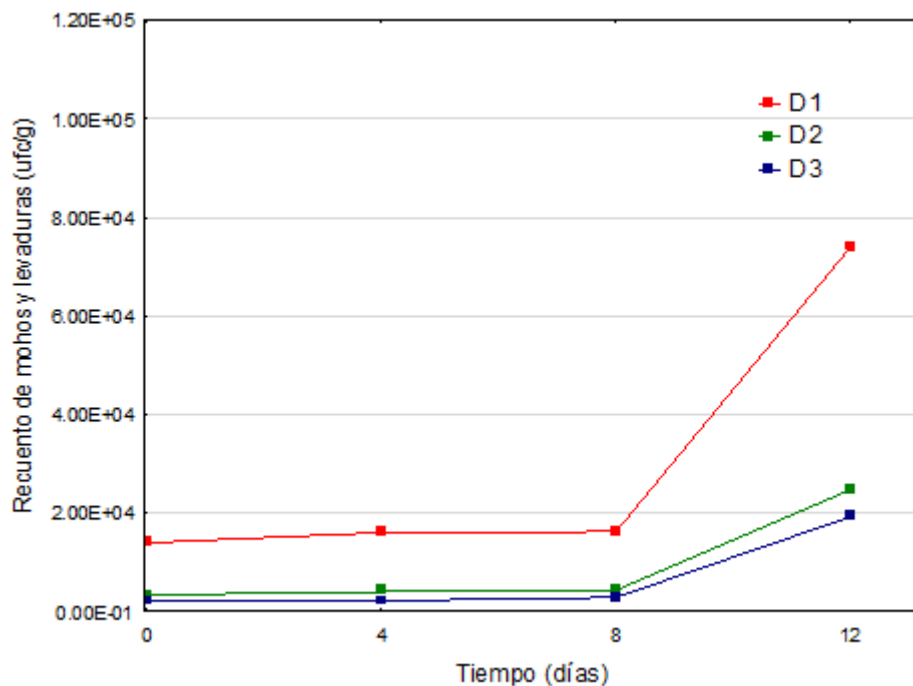
Tiempo de almacenamiento (días)	Tiempo de exposición al ozono gaseoso (min)	Subgrupo					
		1	2	3	4	5	6
0	D1	37.37					
0	D2		43.23				
4	D1		44.44				
4	D2			46.94			
0	D3			47.24	47.24		
8	D1			47.74	47.74		
8	D2			48.74	48.74	48.74	
4	D3				49.90	49.90	
12	D1				49.90	49.90	
8	D3					51.10	
12	D2						65.03
12	D3						66.43

**D1:** control (sin exposición al ozono gaseoso).  
**D2:** tiempo de exposición al ozono gaseoso de 5 min.  
**D3:** tiempo de exposición al ozono gaseoso de 10 min.

En el Cuadro 22 se observa la prueba de Duncan aplicada a los valores del contenido antocianinas totales, donde se observa en el subgrupo 6 el mejor valor de antocianinas (66.43 mg/100g) a los 12 días de almacenamiento que se obtuvo con un tiempo de exposición de 10 minutos (D3).

#### 4.5. Efecto del tiempo de exposición al ozono gaseoso y tiempo de almacenamiento sobre el recuento de mohos y levaduras

En la Figura 10 se presenta el recuento de mohos y levaduras en fresas expuestas al ozono gaseoso en función del tiempo de almacenamiento.



**D1:** control (sin exposición al ozono gaseoso).  
**D2:** tiempo de exposición al ozono gaseoso de 5 min.  
**D3:** tiempo de exposición al ozono gaseoso de 10 min.

**Figura 10. Recuento de mohos y levaduras en fresas expuestas al ozono gaseoso.**

Se puede observar que el recuento de mohos y levaduras fue incrementando en las fresas para todos los tratamientos a medida que transcurrieron los días de almacenamiento.

Las fresas almacenadas a 4 °C durante 12 días de almacenamiento, presentaron valores de 19054 y 24547 ufc/g para las muestras expuestas al ozono gaseoso por 10 minutos (D3) y 5 minutos (D2), respectivamente. La muestra (D1) denotó un valor de 74131 ufc/g. Los resultados del recuento de mohos y levaduras durante el almacenamiento se observan en el Anexo G.

Los recuentos de mohos y levaduras se encontraron por debajo del límite máximo permisible de  $10^4$  a  $10^6$  ufc/g, recomendado para frutas y hortalizas frescas y mínimamente procesadas (MINSA, 2008).

Los mohos y levaduras son los principales causantes de podredumbres en las frutas. El crecimiento fúngico continua en los productos frescos después de la cosecha y causa lesiones que desfiguran el aspecto de frutas y hortalizas. Para el control de microorganismos en alimentos usualmente se utiliza la refrigeración, tratamientos con pulsos eléctricos e irradiación, en los últimos años la exposición al ozono gaseoso es una tecnología no térmica que se ha aplicado en el procesamiento de alimentos para inactivar varios tipos de microorganismos. Se ha comprobado la eficacia del ozono gaseoso sobre el control de diversos microorganismos en carnes, frutas y hortalizas frescas como el plátano, fresa, uva, pepino, zanahoria, lechuga, entre otros (Alexandre y otros, 2011).

Alexandre y otros (2011) indicaron que la exposición al ozono (0.2 y 0.3 ppm) y tiempo de exposición (1, 2 y 3 minutos) permitió una reducción de mohos y levaduras de 20000 a 90000 ufc/g en pimientos, fresas y berros. La reducción se debió a que el ozono es un potente agente antimicrobiano capaz de destruir bacterias, esporas, protozoos, mohos, levaduras y virus cuando se aplica a

bajas concentraciones y en un tiempo corto de exposición. El ozono actúa sobre la superficie de la fruta, teniendo como habilidad atacar, reducir y eliminar las bacterias que causan contaminación y deterioro en los productos, además permite evitar la degradación de los componentes de la pared celular, principalmente pectinas, inhibiendo la acción de enzimas específicas.

