

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE ULTRASONIDO (US)  
ACOPLADA A EMPAQUE BAJO ATMÓFERAS MODIFICADAS (MAP) EN LA  
CONSERVACIÓN Y VIDA ÚTIL DE ARVEJA (*Pisum sativum* L.) VARIEDAD SAN  
ISIDRO**

**WILMAR ORLANDO CORDOBA CORDOBA  
STEFANI KATHERINE VALLEJO**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL  
SAN JUAN DE PASTO**

**2018**

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE ULTRASONIDO (US)  
ACOPLADA A EMPAQUE BAJO ATMÓFERAS MODIFICADAS (MAP) EN LA  
CONSERVACIÓN Y VIDA ÚTIL DE ARVEJA (*Pisum sativum* L.) VARIEDAD SAN  
ISIDRO**

**WILMAR ORLANDO CORDOBA CORDOBA  
STEFANI KATHERINE VALLEJO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
Ingeniero Agroindustrial**

**Director:**

**Ph.D. William Albarracín Hernández**

**Línea de Investigación:**

**Ciencia y Tecnología**

**Grupo de Investigación:**

**Grupo de apoyo a la investigación y desarrollo agroalimentario GAIDA**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL  
SAN JUAN DE PASTO**

**2018**

**NOTA DE RESPONSABILIDAD**

“Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo son responsabilidad exclusiva del autor”.

Artículo 1ro del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966 emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

---

M.Sc, DIEGO FERNANDO MEJIA ESPAÑA

Jurado

---

Ph.D, OSWALDO OSORIO MORA

Jurado

San Juan de Pasto, de Febrero de 2018.

## **DEDICATORIA**

Al haber alcanzado este triunfo en mi vida, dedico este trabajo en primer lugar a Dios por ser mi fortaleza y mi guía.

A mis padres, que me dieron la vida, por su apoyo, consejos, comprensión, amor, y ayuda en los momentos difíciles.

A mi hermana por apoyarme en todo lo posible, por ser mi fuerza y fortaleza que me impulsa cada día.

Agradezco a además a todas las personas que de una u otra forma permitieron que alcanzara mi título profesional.

**Muchas gracias a todos**

Wilmar Orlando Cordoba Cordoba

## **DEDICATORIA**

A Dios por darme la vida, la inteligencia, la fortaleza y la perseverancia que ha hecho de mí una persona íntegra; lo cual me permitió dar el máximo de mí. Por ello siempre te estaré agradecida.

A mis padres, por su comprensión y apoyo en momentos difíciles. Gracias a sus enseñanzas he podido enfrentar las adversidades, sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento. Me han dado todo lo que soy como persona, valores, principios, empeño y amor sin pedir nunca nada a cambio.

A mis hermanos que cada día me llenaron de fuerza y confianza A todos aquellos que en algún momento me apoyaron

Muchas gracias de todo corazón.

Stefani Katherine Vallejo

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus sinceros agradecimientos a:

La Vicerrectoría de Investigaciones, Posgrados y Relaciones Internacionales (VIPRI) de la Universidad de Nariño por la financiación de este trabajo de investigación.

Grupo de Investigación GAIDA por facilitar la utilización de los equipos del laboratorio de investigación en conservación y calidad de alimentos

M.Sc. Andrés Felipe Cerón por sus recomendaciones, correcciones y asesoría brindada.

PH.D. William Albarracín Hernández por su apoyo, dirección y colaboración para hacer posible que esta investigación haya culminado con éxito.

A las personas que de alguna manera colaboraron en la realización y culminación de este trabajo de grado.

## RESUMEN

En la actualidad en respuesta a los nuevos hábitos de consumo por productos mínimamente procesados, crean la necesidad de buscar nuevas alternativas tecnológicas de conservación, que garanticen la calidad y prolonguen la vida útil de los alimentos. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de tratamientos termosónicos y atmósfera modificada sobre la calidad y vida útil de arveja (*Pisum sativum L.*) variedad San Isidro. Para ello se plantearon dos diseños experimentales; el primero fue un diseño completamente al azar con arreglo factorial (multinivel factorial) mediante el cual se evaluó el efecto de la temperatura, el tiempo y frecuencia sobre la actividad enzimática de peroxidasa POD, la técnica empleada para evaluar POD fue la espectrofotometría UV-vis a una longitud de onda de 470 nm. para el envasado en atmósferas modificadas se planteó un segundo diseño, el cual fue un diseño completamente al azar donde se evaluó el efecto de las mezclas de gases sobre cada variable de respuesta, tomando como parámetro de evaluación la constante cinética de velocidad de reacción (K) para cada una de las propiedades fisicoquímicas analizadas, el material utilizado fue polietileno de baja densidad (PLDE)/poliamida (Nylon) y las mezclas de gases empleadas fueron: para el (T1) 5,21% Oxígeno; 15,70% dióxido de carbono y 79,09 % de nitrógeno, para (T2) 10,88% oxígeno; 10,68% dióxido de carbono y 78,44% nitrógeno y para (T3) se empleó atmósfera en su composición normal.

Los resultados obtenidos mostraron que los tratamientos con ultrasonido a frecuencias de 80 KHz no resultaron beneficiosos, ya que mostraron tener efecto negativo sobre la testa de la arveja, acentuándose con el aumento de la temperatura y el tiempo de tratamiento, en cuanto a la frecuencia de 37 KHz no mostró efectos negativos sobre la apariencia de la arveja y alcanzó una inactivación de peroxidasa de un (41 %), siendo la frecuencia de 37 KHz a temperatura de 45 °C

durante 25 min el mejor tratamiento. Durante el almacenamiento se encontró que el tratamiento (T2) 10,88% oxígeno; 10,68% dióxido de carbono y 78,44% nitrógeno, exhibió las mejores características fisicoquímicas y organolépticas, un menor recuento de mesófilos, hongos y levaduras, una menor reactivación de peroxidasa durante el almacenamiento y presentó además una estimación de vida útil de 22 días, no obstante, la baja permeabilidad del empaque utilizado dio paso a la formación de ácido carbónico lo cual provocó una disminución de firmeza.

**Palabras Claves:** termosonicación, atmósferas modificadas, peroxidasa, calidad, vida útil.

**ABSTRACT**

Currently in response to new consumption habits for minimally processed products, the need is created to look for new alternatives conservation technologies, which guarantee the quality and prolong the life of the food. The objective of this study was to evaluate the effect of the application of Thermosonic treatments and modified atmosphere on the quality and useful life of peas (*Pisum sativum L.*) Variety San Isidro. Two experimental designs were proposed; The first was a completely randomized design with factorial arrangement (multilevel factorial), which evaluated the effect of temperature, time and frequency on the enzyme activity of peroxidase pod, the technique used to evaluate POD was the UV-vis spectrophotometry at a wavelength of 470 nm. For the packaging in modified atmospheres a second design was raised, which was a completely random design where the effect of the gas mixtures on each response variable was evaluated, taking as an evaluation parameter the kinetic constant velocity of reaction (K) for each of the physicochemical properties analyzed, the material used was low density polyethylene (PLDE)/poliamida (Nylon) and the mixtures of gases used were: for (T1) 5.21% oxygen; 15.70% carbon dioxide and 79.09% nitrogen, for (T2) 10.88% oxygen; 10.68% carbon dioxide and 78.44% nitrogen and for (T3) atmosphere was used in its normal composition.

The results obtained showed that thermosonic treatments with a frequency of 80 KHz were not beneficial, as they showed a negative effect on the head of the pea, accentuated by the increase in temperature and treatment time, as far as the frequency of 37 KHz showed no negative effects on the appearance of the pea and achieved a inactivation of peroxidase of a (41%), being the frequency of 37 K During storage it was found that treatment (T2)10.88% oxygen; 10.68% carbon dioxide and 78.44% nitrogen, exhibited the best physical-chemical and organoleptic characteristics, a lower mesophilic, fungal and yeast count, a lower reactivation of

peroxidase during storage and also presented a 22 day estimated useful life, however, the low permeability of the packaging used gave way to the formation of carbonic acid, which caused a decrease in the amount of carbon dioxide used.

**Keywords:** thermosonication, modified atmospheres, peroxidase, quality, useful life.

**CONTENIDO**

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN .....	20
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN Y JUSTIFICACIÓN EN TÉRMINOS DE NECESIDAD Y PERTINENCIA. ....	22
2 MARCO TEORICO.....	25
2.1 La Arveja .....	25
2.1.1 Variedad San Isidro.....	26
2.1.2 Valor nutricional .....	27
2.1.3 Composición química.....	28
2.1.4 Deterioro.....	28
2.2 Ultrasonido (US).....	29
2.2.1 Efectos y aplicaciones de los ultrasonidos en los alimentos .....	32
2.3 Enzimas .....	33
2.3.1 Definición de las enzimas. ....	33
2.3.2 Enzimas en los Alimentos. ....	34
2.3.3 Peroxidasa como Enzima Indicadora .....	34
2.4 Vida Útil .....	35
2.4.1 Ecuaciones de Vida Útil.....	35
2.4.2 Cinética de orden cero.....	36
2.4.3 Cinética de primer orden .....	37
2.5 Atmósferas Protectoras.....	37
2.5.1 Vacío .....	38
2.5.2 Atmósfera controlada .....	38
2.5.3 Atmósfera modificada.....	38
2.6 Gases utilizados en el envase en atmósfera modificada .....	40
2.6.1 Nitrógeno.....	42
2.6.2 Dióxido de Carbono .....	43
2.6.3 Oxígeno .....	44
2.7 Empaques Utilizados En MAP.....	44
2.7.1 Polietileno de baja densidad (LDPE): .....	45
2.7.2 Polipropileno: .....	45

2.7.3	Policloruro vinilo (PVC): .....	45
2.7.4	Laminado de Poliéster-Aluminio-Polietileno (PET):.....	45
2.8	Uso de Ultrasonidos (US).....	46
2.9	Uso de atmosferas modificadas en arveja.....	48
2.10	Uso de atmosferas modificadas en frutas y verduras .....	48
3	OBJETIVOS .....	50
3.1	Objetivo General.....	50
3.2	Objetivos específicos .....	50
4	METODOLOGIA .....	51
4.1	Lugar de la investigación y operaciones preliminares.....	51
4.1.1	Localización .....	51
4.1.2	Adquisición del material vegetal.....	51
4.1.3	Limpieza y selección de materia prima.....	51
4.1.4	Desinfección de la materia prima.....	52
4.2	Aplicación de los tratamientos termosonicos .....	52
4.2.1	Diseño experimental ultrasonido.....	53
4.3	Obtención del extracto enzimático .....	54
4.3.1	Determinación de actividad enzimática .....	55
4.3.2	La actividad residual (AR) .....	56
4.4	Envasado del material vegetal .....	57
4.4.1	Envasado sin modificación de la atmósfera (Blanco) .....	57
4.4.2	Envasado en atmósfera modificada (MAP) .....	58
4.4.3	Almacenamiento de las muestras .....	58
4.4.4	Diseño experimental atmósferas modificadas.....	59
4.5	Determinación de las características fisicoquímicas de la arveja ( <i>Pisum sativum</i> L.) en almacenamiento.....	60
4.5.1	Textura .....	60
4.5.2	Medición de color.....	60
4.5.3	Índice de Transpiración.....	61
4.5.4	Índice de respiración .....	62
4.5.5	Contenido de humedad.....	63
4.6	Determinación de las constantes cinéticas de velocidad de deterioro (k) en función de los atributos de calidad.....	64

4.7	Determinación de las características sensoriales .....	64
4.7.1	Procedimiento.....	64
4.8	Vida útil .....	65
4.9	Análisis microbiológico.....	66
4.10	Análisis estadístico .....	66
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	67
5.1	Medición de actividad enzimática de peroxidasa (POD) .....	67
5.1.1	Medición de Actividad Enzimática del Testigo .....	67
5.2	Actividad enzimática residual de peroxidasa (POD).....	69
5.3	Comportamiento de las propiedades fisicoquímicas y cinéticas de deterioro de la arveja durante el almacenamiento. ....	77
5.3.1	Comportamiento en el tiempo del índice de transpiración.....	77
5.3.2	Comportamiento en el tiempo del índice de respiración.....	81
5.3.3	Comportamiento en el tiempo del Contenido de humedad .....	85
5.3.4	Cambios colorimétricos.....	88
5.3.5	Comportamiento en el tiempo de la Firmeza .....	97
5.4	Seguimiento de la actividad enzimática .....	100
5.5	Análisis sensorial.....	102
5.5.1	Evaluación sensorial del olor durante el periodo de almacenamiento .....	103
5.5.2	Evaluación sensorial del color durante el periodo de almacenamiento .....	106
5.5.3	Evaluación sensorial de la textura durante el periodo de almacenamiento.....	107
5.6	Estimación de vida la vida útil de la arveja en almacenamiento .....	108
5.7	Análisis microbiológico.....	110
6	CONCLUSIONES .....	113
7	RECOMENDACIONES .....	115
	BIBLIOGRAFÍA .....	116
	ANEXOS .....	140

**LISTA DE TABLAS**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Análisis bromatológico de la variedad san isidro .....	28
Tabla 2. Mecanismos de acción del ultrasonido .....	30
Tabla 3. Clasificación del ultrasonido .....	32
Tabla 4. Efecto del ultrasonido en los alimentos. ....	33
Tabla 5. Características de los principales gases utilizados en el envasado (MAP).....	41
Tabla 6. Efectos favorables y desfavorables de CO <sub>2</sub> y O <sub>2</sub> en atmósferas modificadas .....	42
Tabla 7. Dimensiones representativas de arveja variedad san isidro.....	51
Tabla 8. Resumen del diseño experimental .....	54
Tabla 9. Características del empaque utilizado.....	57
Tabla 10. Tratamientos .....	57
Tabla 11. matriz de diseño experimental .....	59
Tabla 12. Siglas tratamientos.....	59
Tabla 13. Tabla Anova de análisis de varianza para la actividad residual (POD).....	70
Tabla 14. Valores iniciales de los parámetros fisicoquímicos.....	77
Tabla 15. Parámetros cinéticos para el índice de transpiración.....	81
Tabla 16. Parámetros cinéticos de 1° orden, para el porcentaje de humedad.....	87
Tabla 17. Parámetros cinéticos de 1° orden para el parámetro de color (a*) .....	90
Tabla 18. Parámetros cinéticos de 1° orden para el parámetro de color (L*).....	93
Tabla 19. Parámetros cinéticos 1° orden para el parámetro de color (b*).....	95
Tabla 20. Parámetros cinéticos para el parámetro de color ( $\Delta e$ ) .....	97
Tabla 21. Parámetros cinéticos de 1° orden para el cambio de firmeza .....	99

Tabla 22. Parámetros cinéticos y bondad de ajuste del modelo exponencial en relación al parámetro de color a* .....	109
Tabla 23. Estimación de vida útil en relación al parámetro de calidad (a*).....	110
Tabla 24. Análisis microbiológico de muestras empacadas a los 21 días .....	110

**LISTA DE IMÁGENES**

	Pág.
Imagen 1. Comportamiento de las burbujas durante la cavitación .....	31
Imagen 2. Variación de un índice de calidad en función del tiempo, de acuerdo con la cinética de orden cero, primero y segundo. ....	36
Imagen 3. Limpieza y selección.....	52
Imagen 4. Desinfección por aspersión. ....	52
Imagen 5. Aplicación tratamiento de ultrasonido .....	53
Imagen 6. Escurrido y paso por superficie absorbente .....	53
Imagen 7. Desarrollo de la metodología de obtención extracto enzimático .....	55
Imagen 8. Determinación de peroxidasa.....	56
Imagen 9. Empacado en atmósfera modificada (AM) .....	58
Imagen 10. Almacenamiento en nevera 4°c .....	58
Imagen 11. Determinación de firmeza. Texturómetro tx1 lloyd ls1 .....	60
Imagen 12. Determinación de color. Equipo cm5-konica minolta .....	61
Imagen 13. Determinación del índice de transpiración .....	62
Imagen 14. Determinación de la tasa de respiración .....	63
Imagen 15. Determinación de humedad. Equipo kern y sohn gmbh .....	63
Imagen 16. Análisis sensorial .....	65
Imagen 17. Reacción de la peroxidasa para la frecuencia 80 khz a 60 °c .....	69
Imagen 18. Efecto de la frecuencia y tiempo de tratamiento sobre la testa de la arveja. ....	76
Imagen 19. Condensación de vapor de agua.....	79
Imagen 20. Arveja empacada a condiciones normales día 14 .....	84

**LISTA DE GRAFICOS**

	Pág.
Gráfica 1. Curvas de avance de la reacción enzimática del testigo .....	67
Gráfica 2. Tendencia lineal de actividad enzimática .....	68
Gráfica 3. Diagrama de pareto estandarizado para actividad enzimática residual. ....	71
Gráfica 4. Actividad residual enzimática promedio de (POD) para cada tratamiento.....	72
Gráfica 5. Efectos principales para % actividad residual. ....	74
Gráfica 6. Comportamiento cinético del índice de transpiración .....	78
Gráfica 7. Comportamiento del índice de respiración durante el periodo de almacenamiento ....	82
Gráfica 8. comportamiento cinético del porcentaje de humedad.....	86
Gráfica 9. Comportamiento cinético del parámetro color ( $a^*$ ) .....	89
Gráfica 10. Comportamiento cinético del parámetro color ( $l^*$ ) en el tiempo. ....	92
Gráfica 11. Comportamiento cinético del parámetro color ( $b^*$ ) en el tiempo .....	94
Gráfica 12. Comportamiento cinético del parámetro color ( $\Delta e$ ) en el tiempo.....	96
Gráfica 13. Comportamiento cinético de firmeza en el tiempo .....	98
Gráfica 14. Periodo de almacenamiento vs % actividad enzimática residual de (POD) .....	101
Gráfica 15. Comparación de medias entre arveja con y sin tratamiento termosónico.....	102
Gráfica 16. Comparación de medias entre días para cada tratamiento para el parámetro olor...	105
Gráfica 17. Comparación de medias entre días para cada tratamiento, para el parámetro color	107
Gráfica 18. Comparación de medias entre días para cada tratamiento, para textura .....	108

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Datos de actividad enzimática de pod para cada tratamiento ( $\delta$ abs/min) .....	141
Anexo 2. Datos de medición de actividad enzimática residual de (POD) .....	142
Anexo 3. Formato prueba hedónica (escala de cinco puntos) .....	143
Anexo 4. Ficha técnica empaque utilizado en la investigación .....	144
Anexo 5. Datos correspondientes al análisis estadístico.....	145
Anexo 6. Análisis microbiológicos de las muestra de arveja ( <i>Pisum sativum L.</i> ).....	149

## INTRODUCCIÓN

La arveja (*Pisum sativum* L.), conocida también como chícharo o guisante, es la segunda leguminosa en importancia en Colombia, llegando a constituirse en un alimento básico de la canasta familiar y de la economía campesina de pequeños y medianos productores. En Nariño, su producción se ha incrementado notoriamente especialmente en las regiones cerealistas del sur del departamento, llegando a ubicarse como el primer productor de arveja en el país con 57.116 toneladas seguido en menor proporción por los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Tolima.

Sin embargo, a pesar del amplio potencial de este cultivo, el incipiente manejo poscosecha y un nulo nivel de procesamiento industrial, ha afectado su rentabilidad y competitividad, debido a que es un producto altamente perecedero que sufre pérdidas en cuanto a frescura, características físicas y valor nutritivo a partir del momento de la cosecha. Lo cual ha conducido a buscar métodos de conservación que además de mantener la vida útil del alimento, no produzcan ninguna reacción secundaria y mantenga las propiedades nutricionales estables y una margen de calidad alta.

Ahora bien, una alternativa es la combinación de tecnologías emergentes como el ultrasonido y utilización de atmósferas modificadas, con el propósito de fortalecer el manejo poscosecha de esta leguminosa. Los tratamientos con ultrasonido se destaca por ser un procedimiento de preservación suave en comparación con los métodos severos a base de calor; lo cual le permite mantener las características del alimento lo más cercana posible a las del producto fresco y prolongar su vida útil en términos microbiológicos, sensoriales y nutricionales, si bien es un proceso complejo, que merece especial atención; no obstante aún son escasas las investigaciones referentes a su efecto y los cambios que puede ocasionar en las propiedades físicas y sensoriales

en vegetales durante su almacenamiento, en cuanto a las atmósferas modificadas constituye un método altamente eficaz de prolongar el tiempo de conservación de los alimentos

En este sentido, el objetivo de esta investigación fue “evaluar el efecto de la aplicación de la tecnología de ultrasonido en la conservación y vida útil de arveja (*Pisum sativum* L.) Variedad San Isidro, empaque bajo atmósferas modificadas”. Para ello, se determinó el efecto de la aplicación del tratamiento termosónico en diferentes combinaciones de temperatura, frecuencia y tiempo sobre la actividad residual de la peroxidasa POD, partiendo de la actividad enzimática de la arveja sin tratamiento, una vez determinado el mejor tratamiento termosónico, se procedió a realizar un envase en tres condiciones de atmósfera durante 21 días; en los cuales se tomaron muestras cada 3 días comenzando en el día 1. Se determinó algunas propiedades fisicoquímicas y cinéticas de deterioro (Respiración, transpiración, humedad, color, firmeza).

Los resultados esperados en esta investigación fueron: las cinéticas de deterioro de cada uno de los tratamientos objeto de estudio; la determinación de vida útil a partir del parámetro de color (\*a); la determinación del recuento de mesófilos, hongos y levaduras y la determinación de la aceptación de los consumidores de los parámetros color, olor y textura por medio de la evaluación sensorial, determinando con ello el efecto del almacenamiento en las propiedades físicas y organolépticas y microbiológicas de los diferentes tratamientos.

## **1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN Y JUSTIFICACIÓN EN TÉRMINOS DE NECESIDAD Y PERTINENCIA.**

El cultivo de arveja en el departamento de Nariño ocupa uno de los renglones agrícolas más significativo de la economía (Valencia *et al.*, 2013). Para el año 2014 el área sembrada en el departamento fue de 12.110 hectáreas con una producción de 57.116 toneladas y rendimientos de 1,93 t/ha, presentado una participación del 52,2% de la producción nacional ubicándose como el primer productor de arveja en Colombia (Agronet, 2014). Su cultivo, presenta una tasa de crecimiento anual del 10,4 % desde el año 2011 y a logrando posicionarse en más de 30 mercados mayoristas a nivel nacional (Pantoja *et al.*, 2016). Además genera más de 960.000 empleos directos, cuyo valor de la producción sobrepasa los 150.000 millones de pesos al año ( Osorio *et al.* 2016). Por otra parte el consumo per cápita de arveja se ha mantenido constante durante los últimos años y se estima en 1,48 kg ( Osorio y Castaño 2011).

Sin embargo, a pesar del amplio potencial de este cultivo, se presentan diferentes problemas tecnológicos para su manejo, resultado de un incipiente tratamiento poscosecha y un nulo nivel de procesamiento industrial, lo cual afectan su rentabilidad y competitividad (López, 2014), llegando a causar pérdidas de hasta un 42,1% del total de la producción, debido al carácter perecedero de esta leguminosa (Cerón *et al.*, 2015). Además según Muñoz y Pantoja (2014), para este sector se calcula que el 90% de los productores no generan valor agregado a sus productos, y estos se venden en condiciones básicas de aceptación en mercados locales y regionales.

Hay que resaltar que un buen manejo del cultivo no garantiza que el producto tenga el mismo valor en calidad al final de su comercialización, sino se realizan tratamientos poscosecha que ayuden a mitigar los diferentes factores que deterioran la calidad y la vida útil de la arveja debido a que es un producto altamente perecedero (Cerón *et al.*, 2015). Entre los agentes asociados a su

alteración, se encuentran las enzimas, donde se destacan enzimas como lipoxigenasas y lipoxidasas implicadas en la formación de derivados carbonílicos que originan aromas desagradables durante su comercialización (Alasino et al., 2008; Chuga y Mena, 2015).

El uso de tratamientos térmicos como el escaldado, busca principalmente inactivar enzimas que pueden deteriorar la calidad del producto durante su almacenamiento. Sin embargo, y pese a que es un tratamiento para mejorar la calidad final del producto, el escaldado no está exento de ciertos inconvenientes que son más intensos cuanto más largo es el proceso y más elevada es la temperatura entre ellos se destaca: disminución de la turgencia de los tejidos con modificación permanente de la estructura vegetal, pérdida de algunos nutrientes y pigmentos por lixiviación, aparición de ciertas alteraciones químicas y las modificaciones del color siendo más un elevado consumo de energía (Bahçeci, Serpen, Gökmen, & Acar, 2005; Peñuela, 1994; Ulrich, 1983).

En respuesta a estos inconvenientes es importante buscar alternativas de pretratamientos y métodos de conservación con el fin de mantener la calidad de la arveja durante su comercialización minimizando pérdida de la calidad durante la poscosecha. Para Herreo y Avila (2006), los altos índices de producción y en respuesta a los nuevos hábitos de consumo por productos mínimamente procesados, crean la necesidad de buscar nuevas alternativas tecnologías de conservación, que garanticen la calidad y prolongar la vida útil de los alimentos, además Terpinč y Abramovič (2010), destacan la importancia de las nuevas tecnologías que minimizan las alteraciones de los alimentos, ya que actualmente se considera como relevantes las características fisicoquímicas, nutricionales y funcionales de los alimentos por contribuir directamente al bienestar y calidad de vida.

Procesos como el ultrasonido, se presentan como alternativa promisoría para el procesamiento de alimentos ya que permite realizar operaciones de estabilización sin incrementar drásticamente

la temperatura del sistema, permitiendo obtener productos mínimamente procesados que presentan un valor añadido y una alta calidad nutritiva y sensorial (Porrás *et al.*, 2011). Se ha demostrado que la cavitación producida por la aplicación de ultrasonido puede generar inactivación de enzimas, responsables del deterioro de frutas y vegetales, lo cual que permite mejorar la estabilidad y la vida de anaquel de muchos productos alimenticios (Chávez, 2015). Por otra parte la utilización de atmósferas modificadas (MAP) permite retardar los procesos metabólicos de deterioro de frutas y verduras, prolongando la conservación, mediante la inhibición o ralentización de procesos químicos y biológicos que determinan su deterioro (Nicolais *et al.* 2011).

Por último la POD es usada como indicador de la calidad de los tratamientos térmicos, por la facilidad con que se determina su actividad y por su estabilidad al calor comparada con otras enzimas (Monsalve, 2003), además Santander *et al.*, (2013) manifiestan que si esta enzima se inactiva, otros sistemas enzimáticos responsables de la degradación de los tejidos también se desactivarán.

En consecuencia a esta situación, se planteó la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo influye el pretratamiento de ultrasonido sobre algunas propiedades fisicoquímicas, sensoriales y microbiológicas en la arveja variedad San Isidro envasada en atmósfera modificada, durante su almacenamiento?

## 2 MARCO TEORICO

### 2.1 La Arveja

La arveja (*Pisum sativum* L.), conocida también como chícharo o guisante, es una leguminosa herbácea que vegeta normalmente en climas templados, templado frío y húmedo. Como planta cultivada es muy antigua y su empleo en la alimentación humana y animal se remonta a 6000 - 7000 años antes de Cristo. Es originaria de Asia Central, Cercano Oriente y Mediterráneo, pertenece a la familia *Fabaceae* o *leguminoseae*, subfamilia *Papilionoideae*, género *Pisum*, especie *Pisum sativum* L ( López, 2014). Es una planta autógama ( $2n=14$ ) y la mayoría de los caracteres son poligénicos y, por lo tanto, heredados cuantitativamente (Patiño *et al.*, 1997).

La producción de arveja en Colombia se realiza en los pisos térmicos fríos y medios, a una temperatura promedio entre 13 °C y 18° C, con una media máxima de 21 °C y una mínima de 9 °C. Las heladas de 1 a 2 °C son toleradas por algunas partes vegetativas de la planta pero no por las flores, vainas y granos tiernos, que son los más afectados aún por aquellas consideradas como heladas ligeras (Patiño *et al.*, 1997).

El cultivo de esta leguminosa es el segundo en importancia después del frijol (Zamorano, et al., 2008). Siendo por varios años el regulador de la economía y la seguridad alimentaria de pequeños y medianos productores de zonas andinas, Se estima que de este cultivo dependen más de 26.000 productores y genera alrededor de 2,3 millones de jornales y unos 15.000 empleos directos (Muñoz *et al.*, 2014).

Por otra parte, según la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA, 2014), durante el año 2013 se cultivaron en Colombia 34.441 hectáreas, de las cuales se cosecharon 22.896 hectáreas, arrojando una producción de 100.451 toneladas (Dane, 2015).