Selma y otros (2008) indicaron que la exposición al ozono gaseoso (5000 y 20000 ppm) y tiempo de exposición (30 minutos) permitió una reducción de mohos y levaduras de 18000 y 20000 ufc/g en cubos de melón mínimamente procesados.

En el Cuadro 22, se presenta la prueba de Levene modificada para el recuento de mohos y levaduras en fresas expuestas al ozono gaseoso.

**Cuadro 22. Prueba de Levene modificada para el recuento de mohos y levaduras en fresas expuestas al ozono gaseoso.**

<b>Variable</b>	<b>Estadístico de Levene</b>	<b>P</b>
Mohos y levaduras	0.500	0.887

La prueba de Levene modificada determinó la existencia de homogeneidad de varianzas ( $p > 0.05$ ). Por lo tanto es factible la aplicación de un Análisis de Varianza y la prueba de Duncan.

En el Cuadro 23, se presenta el análisis de varianza para los valores de recuento de mohos y levaduras en fresas expuestas al ozono gaseoso.

**Cuadro 23. Análisis de varianza para el recuento de mohos y levaduras en fresas expuestas al ozono gaseoso.**

Variable	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
<b>Mohos y levaduras</b>	Tiempo exposición: A	3.439	2	1.719	57.046	0.000
	Tiempo de almacenamiento: B	4.496	3	1.499	49.729	0.000
	A*B	0.081	6	0.013	0.446	0.840
	Bloques	0.007	2	0.003	0.116	0.891
	Error	0.663	22	0.030		
	Total	8.685	35			

p<0.05, existe efecto significativo

El análisis de varianza muestra que el tiempo de exposición al ozono gaseoso y tiempo almacenamiento presentaron efecto significativo (p<0.05) sobre la firmeza en fresas. Por otro lado la interacción (tiempo de exposición al ozono gaseoso - tiempo de almacenamiento) resultó no ser significativa.

Alexandre y otros (2011) determinaron efecto significativo p<0.05 de la dosis y tiempo de almacenamiento sobre el recuento de mohos y levaduras en fresas, pimientos y berros con exposición al ozono a 0.2 y 0.3 ppm por 3 minutos.

Selma y otros (2008) encontraron una diferencia significativa (p<0.05) de la dosis y tiempo de almacenamiento sobre levaduras en cubos de melón con exposición al ozono gaseoso a 5000 y 20000 ppm almacenados durante 7 días a 5 °C.

Oztekin y otros (2005) encontraron una diferencia significativa (p<0.05) de la dosis y tiempo de almacenamiento sobre mohos y

levaduras en higos secos con exposición al ozono gaseoso a 5000 y 20000 ppm almacenados durante 5 días a 5 °C.

En el Cuadro 24, se muestra la prueba de Duncan aplicada a los valores de recuento de mohos y levaduras, donde se puede observar que existió diferencia significativa entre los tratamientos denotados por la formación de subgrupos.

**Cuadro 24. Prueba de Duncan para el recuento de mohos y levaduras en fresas expuestas al ozono gaseoso.**

Tiempo de almacenamiento (días)	Tiempo de exposición al ozono gaseoso (min)	Subgrupo				
		1	2	3	4	5
4	D3	2.17E+03				
0	D3	2.25E+03				
8	D3	2.93E+03	2.93E+03			
0	D2	3.48E+03	3.48E+03			
4	D2	4.08E+03	4.08E+03			
8	D2		4.43E+03			
0	D1			1.40E+04		
4	D1			1.61E+04	1.61E+04	
8	D1			1.63E+04	1.63E+04	
12	D3			1.93E+04	1.93E+04	
12	D2				2.48E+04	
12	D1					7.40E+04

**D1:** control (sin exposición al ozono gaseoso).

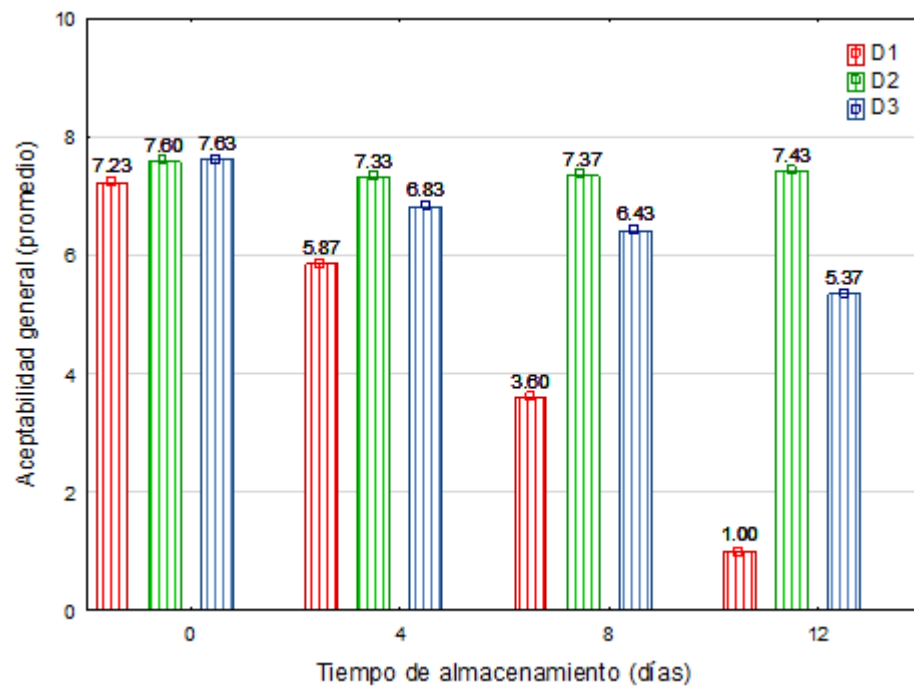
**D2:** tiempo de exposición al ozono gaseoso de 5 min.