Existen dos sistemas de producción; el primero y de mayor cobertura es el tutorado para la producción de arveja en vaina o verde y el segundo, el rastrero sin tutorado, especialmente para la producción de semilla.

Además, en el país la totalidad de la producción de arveja se destina al consumo fresco como hortaliza, mientras que para el consumo en grano seco esta es abastecida por importaciones provenientes principalmente de Canadá (Muñoz *et al.*, 2014). Es importante también destacar las deficiencias en el volumen para atender la demanda nacional, la cual se cubre con importaciones. Según la Federación Nacional de Cultivadores de Cereales Fenalce (2010) las importaciones de arveja para el año 2010, ascendieron a 32.707 toneladas y proceden principalmente de Canadá siendo aun de baja calidad.

### **2.1.1 Variedad San Isidro**

Esta variedad ha demostrado algunas características agronómicas sobresalientes, como son: alto rendimiento de grano en estado verde, resistencia a antracnosis y ascochyta, mayor tiempo de permanencia del grano verde en exposición sin oxidarse ni germinarse y excelente calidad culinaria (Adreani, 2006). De igual manera Campuzano *et al.*, ( 2001) mencionan las siguientes características de esta variedad:

- Hábito de crecimiento voluble o de enredadera.
- Rango de adaptación: 2.400 a 2.800 m.s.n.m.
- Grano de forma redonda, liso y verde.
- Grano con hiliium de color blanco.
- Días a la floración: 58 – 61 días.
- Días a la cosecha grano en verde: 112 – 118 días.
- Días a la cosecha grano en seco: 140 – 147 días.
- Rendimiento en grano + vaina: 3.510 kg/ha.

Por otra parte Chaves y Jaramillo (2004) destacan la alta adaptación en los municipios de Tangua, Imúes, Yacuanquer y Guatarilla; en altitudes de 2400 a 2800 m.s.n.m.; sistema de siembra enmallado o tutorado par el primer semestre agrícola; alto rendimiento de grano verde para comercialización y grano seco para producción de semilla; destacando que el grano en estado verde ofrece mayor grado de permanencia sin oxidarse ni germinarse, factores que garantizan mayor tiempo de exposición en mostrador.

### **2.1.2 Valor nutricional**

La arveja es una de las hortalizas que contiene mayor cantidad de carbohidratos y proteínas, por lo que se destaca como una fuente importante de sacarosa y aminoácidos. Además, es un alimento con un contenido significativo de minerales (fósforo y hierro) y de vitaminas, especialmente B1. Como todas las leguminosas, es una importante fuente de fibra soluble e insoluble (Gaitán, 2010).

La arveja es una fuente relativamente barata de proteínas y fácil de producir siendo además un alimento que no está muy explotado en el mercado. Tiene un alto contenido de proteínas y ha sido sugerida como una fuente alternativa de proteínas, sobre todo en circunstancias donde la soya no se puede usar por intolerancias o reacciones alérgicas.

Las arvejas, como la mayoría de las leguminosas, son deficientes en metionina y ricas en lisina, al contrario de los cereales. Estas carencias se pueden superar realizando mezclas apropiadas con productos de legumbres, a fin de aumentar la calidad proteica de los productos panificados (Alasino *et al.* 2008; Iregui y Cuesta 2007; Willis *et al.* 1984).

### 2.1.3 Composición química.

A continuación se muestra un análisis bromatológico completo de la arveja variedad san Isidro (tabla 1).

Tabla 1  
*Análisis bromatológico de la variedad San Isidro*

Análisis	Arveja variedad san Isidro	
	% Base Húmeda	% Base Seca
<b>Humedad</b>	62.48	-
<b>Materia seca</b>	37.52	100
<b>Ceniza</b>	1.15	3.07
<b>Extracto etéreo</b>	0.55	1.46
<b>Fibra cruda</b>	3.17	8.45
<b>Proteína</b>	8.37	22.30
<b>Extracto no nitrogenado</b>	24.28	64.72
<b>Vitamina c (mg/100g)</b>	18.20	-
<b>Azúcares totales</b>	8.80	-
<b>Almidón</b>	6.69	17.84

*Fuente:* (Cárdenas, 2016)

### 2.1.4 Deterioro

Como muchos productos hortícolas, tiene un período de poscosecha relativamente corto, debido a que en estado fresco es un producto altamente perecedero a temperatura ambiente por lo que su vida útil en estas condiciones no supera los ocho (8) días de almacenamiento, sin embargo, pueden ser mantenidas frescas a baja temperatura por un par de semanas (Mera y Kehr 2007; Fenalce 2006). Al ser un alimento perecedero dentro del grupo de las verduras, la arveja se deteriora en la presencia de aire debido al efecto de la química atmosférica, así como la degradación microbiológica, por lo que se afecta la calidad del producto en su comercialización, por su aspecto (textura y color) y en las propiedades internas, el contenido de ácido ascórbico,

clorofila y azúcares (Ramirez, 2009). Además la arveja en estado verde es susceptible de deterioro, debido a procesos de maduración, cambios en color, sabor y textura. Los cambios asociados con la maduración implican pérdida de clorofila, cambios en la acidez, astringencia y dulzor, cambios en el contenido de ácido ascórbico, azúcares, compuestos volátiles y cambios en la textura del fruto (Espinosa y Ligarreto 2005). Es muy sensible a sufrir contaminación por hongos en el cultivo como en su almacenamiento, por lo que es necesario establecer un manejo técnico adecuado para conservar las propiedades de calidad del producto (Checa *et al.*, 2012).

Entre los agentes de deterioro del producto, se encuentra la acción enzimática, las pérdida de peso y la descomposición por hongos, los cuales son factores dominantes que limitan la vida de almacenamiento de frutas y hortalizas (Özdemir *et al.* 2010; Ramirez 2012).

## **2.2 Ultrasonido (US).**

Los ultrasonidos son ondas sonoras con una frecuencia superior a la perceptible por el oído humano (16 kHz). El ultrasonido maneja ondas con frecuencias entre 16KHz y 20MHz, las cuales al ser aplicadas pueden llegar hasta 5MHz en gases o hasta 500MHz en líquidos y sólidos (Bermúdez & Barbosa, 2008). Es una tecnología emergente que está ampliando su campo de aplicación para la industria alimenticia, permitiéndole modificar y analizar las diferentes propiedades de los alimentos (Pineda, 2012), durante años ha sido objeto de investigación en la industria de alimentos, especialmente, en el tema de control de calidad.

El ultrasonido recientemente, ha sido estudiado para propósitos de activación microbiana y enzimática, se ha demostrado que puede ser utilizado para la evaluación de textura, composición y viscosidad de alimentos (Hurtado, 2013). Adicionalmente, el ultrasonido, por su capacidad para destruir paredes y membranas biológicas, se considera una tecnología promisoría tanto para la destrucción de microorganismos a temperaturas de procesamiento inferiores a las utilizadas

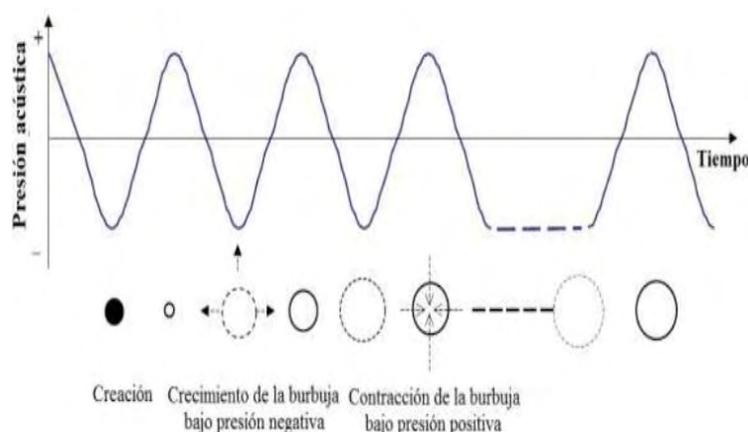
durante la esterilización, como para acompañar otras tecnologías de proceso como lo son la extracción, las altas presiones, la pasteurización, entre otras (Delgado, 2011). En la tabla 2 se puede apreciar los mecanismos de acción del ultrasonido y su aplicación.

Tabla 2.  
*Mecanismos de acción del ultrasonido*

<b>Teoría</b>	<b>Mecanismo</b>	<b>Aplicación</b>
<b>Cavitación</b>	Remoción mecánica por irrupción o atrapamiento de la bacteria, a través de burbujas localizadas con altas temperaturas y presiones.	Procesos de desinfección, lisis celular e inactivación enzimática.
<b>Formación de Radicales Libres</b>	Sonólisis del agua puede producir iones (OH <sup>-</sup> ) y (H <sup>+</sup> ) y peróxido de hidrógeno.	Inactivación microbiana y enzimática.
<b>Choques micro-mecánicos intracelulares</b>	Disrupción de las células y disminución del grosor de paredes celulares.	Lisis celular, inactivación enzimática y efecto antimicrobiano.
<b>Generación de energía calórica y mecánica</b>	Propagación de la onda; decrece con la distancia al ser aplicado en material atenuante. Esta porción que es absorbida se traduce en calor.	Inactivación microbiana.
<b>Fuerza de radiación</b>	Movimiento o vibración local de un tejido por fuerza de radiación acústica.	Análisis clínicos
<b>Compresión y Rarefacción</b>	Microcorriente acústica.	Inactivación microbiana y enzimática.

Fuente: (Delgado, 2012).

La cavitación intracelular es asociada por varios autores como la responsable de la inactivación enzimática (Aguilar, 2013; Campo y Gélvez, 2011; Hurtado, 2013), este fenómeno es debido a la formación de burbujas provocadas por la agitación del medio que colapsan entre ellas, o bien cuando implosionan sobre ellas mismas, generando energía, aumentos de temperatura y además una corriente de líquido hacia el interior de la burbuja (imagen 1), que puede golpear en el sólido y son capaces de alterar las características del medio (Porras et al., 2011), Estos cambios de presión y turbulencia, junto con el aumento de la temperatura en el sistema, debido a la conversión parcial de la energía acústica en calor, promueven una variedad de efectos en la matriz, que favorecen la inactivación enzimática (Aguilar, 2013).



*Imagen 1. Comportamiento de las Burbujas Durante la Cavitación*

*Fuente: (Ulloa et al., 2015)*

Dependiendo de los rangos de frecuencias utilizados, el ultrasonido se puede dividir en dos tipos: ultrasonido de baja intensidad y ultrasonido de alta intensidad (tabla 3). Las aplicaciones de baja intensidad son aquellas cuyo objetivo es obtener información acerca del medio de propagación sin producir ninguna modificación en su estado. Por el contrario, las aplicaciones de elevada intensidad son aquellas en la que la energía ultrasónica se utiliza para producir cambios permanentes en el medio tratado (Robles y Ochoa 2012).

Tabla 3  
*Clasificación Del Ultrasonido*

Ultrasonido	ALTA INTENSIDAD 18-100kHz Procesamiento o estabilización de alimentos	Rompimiento celular Permeabilización la de membrana celular Cambios estructurales y Fisicoquímicos Homogenización de emulsiones
	BAJA INTENSIDAD >100kHz Diagnostico, control de calidad, fenómenos de relajación	Ecografías Aplicaciones terapéuticas

*Fuente:(Delgado, 2011)*

### 2.2.1 Efectos y aplicaciones de los ultrasonidos en los alimentos

El ultrasonido ha atraído un interés considerable en ciencia y la tecnología de los alimentos, dado que este provee efectos en la preservación y en los procesos industriales, ha sido empleada en diferentes investigaciones de la industria de alimentos y existe un gran interés en ello, debido a que se puede ser aplicado como una de las tecnologías avanzadas para desarrollar procesos pausados pero definidos que involucran la calidad y seguridad de alimentos transformados y ofrece el potencial para mejorar los procesos existentes así como para el desarrollo de opciones en el campo de la tecnología alimentaría (Porrás *et al.*, 2011). La aplicación de la energía de ultrasonido en el campo de los alimentos podría resumirse en dos grandes áreas: análisis y control de calidad y procesamiento, conservación e inocuidad, en la tabla 4 se puede apreciar el efecto del ultrasonido en los alimentos.

Tabla 4  
*Efecto del ultrasonido en los alimentos.*

Efecto del ultrasonido en los alimentos	
<b>Procesos de oxidación</b>	Desarrollando aromas y sabores
<b>Reacciones enzimáticas</b>	Previendo el oscurecimiento de vegetales, inhibición de enzimas evitando así el desarrollo de malos olores y sabores.
<b>Esterilización</b>	Descontaminando superficies de materiales y alimentos (aplicación más común).
<b>Extracción</b>	De azúcar, proteínas (soja), hojas para té, etc.
<b>Productos cárnicos</b>	Formación de emulsiones para la preparación de jamones, debido a la acción de romper la miofibrilla de la carne.
<b>Cristalización</b>	Controlando el tamaño de los cristales cuando el alimento es congelado.
<b>Secado acústico</b>	Incrementa la transferencia de calor entre el sólido y el líquido, evita la oxidación y degradación de material.

*Fuente: Adaptado (Casanova et al., 2012).*

## 2.3 Enzimas

### 2.3.1 Definición de las enzimas.

Las enzimas son proteínas que se comportan como catalizadores, es decir, aceleran la velocidad con la que las reacciones se llevan a cabo sin alterar el equilibrio y son responsables de las transformaciones metabólicas en los seres vivos. Desde el punto de vista fisicoquímico, y como consecuencia de su estructura proteica, la actividad catalítica de las enzimas depende del pH y de la temperatura de reacción, característica que resulta de fundamental importancia en una aplicación industrial (Ramirez 2009).

Las enzimas están constituidas por proteínas globulares que, a temperaturas cercanas a los 37°C, aceleran la velocidad de las reacciones químicas y biológicas por un factor de  $10^{12}$  a  $10^{20}$  en relación a las reacciones no catalizadas. La actividad de una enzima, se expresa en términos de la reacción que ella cataliza como la transformación de un micromol de sustrato en producto por unidad de tiempo. Mientras que las Unidades son una medida de una cantidad de enzima activa (Fennema, 2000).

La actividad enzimática aparente se incrementa cuando aumenta la temperatura hasta alrededor de 50°C, donde alcanza un nivel máximo conocido como la temperatura óptima para la acción enzimática. A temperaturas más altas se observa una considerable disminución en la actividad debido a la desnaturalización de su estructura proteínica (Mendoza y Herrera 2012).

### **2.3.2 Enzimas en los Alimentos.**

En los tejidos vegetales, enzimas como la lipoxigenasa, la polifenoloxidasas, la poligalacturonasa y la clorofenolasa causan pérdidas en el valor nutritivo, el sabor y la textura que canalizan las reacciones de deterioro en el interior de la célula (endógenas), afectando la calidad de los vegetales congelados. Estas enzimas difieren en su resistencia térmica, lo que implica que la velocidad de desactivación enzimática variará dependiendo del tipo de enzima, variedad del vegetal (Porras *et al.*, 2011).

### **2.3.3 Peroxidasa como Enzima Indicadora**

La peroxidasa ha sido ampliamente usada como indicadora de efectividad del escaldado por su alta tolerancia a tratamientos térmicos. Se espera que si la (POD) ha sido inactivada, las otras enzimas también. Además, es importante inactivar la (POD) debido con su vinculación con cambios en la coloración de frutas y hortalizas, degradación de compuestos fenólicos con importante valor antioxidante y pérdida de aroma. Cuando se usa esta enzima como indicadora,

se espera que a un mayor grado de inactivación, la calidad se mantenga por un mayor tiempo (Mendoza y Herrera, 2012). Se acepta una disminución en su actividad superior al 90% como control para un escaldado adecuado (Połata *et al.*, 2009).

Además, la peroxidasa (POD) y la catalasa son dos de las enzimas más resistentes al calor y de más amplia distribución, su actividad se utiliza para evaluar la eficacia del escaldado (Sharma, *et al.*, 2003).

## **2.4 Vida Útil**

La vida útil de un alimento se define como el tiempo finito después de su producción en condiciones controladas de almacenamiento, en las que tendrá una pérdida de sus propiedades sensoriales y fisicoquímicas, y sufrirá un cambio en su perfil microbiológico (Carrillo y Munguía, 2013). Por su parte Day (1993) lo define como el período de tiempo desde la cosecha o la producción hasta el consumo que un producto alimenticio sigue siendo seguro y saludable en condiciones de producción y almacenamiento recomendado.

La vida útil de un producto depende de muchos factores, como por ejemplo: ambientales, humedad, temperatura a la cual se expone, el proceso térmico que sufre, de la calidad de las materias primas que lo componen, entre otros. El resultado de la exposición a estos factores produce cambios en las cualidades del alimento que impide su comercialización como puede ser la pérdida de nutrientes, cambios de sabor, color o textura (García, 2008).

### **2.4.1 Ecuaciones de Vida Útil**

La vida útil de un producto se puede representar a través de ecuaciones que muestran la cinética de degradación de atributos de calidad. Una de las particularidades de los cambios en los atributos de los alimentos, como el color, textura, sabor, es que estos responden a modelos cinéticos de orden cero o de primer orden (Baldizón *et al.*, 2011)

La imagen 2 se define el comportamiento para cada orden de reacción.

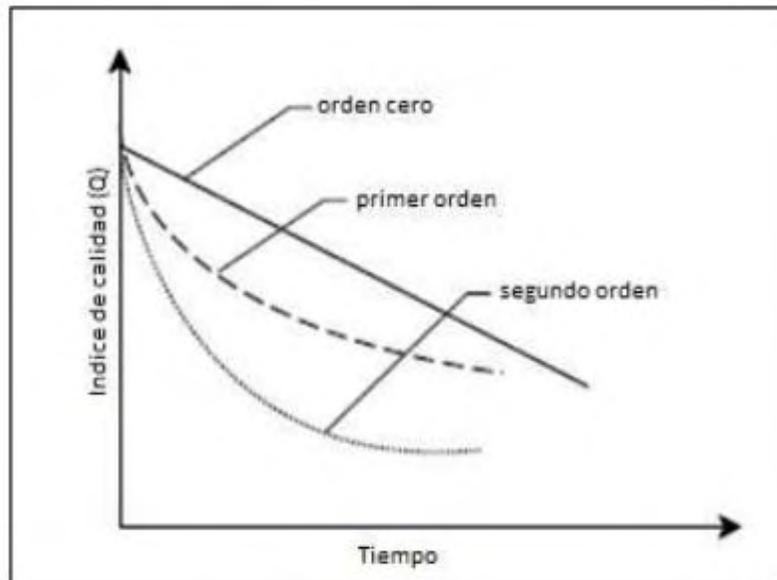


Imagen 2. Variación de un índice de calidad en función del tiempo, de acuerdo con la cinética de orden cero, primero y segundo.

Fuente: (Piergiovanni y Limbo, 2010)

#### 2.4.2 Cinética de orden cero

En esta cinética se considera un atributo de calidad  $Q$  que disminuye durante el periodo de almacenamiento, donde la velocidad de pérdida de un atributo de calidad es constante a lo largo del periodo de almacenamiento y no depende de la concentración de  $Q$ , por lo que en la expresión potencial se considera  $n = 0$  (Garza 1996) La cinética de orden cero se describe en la (ecuación 1) **Ecuación 1.** La cinética de orden cero

$$Q = Q_0 \pm K t$$

Donde:

$Q$  = es el valor de la propiedad considerada para un tiempo cualquiera

$Q_0$  = es el valor inicial de la propiedad

$t$  = es el tiempo

$K$  = la constante cinética de orden cero, representa una línea recta.

### 2.4.3 Cinética de primer orden

Si el exponente  $n$  es igual a 1, la variación del índice depende tanto del tiempo y el valor de  $Q$ . Esta cinética se muestra en la (ecuación 2).

**Ecuación 2.** La cinética de primer orden

$$\ln \frac{Q}{Q_0} = k t$$

De este modo, la variación de la propiedad ( $\ln Q/Q_0$ ) con respecto al tiempo viene representada por una recta cuya pendiente aparece dada por la constante cinética de primer orden,  $k_1$ . A medida que  $k_1$  aumenta las rectas son más pronunciadas (Garza, 1996)

## 2.5 Atmósferas Protectoras

Las tecnologías de envasado en atmósfera protectora (EAP) se aplican a multitud de productos de diversa naturaleza (vegetales, carnes, pescados, lácteos, etc.) Cuentan con una larga trayectoria en la conservación de determinados alimentos como los derivados cárnicos y café, estos resultan muy adecuados para los alimentos frescos y mínimamente procesados (López, 1989).

Estas atmósferas tienen como objetivo mantener la calidad sensorial de estos productos y prolongar su vida comercial, que llega a duplicarse e incluso triplicarse con respecto al envasado tradicional en aire. Implican la eliminación del aire contenido en el paquete seguida o no de la inyección de un gas o mezcla de gases seleccionado de acuerdo a las propiedades del alimento. Estos sistemas de envasado generan un ambiente óptimo para la conservación del producto donde el envase ejerce de barrera y aísla, en mayor o menor grado de dicho ambiente de la atmósfera externa (López, 2005). Se conocen tres tipos de atmósferas protectoras dependiendo de las modificaciones que se realicen en el entorno del producto envasado.

### **2.5.1 Vacío**

Método en el que se evacua por completo el aire del interior del recipiente. Sistema muy sencillo, que únicamente conlleva la evacuación del aire contenido en el paquete. Si el proceso se realiza de forma adecuada la cantidad de oxígeno residual es inferior al 1%. En este caso, el material de envasado se pliega en torno al alimento como resultado del descenso de la presión interna frente a la atmosférica. Dicho material debe presentar una permeabilidad muy baja a los gases, incluido el vapor de agua (López, 1989).

### **2.5.2 Atmósfera controlada**

El envasado en atmósfera controlada, supone la sustitución del aire por un gas o una mezcla de gases específicos cuya proporción se fija de acuerdo a las necesidades del producto y se somete a un control constante durante el periodo de almacenamiento utilizando cámaras y contenedores de gran volumen (Iglesias *et al.*, 2006).

Es deseable que la composición de la atmósfera creada se mantenga constante a lo largo del tiempo. Sin embargo, las reacciones metabólicas de determinados productos consumen algunos gases (oxígeno) y generan otros (dióxido de carbono, etileno) que alteran esta composición inicial (Ruiz y Cardoza 2009). Estas variaciones se detectan mediante dispositivos de control y se compensan con distintos mecanismos de producción/ eliminación de gases. En los envases de pequeñas dimensiones, destinados a la venta al detalle, no es posible implementar estos sistemas (Sora *et al.*, 2006).

### **2.5.3 Atmósfera modificada**

El envasado en atmósfera modificada (EAM o MAP en sus siglas inglesas, modified atmosphere packaging), implica la modificación de la composición de la atmósfera interna del envase mediante la reducción de la cantidad de oxígeno (O<sub>2</sub>) y su sustitución por el dióxido de

carbono (CO<sub>2</sub>) y/o nitrógeno (N<sub>2</sub>). Este proceso tiene el objetivo de alargar la vida durante la post-cosecha por la disminución de la tasa de respiración y la producción de etileno, minimizando así la actividad metabólica, retardando el pardeamiento enzimático y la degradación organoléptica (Rangel y López 2012).

El inconveniente de este método está relacionado con los niveles de dióxido de carbono generados dentro de los envases que no sólo pueden inhibir el deterioro aeróbico de los microorganismos, sino que también puede permitir y fomentar el crecimiento de microorganismos patógenos (Ginés, 2014). Si se envasan en atmósfera modificada alimentos con una actividad metabólica importante, como frutas y hortalizas frescas, es imprescindible emplear materiales de permeabilidad selectiva. En caso contrario, su vida útil se reduce considerablemente (Català *et al.*, 2009).

Las atmósferas modificadas dentro de los envases que contienen productos mínimamente procesados pueden ser beneficiosas para el mantenimiento de la calidad de los mismos, reduce la incidencia de los desórdenes fisiológicos, alteraciones microbianas y deterioros bioquímicos, los cuales originan cambios en las características organolépticas y en el valor comercial del producto envasado. Los beneficios o perjuicios de esta técnica dependen del producto, variedad, cultivo, estado fisiológico, composición de la atmósfera, temperatura, humedad relativa (HR) y duración del almacenamiento, lo que explica la diversidad de resultados para un mismo producto, su uso adecuado mejora normalmente los resultados de la refrigeración convencional en atmósfera de aire (Valenzuela *et al.*, 2011)

Entre los beneficios que presenta este tipo de empaque se encuentran la disminución en la actividad respiratoria, reducción o inhibición de la síntesis de etileno, Inhibición de la maduración, limitan el ablandamiento (actividad de la pectinestearasa y la poligalacturonasa),

retrasan las pérdidas de textura y restringen los cambios de composición (pérdida de acidez y de azúcares, degradación de clorofila, desarrollo de antocianos, biosíntesis de carotenos, prevención de la rancidez y el pardeamiento enzimático paliando las alteraciones fisiológicas y los daños por frío, manteniendo el color y protegiendo las vitaminas de los productos frescos (*Marcela et al.*, 2008).

De la misma forma presenta ventajas como la reducción de la velocidad de deterioro del órgano vegetal, prolongar la utilidad y a veces conserva la calidad de frutas y hortalizas, retardar el desarrollo de microorganismos, no deja residuos de algún tipo de conservante en el producto tratado, se minimiza el uso de aditivos y conservantes, se mantienen las características organolépticas durante la comercialización, se mejora la presentación, hay una clara visión del producto y visibilidad en todo el entorno (FAO, 2011).

## **2.6 Gases utilizados en el envase en atmósfera modificada**

En el envasado al vacío el incremento de la vida útil de un alimento se logra gracias a la baja concentración de oxígeno existente en el envase. Los gases más utilizados comercialmente y su composición del aire en un volumen aproximado son dióxido de carbono (0,03%), oxígeno (20,99%), nitrógeno (78,03%) y argón (0,94%) (García Gimeno, 1995).

El proceso de modificación a menudo trata de reducir el nivel de O<sub>2</sub> y aumentar el nivel de CO<sub>2</sub> inicialmente y cambia dinámicamente en función de los productos y la permeabilidad de los materiales de embalaje, con el fin de frenar el crecimiento de organismos aerobios y la velocidad de las reacciones de oxidación (Chuga y Mena 2015).

En la tabla 5 se pueden apreciar las ventajas y desventajas de los principales gases utilizados en el envasado en atmósfera protectora.

Tabla 5

*Características de los principales gases utilizados en el envasado en atmósfera protectora ventajas y desventajas.*

<b>Gases</b>	<b>Propiedades Físicas</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Inconvenientes</b>
<b>Oxígeno</b>	Incoloro Inodoro Comburente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soporta el metabolismo de los vegetales frescos</li> <li>• Mantiene el color de la carne fresca.</li> <li>• Inhibe anaerobios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Favorece la oxidación de las grasas</li> <li>• Favorece el crecimiento de aerobios</li> </ul>
<b>Dióxido de carbono</b>	Incoloro Inodoro Ligero sabor ácido Soluble en agua y grasa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bacteriostático</li> <li>• Fungistático</li> <li>• Insecticida</li> <li>• Mayor acción a baja temperatura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produce el colapso del envase.</li> <li>• Produce exudado.</li> <li>• Difunde rápidamente a través del envase</li> </ul>
<b>Nitrógeno</b>	Incoloro Inodoro Insípido Insoluble	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inerte</li> <li>• Desplaza al Oxígeno</li> <li>• Inhibe aerobios</li> <li>• Evita la oxidación de las grasas</li> <li>• Evita el colapso del empaque</li> </ul>	<p>Favorece el crecimiento de anaerobios (100% nitrógeno)</p>

*Fuente: (García, 1995).*

Mediante la sustitución de Oxígeno por dióxido de carbono en la atmósfera circundante de las materias primas, la tasa de respiración, producción de etileno, y la actividad enzimática se puede controlar, resultando en un aumento de la calidad después de la cosecha. El oxígeno puede ser sustituido con nitrógeno, o dióxido de carbono, que puede inhibir el crecimiento de microorganismos. Al reducir el nivel de O<sub>2</sub> y el aumento del nivel de CO<sub>2</sub>, la maduración de las frutas y verduras se puede retrasar, las tasas de respiración y producción de etileno se pueden reducir, se puede retardar el ablandamiento y varios cambios de composición asociados con la

maduración pueden ser ralentizados (Alvarez, 2012). En la tabla 6 se muestran los efectos favores y desfavorables de la utilización de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> en empaque en atmósfera modificada.

Tabla 6

*Efectos favorables y desfavorables de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> en empaque en atmósfera modificada.*

<b>Favorables</b>	<b>Desfavorables (por debajo del límite inferior tolerable)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frenado de la actividad respiratoria y del calor desprendido en la respiración.</li> <li>• Frenado de la transpiración.</li> <li>• Aumento en ciertos casos de la duración de la conservación.</li> <li>• Disminución e incluso inhibición de la síntesis de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> y retraso en la aparición del climaterio.</li> <li>• frenado del metabolismo de azúcares, proteínas, lípidos, ácidos, vitaminas, de la degradación de la clorofila, entre otros.</li> <li>• En concentraciones superiores al 15% ligera disminución del desarrollo de algunos hongos y de bacterias e insectos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maduración anormal.</li> <li>• Producción de etanol, acetaldehídos y otros compuestos.</li> <li>• Calor anormal (degradación de antocianinas).</li> <li>• Desarrollo de alteraciones específicas, como la mancha parda de la lechuga.</li> <li>• Sensibilización de los tejidos a los daños físicos: pardeamiento interno y superficial, corazón pardo, escaldadura, necrosis de los tejidos.</li> <li>• Formación de cavernas.</li> <li>• Decoloración de la pulpa. Desarrollo de textura harinosa.</li> <li>• Pérdida de textura, ablandamiento y aspecto acuoso.</li> <li>• Desarrollo de alteraciones fúngicas secundarias sobre tejidos dañados.</li> </ul>

*Fuente: (Sánchez, 2015).*

### **2.6.1 Nitrógeno**

Este gas es muy utilizado dentro de la tecnología de atmósfera modificada pues presenta características como presentar una solubilidad muy baja, además no reacciona químicamente con otros compuestos. El nitrógeno evita oxidaciones de vitaminas, color, aroma y grasas e inhibe las bacterias aeróbicas (Gómez, 2001). Este gas es utilizado como sustituto del oxígeno, este desplaza al O<sub>2</sub> con el fin de evitar el desarrollo de microorganismos aerobios y los problemas de oxidación que son muy comunes en productos vegetales y otros que presentan grandes características de deterioro por esta causa. Otra función es prevenir el colapso del envase que

contienen alimentos con alto índice de humedad y grasas causado por la tendencia de estos alimentos a absorber dióxido de carbono de la atmósfera, actuando como gas de relleno, cuando tiene lugar una disolución excesiva de dióxido de carbono en los tejidos del alimento (López 2005).

### **2.6.2 Dióxido de Carbono**

Es gas no combustible, incoloro a temperatura ambiente y presión normal, con olor y sabor ácidos, soluble en agua a temperatura ambiente. Se encuentra en la atmósfera en una concentración entre 300-500 ppm, es más denso que el aire y más soluble en diluciones acuosas que el N<sub>2</sub> o el O<sub>2</sub>. El efecto del CO<sub>2</sub> se fundamenta en que desplaza el O<sub>2</sub> gas vital para muchos microorganismos y cambia las condiciones de pH en la superficie del alimento (Meneses y Valenzuela 2004).

Actúa principalmente frente a los microorganismos oxigénicos obligados, los mohos son muy resistentes al CO<sub>2</sub> y su crecimiento no puede ser totalmente detenido mediante tratamiento de CO<sub>2</sub> a presión normal. El CO<sub>2</sub> ejerce un efecto inhibitor sobre el crecimiento bacterial y fúngico, aunque su acción depende de factores como concentración en la atmósfera y la temperatura de almacenamiento, debido a que temperaturas bajas aumentan la solubilidad del gas tanto intra como intercelularmente. Las altas concentraciones de gas (superiores al 20%) inducen reacciones anoxigénicas (Frioni 1999). Además se ha observado que altas concentraciones de este gas reducen la tasa respiratoria de frutas y hortalizas y niveles superiores de 1%, pueden inhibir la acción del etileno (Meneses y Valenzuela, 2004).

Otro inconveniente del empleo de dióxido de carbono es que difunde a través del material de envasado entre 2 y 6 veces más rápido que otros gases de envasado en atmósfera protectora. En general, la relación de permeabilidades corresponde a CO<sub>2</sub>> O<sub>2</sub>> N<sub>2</sub> (Arboleda y Riascos 2003).

### **2.6.3 Oxígeno**

Concentraciones de O<sub>2</sub> inferiores a la normal existentes en el aire ambiente (21%) provocan una reducción de la intensidad respiratoria, un retraso en la maduración y un aumento de la vida comercial de los productos vegetales, siendo la respuesta más o menos pronunciada según el producto y variedad de que se trate (Meneses y Valenzuela 2004). Por otro lado concentraciones superiores a la normal del aire, pueden o no, elevar la intensidad respiratoria y acelerar la maduración (Sora *et al.*, 2006).

Concentraciones de O<sub>2</sub> inferiores al 2,5% aumentan la producción de anhídrido carbónico y produce sabores y olores anormales como consecuencia del establecimiento del proceso fermentativo por falta de O<sub>2</sub>. A niveles del 1% de O<sub>2</sub> se han detectado sabores alcohólicos en manzanas, plátanos, aguacates, alcachofas y pimientos. Todo esto hace que en casos excepcionales no se recomienda el empleo prolongado de atmósferas con concentraciones de O<sub>2</sub> inferiores al 2% (Sangucho, 2011).

Por otra parte, evitar el agotamiento del O<sub>2</sub> mediante la aireación en los empaques así como en el manejo adecuado de los productos en almacenamiento, es posible conociendo el estudio fisiológico para cada producto en particular. A bajas temperaturas, el efecto de un nivel bajo de O<sub>2</sub>, es menos marcado que a temperaturas altas (Sora *et al.*, 2006).

## **2.7 Empaques Utilizados En MAP**

Las características del empaque de las frutas y hortalizas son determinantes para evitar riesgos y perjuicios por oxidaciones, pérdidas de color, por la desecación, la proliferación de masas microbianas y otras contaminaciones en el empaquetado de frutas y hortalizas, así como para protegerlo contra gases y olores (Careño y Mesa 2011). Los tipos de películas más utilizados para esta tecnología son:

### **2.7.1 Polietileno de baja densidad (LDPE):**

Presenta una inercia química relativa y su permeabilidad es moderadamente baja al vapor de agua, pero alta para el O<sub>2</sub>. En general, la permeabilidad a los gases es alta, y también presenta un reducido efecto barrera frente a olores; los aceites esenciales pasan rápidamente a través de los polietilenos de baja densidad (Arboleda y Riascos 2003).

### **2.7.2 Polipropileno:**

Es químicamente similar al polietileno y puede ser extruido o co-extruido con un elemento monómero para proporcionar características de sellado por calor. El polipropileno de tipo orientado, aunque tiene mayores rangos de barrera frente al vapor de agua que el polietileno, también proporciona una mayor barrera a los gases de -siete a diez veces-, teniendo además una excelente resistencia a las grasas (Esparza, 2004).

### **2.7.3 Policloruro vinilo (PVC):**

En su forma no plastificada, esta película es la lámina base termo formable más ampliamente utilizada para envasado en atmósfera modificada. El PVC posee una buena capacidad barrera frente a los gases y moderada al vapor de agua. Posee una excelente resistencia a grasas y aceites, y en su forma no plastificada, UPVC, es posible pulir, incluso formando bandejas planas o profundas (Meneses y Valenzuela 2004).

### **2.7.4 Laminado de Poliéster-Aluminio-Polietileno (PET):**

Este tipo de empaque es una estructura de alta barrera al vapor de agua, olores y gases como oxígeno, nitrógeno y gas carbónico. Sus capas están distribuidas de 17 G/m<sup>2</sup> de poliéster, seguido de una capa de adhesivo 2G/m<sup>2</sup>, Aluminio 22 G/m<sup>2</sup>, adhesivo 2 G/m<sup>2</sup> y 82 G/m<sup>2</sup> de PEBD. Este empaque posee una permeabilidad al oxígeno menor a 0,1 cc/m<sup>2</sup> por 24 horas (Arévalo y Castrillón 2004).

## 2.8 Uso de Ultrasonidos (US)

Desde el punto de vista de la conservación de alimentos el ultrasonido de interés es el denominado de poder o de alta intensidad (UAI); dando lugar a la cavitación, fenómeno que provoca la inactivación microbiana, así como la inactivación enzimática, favorecer reacciones químicas y la extracción de ciertos compuestos (Chávez, 2015). Por ejemplo Aguilar (2013), estudió el efecto de la aplicación de ultrasonidos de potencia en pretratamientos de inmersión en diferentes fluidos sobre las curvas de secado y la actividad enzimática de la polifenoloxidasas en berenjena, donde comprobó que la aplicación de ultrasonidos en el pretratamiento redujo significativamente la actividad enzimática, de igual manera Mar (2016), determinó que el ultrasonido es capaz de inactivar enzimas presentes en los frutos que son responsables de algunos procesos de degradación de sus componentes. Cabe mencionar que la aplicación de ultrasonidos permite la inhibición de la actividad enzimática, como resultado de la cavitación. Esta aplicación es de gran utilidad para reducir la degradación por reacciones enzimáticas (Herreo y Avila 2006).

Orrego *et al.*, (2016), determinaron la inactivación de peroxidasa en banano (*Musa paradisiaca*) por medio de la combinación de ultrasónico y temperatura, encontrando que las mejores condiciones de tratamiento temperatura de 65°C y un tiempo de 10 min de exposición permitieron una reducción de la actividad enzimática en un 86%, además se encontró una reducción en la pérdida del contenido de micronutrientes y vitaminas, en comparación con los métodos convencionales de escaldado. Por otro lado, prolongadas exposiciones a ultrasonido de alta intensidad han demostrado inhibir la acción catalítica de algunas enzimas como la peroxidasa y la pepsina. Sin embargo, algunos estudios han demostrado efectos contrarios después de tratamientos cortos de ultrasonido, debido al rompimiento de agregados moleculares que hacen que la enzima esté más dispuesta para la reacción (McClements, 1995).

Se ha demostrado también que la cavitación puede generar inactivación de enzimas como la pectinmetilesterasa, polifenoloxidasas y peroxidasas, responsables del deterioro de jugos de frutas y vegetales, así como de enzimas diferentes asociadas a la calidad de la leche (Mejía, 2012). Por otra parte Knorr *et al.*, (2002), estudiaron el efecto del ultrasonido en tres combinaciones diferentes: con calor (termo-sonicación), presión (manosonicación), y combinación de los factores sonido, calor y presión (manotermosonicación); siendo estas combinaciones efectivas en la inactivación microbiana y enzimática, de igual forma Salazar y Betancourth (2009) encontraron que el jugo termoultrasonificado logra una mayor reducción de la polifenoloxidasa (98.3 %) y de la pectinmetilesterasa (63.7 %) con aumento de actividad antioxidante (13,964.96  $\mu\text{mol ET/L}$ ), destacando esta tecnología convencional en cuanto a la inactivación enzimática y mejoramiento de las propiedades antioxidantes del jugo de zarzamora.

El ultrasonido también se ha utilizado en la pasteurización de la leche con resultados importantes; donde la leche muestra un mayor grado de homogenización, de color blanco, y una mejor estabilidad después del proceso. En este método, la pasteurización y homogeneización se completan en un solo paso (Barbosa y Bermúdez, 2010). Además Bilek y Turantaş (2013), estudiaron el efecto del ultrasonido sobre la reducción microbiana en productos vegetales, encontrando una gran reducción microbiana de aerobios mesófilos en trufas, del orden de cuatro unidades logarítmicas, con un tratamiento de ultrasonidos de 35 kHz combinado con etanol al 70% a una temperatura de 4°C y un tiempo de inmersión de 10 minutos. Mostrando una reducción de *Enterobacteriaceae* de 3,6 unidades logarítmicas en la inmersión de 10 minutos de ultrasonidos de 35 kHz con etanol (70%); Además el ultrasonido también puede ser usado para acelerar la difusión de moléculas a través de membranas y materiales porosos; este efecto se

atribuye al flujo acústico, el cual es el movimiento neto de los fluidos en presencia de campos de ultrasonido de alta intensidad, facilitando procesos de transferencia de materia (Martínez, 2005).

## **2.9 Uso de atmósferas modificadas en arveja**

Rojano y Guadalupe (2006), aplicaron el uso de atmósferas modificadas en la conservación de arveja en las cuales tuvieron en cuenta aspectos como el tipo de desinfectante, tipo de embalaje y la temperatura de almacenamiento, donde encontraron un aumento de vida útil y de calidad durante su conservación, por su parte Pariasca *et al.*, (2000), investigaron los efectos de preenfriamiento, en el envasado en atmósfera modificada (MAP) y la atmósfera controlada (AC) en almacenamiento de arveja en vaina a 5°C, empacadas en películas de polimetilpenteno (PMP), encontrando como resultado un mejor mantenimiento de la calidad externa de vainas (aparición y color), así como la calidad interna (clorofila, ácido ascórbico y el contenido de azúcar), asimismo Guachi (2006), investigó la aplicación de (MAP) en arveja en vaina envasada en varios tipos de empaque microperforados con diferentes permeabilidades, obteniendo buenos resultados sensoriales y fisicoquímicos en las propiedades evaluadas, además Chuga y Mena (2015) encontraron que la aplicación de atmósfera modificada muestra un efecto significativo dentro de los atributos fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales evaluados durante el almacenamiento de la arveja variedad Obonuco andina.

## **2.10 Uso de atmósferas modificadas en frutas y verduras**

García (2008), evaluó del uso de atmósferas modificadas pasivas y temperaturas bajas en la conservación de pitaya amarilla (*Selinicereus megalanthus Shuman*), donde mostró que los mejores resultados se encontraron en pitaya verde empacada en polipropileno sin perforar y almacenada a 10°C, condiciones en las cuales la fruta alcanzó una vida útil de 18 días con un deterioro inferior a 5% y de 21 días con un deterioro inferior al 10%. De la misma manera

Zaldívar *et al.*, (2011) estudiaron la conservación de nopal verdura 'Milpa Alta' (*Opuntia ficus indica* Mill.) en envases con atmósfera modificada donde encontraron que el N<sub>2</sub> estimuló los niveles más bajos de acetaldehído y etanol conservando una mejor calidad de los nopales 'Milpa Alta' hasta por 20 días.

Santos *et al.*, (2006), investigaron el efecto de emplear atmósferas modificadas para almacenar banano 'Prata Ana', empleando bananos verdes en estado de madurez 2 de 7, y obtuvieron que aquellos almacenados en atmósferas modificadas (2 kPa de O<sub>2</sub>+ 4 kPa de CO<sub>2</sub> y 4 kPa de O<sub>2</sub> + 7 kPa de CO<sub>2</sub>) a temperatura de 12.5 °C y humedad relativa de 98% vieron retrasada su maduración considerablemente, alcanzando el estado de madurez 6 hacia el día 40. Además Pardilla *et al.*, (2000), determinaron el efecto del envasado en atmósfera modificada conteniendo argón sobre la calidad organoléptica y microbiológica de manzanas. Encontrando que el tratamiento con 5% O<sub>2</sub>: 5% CO<sub>2</sub>: 90% Ar, la vida útil de las manzanas mínimamente procesadas llegó de 10 días.

Arboleda y Riascos (2003), evaluaron la calidad poscosecha y nutricional del tomate con la aplicación de MAP. Encontraron que esta tecnología prolonga la vida de anaquel y el periodo de comercialización comparado con el sistema tradicional de refrigeración, además disminuyó la pérdida de firmeza, la degradación de ácido ascórbico, retrasó el desarrollo del color rojo y la maduración. Por su parte, Riquelme (2007) en su tesis doctoral presenta un estudio de lechuga en envasada bajo condición en MAP, encontrando buenos resultados de vida útil en dos veces que en los tratamientos en condición normal.

### 3 OBJETIVOS

#### 3.1 Objetivo General

Evaluar el efecto del envasado bajo condiciones de atmósfera modificada y pretratamiento de ultrasonido en arveja (*Pisum sativum* L.) variedad San Isidro.

#### 3.2 Objetivos específicos

- ✓ Evaluar el efecto de la aplicación de ultrasonido sobre la actividad enzimática, empleando la determinación de la peroxidasa como indicador, en la arveja variedad San Isidro.
- ✓ Evaluar el efecto del almacenamiento sobre algunos parámetros fisicoquímicos y sensoriales bajo dos condiciones de atmósfera modificada.
- ✓ Realizar cinéticas de deterioro y estimar el tiempo de vida útil de la arveja variedad San Isidro.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Lugar de la investigación y operaciones preliminares

#### 4.1.1 Localización

La investigación se llevó a cabo a nivel experimental en las instalaciones de planta piloto de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial y en el laboratorio de Investigación en Conservación y Calidad de Alimentos de la Universidad de Nariño sede Torobajo ubicada en Pasto (Nariño). A una altura de 2.527 msnm, con una temperatura media de 18 °C y humedad relativa del 70%.

#### 4.1.2 Adquisición del material vegetal

La materia prima utilizada en esta investigación fue arveja (*Pisum sativum* L) variedad San Isidro, obtenida a través la Alianza Hortofrutícola del Sur S.A.S (ALSUR). El material fue recibido en vaina en horas de la mañana y desgranarlo en las instalaciones de planta piloto, las dimensiones representativas de la materia prima empleada en esta investigación se muestran en la tabla 7.

Tabla 7.  
*Dimensiones representativas de arveja variedad San Isidro*

<b>Dimensión</b>	<b>Alto (cm)</b>	<b>Ancho (cm)</b>	<b>Grosor (cm)</b>
<b>Valor resultante*</b>	1,12 ± 0,095	0,925 ± 0,100	0,94 ± 0,082

\*Valores promedio (n=10) ± desviación estándar

Fuente: Esta investigación.

#### 4.1.3 Limpieza y selección de materia prima

En la adecuación de la arveja se realizó una limpieza eliminando materiales solidos presentes. Para la selección se tomó como referencia la norma técnica colombiana NTC 1250 , seleccionando los granos libres de daños, plagas y enfermedades, normalmente desarrollados, de diámetros similares y que presentaran el color verde característico, esta operación se realizó en la

planta piloto de la universidad de Nariño colocando la muestra sobre una mesa de aluminio previamente desinfectada con una solución de agua-hipoclorito de sodio a 200 ppm (Imagen 3).



*Imagen 3. Limpieza y Selección*  
*Fuente: Esta investigación.*

#### **4.1.4 Desinfección de la materia prima**

Una vez realizada la limpieza y selección se realizó una desinfección en una solución de agua-hipoclorito de sodio a 50 ppm por el método de aspersion como se muestra en la (imagen 4).



*Imagen 4. Desinfección por Aspersion.*  
*Fuente: Esta investigación*

#### **4.2 Aplicación de los tratamientos termosonicos**

Para las respectivas pruebas se tomó como unidad experimental 15 g de arveja, los cuales fueron sometidos a un baño termosónico a través del equipo FB11205 FISHERBRAND, el cual fue llenado con agua destilada y precalentado a las temperaturas correspondientes a cada ensayo (imagen 5). Una vez finalizado el tratamiento, a cada muestra se le realizó un escurrido y

posterior paso por una superficie absorbente, para reducir el posible deterioro causado por hidratación (imagen 6).



*Imagen 5. Aplicación Tratamiento de Ultrasonido*

*Fuente: Esta investigación*



*Imagen 6. Ecurrido y Paso por Superficie Absorbente*

*Fuente: Esta investigación*

#### **4.2.1 Diseño experimental ultrasonido**

Para evaluar el efecto de la aplicación de los tratamientos con ultrasonido se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial (multinivel factorial), manteniendo una potencia constante del 80 % y con las temperaturas, frecuencias y tiempos indicados en el tabla 8. El diseño consistió en 60 corridas, en 3 bloques, el orden de los experimentos fue completamente aleatorizado, para aportar protección contra el efecto de variables ocultas, como variable de respuesta se tomó la actividad enzimática residual.

Tabla 8  
*Resumen del diseño experimental*

<b>Factores</b>	<b>Bajo</b>	<b>Alto</b>	<b>Niveles</b>	<b>Unidades</b>
<b>Tiempo</b>	5,0	25,0	5	min
<b>Frecuencia</b>	37,0	80,0	2	KHz
<b>temperatura</b>	45,0	65,0	2	°C

**Donde la variable respuestas es actividad enzimática residual**

*Fuente: Esta investigación.*

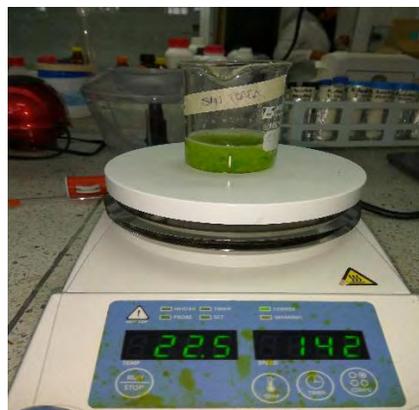
### 4.3 Obtención del extracto enzimático

Para realizar la extracción de la enzima de las muestras, se utilizó la metodología planteada por González *et al.* (2000), Para ello se maceró 5 g de arveja en una cápsula de porcelana y se agregaron 20 mL de Buffer fosfato de sodio 0,1 M de pH 7, El jugo de arveja obtenido fue utilizado el mismo día con el propósito de evitar su degradación.

Posteriormente el jugo, se agitó por 5 min en una plancha de agitación magnética al termino del tiempo fue llevado a una centrífuga Thermo IEC Multi RF, a 10000 rpm durante 15 min a una temperatura de 10 °C, utilizando tubos falcón de 15 mL; el sobrenadante se utilizó como extracto enzimático para la determinación de la peroxidasa POD, en la imagen 7 se aprecia la secuencia de la metodología aplicada.



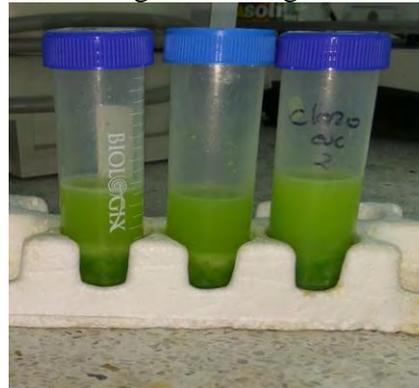
Paso 1. Maceración



Paso 2. Agitación magnética



Paso 3. Centrifugación del extracto



Paso 4. Extracto enzimático

Imagen 7. Desarrollo de la Metodología de Obtención Extracto Enzimático

Fuente: Esta investigación

#### 4.3.1 Determinación de actividad enzimática

Se determinó a través de la metodología propuesta Morales *et al.*, (2002), para ello se preparó una solución sustrato con 50 mL de buffer fosfato 0,1 M pH 7, a la cual se añadieron 50  $\mu$ l de guayacol al 99 % y 50  $\mu$ l de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 30 %. De esta solución sustrato se tomó 3 mL y se mezclaron con 10  $\mu$ L de extracto enzimático.

La determinación enzimática fue seguida con un espectrofotómetro Genesys 10UV vis (imagen 8), a longitudes de onda de 470 nm, durante 20 min con intervalos de tiempo de 30 s bajo las condiciones de ensayo a 25°C.

La actividad enzimática se determinó como el cambio de la absorbancia por min ( $\Delta\text{Abs}/\text{min}$ ), Para su cálculo se usó la parte lineal de la curva obtenida en el espectrofotómetro, tomando como actividad enzimática la pendiente (m) de la recta (Dogan y Dogan 2004).



*Imagen 8. Determinación de Peroxidasa  
Fuente: Esta investigación*

#### **4.3.2 La actividad residual (AR)**

La actividad residual de cada enzima se expresó como la razón porcentual entre la muestra tratada y la muestra sin tratamiento (Solarte *et al.*, 2012), de acuerdo con la (ecuación 3).

**Ecuación 3.** Cálculo de la actividad enzimática residual

$$\% AR = \left( A/A_0 \right) X 100$$

Donde:

**A** = actividad enzimática después del tratamiento (Abs/min).

**A<sub>0</sub>** = actividad enzimática antes del tratamiento (Abs/ min)

**% AR** = Porcentaje de actividad residual de cada enzima

#### 4.4 Envasado del material vegetal

Se realizó un envasado en bolsas de extrusión polietilenos (LDPE) más una capa de poliamida (Nylon) con un tamaño de 18x25 cm, en ellas se envasaron  $100 \pm 2$  g de arveja. Las características del empaque utilizado en esta investigación se muestran en la tabla 9.

Tabla 9.  
Características del empaque utilizado.

Espesor	Material	*Permeabilidad			Transmisión de vapor de agua
		$\frac{cm^3}{m^2 \text{ días atm } ^\circ C}$ a 25 para una película de 25 $\mu$			
		O2	C2	C02	$\frac{g}{m^2 \text{ día atm}}$ (38 $^\circ C$ y 90% HR)
65 $\mu \pm 7^*$	Interior: Polietileno de baja densidad LPDEg	7800	2800	420	18
	Exterior: Nylon 6	40	14	150-190	84-3100

\*Ficha técnica Ref. PAPE 112 (Anexo 4)  
Fuente:(Chuga y Mena, 2015)

##### 4.4.1 Envasado sin modificación de la atmósfera (Blanco)

Se realizó un envasado con aire atmosférico de acuerdo con su composición normal, a través de una empacadora SAMMIC SV 520SD. En la tabla 10 se muestra la composición de los gases utilizados en esta investigación para cada tratamiento.

Tabla 10  
Tratamientos

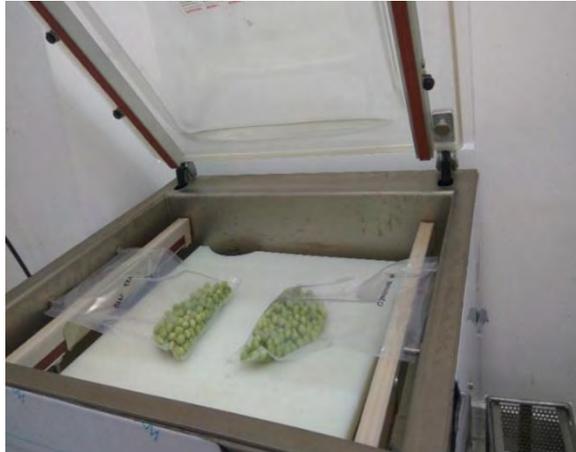
Atmósfera normal (Blanco)*	Atmósfera modificadas**	
	Gas 1	Gas 2
78,03% nitrógeno	5,21% Oxígeno	10,88% oxígeno
20,99% oxígeno	15,70 % dióxido de carbono	10,68% dióxido de carbono
0,94% Argón	79,09 % Nitrógeno	78,44 Nitrógeno
0,03% dióxido de carbono		
0,01% Dihidrógeno		

\*Composición gaseosa del aire seco a nivel del mar (Iglesias et al., 2006), \*\* Composición de las mezclas utilizadas en esta investigación.

Fuente: Esta investigación

#### 4.4.2 Envasado en atmósfera modificada (MAP)

Se realizó a través de una empacadora SAMMIC SV 520SD (imagen 9) a una presión de 1,5 bar con un porcentaje de inyección del equipo del 70 % que corresponde a  $350 \pm 10$  ml de mezcla de gas para garantizar el sellado a través de la operación de vacío compensado, según lo descrito por Chuga y Mena (2015).



*Imagen 9.* Empacado en Atmósfera Modificada (AM)  
*Fuente:* Esta investigación

#### 4.4.3 Almacenamiento de las muestras

Una vez sellados los envases se trasladaron al sitio de almacenamiento para su posterior análisis en el tiempo, Las muestras se almacenaron en nevera a 4°C (imagen 10).



*Imagen 10.* Almacenamiento en Nevera 4°C  
*Fuente:* Esta investigación

#### 4.4.4 Diseño experimental atmósferas modificadas

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 3 repeticiones por tratamientos (Tabla 11), donde se evaluó el efecto de la atmósfera modificada sobre los atributos de calidad: firmeza, humedad, color, índice de respiración y transpiración en cada uno de los tratamientos.

Tabla 11  
*Matriz de diseño experimental*

Tratamientos*	Repeticiones		
	Repeticion 1	Repeticion 2	Repeticion 3
<b>T1</b>	X	X	X
<b>T2</b>	X	X	X
<b>T3</b>	X	X	X
<b>T4</b>	X	X	X

Donde x la variable de respuesta: firmeza, humedad, color e índice de respiración y transpiración.

\*T1= Gas 1 en arveja con tratamiento termosónico, T2 = Gas 2 en arveja con tratamiento termosónico, T3= Gas atmosférico en arveja con tratamiento termosónico, T4= Gas atmosférico en arveja sin tratamiento termosónico

Fuente: Esta investigación

En la tabla 12 se muestra la codificación de los tratamientos descritos en la matriz de diseño experimental que se manejaron en el desarrollo de la investigación.