**D3:** tiempo de exposición al ozono gaseoso de 10 min.

En el Cuadro 24 se observa la prueba de Duncan aplicada a los valores de recuento de mohos y levaduras, donde se observa en el subgrupo 3 el menor valor de recuento de mohos y levaduras (19054 ufc/g) a los 12 días de almacenamiento que se obtuvo con un tiempo de exposición de 10 minutos (D3).

#### 4.6. Efecto del tiempo de exposición al ozono gaseoso y tiempo de almacenamiento sobre la aceptabilidad general.

En la Figura 11 se presenta las puntuaciones de promedio de la evaluación de aceptabilidad general en fresas expuestas al ozono gaseoso.



**D1:** control (sin exposición al ozono gaseoso).  
**D2:** tiempo de exposición al ozono gaseoso de 5 min.  
**D3:** tiempo de exposición al ozono gaseoso de 10 min.

**Figura 11. Aceptabilidad general en fresas expuestas al ozono gaseoso.**



Se puede observar que la evaluación de aceptabilidad general mediante la aplicación de una escala hedónica de 9 puntos en fresas expuestas al ozono gaseoso durante el almacenamiento fue incrementando en las dosis D2 (5 minutos de exposición), en comparación con D3 (10 minutos de exposición) y D1 (control), la cual fue disminuyendo. En el anexo H se muestran los resultados de la evaluación sensorial.

La acción del ozono puede generar la supresión de sabores y olores extraños, así también como de los característicos. Se sabe que a mayores concentraciones y tiempos de exposición el residuo de la acción de ozono puede generar sabores insípidos y pérdidas de olor característico en el producto tratado. La cantidad adecuada de ozono es entre concentraciones de 0.5 y 0.8 ppm de ozono durante unos tres a cinco minutos de exposición (Artés-Hernández y otros, 2010).

Según la percepción general de los panelistas indicadas en la cartilla de evaluación en los días 0, 4 y 8 de almacenamiento, para la dosis D2 (5 minutos de exposición) los panelistas indicaron en las muestras un sabor dulce y aroma intenso, característico de la fresa, pero una firmeza ligeramente disminuida en el transcurso de los días de almacenamiento, los panelistas tuvieron percepciones de me gusta bastante y me gusta mucho. Por otro lado para la dosis D3 (10 minutos de exposición) los panelistas indicaron un sabor menos dulce y aroma menos intenso con una firmeza ligeramente mayor al compararla con la dosis D2 (5 minutos de exposición). En el día 12 se observó un mayor aumento en la aceptación para la muestra D2 (5 minutos de exposición) y disminución en la aceptabilidad general en la muestra D3 (10 minutos de exposición).

En las muestras control se observó una disminución del grado de aceptación de los panelistas en el transcurso de los días de almacenamiento, en el día 12 se observó que la muestra control denoto menor aceptación, donde los panelistas percibieron en los frutos sabor menos dulce, un sabor ácido y una firmeza disminuida, presentando percepciones de me disgusta mucho y me disgusta muchísimo.

Las propiedades sensoriales son los atributos de los alimentos que se detectan por medio de los sentidos y son, por tanto, la apariencia, el olor, el aroma, el gusto y las propiedades de textura. Teniendo presente que la apariencia representa todos los atributos visibles de un alimento, se puede afirmar que constituye un elemento fundamental en la elección de un alimento (Anzaldúa-Morales, 2005).

Artés-Hernández y otros (2010) indicaron que uvas de mesa con exposición al ozono gaseoso (0.6 ppm por 2 minutos) fueron aceptadas por los panelistas al día 23 de almacenamiento, mientras que la muestra control no fue aceptada por los panelistas.

La calidad de los alimentos por los consumidores resulta de una combinación de parámetros como la apariencia, firmeza, sabor, aroma y el valor nutricional. La influencia de cada atributo es dependiente del alimento, aunque el impacto visual es el factor decisivo de la compra (Artés-Hernández y otros, 2010).

En el Cuadro 25, se presenta la prueba de Friedman, que determinó la existencia de diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) en la aceptabilidad general en fresas en función del tiempo de exposición al ozono gaseoso y tiempo de almacenamiento.

**Cuadro 25. Prueba de Friedman para la aceptabilidad general en fresas expuestas al ozono gaseoso.**

Tiempo de almacenamiento (días)	Tiempo de exposición al ozono gaseoso (min)	Rango promedio	Media	Moda	Chi-cuadrado	p
0	D1	1.78	7.23	7	2.674	0.263
	D2	2.12	7.60	7		
	D3	2.10	7.63	8		
4	D1	1.37	5.87	6	22.764	0.000
	D2	2.53	7.33	7		
	D3	2.10	6.83	7		
8	D1	1.02	3.60	3	47.707	0.000
	D2	2.70	7.37	8		
	D3	2.28	6.43	6		
12	D1	1.00	1.00	1	53.067	0.000
	D2	2.87	7.43	8		
	D3	2.13	5.37	6		

**D1:** control (sin exposición al ozono gaseoso).

**D2:** tiempo de exposición al ozono gaseoso de 5 min.

**D3:** tiempo de exposición al ozono gaseoso de 10 min.

En el Cuadro 25 se observa los resultados de la prueba de Friedman para la aceptabilidad general en fresas expuestas al ozono gaseoso y tiempo de almacenamiento denotándose que existió diferencia significativa a un nivel de confianza del 95% entre los tratamientos.