Tabla 12  
*Siglas Tratamientos*

Código	Tratamiento
<b>T1</b>	Gas 1 en arveja con tratamiento termosónico
<b>T2</b>	Gas 2 en arveja con tratamiento termosónico
<b>T3</b>	Gas atmosférico en arveja con tratamiento termosónico
<b>T4</b>	Gas atmosférico en arveja sin tratamiento termosónico

Fuente: Esta investigación

#### 4.5 Determinación de las características fisicoquímicas de la arveja (*Pisum sativum* L.) en almacenamiento.

Se tomaron medidas de cada característica fisicoquímica cada tres días durante los 21 días de almacenamiento en refrigeración.

##### 4.5.1 Textura

Para medir la textura de los granos se utilizó un texturómetro TX1 LLOYD ls1, (imagen 11), con una celda de carga de 250 Newton (N) a través del método de punción del grano por penetración utilizando una punta cilíndrica de 4,6 mm de diámetro, una pre-carga de 5,6 Newton (N), con un límite de extensión de 5 mm y una velocidad de compresión de 21 mm/min (Castro, 2007; Zapata *et al.*, 2010). Los datos se capturaron gracias al software NEXYGEN Plus, permitiendo el cálculo de la firmeza.

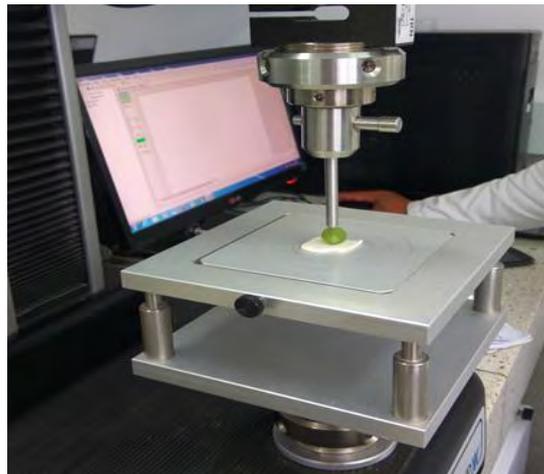


Imagen 11. Determinación de firmeza. Texturómetro TX1 LLOYD ls1

Fuente: Esta investigación

##### 4.5.2 Medición de color

Se determinó a través de la metodología propuesta por Delmoro *et al.*, (2010), Mediante un espectrofotómetro CM5- Konica Minolta, con un observador estándar de 10° y un iluminante D65; con una medición en lecho. En la (imagen 12) se muestra el equipo empleado para este análisis.



*Imagen 12. Determinación de Color. Equipo CM5-Konica minolta  
Fuente: Esta investigación.*

Además teniendo en cuenta las propiedades específicas, sobre la base de los resultados obtenidos en la escala (CIE  $L^* a^* b^*$ ) se calculó la diferencia de color total ( $\Delta E$ ) mediante la siguiente ecuación (4) (Ren et al., 2018).

**Ecuación 4:** diferencia de color total ( $\Delta E$ )

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Donde:

$\Delta L^*$ : es la diferencia de luminosidad de las muestras durante el tiempo.

$\Delta a^*$ : es la diferencia de la coordenada ( $a^*$ ) de las muestras durante el tiempo.

$\Delta b^*$ : es la diferencia de la coordenada ( $b^*$ ) de las muestras durante el tiempo.

### 4.5.3 Índice de Transpiración

Se determinó con base en la pérdida de agua representada en la pérdida de peso de la arveja, utilizando una balanza analítica Ohaus (imagen 13), según lo descrito por Tosne *et al.*, (2014), se expresó en porcentaje (%) mediante la ecuación 5).

**Ecuación 5.** Medición del Índice de transpiración

$$\% PP = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

Donde:

%PP = Pérdida de peso en porcentaje

Pi= Peso inicial (g)

Pf= Peso final (g).



Imagen 13. Determinación del Índice de Transpiración  
Fuente: Esta investigación

#### 4.5.4 Índice de respiración

La intensidad respiratoria se determinó en un ambiente previamente purgado y herméticamente cerrado, utilizando el Medidor de CO<sub>2</sub> Lutron GC 2028 (Imagen 14), la tasa de respiración se estimó a través de la (ecuación 6),

**Ecuación 6.** Medición de tasa de respiración.

$$\frac{mgCO_2}{Kg.h} = \frac{(2(CO_2ppm)/10000) * (Vg)60}{(w)(t) * 0,1}$$

Donde:

**Vg** = volumen del gas (diferencia entre el volumen total del recipiente menos el volumen de la arveja y el sensor).

**w** = es el peso de la muestra (Kg).

**t** = es el tiempo de evaluación (min).

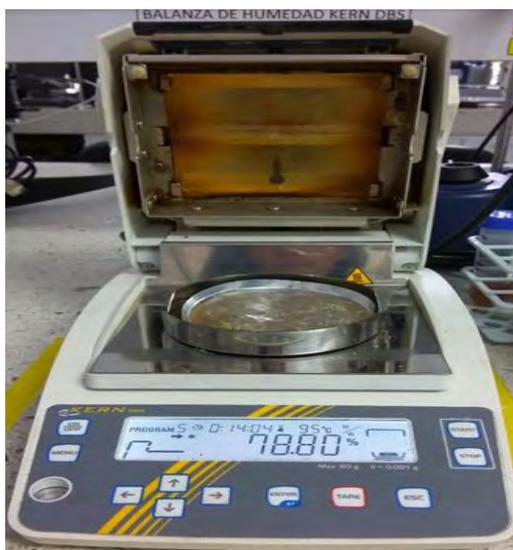
**CO<sub>2</sub>ppm** = ((ppm CO<sub>2</sub> t<sub>2</sub> – ppm CO<sub>2</sub> t<sub>1</sub>)/10000).



*Imagen 14. Determinación de la Tasa de Respiración  
Fuente: Esta investigación*

#### **4.5.5 Contenido de humedad**

Se determinó a través del equipo KERN y Sohn GmbH (imagen 15) utilizando  $2 \pm 0,09$  g de muestra para cada análisis.



*Imagen 15. Determinación de Humedad. Equipo KERN y Sohn GmbH  
Fuente: Esta investigación*

#### **4.6 Determinación de las constantes cinéticas de velocidad de deterioro (k) en función de los atributos de calidad.**

Se utilizó el método integral para evaluar la cinética del efecto de la aplicación de atmósfera modificada frente a un tratamiento testigo. Para el cálculo de las cinéticas, se tomaron los valores de cada atributo fisicoquímico cada 3 días, durante 21 días.

#### **4.7 Determinación de las características sensoriales**

Para determinar el nivel de aceptación de la arveja empacada bajo las diferentes condiciones de estudio durante el periodo de almacenamiento, se utilizó una prueba de aceptación de acuerdo con la metodología descrita por Watts *et al.*, (1992), para ello se realizó una prueba de escala hedónica de 5 puntos con el objetivo de medir cuánto agrada o desagrada el producto.

Las muestras fueron evaluadas por 30 evaluadores tipo consumidor tomados al azar, quienes no se relacionan con la investigación de este alimento, pero son consumidores habituales o potenciales del producto. El periodo de almacenamiento se realizó durante 21 días y las pruebas se realizaron cada 7 días.

##### **4.7.1 Procedimiento**

Se calificó las siguientes características; color, olor y textura; las muestras se repartieron de manera simultánea y aleatoria para disminuir el error, y se codificaron con tres números al azar. A cada panelista se le pidió evaluar las muestras codificadas de arveja, en una escala de 5 puntos: me gusta mucho (1), me gusta moderadamente (2), no me gusta ni me disgusta (3), me disgusta moderadamente (4), me disgusta (5), a cada escala se les asignó un puntaje de acuerdo con lo reportado por Navas (2017), la respectiva encuesta aplicada se muestra en el (anexo 3). En la (imagen 16) se muestra una de las pruebas realizadas para este análisis.



*Imagen 16. Análisis Sensorial  
Fuente: Esta investigación*

#### 4.8 Vida útil

Para definir el tiempo de vida útil del producto se aplicó la metodología de límite de aceptabilidad a través del test sensorial según lo descrito por Giménez et al., (2012), el cual se aplicó al parámetro de color ( $a^*$ ), permitiendo determinar el cambio máximo tolerable de las características sensoriales por parte de los consumidores.

Se determinó además la bondad de ajuste del modelo a partir de los parámetros  $R^2$  (coeficiente de correlación), RMSE (raíz cuadrada del error medio cuadrático), MBE (error de desvío medio) y E % (error porcentual promedio). Se tuvo en cuenta que un buen ajuste es indicado por valores pequeños de RMSE y MBE,  $R^2 > 0.85$  y  $E \% < 10 \%$  (Brousse et al., 2013).

Para la determinación de los respectivos parámetros se tuvo en cuenta las siguientes ecuaciones:

**Ecuación 7.** Raíz cuadrada del error medio cuadrático

$$RMSE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (C_{cal} - C_{exp})^2}{n} \right]^{0.5}$$

**Ecuación 8.** Error de desvío medio

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{cal} - C_{exp})}{n}$$

**Ecuación 9.** Error porcentual promedio

$$E\% = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{[(C_{cal} - C_{exp})_n]}{C_{exp}}}{n} \times 100$$

Donde:

**C<sub>cal</sub>**: valor calculado

**C<sub>exp</sub>**: valor experimental

**n**: número de determinaciones.

**4.9 Análisis microbiológico**

Para verificar la calidad microbiológica al final del periodo de almacenamiento, se realizó un análisis microbiológico de recuento de microorganismos mesófilos aerobios y recuento de hongos y levaduras, a cada uno de los tratamientos a los 21 días de almacenamiento. Estos procedimientos se llevaron a cabo en los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño.

**4.10 Análisis estadístico**

El análisis de datos de los diseños experimentales se realizó con el programa Statgraphics © Plus Centurión XVII, mediante el cual se realizó el análisis de varianza y prueba de comparación mediante la LSD de Fisher a un 5% de nivel de significancia.

## 5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

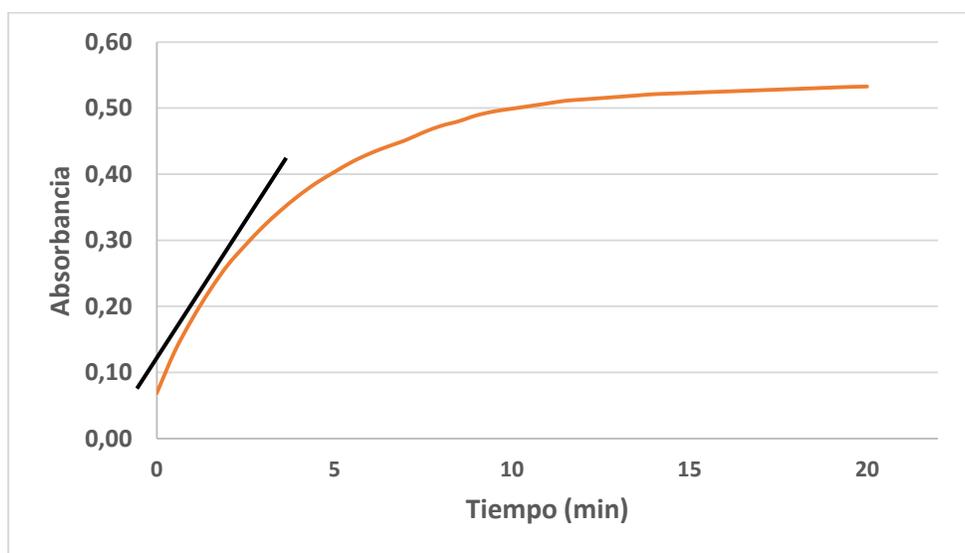
### 5.1 Medición de actividad enzimática de peroxidasa (POD)

Se midió la actividad del extracto enzimático sin tratamiento, que sirvió como testigo absoluto para calcular la actividad enzimática residual posterior a la aplicación de los tratamientos termosónicos.

#### 5.1.1 Medición de Actividad Enzimática del Testigo

La curva de avance para la medición de actividad enzimática del testigo de (POD) a 470 nm durante 20 min se muestra en la gráfica 1. Para determinar la actividad enzimática de (POD) se realizó una regresión lineal, para ello el cálculo cinético se realizó en los primeros 5 minutos, que corresponde al 25% del tiempo total de reacción.

**Gráfica 1.** *Curvas de avance de la reacción enzimática del testigo*

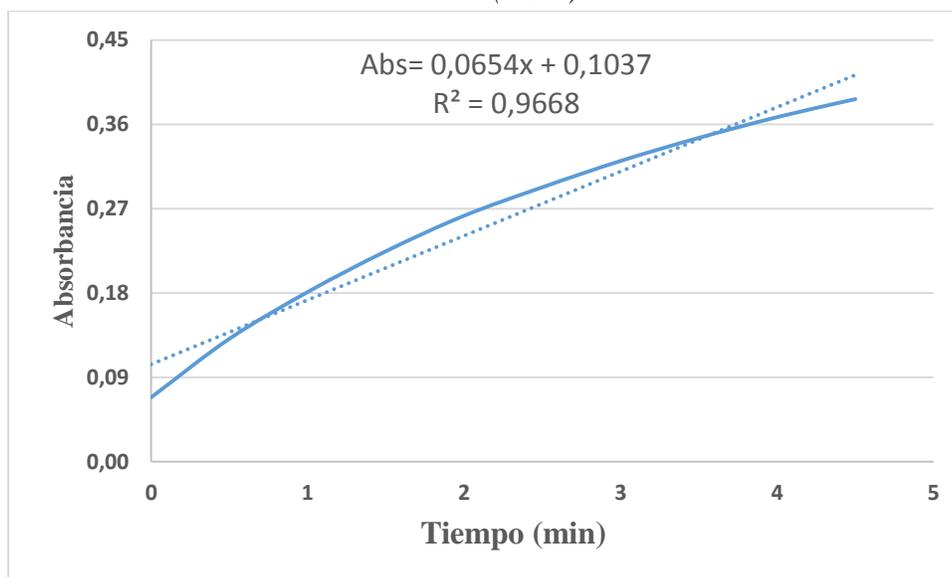


*Fuente: Esta investigación*

La Gráfica 2, muestra la regresión lineal que presenta la absorbancia en los primeros 5 minutos de reacción en arveja (*Pisum sativum* L.) variedad San Isidro sin tratamiento. El valor del coeficiente de correlación indica que la linealidad de la curva en el rango de trabajo es

adecuada y puede considerarse esta como la velocidad inicial de la reacción. La pendiente de la recta representa el valor de la actividad enzimática, de la ecuación lineal se obtiene la actividad enzimática  $A_0 = 0,0654$  de la misma forma se toma las gráficas de los tratamientos y de ellas se obtiene las pendientes de las ecuaciones lineales que representan la actividad enzimática de los demás tratamientos, Los correspondientes datos se reportan en el (anexo 1).

**Gráfica 2.** Parte lineal de la curva cinética de (POD).



Fuente: Esta investigación

En la (imagen 17) se aprecian las coloraciones respectivas de la reacción de (POD), donde se puede observar una coloración más clara que el testigo, ya que la enzima ha sido parcialmente inactivada por efecto del el tratamiento termosónico y no puede consumir todo el sustrato, que se encuentra en la misma cantidad que en el testigo (Santander *et al.*, 2013), lo que pone en evidencia de que el tratamiento está inactivando la enzima.

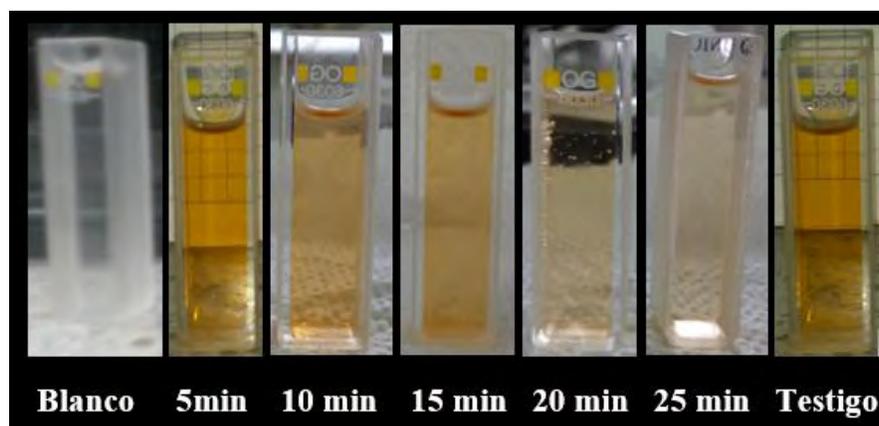


Imagen 17. Reacción de la Peroxidasa para la Frecuencia 80 KHz a 65 °C  
Fuente: Esta investigación

## 5.2 Actividad enzimática residual de peroxidasa (POD).

A partir de los valores de la actividad enzimática del tratamiento testigo se realizó los respectivos cálculos de actividad residual, en términos de porcentaje, en cada uno de los tratamientos por medio de la **(ecuación 3)** los respectivos datos se muestran en el (anexo 2).

Según el análisis de varianza Anova (tabla 13), la temperatura, el tiempo, la frecuencia y el cuadrado del tiempo tienen un valor-P menor que 0,05, indicando que causan un efecto significativo sobre la actividad residual de la (POD) con un nivel de confianza del 95,0 %. Además el estadístico R-Cuadrado indica que el modelo explica en un 92,223 % la variabilidad en la actividad residual. Con lo cual se puede deducir que el diseño cuenta con un buen ajuste, permitiendo hacer un análisis confiable sobre la variable implicada.

Por otra parte el estadístico de Durbin-Watson (DW) muestra que los datos no presentan autocorrelación serial en los residuos, puesto que el valor- P es mayor que 0,05, con un nivel de significancia del 5,0 %.

Tabla 13

*Tabla Anova de análisis de varianza para la actividad residual (POD).*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Tiempo	13352,4	1	13352,4	443,33	0,0000
B:Frecuencia	4251,65	1	4251,65	141,16	0,0000
C:Temperatura	1150,48	1	1150,48	38,20	0,0000
AA	592,1	1	592,1	19,66	0,0001
AB	82,3314	1	82,3314	2,73	0,1061
AC	69,7123	1	69,7123	2,31	0,1360
BC	20,4739	1	20,4739	0,68	0,4146
Falta de ajuste	441,271	12	36,7726	1,22	0,3031
Error puro	204,75	40	30,1188		
Total (corr.)	21165,2	59			

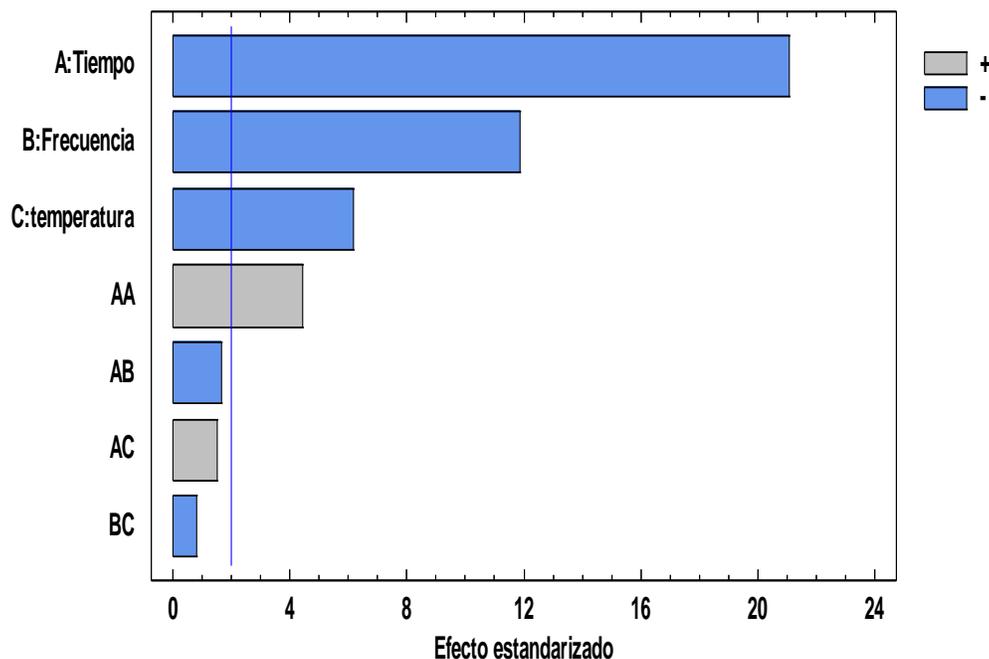
*R-cuadrada = 92,223 por ciento*

*Estadístico Durbin-Watson = 1,7973 (P=0,2367)*

*Fuente: Esta investigación*

En cuanto a la gráfica 3, esta muestra los estimados de la tabla 13 en orden decreciente, en donde los efectos Tiempo (A), Frecuencia (B) y Temperatura (C) presentan un comportamiento inversamente significativo con respecto a la actividad residual de la (POD); encontrándose que el tiempo es el que produce un mayor efecto de reducción sobre la actividad enzimática residual, ya que a medida que este aumenta la actividad residual tiende a disminuir.

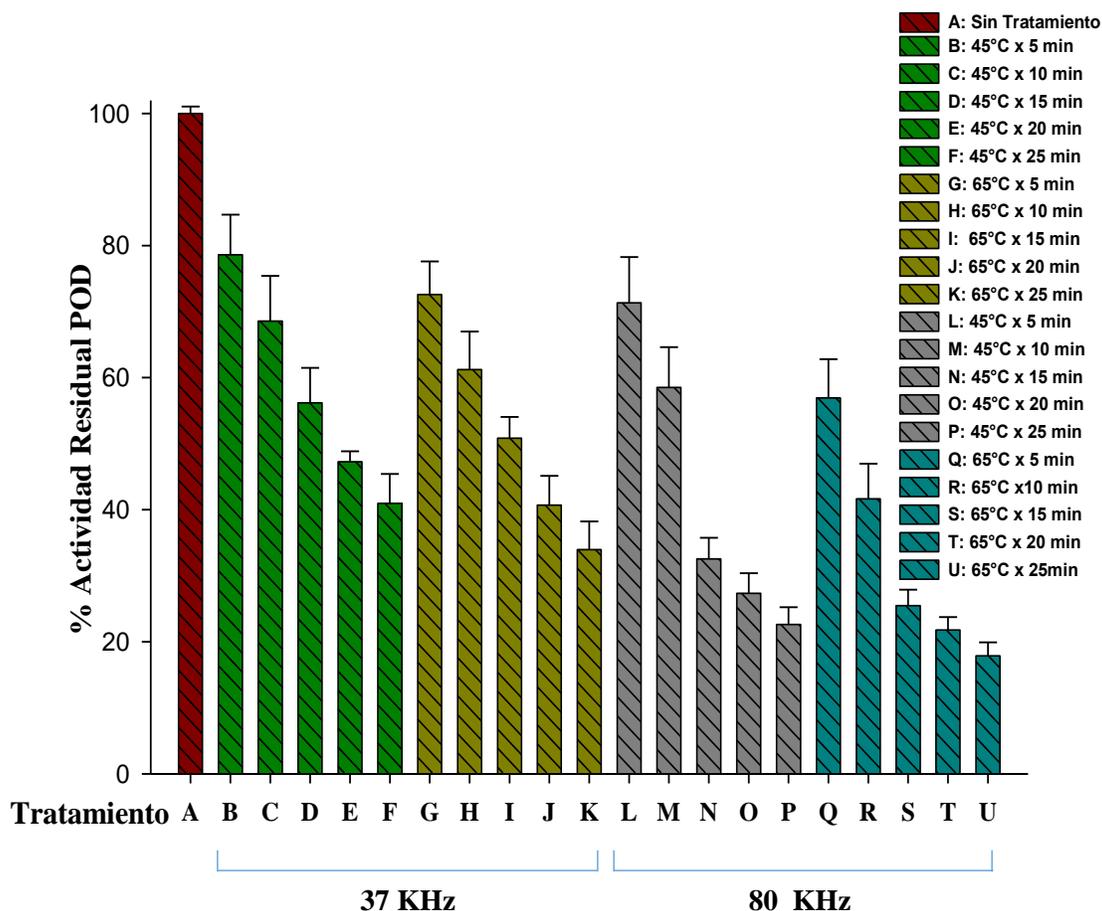
La interacción Tiempo- Tiempo (AA) también es un factor significativo sobre la actividad enzimática con un efecto directamente proporcional, los efectos que causa la interacción Tiempo-Temperatura (AC), Tiempo-Frecuencia (AB), frecuencia-temperatura (BC) no son representativos sobre la actividad enzimática de la (POD).

**Gráfica 3.** Diagrama de Pareto estandarizado para actividad enzimática residual.

Fuente: Esta investigación

La actividad residual promedio para cada uno de los tratamientos se muestra en la gráfica 4, donde se puede observar además que a medida que la temperatura y el tiempo de tratamiento se incrementan, la actividad residual de (POD) tiende a disminuir. En cuanto a la frecuencia, se observa que la más alta (80 KHz) genera un mayor grado de inactivación de (POD), logrando reducir la actividad enzimática a valores inferiores al 18 % de la actividad inicial.

Estos resultados son comparables con los conseguidos Raviyan *et al.*, (2005), quienes encontraron un aumento significativo en la efectividad de la inactivación enzimática de Pectinmetilesterasa (PME) en tomate utilizando ultrasonido a 20 KHz, a 72 °C durante 25 minutos.

**Gráfica 4.** Actividad residual enzimática promedio de (POD) para cada tratamiento.

Fuente: Esta investigación

Algunos porcentajes de inactivación residual de (POD) reportados en estudios similares: en banano (13.7%) tras un tratamiento termosónico de 65°C por 10 minutos; con frecuencia de 37 kHz y potencia de 240 W (Orrego *et al.*, 2016), en ajeno se encontró que el tratamiento termosónico a 85 ° C durante 60 s logró una inactivación de 7.3% (Xin *et al.*, 2015), en uva de mesa se logró una reducción del 50% durante 2 minutos de calentamiento a 65 ° (Sciancalepore *et al.*, 1985), en tomate se logró inactivar completamente la enzima aplicando ultrasonido durante 2.5 minutos con una potencia del 50% (Ercan y Soysal, 2011), asimismo Cheng *et al.*, (2013), lograron inactivar completamente la enzima en champiñones por medio de la aplicación

de tratamientos termosónicos a una temperatura de 75°C durante 3 min con una frecuencia de 25 kHz.

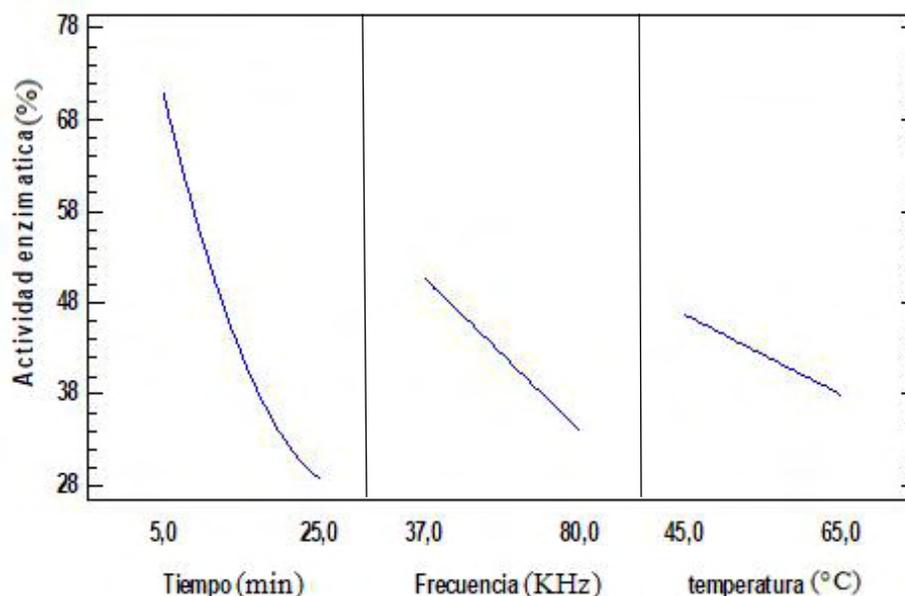
En contraste con lo anterior se hace evidente la diferencia de los resultados obtenidos con los reportados, estas diferencias, se debe a que las ondas de ultrasonido sufren cambios en sus propiedades (velocidad, atenuación, frecuencia, etc.) según las características del sólido a través del cual viajan (Chemat et al., 2011). Este efecto fue referenciado por Kuo et al., (2008), donde manifiestan que la propagación de las ondas de ultrasonido se ven afectadas por el coeficiente de atenuación con que la onda penetra el material, lo que trae como consecuencia que en cada sólido sometido al tratamiento actúen de manera distinta, ya que la estructura es particular para cada uno de ellos. De igual manera De la Fuente et al., (2006), describen diferencias en el efecto del tratamiento termosónico sobre la matriz alimentaria de diferentes frutos. Hay que destacar además que la inactivación de enzimas depende de factores como, la concentración de enzima, el pH del medio y la temperatura (Raviyan et al., 2005); además Monsalve (2003), afirma que las peroxidasas de diversas fuentes presentan variadas estabilidades térmicas y son inactivadas a diferentes velocidades por tratamientos térmicos, presumiblemente debido a heterogeneidad estructural relacionado con la presencia de isoenzimas.

El mecanismo de inactivación de la enzima por ultrasonidos es asociado con la cavitación, la cual genera altas temperaturas, presiones de ondas de choque y microcorrientes que se relacionan con altas fuerzas de cizallamiento, en estas condiciones intensas se provoca la interrupción del enlace de hidrógeno y de van der Waals en cadenas polipeptídicas, conduciendo a la alteración de las estructuras secundaria y terciaria de la proteína, originando que la enzima pierda sus propiedades biológicas (Chávez, 2015) .

La Gráfica 5, muestra los factores responsables de la reducción de la enzima (POD), donde se observa claramente que el tiempo es el factor más representativo en la disminución de la actividad residual. debido a que, según lo descrito por Delgado y Luque (2015), un tiempo de sonicación más largo puede ser responsable de un aumento de la formación de burbujas que al colapsar crean un ambiente adverso para la estructura de la enzima.

En cuanto a la temperatura se observa que el aumento de esta favorece la inactivación de (POD), esto es debido a que la enzima se vuelve más lábil al calor al someterse a la sonicación (Tsikrika *et al.*, 2018). Este fenómeno es atribuido a la cavitación intracelular, producto de las altas presiones, fuerza interna y altas temperaturas creadas durante el tratamiento con ultrasonido en el material vegetal (Lee, 2002), resultados similares fueron reportados por Ercan y Soysal (2011), en la inactivación de POD en tomate por termosonicación.

**Gráfica 5.** Efectos principales para % Actividad Residual.



Fuente: Esta investigación

Con respecto a las dos frecuencias estudiadas, los resultados demuestran que la frecuencia de 80 kHz, la más alta de este estudio, mostró tener mayor efecto sobre la inactivación de la (POD). Lo que concuerda con lo mencionado por Tsikrika *et al.*, (2016) quienes describen que bajas

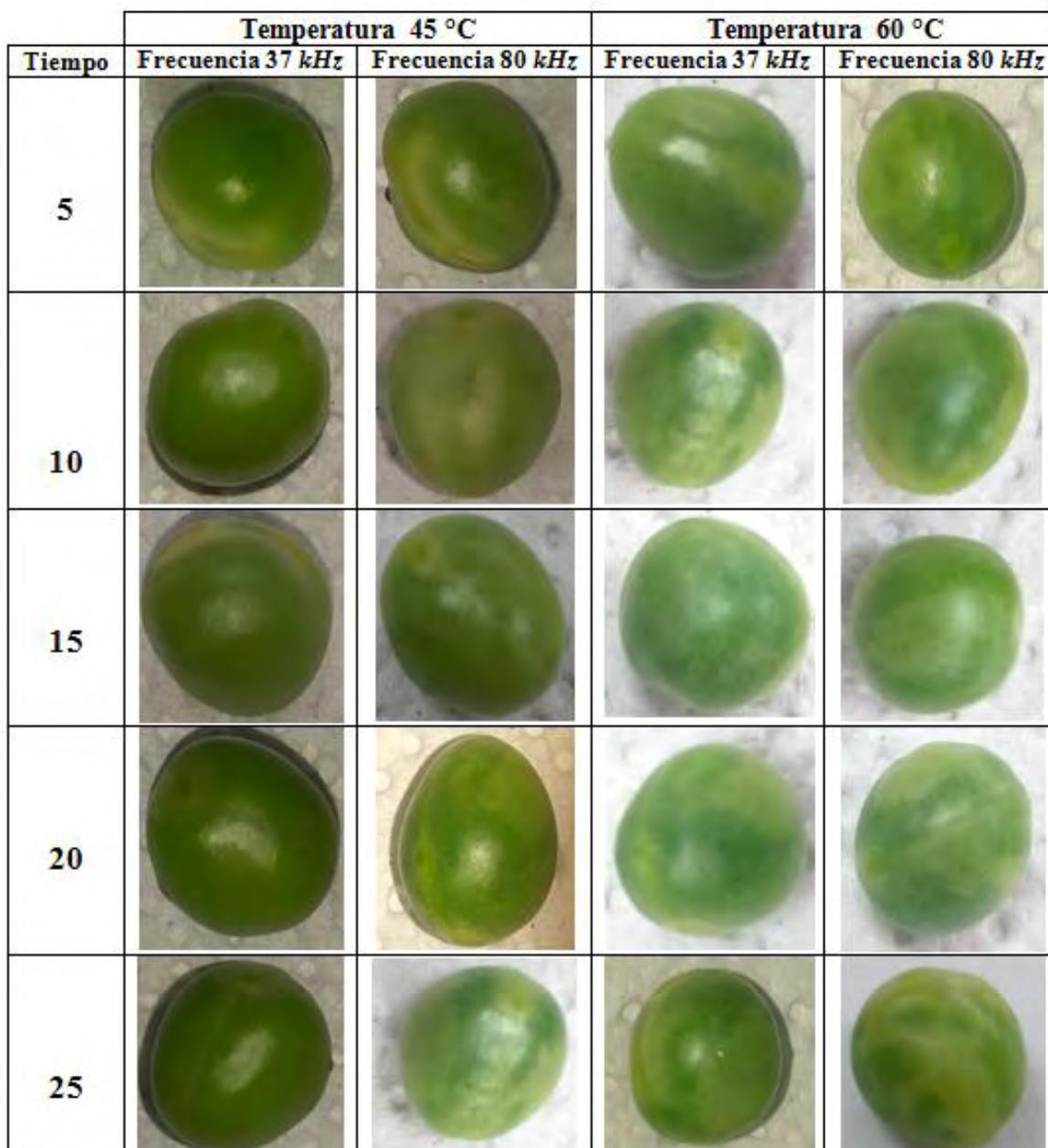
frecuencias no son efectivas sobre la inactivación de la enzima (POD). Sin embargo según Martínez (2005), al utilizar frecuencias altas, el tiempo dado a la burbuja para crecer y afectar al sistema es pequeño, por lo que el efecto de la cavitación es menor; no obstante los resultados obtenidos mostraron un comportamiento contrario, debido posiblemente a que la utilización de frecuencias altas conlleva a un incremento mayor de la temperatura y turbulencia sobre el sólido (Hurtado 2013).

Hay que resaltar además que en algunos casos la cavitación no siempre es necesario para producir la inactivación de las enzimas, ya que la turbulencia generada por los movimientos bruscos en los choques entre las burbujas podría ser responsables de dicha degradación (Campo y Gélvez 2011). De ahí que los tratamientos con frecuencias de 80 KHz mostraran tener mayor impacto sobre la actividad enzimática de la (POD).

Sin embargo que a pesar de que la frecuencia de 80 KHz mostró tener un mayor impacto sobre la (POD) en arveja, también mostró tener efectos negativos sobre la apariencia de esta, causando la separación de la testa, la cual se resaltó con el aumento de la temperatura y el tiempo de tratamiento, como se muestra en la (imagen 18). Con respecto a este fenómeno Campaner (2013), sugiere que los pretratamientos por inmersión asistidos por ultrasonidos tienden afectar la estructura celular, esto sucede porque en los materiales sólidos, la alternancia entre compresión y expansión generada por las ondas de ultrasonido produce un efecto “esponja” del sólido (De la Fuente et al., 2006), a esto se le suma además las perforaciones producidas en la matriz alimentaria por el colapso de las burbujas de cavitación que puede llevar a un daño tisular (Mar, 2016).

En consecuencia con lo mencionado anteriormente, el tratamiento que se utilizará en adelante para realizar las demás pruebas será el de la frecuencia de 37 kHz a una temperatura de 45°C con

un tiempo 25 min, médiante la cual se llega a obtener un porcentaje de actividad residual promedio de  $40,933 \pm 4,44$ . Siendo este tratamiento el que alcanza el mayor porcentaje de inactivación, sin causar efecto negativo visible sobre la testa de la arveja.



*Imagen 18. Efecto de la Frecuencia y Tiempo de Tratamiento sobre La Testa de la Arveja.*

*Fuente: Esta investigación*

### 5.3 Comportamiento de las propiedades fisicoquímicas y cinéticas de deterioro de la arveja durante el almacenamiento.

El tratamiento utilizado para realizar las respectivas pruebas durante el almacenamiento fue la frecuencia de 37 kHz a una temperatura de 45°C con un tiempo 25 min. Los valores iniciales de los parámetros fisicoquímicos de la arveja (*Pisum sativum* L.) variedad San Isidro, determinados en la investigación se muestran en la tabla 14.

Tabla 14.

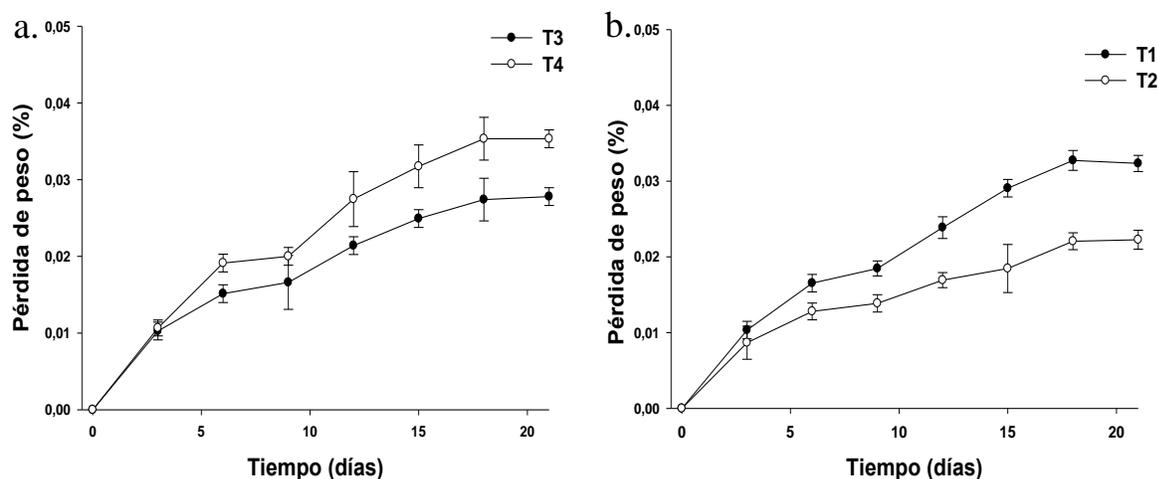
*Valores iniciales de los parámetros fisicoquímicos*

Parámetro fisicoquímico	Arveja sin tratamiento	Arveja con tratamiento	Unidades
Índice de transpiración	0	0	%
Índice de respiración	168 ± 17,8019	222 ± 15,9817	g CO <sub>2</sub> /Kg.h
Contenido de humedad	75,45 ± 0,7617	69,98 ± 0,6351	%
Parámetros de color	(a*) = -7,094 ± 0,1437	(a*) = -7,667 ± 0,7234	Sin unidades
	(b*) = 28,065 ± 0,9054	(b*) = 27,177 ± 0,5717	
	(L*) = 53,18 ± 0,5727	(L*) = 51,80 ± 0,4423	
Firmeza	35,903 ± 0,490	34,524 ± 0,545	Newton (N)

*Fuente: Esta investigación.*

#### 5.3.1 Comportamiento en el tiempo del índice de transpiración

La arveja presenta un contenido de agua mayor al 70 % y después de su recolección debe subsistir con sus propias reservas de agua (Flores y Ruíz 2011). Según el análisis de varianza (Anova) consignado en la tabla A1 (Anexo 5), el tipo de atmósfera presentó un efecto significativo sobre el índice de transpiración (p-Valor<0,05). En la gráfica 6, se muestra el comportamiento cinético de este parámetro durante el almacenamiento en los diferentes tratamientos.

**Gráfica 6.** Comportamiento cinético del índice de transpiración

a) Tratamientos sin modificación de atmósferas T4, T3; b) Tratamientos en atmósfera modificada T2, T1.

Fuente: Esta investigación

Durante el almacenamiento se presentó una disminución de peso en todos los tratamientos siendo de: T4 ( $3,533 \pm 0,651$ ); T3 ( $2,780 \pm 0,448$ ), T2 ( $2,227 \pm 0,566$ ) y T1 ( $3,233 \pm 0,583$ ) expresados en gramos. Según Rivera (2012), la pérdida de peso es consecuencia de la transpiración, cuando la presión de vapor del medio circundante es menor con respecto a la de la arveja, se produce la transferencia de agua desde esta hacia el medio en estado de vapor, siendo más intensa cuanto mayor es el déficit de vapor de agua entre la arveja y la atmósfera exterior, es necesario recalcar que este déficit depende tanto de la temperatura, así como de la humedad relativa de la atmósfera (Ibern y Yepes, 2009), hecho que se refleja en los tratamientos almacenados sin modificación de atmósfera T4 y T3 los cuales presentan una mayor pérdida de agua y peso respecto al tratamiento T2 almacenado en atmósfera modificada.

En consecuencia con lo mencionado anteriormente, la reducción en la pérdida excesiva de agua y peso en el tratamiento T2 es debido a que la humedad relativa dentro del envase alcanza valores altos, lo cual reduce la presión de vapor dentro de la arveja, en comparación con la presión de vapor del aire. Por otra parte Artés (2006), le confiere este efecto a los beneficios de

la atmósfera modificada, ya que asegura que esta tecnología se basa en el uso de bajas presiones parciales de O<sub>2</sub> y elevadas de CO<sub>2</sub>, bajo vapor de agua; con lo que se frena el metabolismo, reduce la transpiración y retrasa el deterioro de origen fisiológico.

Resultados similares fueron encontrados por Zaldívar *et al.*, (2011) quien estudió el efecto del envasado en atmósferas modificadas a 4 °C en la calidad del nopal desespinado encontrando que la pérdida de peso debida a la transpiración fue mayor en los nopales control que en los conservados en atmósferas modificadas, permitiendo conservar una mejor calidad de los nopales hasta por 20 días.

Por otra parte si bien los materiales de baja permeabilidad evitan una pérdida excesiva de agua y la deshidratación del producto, también puede ocasionar ciertos problemas como condensar vapor de agua sobre la superficie interna del envase, hecho que se reflejó en los tratamientos de esta investigación (imagen 19). Este fenómeno es debido a que la actividad respiratoria puede alterar el microambiente en el empaquetado por el agotamiento de O<sub>2</sub> y acumulación de CO<sub>2</sub> (Lizarme, 2015), hecho que además puede favorecer el crecimiento microbiano (Iglesias *et al.*, 2006).



Imagen 19. Condensación de Vapor de Agua  
Fuente: Esta investigación.

Con respecto a la utilización de envases de baja permeabilidad sellados herméticamente Ochoa y Guerrero (2013), encontraron que estos alteran la atmósfera al interior de los envases, debido a que la cantidad de oxígeno que consume el vegetal no se recupera con el O<sub>2</sub> del exterior y el exceso de CO<sub>2</sub> y el vapor de agua no son liberados en la respiración a través del envase (Rangel y López, 2012). Con respecto a este hecho Iglesias *et al.*, (2006) describe que la acumulación excesiva de CO<sub>2</sub>, en el interior del envase causa una disminución de la capacidad de retención de agua de las células debido a que promueve la formación de ácido carbónico.

Es necesario recalcar además que, según Lizarme (2015), se han reportado casos con aumento en la pérdida de peso en muestras sometidas a tratamiento térmico, dado que la temperatura y el tiempo de inmersión son factores generadores de estrés que aceleraran el proceso metabólico normal (Ramírez *et al.*, 2011) Así mismo García (2011), asocia la termosonicación con la disminución de la turgencia del tejido, ocasionando el incremento de la pérdida de agua, resultando en un aumento de transpiración (Gómez, 2010). Por consiguiente es posible que la suma de estos fenómenos con la acumulación excesiva de CO<sub>2</sub> en los envases tenga implicación en la pérdida de peso por transpiración en el tratamiento T1 almacenado en atmósfera modificada.

El comportamiento de la transpiración responde a una cinética de orden cero, lo cual concuerda con lo reportado Chuga y Mena (2015) en arveja y Marquez *et al.*, (2007) en tomate de árbol. Los parámetros cinéticos obtenidos se muestran en la tabla 15; después de realizar la comparación entre medias según LSD de Fisher, se identificó equivalencias entre los tratamientos T4 y T1, asimismo se encontró que el tratamiento T4 presentó el valor de K más alto, lo que concuerda con la mayor pérdida de peso de este tratamiento durante el almacenamiento.

Tabla 15

*Parámetros cinéticos de orden cero, para el índice de transpiración.*

Parámetro	Tratamiento*	K (1/día)**	B	R2
Pérdida de peso (%)	T1	0,0015 ± 0,0001 <sup>a</sup>	0,0074	0,9102
	T2	0,0008 ± 0,0001 <sup>b</sup>	0,0114	0,9003
	T3	0,0010 ± 0,0001 <sup>c</sup>	0,0079	0,8993
	T4	0,0018 ± 0,0002 <sup>a</sup>	0,0014	0,9037

\*T1= Gas 1 en arveja con tratamiento termosónico, T2 = Gas 2 en arveja con tratamiento termosónico, T3= Gas atmosférico en arveja con tratamiento termosónico, T 4= Gas atmosférico en arveja sin tratamiento termosónico

\*\*Valores promedio (n=3) ± desviación estándar; Letras no comunes implican diferencias entre promedios, según prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza.

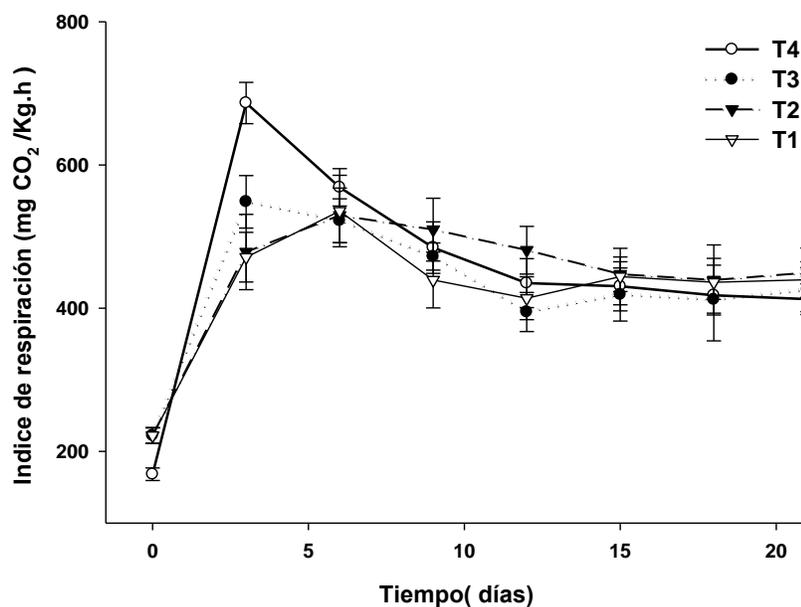
Fuente: Esta investigación.

### 5.3.2 Comportamiento en el tiempo del índice de respiración

El comportamiento de los diferentes tratamientos del índice de respiración durante el almacenamiento se muestra en el gráfico 7, donde el tratamiento T4 mostró un mayor pico en la intensidad respiratoria alcanzando un valor máximo de 687 mg CO<sub>2</sub> /Kg.h al 3 día almacenamiento. Resultados similares fueron encontrados por Cerón *et al.*, (2015), quienes encontraron picos de producción de CO<sub>2</sub> elevados al segundo día de almacenamiento, en arveja envasadas en refrigeración. De igual manera el tratamiento T3 mostró un pico de producción de CO<sub>2</sub> de 548 mg CO<sub>2</sub>/Kg.h para el día 3 de almacenamiento, en cuanto a los tratamientos con atmósfera modificada T2 y T1 presentaron picos de 478 y 471 mg CO<sub>2</sub>/Kg.h respectivamente al sexto día de almacenamiento.

Es posible observar en la gráfica 7 un comportamiento errático de este parámetro durante el almacenamiento, según lo reportado por Guillermo *et al.*, (2010) y Mendoza (1994), este comportamiento inusual, puede deberse al hecho de que para poder llevar a cabo este análisis fisiológico fue necesario romper los empaques dentro de los que se encontraban las arvejas y por

consiguiente acabar con la modificación atmosférica a la que estas se hallaban sometidas, pasando de una atmósfera pobre en oxígeno y rica en dióxido de carbono, a una de mayor concentración en oxígeno y menor en dióxido de carbono, pudiéndose activar de una manera diferente el proceso de respiración, este fenómeno podría explicarse también teniendo en cuenta el hecho de que el índice de respiración se midió inmediatamente después de sacar las arvejas del envase y que durante el almacenamiento el CO<sub>2</sub> se ha ido acumulando en el interior de los tejidos de la arveja hasta una concentración similar a la de la atmósfera interior del envase (Calín-Sánchez, 2011). Por tanto, al sacar las arvejas del envase, hay una difusión hacia al exterior de ese CO<sub>2</sub> acumulado, que enmascaró la tasa real de respiración de la leguminosa. Por esta razón no fue posible realizar cinéticas de respiración durante el periodo de análisis por la variabilidad de los resultados durante el almacenamiento.



**Gráfica 7.** Comportamiento del índice de respiración durante el periodo de almacenamiento

T1= Gas 1 en arveja con tratamiento termosónico, T2 = Gas 2 en arveja con tratamiento termosónico, T3= Gas atmosférico en arveja con tratamiento termosónico, T 4= Gas atmosférico en arveja sin tratamiento termosónico

Sin embargo se puede apreciar que en los tratamientos con atmósfera modificada se obtuvo picos de producción de CO<sub>2</sub> menores en comparación con los tratamientos almacenados sin modificación de atmósfera, esto debido probablemente a que la atmósfera modificada ocasiona un descenso de la tasa respiratoria, ya que el enriquecimiento en CO<sub>2</sub> junto con la reducción en los niveles de oxígeno provocan en general una disminución en la tasa respiratoria (Smock, 1979), no obstante esta disminución depende de la composición gaseosa en el interior del empaque cuando se alcanza el equilibrio y es proporcional a la concentración de oxígeno (Tabares y Velásquez, 2003). Por su parte Vicente (2004), describe que bajos niveles de oxígeno pueden reducir la tasa respiratoria de los productos, lo que concuerda con los resultados obtenidos donde se puede observar que los picos más altos se encuentran en los tratamientos sin modificación de atmósfera. De igual manera Day (1993), describe que la tasa de respiración de la arveja en vaina en una atmósfera normal es mayor en comparación a la respiración en una atmósfera modificada.

Por otra parte Escobar *et al.*, (2014), determinaron que la tasa de producción de CO<sub>2</sub> en vegetales se redujo cuando se aplicó tratamiento térmico, este resultado concuerda con lo descrito por Alegria *et al.*, (2012), quienes encontraron que dicho tratamiento reduce o elimina la actividad enzimática, lo cual afecta la tasa de respiración, es probable que la suma del efecto de la aplicación de la atmósfera modificada y el efecto del tratamiento termosónico, contribuyan a la disminución de la tasa de respiración (Campo y Gélvez, 2011).

Es necesario recalcar que según Rangel y López (2012), una vez cerrado el empaque, el oxígeno remanente se consumirá y el dióxido de carbono producido cubrirá el material vegetal hasta alcanzar el equilibrio con una atmósfera modificada, llevando a cabo dos procesos

simultáneos: la respiración del producto y la permeación de los gases a través de la película plástica, donde no debería existir cambios abruptos sobre el envase (Marcela *et al.*, 2008).

Sin embargo como el empaque utilizado en la investigación según las características reportadas (anexo 4) no permite la salida de los gases producidos por la baja permeabilidad, y origina una excesiva acumulación de CO<sub>2</sub> en el interior de los empaques. Si bien altas concentraciones de CO<sub>2</sub> reducen la tasa respiratoria de frutas y hortalizas, se ha observado que algunos productos son muy sensibles a altas concentraciones, provocando daño en el tejido vegetal disminuyendo su calidad (Meneses y Valenzuela, 2004).

Según Iglesias *et al.*, (2006) este gas se difunde dentro del envase entre 2 y 6 veces más rápido que otros gases y junto al vapor de agua y la baja permeación del empaque pueden generar el aumento del volumen, hecho que se evidenció en los diferentes tratamientos siendo más notorio en el tratamiento T4 como se puede observar en la (imagen 20).



Imagen 20. Arveja Empacada a Condiciones Normales día 14  
Fuente: Esta investigación

Este fenómeno de aumento de volumen en los envases se entiende desde el proceso de respiración expuesto en la (ecuación 10).

**Ecuación 10:** Respiración aerobia

En las investigaciones sobre atmósferas modificadas se habla de atmósfera modificada en equilibrio, asumiendo que este estado no se alcanza, el CO<sub>2</sub> y vapor de agua producida dentro del envase aumentan a medida que transcurre el tiempo. Es por esto que la reacción muestra que por cada mol de O<sub>2</sub> se producen una de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O en forma de vapor (Rangel y López, 2012). Además según Welti *et al.*, (2005) en un envase con atmósfera modificada bajo condiciones de equilibrio, las velocidades de producción de CO<sub>2</sub> y de consumo de O<sub>2</sub> deben ser iguales a las velocidades de permeación de los gases que pasan a través del material de empaque.

Una posible alternativa para evitar este inconveniente según lo explica Kandasamy *et al.*, (2012), es la utilización de películas de permeabilidad selectiva, teniendo en cuenta la relación de permeabilidades del envase corresponde a CO<sub>2</sub>> O<sub>2</sub>> N<sub>2</sub>. De igual manera, Limonchi *et al.*, (2015) sugieren que la utilización de un empaque con membranas selectivas permite un enriquecimiento de CO<sub>2</sub>, de manera que la atmósfera modificada se autogenera durante el almacenamiento mediante necesidades y respuesta del producto.

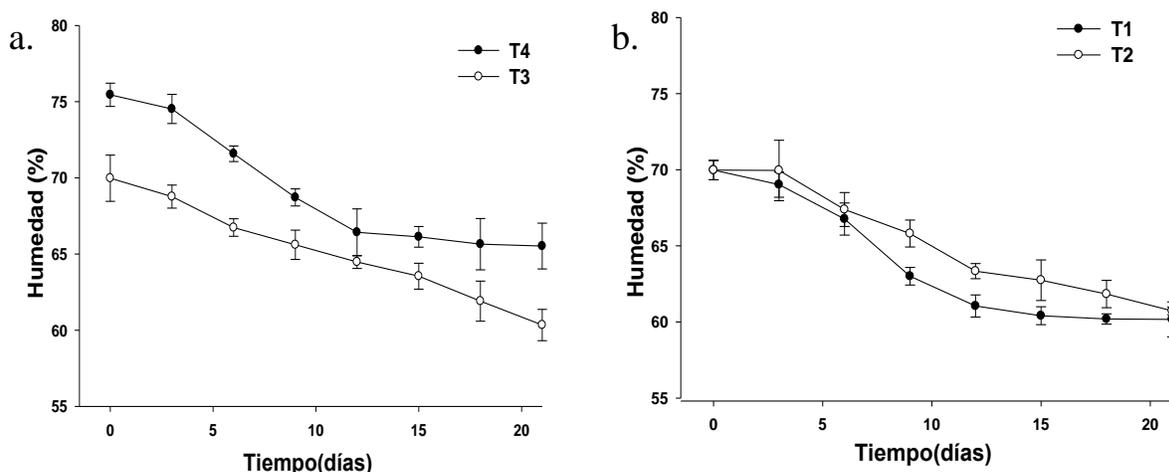
**5.3.3 Comportamiento en el tiempo del Contenido de humedad**

La humedad de la arveja presentó una disminución gradual durante el periodo de análisis. Según el análisis de varianza (Anova) consignado en la tabla A2 (Anexo5), para el diseño factorial planteado, el tipo de atmósfera presenta efecto significativo sobre dicha variable (p-Valor<0,05). En el gráfico 8 se muestra el comportamiento cinético de la humedad durante el almacenamiento.