En el Cuadro 26, se presenta la prueba de Wilcoxon, que es usada para obtener información complementaria a la prueba de Friedman,

cuando esta resulta significativa, comparándose todos los tratamientos por pares.

**Cuadro 26. Prueba de Wilcoxon para la aceptabilidad general en fresas expuestas al ozono gaseoso.**

Tiempo (días)	Tratamientos		Z	p
0	D1	D2	-1.843	0.065
		D3	-1.810	0.070
	D2	D3	-0.189	0.850
4	D1	D2	-4.161	0.000
		D3	-3.313	0.001
	D2	D3	-2.126	0.034
8	D1	D2	-4.750	0.000
		D3	-4.879	0.000
	D2	D3	-3.362	0.001
12	D1	D2	-4.853	0.000
		D3	-4.826	0.000
	D2	D3	-4.194	0.000

**D1:** control (sin exposición al ozono gaseoso).

**D2:** tiempo de exposición al ozono gaseoso de 5 min.

**D3:** tiempo de exposición al ozono gaseoso de 10 min.

Se determinó que para el día 4, 8 y 12 de almacenamiento, el tratamiento con mayor aceptabilidad general D2 (5) minutos de exposición, fue estadísticamente diferente a la muestra control y al tratamiento D3 (10 minutos de exposición).

## V. CONCLUSIONES

Se determinó efecto significativo del tiempo de exposición al ozono gaseoso y tiempo de almacenamiento sobre la pérdida de peso, parámetro a\*, parámetro b\*, contenido de antocianinas totales, recuento de mohos y levaduras y aceptabilidad general en fresas.

Se determinó efecto significativo del tiempo de almacenamiento sobre la firmeza y la luminosidad en fresas.

Las muestras sometidas 10 min al ozono gaseoso presentaron la menor pérdida de peso y recuento de mohos y levaduras, la mayor firmeza y contenido de antocianinas totales y el mejor color en fresas durante 12 días de almacenamiento a 4°C.

Las muestras sometidas 5 min al ozono gaseoso, obtuvieron la mayor aceptabilidad general en fresas a los 4, 8 y 12 días de almacenamiento, con una media de 7.33, 7.37 y 7.43 y con escala de me gusta moderadamente y me gusta mucho, respectivamente.

Las muestras sometidas 5 min al ozono gaseoso presentaron menor pérdida de peso y recuento de mohos y levaduras, mayor firmeza, contenido de antocianinas totales totales, aceptabilidad general y mejor color en fresas durante 12 días de almacenamiento a 4 °C.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Fomentar la utilización del ozono gaseoso como una tecnología de mínimo proceso con capacidad antimicrobiana para conservar las propiedades nutricionales y extender la vida útil en frutas.

Evaluar el efecto del ozono gaseoso y tiempo de almacenamiento en el contenido de compuestos fenólicos totales, flavonoides y antocianinas en frutos tipo berries durante diferentes tiempos de almacenamiento.

Utilizar un dosificador para determinar la concentración (ppm) de ozono gaseoso aplicada en los tratamientos.

Evaluar el efecto del ozono gaseoso y tiempo de almacenamiento sobre la actividad enzimática en diferentes frutas.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

Acuña, J. 2009. Preservación de pepinos mediante el empleo de coberturas de quitosano. Universidad de La Habana. Tesis para título en Licenciatura en Ciencias Alimentarias. La Habana, Cuba.

ADEX. 2009. Ficha de Requisitos Técnicos de Acceso al mercado de EEUU. Asociación de exportadores. Perú Exporta. Lima, Perú.

Aguayo, E. 2003. Innovaciones tecnológicas en la conservación de melón y tomate procesado en fresco. Departamento de Ingeniería de alimentos y del equipamiento. Universidad Politécnica de Cartagena. Murcia, España.

Aguayo, E.; Escalona, V. H.; Artés, F. 2010. El ozono y su utilización en la industria agroalimentaria. Grupo de Post-recolección y Refrigeración. Departamento de Ingeniería de Alimentos. Universidad Politécnica de Cartagena. Murcia, España.

Albanese, D.; Russo, L., Cinquanta, L., Brasiello, A. y Matteo, M. 2007. Physical and chemical changes in minimally processed green asparagus during cold-storage. *Food Chemistry*, 88 (4): 583-590.

Alexandre, E.; Santos - Pedro, D., Brandao, T. y Silva, C. 2011. Influence of aqueous ozone, blanching and combined treatments on microbial load of red bell peppers, strawberries and watercress. *Journal of Food Engineering*, 105: 277-282.

Ali, A.; Kying, M. y Forney, C. 2013. Effect of ozone pre-conditioning on quality and antioxidant capacity of papaya fruit during ambient storage. *Food Chemistry*, 142: 19–26.

Alothman, M.; Bhat, R. Kaur, B.; Fazilah, A. y Karim A. 2010. Ozono-induced changes of antioxidant capacity of fresh-cut tropical fruits. *Innovative food science and emerging technologies. Trends in Food Science and Technology*, 10(2): 512–516.

Amigo P. y Palacios, A. 2002. Evolución colorimétrica de los frutos del tomate contenidos en atmósfera ozonificada. EUITA. Madrid, España.

Anzaldúa - Morales. A. 2005. Evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y práctica. Editorial Acribia. Zaragoza, España.

AREX. 2013. Área de Comercio Exterior. Asociación regional de exportadores de Lambayeque. Arancel de Aduanas. Sierra Exportadora. Lambayeque, Perú.

Artés, F. 2006. El envasado en atmósfera modificada mejora la calidad de consumo de los productos hortofrutícolas intactos y mínimamente procesados en fresco. *Revista Iberoamericana y Tecnología de Postcosecha*. México D.F, México.