Los porcentajes de disminución durante el almacenamiento fueron los siguientes: para T4 (9,93 ± 0,465); T3 (9,63 ± 1,504), T2 (9,25 ± 0,6928) y T1 (9,81 ± 1,518). Esta disminución del

parámetro durante el almacenamiento es debido a que el agua existente en fase líquida continua en el vegetal se pierde simultáneamente a través de la transpiración que involucra la transferencia de la humedad a través de la piel del alimento, la evaporación y el transporte convectivo; conducida por una diferencia en la presión del vapor de agua entre la superficie del producto y el ambiente (Umaña, 2010)

**Gráfica 8** Comportamiento cinético del porcentaje de humedad



a) Tratamientos sin modificación de atmósfera T4, T3; b) Tratamientos con modificación de atmósfera T2, T1.  
Fuente: Esta investigación

En cuanto al tratamiento T2 con modificación de atmósfera, presentó una menor disminución de este parámetro con respecto a los demás tratamientos, debido probablemente a un aumento de la humedad relativa del medio, que reduce considerablemente el movimiento del aire alrededor de las paredes del material vegetal (Iglesias *et al.*, 2006), fenómeno que no sucedió con los tratamientos sin modificación de atmósfera, dando como resultado un aumento en la pérdida de humedad.

Hay que tener en cuenta además que según Sandhya (2010), el uso de empaques poco permeables puede condensar vapor de agua dentro del envase y puede disfrazar la pérdida de humedad en los diferentes tratamientos.

Es necesario subrayar que el tratamiento T1 a pesar de estar en una atmósfera modificada presentó una mayor disminución de humedad con respecto al tratamiento T2. Este fenómeno es debido probablemente a la acumulación excesiva de CO<sub>2</sub> en el interior del envase como se mencionó anteriormente, que sumado con el efecto las ondas de ultrasonido favorecen la eliminación de la humedad (Muralidhara *et al.*,1985), lo cual potencia probablemente el daño generando en la membrana y en la fisiología del producto, ocasionando pérdida de firmeza (Kader, 1986; Rangel y López, 2012). Esto según Wills (1998), disminuye la capacidad de retención de agua de las células lo que resulta en un aumento en la humedad pérdida.

El comportamiento de la pérdida de humedad responde a una cinética de primer orden, lo cual concuerda con lo reportado por Chuga y Mena (2015) en arveja. Los parámetros cinéticos obtenidos se muestran en la tabla 16. Donde el tratamiento T4 presentó el mayor valor de la constante (k), esto concuerda con la mayor pérdida de este atributo durante el almacenamiento de este tratamiento. Después de realizar la comparación entre medias según LSD de Fisher se identificó equivalencias entre los tratamientos T2 y T1.

Tabla 16

*Parámetros cinéticos de 1° orden, para el porcentaje de humedad.*

Parámetro	Tratamiento*	K (1/día)**	B	R2
humedad	T1	0,0060 ±0,00085 <sup>ab</sup>	4,2400	0,9164
	T2	0,0058±0,00071 <sup>a</sup>	4,2491	0,9270
	T3	0,0075 ±0,00089 <sup>b</sup>	4,2475	0,9662
	T4	0,0091±0,00012 <sup>c</sup>	4,3245	0,9479

\*T1= Gas 1 en arveja con tratamiento termosónico, T2 = Gas 2 en arveja con tratamiento termosónico, T3= Gas atmosférico en arveja con tratamiento termosónico, T 4= Gas atmosférico en arveja sin tratamiento termosónico

\*\*Valores promedio (n=3) ± desviación estándar; Letras no comunes implican diferencias entre promedios, según prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza.

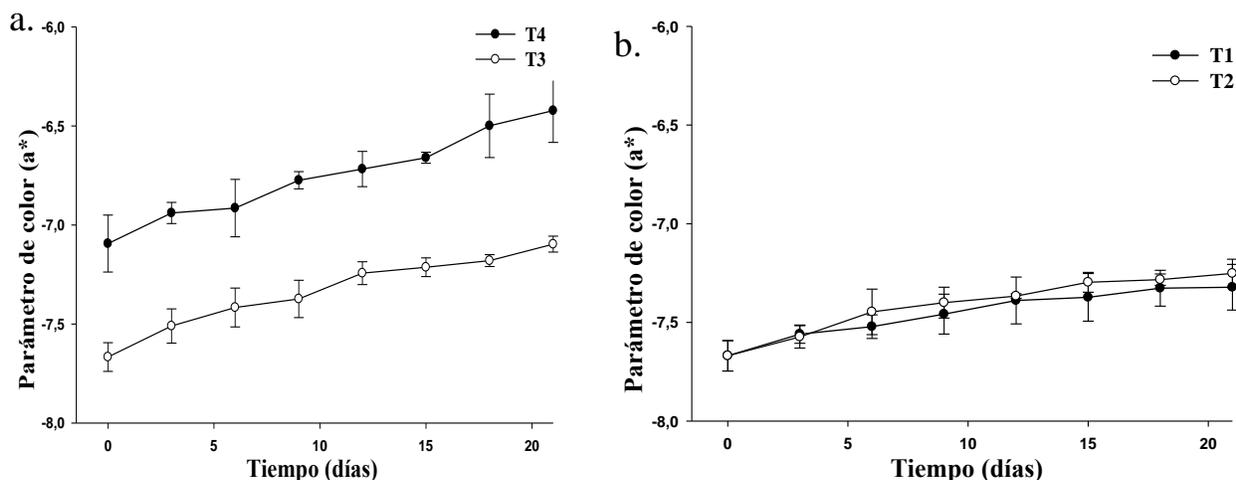
Fuente: Esta investigación

### 5.3.4 Cambios colorimétricos

#### 5.3.4.1 *Comportamiento en el tiempo del parámetro de color (a\*)*

La cromaticidad (a\*) se ha convertido en el parámetro más importante para explicar el cambio de color de las muestras en postcosecha. Según el análisis de varianza (Anova) consignado en la tabla A3 (Anexo 5), el tipo de atmósfera presenta efecto significativo sobre el parámetro (a\*) ( $P < 0.05$ ). En el gráfico 9 se muestra el comportamiento cinético del parámetro de color (a\*) durante el almacenamiento, donde se observa una disminución de este parámetro en los siguientes porcentajes: T4 ( $10,74 \pm 0,13$ ), T3 ( $8,03 \pm 0,12$ ), T2 ( $6,33 \pm 0,06$ ) y T1 ( $4,71 \pm 0,18$ ).

Los tratamientos (con termosonicación) T3, T2 y T1 exhibieron una mayor acentuación de color después del tratamiento, presentando un ligero incremento hacia la parte negativa del plano cromático, estos cambios se presentan principalmente por la remoción del aire atrapado entre los tejidos del material vegetal a causa del agua usada durante el proceso (Mazzeo *et al.*, 2015). Estos resultados coinciden con el estudio realizado por Trujillo *et al.*, (2011), quienes encontraron que el tratamiento termosónico presenta efectos sobre el color característico de la coliflor; de igual manera Santhirasegaram *et al.*, (2013), describen variaciones de este parámetro por consecuencia de este tratamiento.

**Gráfica 9.** Comportamiento cinético del parámetro color ( $a^*$ )

a) Tratamientos sin modificación de atmósfera T4, T3; b) Tratamientos con atmósfera modificada T2, T1.

Fuente: Esta investigación.

Hay que mencionar que el efecto de la sonicación en los cambios de color observados, probablemente puede deberse a las condiciones físicas extremas que se producen a microescala durante la sonicación (Pinheiro *et al.*, 2015). Por otra parte Adekunte *et al.*, (2010) plantea que los cambios de color pueden ser causados por la cavitación, que gobierna diversas reacciones físicas, químicas o biológicas.

Durante el almacenamiento los tratamientos con atmósfera modificada T2 y T1, presentaron mayor estabilidad del parámetro ( $a^*$ ), debido probablemente a la disminución de la transpiración, que conlleva a una menor degradación de la clorofila, ya que se reduce la formación de feofitina por las altas concentraciones de  $\text{CO}_2$  y bajas de  $\text{O}_2$ , también hay que mencionar además la posible inactivación de enzimas degradativas de clorofila, producto del efecto de la aplicación del tratamiento termosónico, con lo cual se logra una inhibición del amarillamiento y la aparición de pigmentos marrones y negros de las arvejas (Guerrero y Trejo, 2012).

En cuanto a los tratamientos sin modificación de atmósfera presentaron una mayor variabilidad de este parámetro durante el almacenamiento, debido al cambio del color por la degradación de la clorofila a feofitina (Turkmen *et al.*, 2006), lo que concuerda por lo

mencionado por Cortes y Chiralt (2008), quienes afirman que los mayores cambios de color verde a amarillo se ve influenciado por las condiciones del envasado, hecho que se observa para los tratamientos T3 y T4.

Por otra parte Cardoza (2009), sugiere que los cambios del parámetro ( $a^*$ ) en el tiempo pueden estar relacionados con los cambios de luminosidad del producto provocados por el pardeamiento y la liberación de agua, dado que una humedad relativa baja puede originar condensación de vapor de agua que se deposita sobre la superficie del producto produciendo pérdidas de calidad debido a decoloraciones (Mónaco *et al.*, 2005), dando como resultado una disminución de este parámetro durante el tiempo de almacenamiento.

Cabe resaltar además que los cambios en la coloración se ven disminuidos en las condiciones de refrigeración y al mantenerse en ausencia de luz se reduce el índice de respiración hecho que desacelera las modificaciones fisiológicas del grano (Chuga y Mena, 2015).

Tabla 17

*Parámetros cinéticos de 1° orden, para el parámetro de color ( $a^*$ )*

Parámetro	Tratamiento*	K (1/día)**	B	R2
color ( $a^*$ )	T4	0,0061 ± 0,00085 <sup>c</sup>	1,9575	0,9677
	T3	0,0041 ± 0,00055 <sup>b</sup>	2,0268	0,8803
	T1	0,0028 ± 0,00032 <sup>ab</sup>	2,0334	0,9202
	T2	0,0033 ± 0,00029 <sup>a</sup>	2,0454	0,9385

\*T1= Gas 1 en arveja con tratamiento termosónico, T2 = Gas 2 en arveja con tratamiento termosónico, T3= Gas atmosférico en arveja con tratamiento termosónico, T 4= Gas atmosférico en arveja sin tratamiento termosónico

\*\*Valores promedio ( $n=3$ ) ± desviación estándar; Letras no comunes implican diferencias entre promedios, según prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza.

Fuente: Esta investigación

Las cinéticas de reacción para el parámetro de color ( $a^*$ ) evaluado respondieron a una cinética de primer orden, lo cual concuerda con lo reportado por Beltrán (2013), en estudios realizados

para el control del desarrollo del pardeamiento enzimático en pera; Ibarz *et al.*, (1964), en pulpa de frutas; Remacha *et al.*, (1992) en cremogenado de mango y Chuga y Mena (2015), en la conservación de arveja. Los parámetros cinéticos para el comportamiento de color ( $a^*$ ) se muestran en la tabla 17, donde el tratamiento T4 mostro tener una mayor constante  $k$ , presentando un mayor deterioro de este parámetro respecto al tiempo, además la comparación entre medias según LSD de Fisher, mostró equivalencias entre los tratamientos T2 y T1.

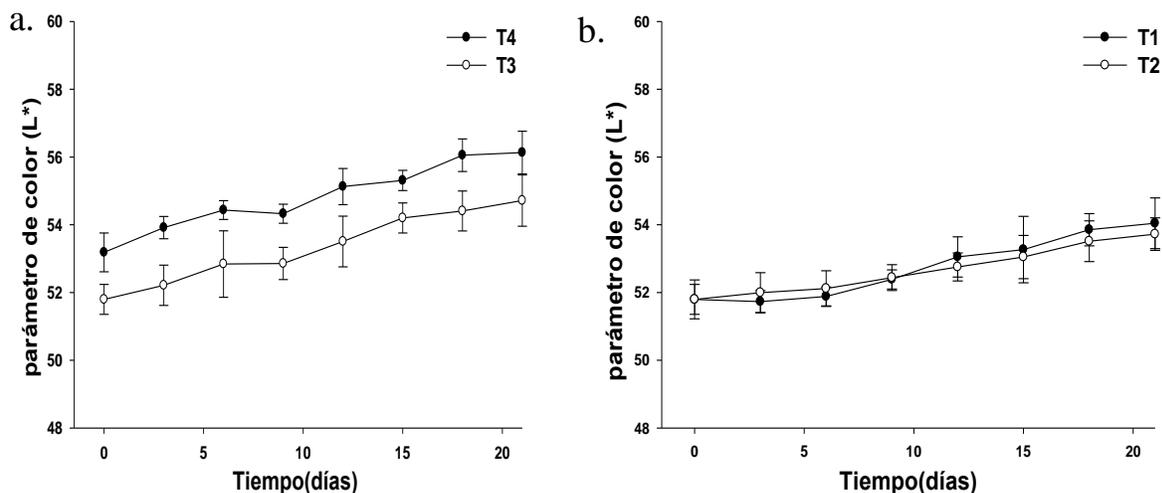
#### 5.3.4.2 *Comportamiento en el tiempo del parámetro de color ( $L^*$ )*

El parámetro ( $L^*$ ) mostró diferencias estadísticas ( $P < 0.05$ ) Según el análisis de varianza (Anova) consignado en la tabla A4 (Anexo5), en el tiempo, por lo cual el tipo atmósfera mostró tener efecto significativo sobre dicha variable. En la gráfica 10 se muestra el comportamiento cinético del parámetro ( $L^*$ ) frente al tiempo, donde se puede observar que el parámetro ( $L^*$ ) presenta una disminución después de los tratamientos con termosonicación en comparación con la muestra control T4, esta pérdida de luminosidad puede estar relacionada con la dispersión de las partículas durante la turbulencia y con la pérdida de reflectancia de los rayos de luz producto de la termosonicación (Suslick *et al.*, 1999). Resultados similares fueron encontrados por Trujillo *et al.*, (2011), respecto al tratamiento con ultrasonido sobre coliflor, donde encontraron que la aplicación de este conlleva a pérdida en el grado de luminosidad, pero mostró mantener el color característico de la coliflor por mayor tiempo.

Con respecto al comportamiento del parámetro ( $L^*$ ) durante el almacenamiento, se observa un incremento de este en los diferentes tratamientos en los siguientes porcentajes: T4 ( $5,25 \pm 0,89$ ), T3 ( $5,33 \pm 0,98$ ), T2 ( $4,16 \pm 0,25$ ) y T1 ( $3,59 \pm 0,52$ ), este incremento es debido probablemente a que la luminosidad está directamente relacionada con el contenido de humedad de un cuerpo, de manera que a mayor presencia de agua se favorece la reflexión de la luz, dando

como resultado valores de ( $L^*$ ) tendientes a 100 (Molina y Osorio, 2016), así mismo Mahecha y Suárez (2014), describen que el aumento de la luminosidad puede deberse a un fenómeno de rehidratación del material orgánico durante su almacenamiento, en este caso producto de la utilización de envases que no poseen una permeabilidad selectiva que originan condensación de vapor de agua que se deposita sobre la superficie del producto.

**Gráfica 10.** Comportamiento cinético del parámetro color ( $L^*$ ) en el tiempo.



a) Tratamientos sin atmósfera modificada T4, T3; b) Tratamiento con atmósfera modificada T2, T1.  
Fuente: Esta investigación

Hay que mencionar además que en los tratamientos con atmósfera modificada la variación del parámetro ( $L^*$ ) fue menor, probablemente debido a la baja concentración de oxígeno (Pereira *et al.*, 2004). Los resultados obtenidos son comparables con los de Tano *et al.*, (1999) quienes encontraron que al empacar champiñones (*Agaricus bisporus*) en atmósferas modificadas almacenadas durante 12 días a 4 °C, se obtiene una mínima disminución sobre el parámetro ( $L^*$ ).

Las cinéticas de reacción del parámetro de color ( $L^*$ ) evaluado respondieron a una cinética de primer orden, lo cual concuerda con lo reportado por Cortes y Chiralt (2008), en estudios realizados en cambios de color en manzana deshidratada. Los parámetros cinéticos para el comportamiento del parámetro ( $L^*$ ) se muestran en la tabla 18, donde la mayor K se presentó en

el tratamiento T3 mostrando un mayor deterioro de este parámetro, respecto a los demás tratamientos, además después de realizar la comparación entre medias según LSD de Fisher, se identificó equivalencias entre los tratamientos con modificación de atmosfera T2 y T1.

Tabla 18

*Parámetros cinéticos de 1° orden, para el parámetro de color (L\*)*

Parámetro	Tratamiento*	K (1/día)**	B	R2
Color (L*)	T4	0,0025± 0,00035 <sup>a</sup>	3,9773	0,8867
	T3	0,0035± 0,00038 <sup>b</sup>	3,9478	0,9359
	T1	0,0022± 0,00030 <sup>c</sup>	3,9334	0,9177
	T2	0,0018± 0,00015 <sup>c</sup>	3,9449	0,9075

\*T1= Gas 1 en arveja con tratamiento termosónico, T2 = Gas 2 en arveja con tratamiento termosónico, T3= Gas atmosférico en arveja con tratamiento termosónico, T4= Gas atmosférico en arveja sin tratamiento termosónico

\*\*Valores promedio (n=3) ± desviación estándar; Letras no comunes implican diferencias entre promedios, según prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza.

Fuente: Esta investigación

#### 5.3.4.3 Comportamiento en el tiempo del parámetro de color (b\*)

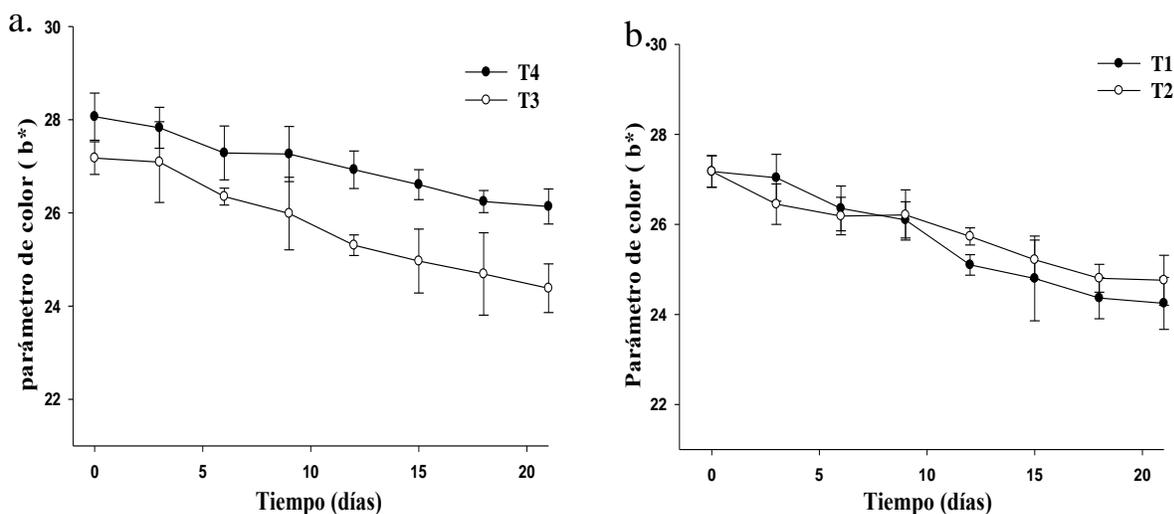
El parámetro (b\*) indica la cromaticidad en el eje azul (-) a amarillo (+), Según el análisis de varianza (Anova) consignado en la tabla A5 del (Anexo 5), el tipo de atmósfera presenta un efecto significativo sobre el parámetro de color (b\*) (p-Valor<0,05). Evidenciándose una disminución para los diferentes tratamientos, en los siguientes porcentajes: T4 (6,60± 0,43), T3 (7,79± 0,47), T2 (6,50± 0,25) y T (6,12± 0,81). En el gráfico 11 se muestra el comportamiento cinético del parámetro (b\*) durante el tiempo de almacenamiento.

Según Caivano y Buera (2012), la disminución de la coordenada (b\*) en los tratamientos se asocia al oscurecimiento de la muestra, en cuanto a los tratamientos con termosonicación la disminución que presentan, es debido a que durante el tratamiento termosónico se presentan reacciones que repercuten en los pigmentos (Ren et al., 2018). Además Beltrán (2013), sugiere

que los tratamientos térmicos por inmersión causan una disminución significativa del parámetro ( $b^*$ ), resultados similares fueron encontrados por Vera y Gélvez (2011) quienes reportaron aumento en los parámetros ( $a^*$ ) y ( $L^*$ ) y disminución del parámetro ( $b^*$ ) durante el tiempo de almacenamiento  $4^{\circ}\text{C}$ .

por otra parte Cardoza (2009), encontró que el uso de diferentes empaques en atmósferas modificadas no mostró tener efecto significativo sobre el valor  $b^*$ , por el contrario los valores de  $L$  y  $a^*$  presentaron cambios durante el almacenamiento ( $4^{\circ}\text{C}$ ).

**Gráfica 11.** Comportamiento cinético del parámetro color ( $b^*$ ) en el tiempo



a) Tratamientos sin atmósfera modificada T4, T3; b) Tratamientos con atmósfera modificada T2, T1.  
Fuente: Esta investigación.

Las cinéticas de reacción para el parámetro de color ( $b^*$ ) evaluado respondieron a una cinética de primer orden, lo cual concuerda con lo reportado por Beltrán (2013), en estudios realizados para el control del desarrollo del pardeamiento enzimático en pera. Los parámetros cinéticos para el comportamiento de color ( $b^*$ ) se muestran en la tabla 19. Después de realizar la comparación entre medias según LSD de Fisher, se observa equivalencias entre los tratamientos T3, T2 y T1 y se presentó una mayor  $K$  el tratamiento T2.

Tabla 19

*Parámetros cinéticos de 1° orden para el parámetro de color (b\*)*

<b>Parámetro</b>	<b>Tratamiento*</b>	<b>K (1/día)**</b>	<b>B</b>	<b>R2</b>
color (b*)	<b>T4</b>	0,0030 ± 0,00040 <sup>a</sup>	3,3335	0,9475
	<b>T3</b>	0,0063 ± 0,00079 <sup>b</sup>	3,2678	0,9582
	<b>T1</b>	0,0065 ± 0,00093 <sup>b</sup>	3,2721	0,9409
	<b>T2</b>	0,0068 ± 0,00078 <sup>b</sup>	3,2586	0,9057

\*T1= Gas 1 en arveja con tratamiento termosónico, T2 = Gas 2 en arveja con tratamiento termosónico, T3= Gas atmosférico en arveja con tratamiento termosónico, T 4= Gas atmosférico en arveja sin tratamiento termosónico.

\*\*Valores promedio (n=3) ± desviación estándar; Letras no comunes implican diferencias entre promedios, según prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza.

Fuente: Esta investigación

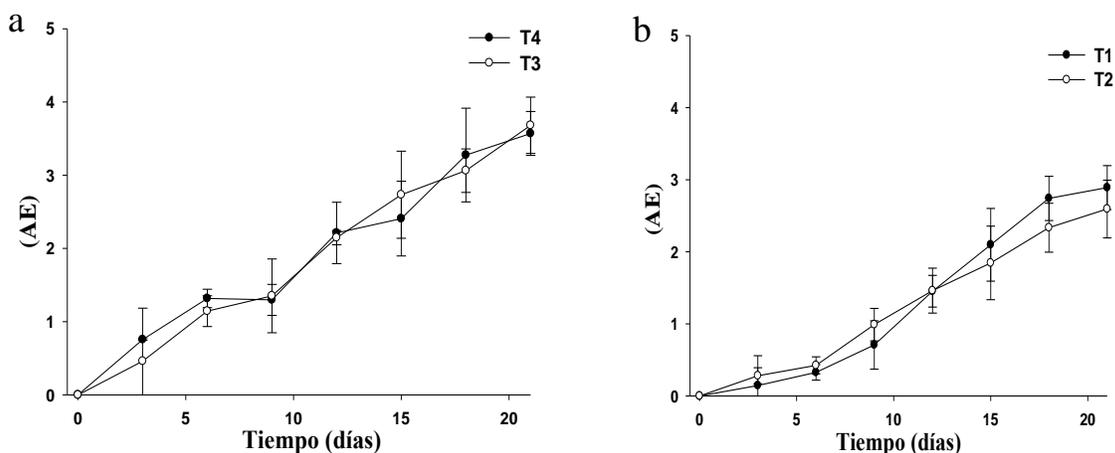
#### 5.3.4.4 *Comportamiento en el tiempo del cambio total del color ( $\Delta E$ )*

El cambio de color total se estableció a partir de la interacción de los atributos L\* a\* y b\* durante el periodo de almacenamiento por medio de la (ecuación 4). Según el análisis de varianza (Anova) consignado en la tabla A6 (Anexo5), el tipo de atmósfera mostró tener efecto significativo sobre el cambio de color total ( $\Delta E$ ) (p-Valor<0,05). En el gráfico 12 se muestra el comportamiento cinético de este parámetro durante el tiempo de almacenamiento para cada tratamiento.

Durante el almacenamiento los tratamientos con termosonicación T2 y T1 almacenados en atmósfera modificada presentaron una menor variación del valor ( $\Delta E$ ) en comparación con los tratamientos T4 y T3 sin modificación de atmósfera. resultados similares fueron registrados Cruz et al., (2015), quienes resaltan que los tratamientos termosónicos aumentan la estabilidad del color durante el almacenamiento, este fenómeno pueden atribuirse a la cavitación durante la sonicación la cual puede inducir a cambios en el color debido a la aceleración de las reacciones

químicas, el aumento de la velocidad de difusión, la dispersión, la formación de agregados y la descomposición de las partículas (Abid *et al.*, 2013; Sala *et al.*, 1995).

**Gráfica 12.** Comportamiento cinético del parámetro color ( $\Delta E$ ) en el tiempo



a) Tratamientos sin atmósfera modificada T4, T3; b) Tratamientos con atmósfera modificada T2, T1.  
Fuente: Esta investigación.

los cambios de color más notorios durante el almacenamiento se presentaron en los tratamientos T4 y T3 los cuales presentaron valores de ( $\Delta E$ ) superiores a 2 desde el día 12 de almacenamiento; es necesario recalcar que de acuerdo con la interpretación dada por Choi *et al.*, (2002) valores de ( $\Delta E$ ) superiores a 2 presentan diferencia visible de color a simple vista. Los cambios de color en los tratamientos almacenados sin modificación de atmósfera, se deban posiblemente a que el color de los vegetales está determinado por compuestos que se pueden oxidar por la presencia de oxígeno (Ren *et al.*, 2018).

Las cinéticas de reacción para el parámetro de color ( $\Delta E$ ) evaluado respondieron a una cinética de orden cero, lo cual concuerda con lo reportado por Hernandez *et al.*, (2009), en estudios de modelamiento cinético para los cambios del color en pasta de pimentón. Los parámetros cinéticos para el comportamiento de los cambios de color ( $\Delta E$ ) se muestran en la tabla 20. Después de realizar la comparación entre medias según LSD de Fisher, se observa equivalencias entre los tratamientos T1 y T2, el mayor valor obtenido de la constante k se

presentó en el tratamiento T3 mostrando un mayor deterioro de este parámetro respecto al tiempo.

Tabla 20

*Parámetros cinéticos de orden cero, para el parámetro de color ( $\Delta E$ )*

Parámetro	Tratamiento*	K (1/día)**	B	R2
$\Delta E$	<b>T4</b>	0,1658 $\pm$ 0,0205 <sup>ab</sup>	0,114	0,9761
	<b>T3</b>	0,1760 $\pm$ 0,0268 <sup>b</sup>	0,0252	0,9930
	<b>T1</b>	0,1559 $\pm$ 0,0232 <sup>a</sup>	0,3415	0,9575
	<b>T2</b>	0,1316 $\pm$ 0,0212 <sup>a</sup>	0,1407	0,9869

\*T1= Gas 1 en arveja con tratamiento termosónico, T2 = Gas 2 en arveja con tratamiento termosónico, T3= Gas atmosférico en arveja con tratamiento termosónico, T4= Gas atmosférico en arveja sin tratamiento termosónico

\*\*Valores promedio (n=3)  $\pm$  desviación estándar; Letras no comunes implican diferencias entre promedios, según prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza.

| Fuente: Esta investigación.