Artés, F. y Artés-Hernandez, F. 2002. Daños por frío en la postcosecha de frutas y hortalizas. *Revista Digital de la Universidad Politécnica de Cartagena, Avances en ciencias y técnicas del frío*. Cartagena, España.

Artés-Hernández, F.; Rodríguez-Hidalgo, S. y Artés, F. 2010. Establecimiento de vida comercial en uva mínimamente procesada con distintos lavados. Post-recolección y refrigeración. Departamento de Ingeniería de Alimentos. Universidad Politécnica de Cartagena, España.



Balboa, J. 2004. Aplicaciones del frío en la industria alimentaria. Editorial Ceysa. Barcelona, España.

Barboza, R.; Pacheco, P. y Pérez, A. 2002. Manual de procedimiento y de referencias por producto. Trabajos técnicos. Montevideo, Uruguay.

Beltrán, A. 2010. Estudio de la vida útil de fresas (*Fragaria Vesca L.*) mediante tratamiento con luz ultravioleta de onda corta UV-C. Trabajo de grado, Ingeniería en Alimentos. Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.

Blanco y Sierra, G. 2005. Caracterización bromatológica y evaluación de diferentes niveles de inclusión de morera y sauco. Editorial Iberoamericana. México D.F, México.

Brack A. 2003. Frutas del Perú. Universidad San Martín de Porres. Lima, Perú.

Camacho, A.; Giles, M.; Ortegón, A.; Palao, M.; Serrano, B.; y Velásquez, O. 2009. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos. Técnicas para el Análisis Microbiológico de Alimentos. 2ª edición Facultad de Química, UNAM. México DF, México.

Casp, A. y Abril, J. 2003. Procesos de conservación de alimentos. Segunda Edición. Editorial Mundi-prensa. Madrid, España.

Castillo, C. 2008. Manual de Buenas Prácticas Agrarias Sostenibles de los Frutos Rojos. Fundación Doñana 21. Noviembre 2008. Mallorca, España.

Chiam, L.; Liew.; and Prange, R. 2004. Effect of Ozone and storage temperature on postharvest diseases and physiology of carrots (*Daucus carota* L.) Research Station, Agriculture Canada. Kentville, Canada.

Coria, L.; Peralta, F.; Albarracín, P. 2008. Análisis de Antocianinas en Arándanos del NOA. Universidad Nacional de Tucumán. Tucumán, Argentina.

De Pascual, T. y Sánchez-Ballesta, C. 2008. Anthocyanins: from plant to health. *Phytochemistry Reviews*. Madrid, España.

Devlieghere, F.; Vermeiren L. y Debevere, J. 2009. Review New preservation technologies: Possibilities and limitations. *Fundacion Eroski*. País Vasco, España.

Estrella, V. García-Pérez, M., Bataller-Venta, M., y Santa Cruz-Broche, J. 2005. El ozono: una alternativa sustentable en el tratamiento poscosecha de frutas y hortalizas. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 41 (3): pp. 155-164.

Garmendia G. y Vero, S. 2007. Métodos de sanitización y conservación de hortalizas y frutas frescas. Proyecto MOTSA-IICA. Ministerio Agropecuario y Forestal (MAGFOR), Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Ministerio de Fomento Industria y Comercio (MIFIC), Universidad Nacional Agraria.

Gimeno, E. 2007. Compuestos fenólicos: Un análisis de sus beneficios para la salud. *Revista de la oficina de la Farmacia*, 23 (6): 82-84.

Gimferrer, A. 2011. Aplicación de ozono en lavado de frutas y hortalizas. Revista Fruit Profits. Barcelona, España.

Glowacz, M.; Colgan R. y D. Rees. 2014. Influence of continuous exposure to gaseous ozone on the quality of red bell peppers, cucumbers and zucchini. Rees Natural Resources Institute, University of Greenwich, Chatham, Kent, United Kingdom.

Godoy, C. 2004. Horticulture. Universidad Nacional de Mar del Plata. Mar del Plata, Argentina.

Gonzalez-Aguilar, G.; Ayala-Zavala, J.; Rivera-López, J.; Zavaleta-Gatica, R.; Villegas-Ochoa, M. y Tejedor-Espinoza, W. 2005. Reducción de deterioro en frutos de mango, durazno y nectarina utilizando irradiación ultravioleta (UV-C). Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Juárez, México.

Guzel-Seydim, Z.; Greene, A. y Seydim C. 2004. Use of ozone in the food industry. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol*, 37: 453–460.

Hernández-Muñoz, P.; Almenar, E.; Del Valle, V.; Vélez, D. y Gavara R. 2008. Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry quality during refrigerated storage. *Food Chemistry*, 110: 428–435.

Horvitz, S. y Cantalejo, M. 2007. Efecto del ozono sobre la calidad de pimiento rojo cv. Lamuyo mínimamente procesado Universidad Pública de Navarra – España.

Karaca, H. y Velioglu, S. Y. 2007. Ozone applications in fruit and vegetables processing. *Food Reviews International*, 23: 91-106.

Keutgen, A. y E. Pawelzik. 2007. Influence of pre-harvest ozone exposure on quality of strawberry fruit under simulated retail conditions. Quality of plant products. Department of crop sciences. University of Gottingen. Gottingen, Germany.

Kim, J. G.; Yousef, A. E.; and Khadre, M. A. 2003. Ozone and its current and future application in the food industry. *Advances in Food and Nutrition Research*, 45: 67-218.

Kuskoski, E.; Roseane, F.; García, A. y Troncoso, A. 2005. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 25 (3): 726-732.

Lamanna, M. 2008. Modificación química de policloruro de vinilo: Síntesis, caracterización y posibles aplicaciones. Asociación argentina de materiales. Misiones, Argentina.