### 5.3.5 Comportamiento en el tiempo de la Firmeza

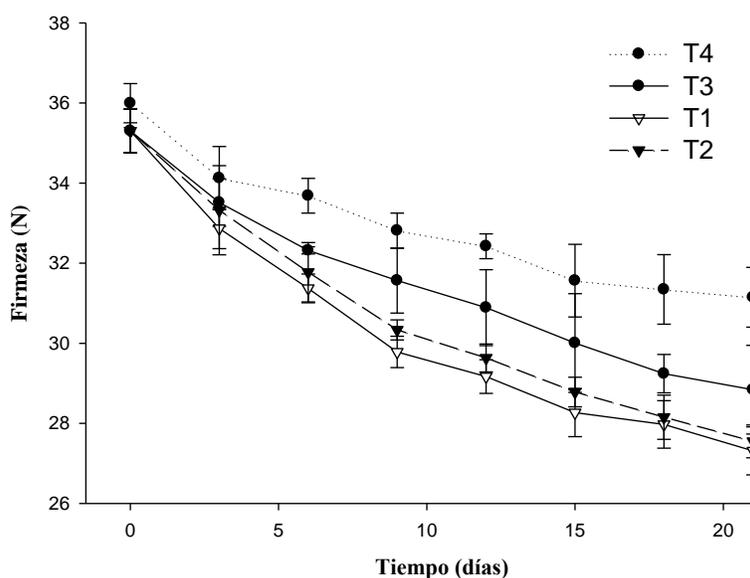
La firmeza de la arveja tuvo una disminución gradual durante el periodo de análisis. Según el análisis de varianza (Anova) consignado en la tabla A7 (Anexo5), el tipo de atmósfera presentó efecto significativo sobre esta variable (p Valor<0,05). En cuanto al comportamiento cinético de la firmeza en arveja durante el almacenamiento se presenta en el gráfico 13. Las disminuciones se presentaron en los siguientes porcentajes: T4 (4,8466  $\pm$  0,533), T3 (6,462  $\pm$  1,055), T1 (7,752  $\pm$  0,273), T2 (7,990  $\pm$  0,556).

En cuanto a la pérdida de firmeza de la arveja sometida a tratamiento termosónico, respecto a la arveja testigo, se debe probablemente a que la aplicación de tratamientos térmicos especialmente aquellos por inmersión en agua, inducen diversos cambios en las estructuras celulares (Latorre *et al.*, 2013), principalmente la desorganización de la membrana celular y

cambios en los polímeros de la pared, causando un ablandamiento de los tejidos que se traduce en una pérdida de firmeza (Mendoza y Herrera, 2012).

Hay que mencionar, además que los cambios en la textura podrían estar relacionados con la alteración de la microestructura de la muestra, causada por ondas de ultrasonido (Fernandes et al., 2008), el cual por medio del fenómeno de la cavitación según Day *et al.*, (2009), puede penetrar la membrana de tal manera que permite la difusión del contenido interno a través de esta y la pared celular provocando una muerte gradual de la presión de turgencia, afectando la integridad celular y estructural (Murray 1989), resultados similares se encontraron en garbanzos tratados con ultrasonido (Yildirim *et al.*, 2013).

**Gráfica 13.** Comportamiento cinético de firmeza en el tiempo



\*T1= Gas 1 en arveja con tratamiento termosónico, T2 = Gas 2 en arveja con tratamiento termosónico, T3= Gas atmosférico en arveja con tratamiento termosónico, T4= Gas atmosférico en arveja sin tratamiento termosónico  
Fuente: Esta investigación

Durante el almacenamiento los tratamientos envasados en atmósfera modificada, muestra un ablandamiento en los tejidos del material vegetal, debido probablemente al exceso de humedad dentro del envase (Lanchero, 2007), así como a la acumulación excesiva de CO<sub>2</sub> el cual al

disolverse en agua produce ácido carbónico ( $H_2CO_3$ ), aumenta la acidez del medio y reduce el pH; origina además un exudado por la pérdida de la capacidad de retención de agua en los tejidos que conlleva a su ablandamientos (Meneses y Valenzuela 2004), lo que concuerda con lo descrito por Sørheim *et al.*, (2004) quienes describe que excesiva concentración de  $CO_2$  en los tejidos afecta negativamente a la textura, generando daño en la membrana y en la fisiología del producto (Kader, 1986; Rangel y López, 2012).

Por otra parte Pinheiro *et al.*, (2015), afirma que en los tratamientos con ultrasonido la pérdida de firmeza aumenta con el período de almacenamiento, debido al exudado originado por la pérdida de la capacidad de retención de agua en los tejidos (Murray, 1989). Sin embargo estudios realizado por Cao *et al.*, (2010) y (Hurtado, 2013) reportaron que el tratamiento por medio del ultrasonido no generó efectos desfavorables en cuanto a la firmeza durante el almacenamiento, lo cual se explica por lo mencionado por Kuo *et al.*, (2008), quienes destacandan que el efecto de la aplicación de ultrasonido depende en gran medida del sólido sometido al tratamiento.

Tabla 21

*Parámetros cinéticos de 1° orden, para el cambio de firmeza*

<b>Parámetro</b>	<b>Tratamiento*</b>	<b>K (1/día)**</b>	<b>B</b>	<b>R2</b>
Firmeza (N)	<b>T4</b>	0,0065 ± 0,0001 <sup>a</sup>	3,5604	0,8920
	<b>T3</b>	0,0089 ± 0,0006 <sup>b</sup>	3,5441	0,9318
	<b>T1</b>	0,0117 ± 0,0005 <sup>c</sup>	3,5285	0,9281
	<b>T2</b>	0,0116 ± 0,0013 <sup>c</sup>	3,5353	0,9335

*\*T1= Gas 1 en arveja con tratamiento termosónico, T2 = Gas 2 en arveja con tratamiento termosónico, T3= Gas atmosférico en arveja con tratamiento termosónico, T4= Gas atmosférico en arveja sin tratamiento termosónico*  
*\*\*Valores promedio (n=3) ± desviación estándar, Letras no comunes implican diferencias entre promedios, según prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza.*

*Fuente: Esta investigación*

Las cinéticas de reacción para el parámetro evaluado respondieron a una cinética de primer orden, lo cual concuerda con lo reportado por Chuga y Mena, (2015) en la conservación y vida útil de arveja, Baldizón et al., (2011) en tomate, Chen y Ramaswamy (2002) en banano y Rodrigo et al., (1998) en espárragos verdes. Además de acuerdo con Ibern y Yepes (2009) la pérdida de textura en tratamientos térmicos responde a una cinética de primer orden, este comportamiento coincide con lo reportado por Díaz y Cancino (2007). Los correspondientes parámetros cinéticos se muestran en la tabla 21. La comparación entre medias según LSD de Fisher identificó equivalencias entre los tratamientos con modificación de atmósfera T2 y T1, los cuales presentaron un mayor valor de la constante cinética, mostrando además un mayor deterioro de este parámetro durante el almacenamiento.

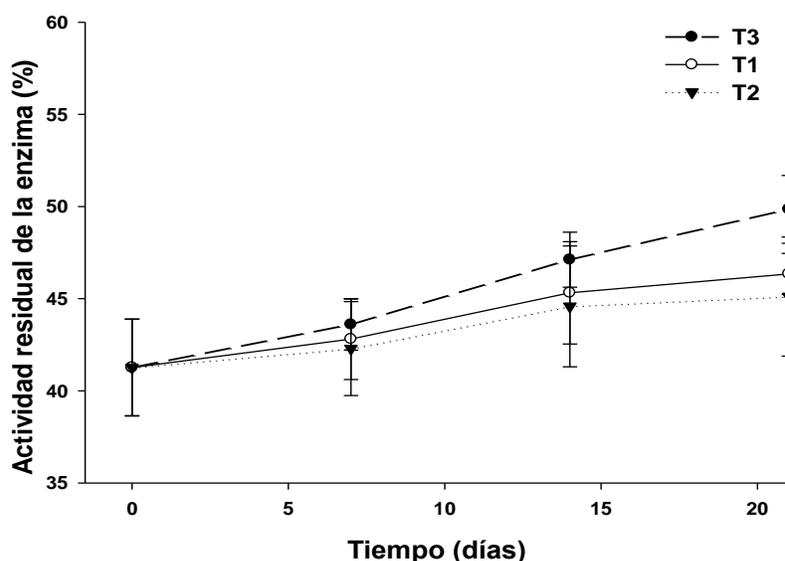
#### **5.4 Seguimiento de la actividad enzimática**

El seguimiento de la reactivación de la enzima (POD) se realizó a los tratamientos T3, T2 y T1 almacenados en refrigeración a 4 °C, midiendo su actividad enzimática inicial y a los 7, 14 y 21 días. El análisis de varianza consignado en la tabla A8 (Anexo 5), mostró que el tratamiento T3 en atmósfera normal presentó diferencias significativas respecto a la reactivación de la (POD), en cuanto a los tratamientos con modificación de atmósfera T2 y T1 no mostraron diferencias estadísticamente significativa entre los días analizados (P-Valor>0,05).

La actividad enzimática residual de (POD) durante el periodo de almacenamiento se muestra en la (gráfica 14), donde se puede observar que esta aumenta progresivamente en cada uno de los tratamientos, presentando un aumento de 8,481 % para T3, 4,046 % para T2 y 5,046% para T1.

El aumento más significativo como se mencionó anteriormente se presentó en el tratamiento T3, debido a que la actividad de la (POD) está directamente relacionada con el oxígeno disponible del medio, por lo cual el tratamiento sin modificación atmósfera, al tener un mayor porcentaje de oxígeno en su composición presentó un aumento más significativo en la reactivación de la (POD), caso contrario a lo que ocurre en los tratamientos con modificación de atmósfera Blach, et al., (2010).

**Gráfica 14.** Periodo de almacenamiento vs % Actividad enzimática residual de (POD)



\*T1= Gas 1 en arveja con tratamiento termosónico, T2 = Gas 2 en arveja con tratamiento termosónico, T3= Gas atmosférico en arveja con tratamiento termosónico.

Fuente: Esta investigación

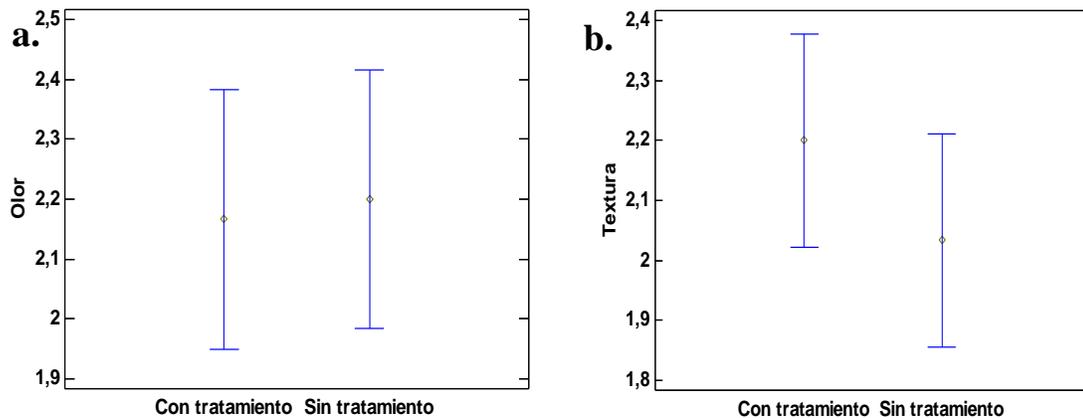
Por otro lado el aumento presentado en los diferentes tratamientos, es debido a que la enzima no fue inactivada o desnaturizada en forma total por el tratamiento termosónico, por lo cual la peroxidasa tiende a regenerarse (Lopes et al., 2014). Según Ramirez (2009), este fenómeno se deriva de la regeneración de la estructura terciaria de la parte proteica de la enzima, resultado de la recombinación de grupos hidrógenos o sulfhidrúlicos.

Resultados similares fueron reportados por Guerrero y Trejo (2012), en la inactivación de la enzima (POD) en brócoli, la cual alcanzo una reactivación enzimática de 53,8 % en almacenamiento a temperatura ambiente. Es necesario recalcar además que según lo reportado por Aparicio *et al.*, (1992), aún con una desactivación total de la (POD) por sobreprocesamiento, se produce regeneración parcial de la enzima, que no está relacionada con pérdidas de calidad del producto.

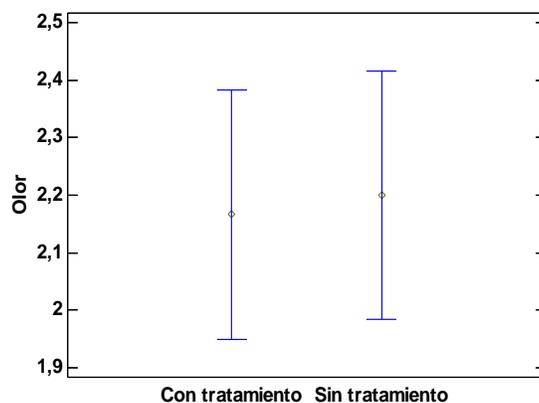
### 5.5 Análisis sensorial

Las muestras con tratamiento y sin tratamiento termosónico según lo detectado por el panel sensorial no mostraron tener diferencias significativas ( $p$ -Valor $>0,05$ ) en cuanto a los parámetros olor (Gráfica 15c) y textura (Gráfica 15b) para el día 1.

**Gráfica 15.** Comparación de medias entre arveja con tratamiento y sin tratamiento termosónico



**c .**



Prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza. a) Color; b) textura; c) olor  
\*Los coeficientes de variación sensorial están por encima del 15%

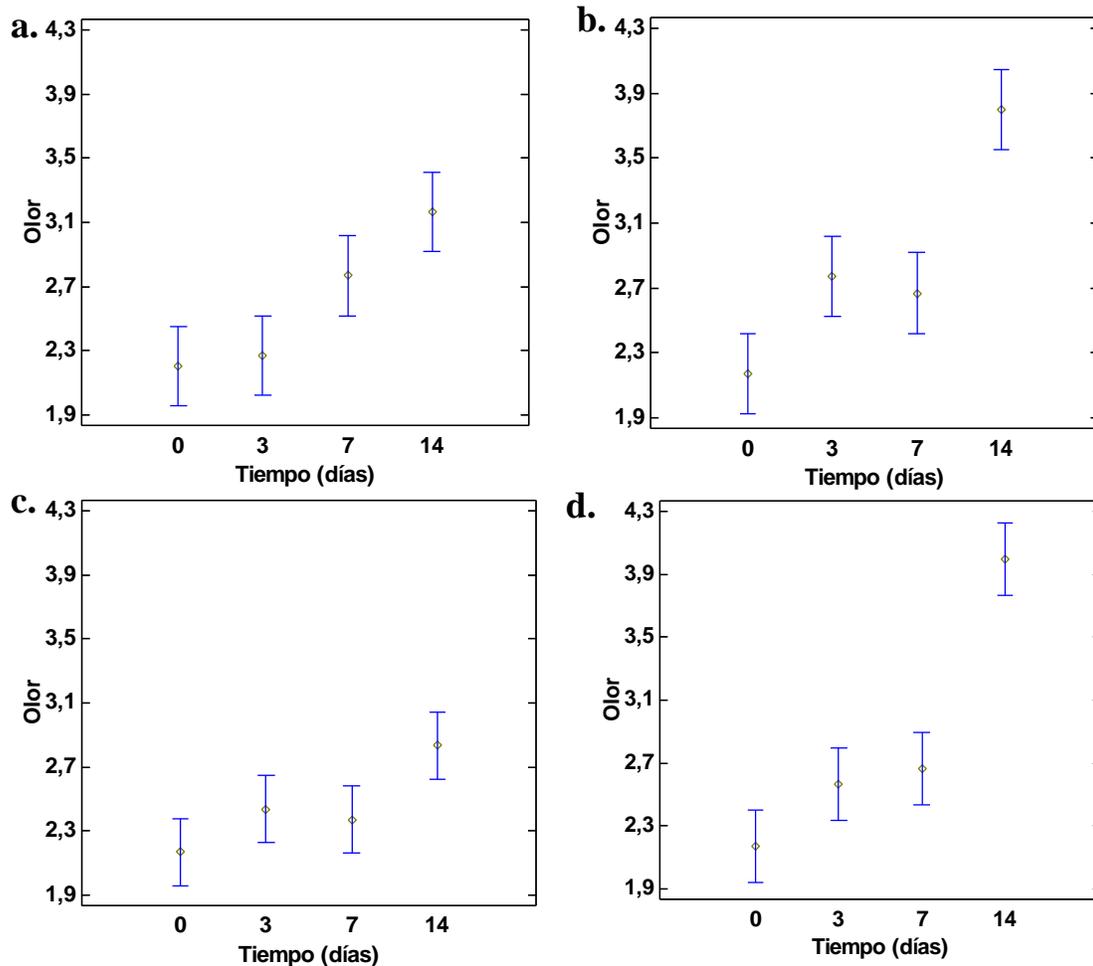
Sin embargo, el parámetro color (Gráfica 15a) sí presentó diferencias significativas ( $P < 0.05$ ), esto podría estar relacionado con el hecho de que los consumidores para evaluar la calidad de los productos y decidir su compra toman en cuenta propiedades visuales como el color (Cardoza 2009), por esa razón los panelistas se orientaron por el color verde intenso producto de la termosonicación y no por el color verde característico de las arvejas, siendo el tratamiento sin ultrasonido el menos aceptado. El Análisis estadístico de las correspondientes pruebas sensoriales se consigna en la tabla A9 (Anexo 5).

### 5.5.1 Evaluación sensorial del olor durante el periodo de almacenamiento

Los panelistas encontraron diferencias significativas ( $p\text{-valor} < 0.05$ ) en cuanto al parámetro olor durante el periodo de almacenamiento (gráfica 16), encontrando que después del día 14 el olor es inaceptable sensorialmente en todos los tratamientos evaluados, manifestando un olor a fermento desagradable razón por la cual no se realizaron análisis sensoriales posteriores a este día y por ende finaliza su vida útil sensorial. El análisis estadístico para el parámetro olor, se consigna en la tabla A10 del (Anexo 5).

Para los tratamientos empacados en condiciones normales el tratamiento T4 (gráfica 16a) presenta una diferencia estadísticamente significativa para el día 7, en cuanto al tratamiento T3 (gráfica 16b) presentó diferencias significativas desde el día 3.

En cuanto a los tratamientos con atmósferas modificadas el tratamiento T1 (gráfica 16d) presenta una diferencia estadísticamente significativa desde el día 3, por su parte el T2 (gráfica 16c) presenta diferencia estadísticamente significativa hasta el día 14.

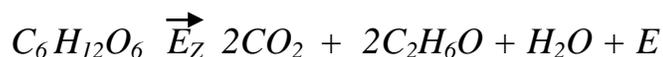
**Gráfica 16.** Comparación de medias entre días para cada tratamiento para el parámetro olor

Prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza. a) T4; b) T3; c) T2 y d) T1\*Los coeficientes de variación sensorial están por encima del 15%

Fuente: Esta investigación

Resultados similares fueron reportados por Cardoza (2009), Gorris y Peppelenbos (1991) y Mullan (2002) quienes atribuyen este fenómeno a procesos fermentativos. según Andrade *et al.*, (2014), al trabajar con películas de baja permeabilidad los niveles de oxígeno en el interior del empaque, podrían descender a concentraciones muy bajas en las que se podría iniciar la respiración anaerobia. Este fenómeno se representa en la (ecuación 11), donde mediante este proceso se generan productos de fermentación como etanol, acetaldehído y lactato (Rangel y López, 2012). según Nicolais *et al.*, (2011), bajo estas condiciones se producen sabores y olores no deseados en el producto y causarían el deterioro del alimento.

**Ecuación 11:** Respiración anaerobia.



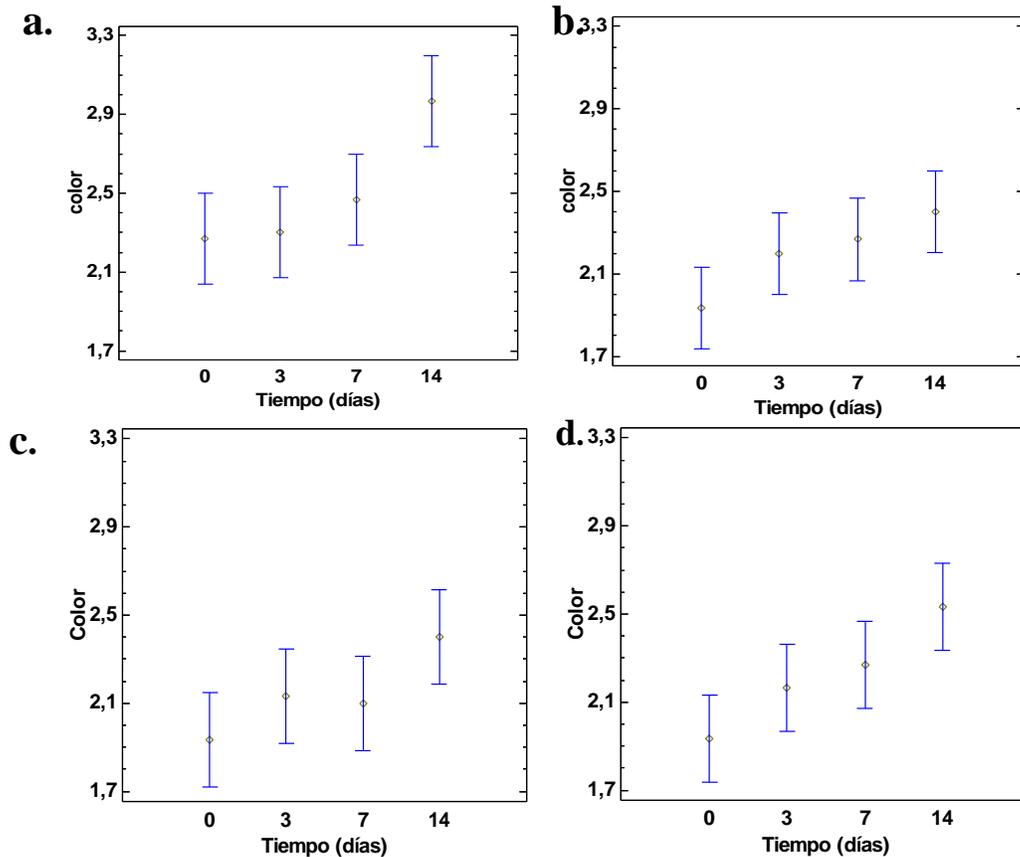
### 5.5.2 Evaluación sensorial del color durante el periodo de almacenamiento

La variación de color durante el periodo de evaluación encontrada a partir de los estudios instrumentales, concuerdan con lo encontrado por el panel sensorial, el cual encontró diferencias significativas ( $p$ -valor  $< 0.05$ ) Tabla A11 (Anexo 5), durante el periodo de almacenamiento.

Donde los tratamientos empacados en condiciones normales, tratamiento T4 (gráfica 17a) presento diferencias estadísticamente significativas a los 14 días de almacenamiento, por el contrario para el tratamiento T3 (gráfica 17b) no presentó diferencias significativas durante este tiempo.

Por otra parte, los tratamientos con atmósferas modificadas, el tratamiento T2 (gráfica 17c) no presentó diferencias estadísticamente significativas durante el periodo de análisis. Conviene subrayar que los resultados sensoriales mostraron una menor variabilidad del parámetro color en los tratamientos sometidos a termosonicación durante el almacenamiento, lo cual concuerda con lo reportado en el análisis instrumental. Sin embargo el tratamiento T1 (gráfica 17d) presentó diferencias estadísticamente significativas a los 7 días de almacenamiento.

Es importante tener en cuenta que durante las pruebas sensoriales, las respuestas de los panelistas pueden verse influenciadas por factores psicológicos (Watts *et al.*, 1992), ya que el aparato sensorial humano muestra grados de variación de sensibilidad que puede ser influenciado fácilmente por diversas circunstancias externas (G. Jellinek, 1986). Además Labbe *et al.*, (2004), describen conflictos en usar paneles no entrenados debido a la complejidad de ciertos factores heterogéneos que reducen la sensibilidad del catador, lo que explicaría la variación en cuanto a la percepción del color en el tratamiento T1.

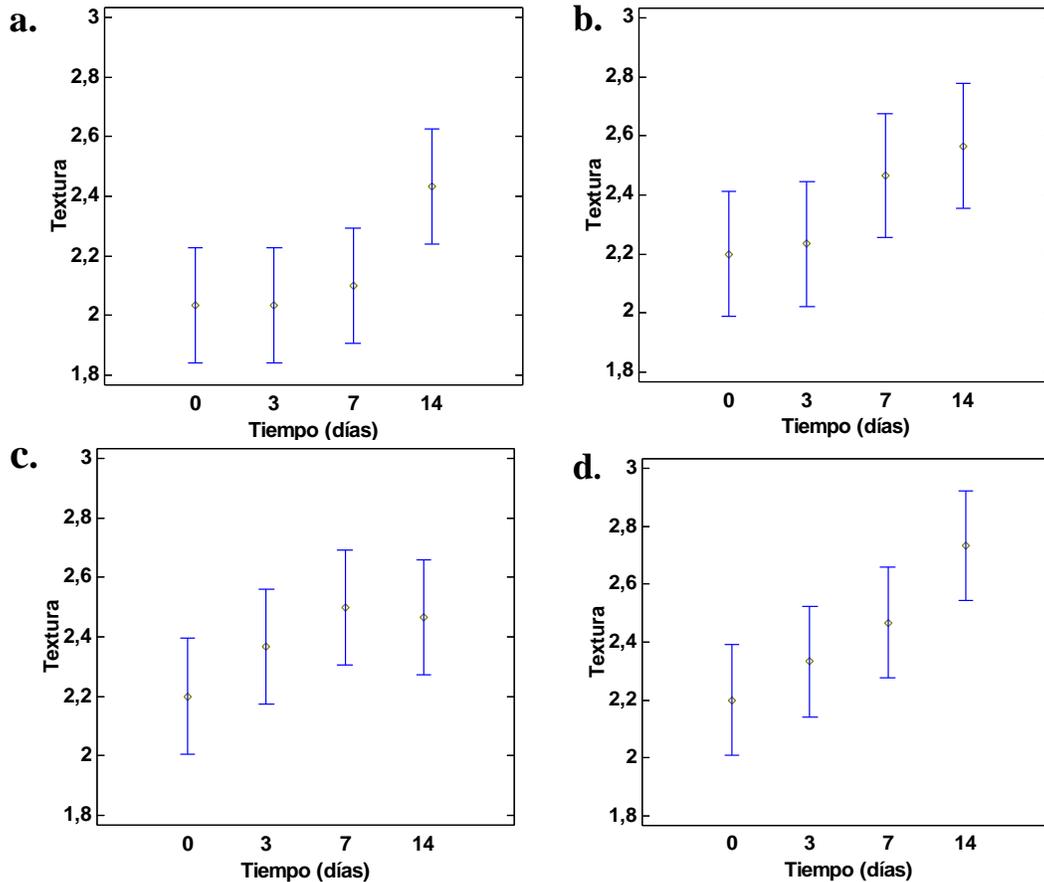
**Gráfica 17.** Comparación de medias entre días para cada tratamiento, para el parámetro color

Prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza a) T4; b) T3; c) T2 y d) T1\*Los coeficientes de variación sensorial están por encima del 15%

Fuente: Esta investigación

### 5.5.3 Evaluación sensorial de la textura durante el periodo de almacenamiento

Los panelistas no encontraron diferencias significativas ( $p$ -valor  $> 0.05$ ) Tabla A12 (Anexo 5), en la aceptación de la textura en los tratamientos T4, T3 y T2 durante el almacenamiento. Sin embargo el tratamiento T1 (Gráfica 18d) si presentó diferencias significativas a los 14 días de almacenamiento, esto podría estar relacionado con los resultados del análisis instrumental donde dicho tratamiento presentó una considerable disminución en su textura, debido a una acumulación excesiva de CO<sub>2</sub> dentro del empaque, que promueve la formación ácido carbónico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>).

**Gráfica 18.** Comparación de medias entre días para cada tratamiento, para textura

Prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza. a) T4; b) T3; c) T2 y d) T1\*Los coeficientes de variación sensorial están por encima del 15%

Fuente: Esta investigación

## 5.6 Estimación de vida la vida útil de la arveja en almacenamiento

En vegetales los tributos de calidad el color y la textura constituyen normalmente las bases de aceptación o rechazo por parte de los consumidores, puesto que están relacionados con la percepción de frescura (Moreno, 2011). En cuanto a la arveja el color es una característica de calidad extremadamente importante, por lo cual el parámetro ( $a^*$ ) de acuerdo con lo descrito por Chuga y Mena (2015), se utilizó para evaluar el periodo de vida útil de cada uno de los tratamientos respecto con los valores de la constante cinética ( $k$ ) obtenidos en la tabla 17.