Leyva, D. 2009. Determinación de antocianinas, fenoles totales y actividad antioxidante en frutas. Tesis para obtener el título de Ingeniero en alimentos. Universidad Tecnológica de la Mixteca. Oaxaca, México.

Madrid, M. 2011. Conservación de la calidad en bayas frescas después de la cosecha: el reto y las soluciones. *Revista Fruit Profits*. Barcelona, España.

MINAG. 2009. Producción hortofrutícola. Lima, Perú

Minas, I.; Vicente, A.; Prabhu, A.; Manganaris, G.; Vasilakakis, M.; Crisosto, C.; Molassious, A. 2014. Ozone induced kiwifruit ripening

delay is mediated by ethyfenobiosynthesis inhibition and cell Wall dismantling regulation. *Revista Science Direct*, 229, (2): 143-161.

MINSA. 2008. Tabla de composición de Alimentos. Lima, Perú.

MINSA. 2008. Norma Resolución Ministerial. N° 591-2008. Lima, Perú.

Montgomery, D. 2004. Diseño y análisis de experimentos. Segunda Edición. Universidad estatal de Arizona. Editorial Limusa S.A. México DF, México.

Muñoz, M. y Soto, R. 2005. Determinación de la capacidad protectora de antocianinas de un extracto de *Vitis vinifera* en aortas de rata sometidas a estrés oxidativa. Tesis. Universidad de Chile. Santiago de Chile, Chile.

Oztekin, S.; Zorlugenc, B.; Kiroglu, F. 2005. Effects of Ozone treatment on microflora of dried figs. Faculty of Agriculture. Department of Farm Machinery. Cukurova University. Adana, Turkey.

Parzanese, M. 2001. Ozono en alimentos – Tecnologías para la Industria Alimentaria. Alimentos argentinos – MinAgri. Buenos Aires, Argentina.

Pelayo, C. y Castillo, D. 2002. Técnicas de Manejo Postcosecha a pequeña escala. Manual para los Productos Hortofrutícolas. Series de Horticultura Postcosecha N° 8. Universidad Autónoma Metropolitana. Iztapala, México.

Peña-Varela, G.; Salinas-Moreno, Y. y Ríos-Sánchez, R. 2006. Contenido de antocianinas totales y actividad antioxidante en frutos de frambuesa (*Rubus idaeus* L.) con diferente grado de maduración. *Revista Chapingo*, 12:159-163.

Pérez, A. 2012. Aplicaciones del ozono en la industria alimentaria. Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

Pérez, L. 2003. Aplicación de métodos combinados para el control de desarrollo del pardeamiento enzimático en pera mínimamente procesada. Tesis doctoral de la Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.

Quiñones, M. 2012. Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Nutrición Hospitalaria*, (1): 76-89.

Rice R. 2007. User success report-commercial applications of ozone in Agri-Food, *Ozone News*, 35:7-21.

Rivera, D.; Gardea, A.; Martínez, M.; González-Aguilar, G. 2007. Efectos Bioquímicos Postcosecha de la irradiación UV-C en frutas y hortalizas. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30: 361-372.

Rojas, E.; Martínez-Flores, S.; Gonzales-Gallego, J.; Culebras, J. y Tuñón, M. 2008. Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes. Departamento de Fisiología. Universidad de León. León, España.

Salas, N. 2010. Efecto de dos tipos de ácidos y tres concentraciones de quitosano en la película comestible, en las características fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales de las fresas (*Fragaria vesca* L.) almacenadas en refrigeración. Tesis para optar el título de Ingeniería en Industrias Alimentarias. Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo, Perú.

Salvador, A.; Abad, I.; Arnal, L.; y Martínez-Jávega, J. 2005. Effect of Ozone on Postharvest Quality of persimmon. Sensory and Nutritive Qualities of Food. *Journal of Food Science*, 18, (6): 99-106.

Sánchez, M. 2004. Procesos de conservación postcosecha de productos vegetales. Editorial Madrid Vicente. Madrid, España.

Sánchez, J. 2006. Producción orgánica de fresa en tubos de PVC. Universidad Autónoma de Sinaloa. Mazatlán, México.

Selma, M., Ibáñez, A., Cantwell, M. y Suslow, T. 2008. Reduction by gaseous ozone of *Salmonella* and microbial flora associated with fresh-cut cantaloupe. *Food Microbiology*, 25: 558-565.

Seminario, L.; Acuña, J. y Williams, S. 2010. El ozono y su aplicación en la conservación de alimentos. Departamento de Ingeniería Agroindustrial. Universidad de Concepción. Concepción, Chile.

Schulz, E. 2006. Avances en maduración y post - recolección de frutas y hortalizas. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal.

Skerget, M.; Kotnik, P.; Hadolin, M.; Rizner-Hras, A., Simonic, M. y Knez, Z. 2005. Phenols, proanthocyanidins, flavons and flavonols in

some plant materials and their antioxidant activities. *Food chemistry*, 89: 191-198.

Vergara, S. 2008. Estudio de fresa en La Libertad. Dirección Regional Agraria La Libertad – UNT. Trujillo, Perú.

Wei K.; Zhou H.; Zhou T. y J. Gong. 2005. Desinfección en la Industria Alimentaria. Programa de Investigación Alimentaria, Agricultura y Agroalimentación. Universidad de Guelph. Ontario, Canada.

Wei-Dong, W. y Shi-Yeng X. 2007. Degradation kinetics of anthocyanins in blackberry juice and concentrate. *Journal of Food Engineering*, 82: 271-275.

Xu, L. 2008. Uso de Ozono para mejorar la seguridad de frutas y vegetales frescos. *Revista Científica Mundo Alimentario*. Edición Noviembre/Diciembre.

Zapata, L.; Mallaret, A.; Lesa, C. y Rivadeneira M. 2010. Estudio sobre cambios de la firmeza de bayas de arándanos durante su maduración. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 41: 159-171.



## VIII. ANEXOS

ANEXO A. Pérdida de peso en fresas expuestas al ozono gaseoso durante el almacenamiento.

### REPETICIÓN 1

Tiempo (Días)	Pérdida de peso (%)		
	D1	D2	D3
0	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00
8	2.72	2.80	2.36
12	5.71	4.32	2.38

### REPETICIÓN 2

Tiempo (Días)	Pérdida de peso (%)		
	D1	D2	D3
0	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00
8	4.03	3.91	0.83
12	5.26	3.42	2.29

### REPETICIÓN 3

Tiempo (Días)	Pérdida de peso (%)		
	D1	D2	D3
0	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00
8	3.75	3.01	2.63
12	5.13	3.33	1.99

ANEXO B. Evaluación de la firmeza en fresas expuestas al ozono gaseoso durante el almacenamiento.

REPETICIÓN 1

Tiempo (Días)	Firmeza (N)		
	D1	D2	D3
0	2.42	2.51	1.96
4	1.76	1.79	1.79
8	1.43	1.43	1.90
12	1.39	1.30	1.72

REPETICIÓN 2

Tiempo (Días)	Firmeza (N)		
	D1	D2	D3
0	2.20	2.06	1.92
4	1.74	1.80	1.64
8	1.54	1.79	1.65
12	1.33	1.67	1.55

REPETICIÓN 3

Tiempo (Días)	Firmeza (N)		
	D1	D2	D3
0	2.13	1.88	1.82
4	1.51	1.79	2.02
8	1.40	1.45	1.63
12	1.44	1.43	1.65

ANEXO C. Valores de Luminosidad (L\*) en fresas expuestas al ozono gaseoso durante el almacenamiento.

#### REPETICIÓN 1

Tiempo (Días)	Luminosidad (L*)		
	D1	D2	D3
0	26.86	26.57	28.61
4	25.84	26.41	26.92
8	23.32	24.46	24.67
12	22.89	23.92	24.19

#### REPETICIÓN 2

Tiempo (Días)	Luminosidad (L*)		
	D1	D2	D3
0	25.84	26.87	26.06
4	25.26	26.17	25.03
8	22.56	23.40	24.66
12	22.01	23.11	23.92

#### REPETICIÓN 3

Tiempo (Días)	Luminosidad (L*)		
	D1	D2	D3
0	25.44	25.26	26.04
4	25.95	25.37	24.96
8	25.41	22.19	24.08
12	24.13	22.43	23.08

ANEXO D. Valores de  $a^*$  en fresas expuestas al ozono gaseoso durante el almacenamiento

REPETICIÓN 1.

Tiempo (Días)	$a^*$		
	D1	D2	D3
0	16.70	17.17	14.32
4	18.34	17.24	16.60
8	18.88	18.21	18.74
12	18.58	21.25	19.03

REPETICIÓN 2

Tiempo (Días)	$a^*$		
	D1	D2	D3
0	17.58	15.53	14.77
4	18.84	18.54	15.87
8	19.54	19.67	16.41
12	19.89	19.50	18.25

REPETICIÓN 3

Tiempo (Días)	$a^*$		
	D1	D2	D3
0	14.68	15.42	15.21
4	15.36	16.28	16.40
8	15.54	16.71	17.12
12	15.95	17.96	18.29

ANEXO E. Valores de  $b^*$  en fresas expuestas al ozono gaseoso durante el almacenamiento

REPETICIÓN 1

Tiempo (Días)	$b^*$		
	D1	D2	D3
0	7.31	5.07	6.12
4	5.90	4.84	5.67
8	4.63	4.69	4.72
12	3.68	4.14	4.68

REPETICIÓN 2

Tiempo (Días)	$b^*$		
	D1	D2	D3
0	5.65	5.02	4.84
4	4.73	4.33	4.23
8	3.52	4.61	3.76
12	3.24	3.43	3.38

REPETICIÓN 3

Tiempo (Días)	$b^*$		
	D1	D2	D3
0	5.15	4.58	4.77
4	5.28	4.14	4.26
8	3.87	3.41	3.57
12	3.80	3.33	3.32

ANEXO F. Contenido de antocianinas en fresas expuestas al ozono gaseoso durante el almacenamiento.

REPETICIÓN 1

Tiempo (Días)	Contenido de Antocianinas		
	D1	D2	D3
0	36.22	40.58	44.79
4	44.34	47.64	51.25
8	47.64	49.14	50.35
12	50.50	64.17	66.73

REPETICIÓN 2

Tiempo (Días)	Contenido de Antocianinas		
	D1	D2	D3
0	39.23	45.99	47.34
4	44.49	45.54	49.45
8	47.64	47.94	50.35
12	49.14	67.48	66.28

REPETICIÓN 3

Tiempo (Días)	Contenido de Antocianinas		
	D1	D2	D3
0	36.67	43.13	49.60
4	44.49	47.64	48.99
8	47.94	49.14	52.60
12	50.05	63.42	66.28

ANEXO G. Recuento de mohos y levaduras en fresas expuestas al ozono gaseoso durante el almacenamiento.

#### REPETICIÓN 1

Tiempo (Días)	Recuento de mohos y levaduras		
	D1	D2	D3
0	27950	3350	2050
4	21000	3650	1050
8	16800	4050	2300
12	110400	26600	15800

#### REPETICIÓN 2

Tiempo (Días)	Recuento de mohos y levaduras		
	D1	D2	D3
0	6700	1750	2900
4	13000	3650	2850
8	19600	4850	3450
12	59000	25200	22600

#### REPETICIÓN 3

Tiempo (Días)	Recuento de mohos y levaduras		
	D1	D2	D3
0	7450	5350	1550
4	14300	4950	2850
8	12500	4400	3050
12	52650	22600	19500

ANEXO H. Resultados de la evaluación sensorial durante el almacenamiento.

<b>DIA 0</b>			
<b>Jueces</b>	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>D3</b>
	<b>419</b>	<b>312</b>	<b>217</b>
<b>1</b>	7	8	8
<b>2</b>	8	7	9
<b>3</b>	7	8	8
<b>4</b>	7	8	7
<b>5</b>	8	7	8
<b>6</b>	8	8	7
<b>7</b>	7	9	8
<b>8</b>	7	9	8
<b>9</b>	8	7	7
<b>10</b>	8	8	9
<b>11</b>	8	7	7
<b>12</b>	7	8	6
<b>13</b>	6	7	8
<b>14</b>	7	8	6
<b>15</b>	6	7	7
<b>16</b>	8	8	8
<b>17</b>	8	7	7
<b>18</b>	7	9	8
<b>19</b>	6	7	9
<b>20</b>	7	6	7
<b>21</b>	8	8	8
<b>22</b>	7	8	7
<b>23</b>	6	7	9
<b>24</b>	7	9	8
<b>25</b>	8	8	7
<b>26</b>	8	7	8
<b>27</b>	7	6	7
<b>28</b>	6	7	8
<b>29</b>	7	8	7
<b>30</b>	8	7	8
<b>TOTAL</b>	<b>217</b>	<b>228</b>	<b>229</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>7.23</b>	<b>7.60</b>	<b>7.63</b>



<b>DIA 4</b>			
<b>Jueces</b>	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>D3</b>
	<b>419</b>	<b>312</b>	<b>217</b>
<b>1</b>	6	9	7
<b>2</b>	6	7	8
<b>3</b>	4	8	7
<b>4</b>	5	7	6
<b>5</b>	7	8	9
<b>6</b>	5	8	7
<b>7</b>	6	7	8
<b>8</b>	6	6	7
<b>9</b>	5	9	7
<b>10</b>	6	7	6
<b>11</b>	6	8	7
<b>12</b>	7	6	5
<b>13</b>	8	8	7
<b>14</b>	5	7	6
<b>15</b>	7	6	7
<b>16</b>	8	9	7
<b>17</b>	7	7	8
<b>18</b>	6	6	7
<b>19</b>	6	8	6
<b>20</b>	5	6	7
<b>21</b>	6	7	5
<b>22</b>	6	8	7
<b>23</b>	5	6	8
<b>24</b>	6	7	6
<b>25</b>	5	6	7
<b>26</b>	4	8	7
<b>27</b>	5	7	6
<b>28</b>	7	8	7
<b>29</b>	6	7	6
<b>30</b>	5	9	7
<b>TOTAL</b>	<b>176</b>	<b>220</b>	<b>205</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>5.87</b>	<b>7.33</b>	<b>6.83</b>

<b>DIA 8</b>			
<b>Jueces</b>	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>D3</b>
	<b>419</b>	<b>312</b>	<b>217</b>
<b>1</b>	4	8	6
<b>2</b>	4	9	7
<b>3</b>	3	7	6
<b>4</b>	5	8	7
<b>5</b>	3	7	7
<b>6</b>	4	8	6
<b>7</b>	3	9	7
<b>8</b>	4	8	6
<b>9</b>	4	6	7
<b>10</b>	3	8	6
<b>11</b>	4	7	5
<b>12</b>	3	6	7
<b>13</b>	5	5	6
<b>14</b>	3	7	5
<b>15</b>	4	8	7
<b>16</b>	3	7	6
<b>17</b>	3	6	7
<b>18</b>	3	9	6
<b>19</b>	4	8	6
<b>20</b>	4	6	7
<b>21</b>	3	9	6
<b>22</b>	3	8	8
<b>23</b>	4	7	7
<b>24</b>	3	7	6
<b>25</b>	4	8	7
<b>26</b>	3	8	6
<b>27</b>	4	5	6
<b>28</b>	4	9	7
<b>29</b>	4	6	7
<b>30</b>	3	7	6
<b>TOTAL</b>	<b>108</b>	<b>221</b>	<b>193</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>3.60</b>	<b>7.37</b>	<b>6.43</b>

<b>DIA 12</b>			
<b>Jueces</b>	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>D3</b>
	<b>419</b>	<b>312</b>	<b>217</b>
<b>1</b>	1	6	9
<b>2</b>	1	7	8
<b>3</b>	1	7	6
<b>4</b>	1	8	6
<b>5</b>	1	9	6
<b>6</b>	1	5	6
<b>7</b>	1	8	7
<b>8</b>	1	8	6
<b>9</b>	1	8	3
<b>10</b>	1	7	3
<b>11</b>	1	8	6
<b>12</b>	1	6	3
<b>13</b>	1	8	6
<b>14</b>	1	7	5
<b>15</b>	1	8	6
<b>16</b>	1	7	5
<b>17</b>	1	8	6
<b>18</b>	1	9	7
<b>19</b>	1	6	4
<b>20</b>	1	8	5
<b>21</b>	1	9	6
<b>22</b>	1	7	5
<b>23</b>	1	8	5
<b>24</b>	1	8	4
<b>25</b>	1	7	4
<b>26</b>	1	8	3
<b>27</b>	1	7	5
<b>28</b>	1	8	4
<b>29</b>	1	8	6
<b>30</b>	1	5	6
<b>TOTAL</b>	<b>30</b>	<b>223</b>	<b>161</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>1.0</b>	<b>7.43</b>	<b>5.37</b>

Anexo I. Diagrama de flujo para la obtención de fresas con exposición al ozono gaseoso.



**Recepción**



**Selección**



**Pesado**



**Exposición al Ozono gaseoso**



**Envasado**



**Almacenamiento**