La bondad de ajuste de este modelo se muestra en la tabla 22, donde se evaluó con los parámetros R<sup>2</sup> (coeficiente de determinación), RMSE (raíz cuadrada del error medio cuadrático) a partir de (Ecuación 7), MBE (error de desvío medio) a partir de (Ecuación 8) y E % (error porcentual promedio) a partir de (Ecuación 9). Además se tuvo en cuenta lo descrito por Brousse *et al.*, (2013) quienes describen que un buen ajuste es indicado por valores pequeños de RMSE y MBE, R<sup>2</sup> > 0.85 y E % < 10 %.

Tabla 22

*Parámetros cinéticos y bondad de ajuste del modelo exponencial en relación al parámetro de color a\**

Parámetro	Tratamiento	K (1/día)	R <sup>2</sup>	RMSE*	MBE**	E%***
color (a*)	T4	0,0061 ± 0,00085 <sup>c</sup>	0,9677	0,11	0,0572	3,19%
	T3	0,0041 ± 0,00055 <sup>b</sup>	0,8803	0,12	0,0539	3,08%
	T1	0,0028 ± 0,00032 <sup>ab</sup>	0,9202	0,09	0,0394	2,73%
	T2	0,0033 ± 0,00029 <sup>a</sup>	0,9385	0,14	0,0724	4,15%

\*Raíz cuadrada del error medio cuadrático, \*\*Error de desvío medio, \*\*\*Error porcentual promedio.

Fuente: Esta Investigación.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente y tomando como referencia el tiempo de aceptación en el análisis sensorial para cada tratamiento, y en relación a la ecuación de primer orden (ecuación 2) se calculan los tiempos de vida útil a través del atributo de calidad color, hasta donde el valor de color a\* presenta condiciones que generan rechazo (-6,514) por parte de los consumidores obtenido a partir del método de mínima aceptabilidad.

En la tabla 23 se muestra la estimación de vida útil para cada tratamiento en arveja (*Pisum sativum L.*) Variedad San Isidro.

Tabla 23

*Estimación de vida útil en relación al parámetro de calidad (a\*)*

<b>Tratamiento</b>	<b>Estimación de vida útil (días)</b>
<b>T4</b>	14
<b>T3</b>	21
<b>T2</b>	31
<b>T1</b>	26

\*T1= Gas 1 en arveja con tratamiento termosónico, T2 = Gas 2 en arveja con tratamiento termosónico, T3= Gas atmosférico en arveja con tratamiento termosónico, T 4= Gas atmosférico en arveja sin tratamiento termosónico  
Fuente: Esta investigación.

### 5.7 Análisis microbiológico

El análisis microbiológico realizado en los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño a los 21 días de almacenamiento se muestra en la tabla 24, los correspondientes resultados se encuentran en el (Anexo 6).

Tabla 24

*Análisis microbiológico de muestras empacadas a los 21 días*

<b>Tratamiento</b>	<b>Mesófilos (ufc / g)</b>	<b>Recuento de hongos y levaduras (ufc / g)</b>
<b>T1</b>	18.200	212
<b>T2</b>	15.500	900
<b>T3</b>	101.000	55
<b>T4</b>	21.500.000	34.000

\*T1= Gas 1 en arveja con tratamiento termosónico, T2 = Gas 2 en arveja con tratamiento termosónico, T3= Gas atmosférico en arveja con tratamiento termosónico, T 4= Gas atmosférico en arveja sin tratamiento termosónico  
Fuente: Esta investigación.

Los resultados obtenidos en esta investigación muestran valores altos en el recuento de mesófilos, hongos y levaduras para los tratamientos T3 y T4 empacados en condiciones

normales, debido posiblemente, a que ciertos microorganismos permanecen adheridos entre los poros del material aun después de realizar una desinfección (Villalobos y Zapata, 2012), asimismo Jay *et al.*, (2005), resalta que todos los vegetales poseen una microbiota residente que subsiste con pequeñísimas cantidades de carbohidratos, proteínas y sales inorgánicas disueltas en el agua exudada o condensada sobre la superficie del hospedante durante su almacenamiento.

En cuanto a los tratamientos T2 y T1 almacenados en atmósfera modificada el recuento fue menor, esta disminución es debido, probablemente al daño que produce el ultrasonido en la pared celular de los microorganismos y que como resultado ocasiona la destrucción de la célula viva (Mason *et al.*, 1996), para Mañas y Pagán (2005), el efecto de inhibición sobre microorganismos durante el ultrasonido, se atribuye a la cavitación la cual provoca choques micro-mecánicos por la continua formación y ruptura de burbujas microscópicas, estos choques interrumpen componentes estructurales y funciones celulares hasta el punto de lisis o muerte celular (Porrás *et al.*, 2011); además es importante resaltar el efecto de la utilización de atmósferas modificadas, las cuales según López (1989), a concentraciones de CO<sub>2</sub> superiores al 5 %, inhiben el crecimiento de bacterias responsables del deterioro, de igual manera Mullan (2002), describe que el CO<sub>2</sub> ejerce un efecto inhibitorio sobre el crecimiento fúngico. El efecto del CO<sub>2</sub> se fundamenta en que desplaza el O<sub>2</sub> gas vital para muchos microorganismos y cambia las condiciones de pH en la superficie del alimento (Cartagena y Valenzuela 2004).

Es necesario destacar, que la susceptibilidad al tratamiento termosónico puede variar entre diferentes microorganismos, por lo general las bacterias de mayor tamaño son más sensibles posiblemente debido a que poseen mayor superficie de contacto (Ginés, 2014). Igualmente se ha observado que las células Gram positivas son menos susceptibles que las Gram negativas, como consecuencia de la diferencia en la estructura de la pared celular (Parzanese, 2014).

Se debe agregar que de acuerdo a la NTC 1250 la arveja verde no requiere parámetro microbiológicos máximos o mínimos para su comercialización, asimismo la NTC 1009 para arvejas frescas en conserva no muestra requerimientos microbiológicos.

## 6 CONCLUSIONES

- La utilización del tratamiento termosónico permitió alcanzar porcentajes significativos de inactivación de (POD), siendo la frecuencia más alta (80 KHz) la que presentó los porcentajes de inactivación más significativos (17,13 %), sin embargo esta frecuencia también mostró tener efectos negativos sobre la testa de la arveja.
- La aplicación de atmósferas modificadas, mostró tener un efecto significativo dentro de los atributos fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales evaluados durante el almacenamiento; siendo el tratamiento T2 (10,88% oxígeno; 10, 68% dióxido de carbono y 78, 44 Nitrógeno) el que mejor conservó la calidad de la arveja y presentó menores valores de velocidad de reacción (K), permitiendo obtener una vida útil de 31 días con respecto al tratamiento T4 (arveja sin tratamiento termosónico almacenada en atmósfera en su composición normal).
- La firmeza de la arveja mostró un ablandamiento significativo en los tratamientos con atmósfera modificada durante el almacenamiento, debido al exudado originado por la pérdida de la capacidad de retención de agua en los tejidos.
- La baja permeabilidad del envase utilizado en esta investigación no permitió alcanzar el equilibrio atmosférico que se pretende obtener con esta tecnología para mantener las condiciones óptimas del producto.
- La actividad residual enzimática de (POD) en los tratamientos sometidos a termosonicación, presentó una reactivación durante los 21 días de almacenamiento a 4 °C, donde el tratamiento T2 envasado en modificación de atmósfera (10,88% oxígeno; 10, 68% dióxido de carbono y 78, 44 Nitrógeno) presentó un menor porcentaje de reactivación (3,8 %).

- Los tratamientos con termosonicación almacenados en atmósferas modificadas presentaron una menor carga microbiológica (mesófilos aerobios, hongos y levaduras), respecto al control almacenado en atmósfera en su composición normal.

## **7 RECOMENDACIONES**

Es necesario ampliar las investigaciones referentes al uso de los tratamientos termosónicos, pues los resultados son prometedores.

Se recomienda para próximos estudios evaluar los efectos que los tratamientos termosónicos pueden tener sobre el contenido de micronutrientes y vitaminas de la leguminosa.

Finalmente, se recomendaría optar por la compra de un analizador de gases que permita obtener el comportamiento de la mezcla de gases en el tiempo y aplicar esta tecnología en otro tipo de verduras y se potencialice la investigación en este campo.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Abid, M., Jabbar, S., Wu, T., Hashim, M. M., Hu, B., Lei, S., ... Zeng, X. (2013). Effect of ultrasound on different quality parameters of apple juice. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20(5), 1182–1187. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2013.02.010>
- Adekunte, A. O., Tiwari, B. K., Cullen, P. J., Scannell, A. G. M., & O'Donnell, C. P. (2010). Effect of sonication on colour, ascorbic acid and yeast inactivation in tomato juice. *Food Chemistry*, 122(3), 500–507. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.01.026>
- Adreani, P. (2006, December). Perspectivas Cerealistas. *Fenalce*, (23), 1–20.
- Agronet. (2014). Área sembrada y área cosechada del cultivo de arveja. Retrieved from <http://www.agronet.gov.co/Documents/Arveja.pdf>
- Aguilar, B. R. (2013). *Intensificación de procesos mediante la aplicación de ultrasonidos de potencia. Implicaciones sobre la calidad del producto*. (Tesis de Pregrado). Universitat de les illes balears, Palma, España.
- Alasino, M. C., Andrich, O. D., Sabbag, N. G., Costa, S. C., De La Torre, M. A., & Sánchez, H. D. (2008). Panificación con harina de arvejas (*Pisum sativum*) previamente sometidas a inactivación enzimática. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 58(5), 397–402.
- Alegria, C., Pinheiro, J., Duthoit, M., Gonçalves, E. M., Moldão, M. M., & Abreu, M. (2012). Fresh-cut carrot (cv. Nantes) quality as affected by abiotic stress (heat shock and UV-C irradiation) pre-treatments. *LWT - Food Science and Technology*, 48(2), 197–203. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.03.013>
- Alvarez, R. (2012). *Formulación de un recubrimiento comestible para frutas cítricas, estudio de su impacto mediante aproximación metabolómica y evaluación de la calidad poscosecha* (Tesis de doctorado). Universidad de Antioquia, facultad de química farmaceutica,

Antioquia, Colombia.

- Andrade, J. C., Acosta, D. L., Bucheli, M. A., & Osorio, O. (2014). Desarrollo de un recubrimiento comestible compuesto para la conservación del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* S.). *Informacion Tecnologica*, 25(6), 57–66. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000600008>
- Aparicio, C. M. P., Mateos, N. M., & Rivas, G. J. C. (1992). Sensory Evaluations and Changes in Peroxidase Activity During Storage of Frozen Green Beans. *Journal of Food Science*, 57(5), 1129–1143. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1992.tb11280.x>
- Arévalo, M. M. R., & Castrillón, J. J. C. (2004). Almacenamiento de café tostado y molido en atmosfera de nitrógeno y gas carbónico., 55(1), 5–15.
- Artés, C. F. (2006). El envasado en atmósfera modificada mejora la calidad de los productos hortofrutícolas intactos y mínimamente procesados en fresco. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 7(2), 61–85.
- Bahçeci, K. S., Serpen, A., Gökmen, V., & Acar, J. (2005). Study of lipoxygenase and peroxidase as indicator enzymes in green beans: Change of enzyme activity, ascorbic acid and chlorophylls during frozen storage. *Journal of Food Engineering*, 66(2), 187–192. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.03.004>
- Baldizón, C. G., Valle, G. C., & Córdoba, M. E. M. (2011). Evaluación De La Vida Útil De Una Pasta De Tomate Mediante Pruebas Aceleradas Por Temperatura. *Ingeniería*, 21(2), 31–38.
- Barbosa, G. V. C., & Bermúdez, D. A. (2010). Nonthermal Processing of Food. *Scientia Agropecuaria*, 1(1), 81–93. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2010.01.08>
- Beltrán, T. F. (2013). *Aplicación de métodos combinados para el control del desarrollo del pardeamiento enzimático en pera (variedad blanquilla) mínimamente procesada*. (Tesis de

- doctorado). Universidad Politécnica De Valencia, Valencia, España.
- Bermúdez, D. A., & Barbosa, C. G. V. (2008). Study of butter fat content in milk on the inactivation of *Listeria innocua* ATCC 51742 by thermo-sonication. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 9(2), 176–185. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2007.07.008>
- Bilek, S. E., & Turantaş, F. (2013). Decontamination efficiency of high power ultrasound in the fruit and vegetable industry, a review. *International Journal of Food Microbiology*, 166(1), 155–162. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.06.028>
- Blach, D., Donado, J., & Pinzón, M. (2010). Actividad de la peroxidasa y polifenoloxidasas en rodajas de carambolo (*Averrhoa carambola* L.) fresco cortado durante su almacenamiento en atmosfera modificada. *SciELO*, 19(29).
- Brousse, M. M., Vergara, M. L., Zubreski, E. R., & Cruz, N. E. (2013). Kinetics of water absorption of cassava tissues macerated with a microbial Polygalacturonase. *SciELO*, 8, 1–14.
- Caivano, J. L., & Buera, M. del P. (2012). *Color in food: technological and psychophysical aspects*. Buenos Aires, Argentina: CRC Press.
- Calín-Sánchez, Á. (2011). Conservación en atmósferas modificadas de las ciruelas Black Amber (*Prunus salicina* Lindl.). (editorial académica Española, Ed.). Alicante: Ciencia, Tecnología y Control de los Alimentos de la Universidad.
- Campaner, P. J. L. (2013). *Intensificación de procesos mediante la aplicación de ultrasonidos de potencia. Influencia sobre las cinéticas de secado*. (Tesis de pregrado). Universidad de les Illes Balear, palma, España.
- Campuzano, D. I. F., Yépez, C. B., Benavides, P. J., Bolaños, M. A., Arcia, G. B., & López, D. B. (2001). Obonuco San Isidro: nueva variedad mejorada de arveja para la zona de

- reconversión de trigo en el departamento de Nariño. *CORPOICA*, 8(8), 8.
- Cao, S., Hu, Z., & Pang, B. (2010). Optimization of postharvest ultrasonic treatment of strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 55(3), 150–153. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.11.002>
- Cárdenas, A. F. cerón. (2016). *Determinación del efecto de diferentes niveles de rehidratación sobre algunas propiedades de calidad, durante el enlatado y esterilización de dos variedades de arveja (Pisum sativum L.) cultivadas en el departamento de Nariño*. Corporación Universitaria Lasallista, Caldas Antioquia, Colombia.
- Cardoza, M. M. J. R. (2009). *Efecto del tipo de empaque y tipo de atmósfera en las características físicas, sensoriales y microbiológicas de la zanahoria (Daucus carota) mínimamente procesada* (Tesis de pregrado). Escuela Agrícola Panamericana, Ingeniera en Agroindustria Alimentaria, Zamorano, Honduras.
- Carreño, L., & Nocua, O. (2014). Efecto combinado de dos recubrimientos comestibles con atmósfera modificada en mango (*Manguifera indica*) variedad Tommy Atkins mínimamente procesado refrigerado. *Información Tecnológica*, 25(4), 123–130.
- Carrillo, I. M. L., & Munguía, A. R. (2013). Vida útil de los alimentos. *Revista Iberoamericana de Las Ciencias Biológicas Y Agropecuarias: CIBA*, 2(3), 3.
- Cartagena, S. M., & Valenzuela, J. R. (2004). La atmósfera modificada: una alternativa para la conservación de los alimentos. *Revista Lasallista de Investigación*, 5(2), 112–122.
- Casanova, L. e, Solarte, J. L., & Checa, O. c. (2012). Evaluación de cuatro densidades de siembra en siete líneas promisorias de arveja arbustiva (*pisum sativum l.*). *Revista De Ciencias Agrícolas*, 29(2), 129–140.
- Castro, M. E. (2007). Parámetros mecánicos y textura de los alimentos. *Gazeta Ecológica*, 4(1),

125–135.

Català, R., Hernandez Muñoz, P., Lopez Carballo, G., & Gavara, R. (2009). Materiales para el envasado de frutas y hortalizas con tratamientos mínimos. *Horticultura Internacional*, 69, 60–66.

Cerón, A. F. C., Vásquez, L. I. L., Jurado, M. A. B., Mora, O. O., España, D. F. M., & Giraldo, L. F. G. (2015). Determinación de constantes de velocidad de rehidratación y cambios sobre algunas propiedades físicas en semillas de arveja (*Pisum sativum L.*). *Revista Lasallista de Investigación*, 12(1), 21–32.

Chaves, E. B., & Jaramillo, A. M. M. (2004). *Estudio del proceso térmico y análisis de su efecto durante el enlatado para las variedades de arveja (Pisum sativum l.) obonuco san isidro y obonuco andina*. (Tesis de pregrado). Universidad de Nariño, Pasto, Colombia.

Chávez, L. L. R. (2015). *Últimas investigaciones realizadas usando ultrasonido como método de conservación en frutas y hortalizas mínimamente procesadas* (Tesis de pregrado). Universidad nacional de trujillo, Trujillo, Perú.

Checa, O., Valencia, A., & Timaná, Y. (2012). Evaluación de 20 líneas de arveja (*pisum sativum l.*) y su reacción al complejo de ascochyta, 29(2), 39–52.

Chemat, F., Zill-e-Huma, & Khan, M. K. (2011). Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(4), 813–835. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2010.11.023>

Chen, C. R., & Ramaswamy, H. S. (2002). Color and Texture Change Kinetics in Ripening Bananas. *LWT - Food Science and Technology*, 35(5), 415–419. <https://doi.org/10.1006/fstl.2001.0875>

Cheng, X. f, Zhang, M., & Adhikari, B. (2013). The inactivation kinetics of polyphenol oxidase

- in mushroom (*Agaricus bisporus*) during thermal and thermosonic treatments. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20(2), 674–67.
- Choi, M. ., Kim, G. ., & Lee, H. . (2002). Effects of ascorbic acid retention on juice color and pigment stability in blood orange (*Citrus sinensis*) juice during refrigerated storage. *Food Research International*, 35(8), 753–759. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(02\)00071-6](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(02)00071-6)
- Chuga, J. D. V., & Mena, A. V. (2015). *Aplicación de la tecnología de empaque bajo atmosferas modificadas (map) en la conservación y vida útil de arveja (pisum sativum l.) variedad obonuco andina*. (Tesis de pregrado). Universidad de Nariño, Ingeniería agroindustrial, Pasto, Colombia.
- Cortes, R. M., & Chiralt, B. A. (2008). Cinética de los cambios de color en manzana deshidratada por aire fortificado con vitamina E. *Revista de La Facultad Quimica Farmaceutica*, 15(1), 8–16.
- Cruz, C. N. del S., Ramírez, M. E., León, R. J. E., Delgado, O. L., Alanís, G. E., Ariza, J. A. O., ... Jaramillo, D. P. B. (2015). Shelf life, physicochemical, microbiological and antioxidant properties of purple cactus pear (*Opuntia ficus indica*) juice after thermoultrasound treatment. *Ultrasonics Sonochemistry*, 27, 277–286. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2015.05.040>
- Dane. (2015). El cultivo de la arveja en Colombia. Retrieved from [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol\\_Insumos31\\_mar\\_2015.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos31_mar_2015.pdf)
- Day, B. P. F. (1993). Fruit and vegetables. In *Principles and Applications of Modified Atmosphere Packaging of Foods* (pp. 114–133). Boston, MA: Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2137-2\\_6](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2137-2_6)

- Day, L. X. m, Øiseth, S., & Mawson, R. (2009). Pesticide use , application and pollution status in India. *Journal of Hazardous Materials*, 1(1), 165, 1–12.
- Dayron S, A., Fischer, G., & Flórez, R. (2006). Almacenamiento refrigerado de frutos de mora de Castilla (*Rubus glaucus Benth.*) en empaques con atmósfera modificada\*. *Agronomía Colombiana*, 24(2), 306–316.
- De la Fuente, B. S., Riera, F. de S. E., Acosta, A. V. M., Blanco, B. A., & Juárez, J. A. G. (2006). Food drying process by power ultrasound. *Ultrasonics*, 44, 523–527. <https://doi.org/10.1016/j.ultras.2006.05.181>
- Delgado, J. O. (2011). Application of ultrasound in the food industry. *Revista Especializada En Ingeniería de Procesos En Alimentos Y Biomateriales*, 6(1), 142–152.
- Delgado, O. (2012). Aplicación del ultrasonido en la industria de los alimentos. *Revista Especializada En Ingeniería de Procesos En Alimentos Y Biomateriales*, 6, 146–147.
- Delgado, P. M. M., & Luque de Castro, M. D. (2015). A review on enzyme and ultrasound: A controversial but fruitful relationship. *Analytica Chimica Acta*, 889, 1–21. <https://doi.org/10.1016/J.ACA.2015.05.004>
- Delmoro, J., Muñoz, D., Nadal, V., Clementz, A., & Pranzetti, V. (2010). El color en los alimentos: determinacion de color en mieles. *Invenio*, 13(25), 145–152.
- Díaz, C. J., & Cancino, C. K. (2007). Estudio de la cinética de degradación térmica de textura y su aplicación en el tratamiento térmico de cocona (*Solanum Sessiliflorum Dunal*) en almíbar. *Revista Ingeniería Uc*, 14(3), 57–67.
- Dogan, S., & Dogan, M. (2004). Determination of kinetic properties of polyphenol oxidase from Thymus (*Thymus longicaulis subsp. chaubardii var. chaubardii*). *Food Chemistry*, 88(1), 69–77. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.12.025>

- Ercan, S. Ş., & Soysal, Ç. (2011). Effect of ultrasound and temperature on tomato peroxidase. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(2), 689–695. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2010.09.014>
- Escobar, A. H., Márquez, C. J. C., Restrepo, C. E. F., Cano, J. A. S., & Patiño,airo H. G. (2014). Aplicación de tratamiento térmico, recubrimiento comestible y baño químico como tratamientos poscosecha para la conservación de hortalizas mínimamente procesadas. *Acta Agronómica*, 63(1), 1–10. <https://doi.org/10.15446/acag.v63n1.40149>
- Esparza, J. F. I. (2004). *Envases Flexibles plásticos: Usos y aplicación en la industria alimentaria* (Tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Espinosa, N., & Ligarreto, G. A. (2005). Evaluación de la habilidad combinatoria y heterosis de siete progenitores de arveja (*Pisum sativum L.*) *Agronomía Colombiana*, 23(2), 197–206.
- FAO. (2011). *Producción de Hortalizas. CODEX Alimentarius* (Primera ed). Roma: FAO y OMS.
- FENALCE. (2010). El cultivo de la arveja, historia e importancia. Retrieved from [http://www.fenalce.org/arch\\_public/arveja93](http://www.fenalce.org/arch_public/arveja93).
- Fennema. (2000). *Química de los alimentos*. (S. A. Acribia, Ed.) (3rd ed.). Zaragoza España.
- Fernandes, F. A. N., Gallão, M. I., & Rodrigues, S. (2008). Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: Melon dehydration. *LWT - Food Science and Technology*, 41(4), 604–610. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2007.05.007>
- Flores, M. D. F., & Ruíz, P. E. P. (2011). *Influencia del tiempo de escaldado, presión de empacado al vacío y grado de madurez del grano en la conservación de arveja (pisum sativum l.)* (Tesis de pregrado). Universidad Tecnica del Norte. Universidad Tecnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Flórez, J., & Barona, C. E. (2016). Revista de ciencias. *Revista de Ciencias*, 20(2), 109–123.

- Frioni Lillian. (1999). *Procesos Microbianos*. Editorial de la Fundación Universidad Nacional de Río Cuarto (1st ed.). Buenos Aires, Argentina.
- G. Jellinek. (1986). Sensory evaluation of food. Theory and practice. *Food / Nahrung*, 30(6), 638–638. <https://doi.org/10.1002/food.19860300623>
- Gaitán, R. M. G. (2010). *Análisis químico, evaluación sensorial y valor proteico de una galleta de harina de trigo (*Triticum aestivum*) y harina de Arveja Dulce (*Pisum sativum*)* (Tesis de pregrado). Universidad de san Carlos de Guatemala, Guatemala.
- García, A. B. L. (2011). *Textura y reología de tejidos vegetales minimamente procesados* (Tesis de Doctorado). Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.
- García, M. C. (2008). Evaluation of the use of passive modified atmospheres and low temperatures on the conservation of yellow pitahaya. *Revista Corpoica*, 9(1), 30–39.
- García Gimeno, R. M. (1995). *Modificaciones microbiológicas, físicoquímicas y organolépticas de vegetales envasados en atmósfera modificada. Bases para el establecimiento de los modelos predictivos del crecimiento microbiano* (Tesis de Doctorado). Universidad de Córdoba, Cordoba, España.
- Garza, S. G. (1996). *Caracterización reológica y microbiológica, y cinéticas de deterioro en cremogenado de melocotón* (Tesis de pregrado). *Servei de Publicacions*. Universitat de Lleida, Lérida, España.
- Ginés, E. (2014). *Los ultrasonidos como alternativa a la desinfección con hipoclorito: efectos sobre la vida útil en boniato (*Ipomoea batatas*) mínimamente procesado* (Tesis de pregrado). Universitat Politècnica de Catalunya, España.
- Gómez, L. E. (2001). *Utilización de dos mezclas de gases en la conservación de pan tajado* (Tesis de pregrado). Universidad nacional, Manizales, Colombia.

- Gómez, P. L. (2010). *Procesamiento mínimo de manzana : efecto de la radiación UV-C y la luz pulsada de alta intensidad sobre la calidad* (Tesis de pregrado). *Facultad de Ciencias Exactas y Naturales*. Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.
- Gonzalez, E. M., de Ancos, B., & Cano, M. P. (2000). Partial characterization of peroxidase and polyphenol oxidase activities in blackberry fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(11), 5459–5464. <https://doi.org/10.1021/jf000169w>
- Gorris, L. G. M., & Peppelenbos, H. W. (1991). Modified atmosphere and vacuum packaging to extend the shelf Life of respiring food products. *HortTechnology*, 2(3), 303–309.
- Guachi, L. G. R. (2006). *El empleo de atmósferas modificadas en la conservación de arveja (Pisum sativum l. ssp. sativum var. sativum)* (Tesis de pregrado). Universidad técnica de ambato, Ambato, Ecuador.
- Guerrero, A. D. N., & Trejo, E. D. M. (2012). *Evaluación de dos tratamientos térmicos para la inactivación de la enzima peroxidasa en brócoli (Brassica oleracea L.) variedad Legacy* (Tesis de pregrado). Universidad de Nariño, Pasto, Colombia.
- Guillermo, J., Alfaro, R., Alexander, A., & Varela, F. (2010). Estudio del método de atmósfera modificada en la conservación de la calidad del mango ( *Mangífera indica L.* ). *Revista Alimentos Hoy*, 21(25), 26–35.
- Hernandez, J., Salamanca, G., Reyes, M., & Rodriguez, N. (2009). Modelamiento cinetico para los cambios del color en pasta de pimienton (*Capsicum annum*) durante el tratamiento con microondas. In *VII Congreso Iberoamericano de Ingenieria de alimentos CIBIA*. Tolima: ResearchGate.
- Herreo, A., & Avila, M. R. (2006). Innovaciones en el procesado de alimentos : Tecnologías no térmicas. *Rev. Med .Univ. Navarra*, 50(4), 71–74.

- Hurtado, D. S. (2013). *Efecto de la aplicación de ultrasonido en vegetales Impacto sobre la microbiota , textura y color de la Zanahoria ( Daucus carota )* (Tesis de pregrado). universitat politecnica de catalunya barcelonatech, Catalunya, Barcelona.
- Ibern, M., & Yepes, T. (2009). *Estudio de un producto alimentario de v gama a partir de guisantes* (Tesis de pregrado). Universitat Politècnica De Catalunya, Catalunya, España.
- Iglesias, E. G., Cabezas, L. G., & Fernández, J. L. (2006). *Tecnologías de envasado en atmósfera protectora*. (F. para el conocimiento madri+d CEIM, Ed.) (1st ed.). Madrid, España: Asociación Empresarial de Alimentos de la Comunidad de Madrid (ASEACAM).
- Iregui, N. D. A., & Cuesta, M. C. H. (2007). *Acuerdo de competitividad de la Cadena de Hortalizas*. Antioquia: Corpoica.
- Jay, J. M., Loessner, M. J., & Golden, D. A. (2005). *Modern food microbiology*. (Springer, Ed.) (7th ed.). New York: Springer.
- Kader, A. (1986). Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. *Food Technology*, 40, 99–100 & 102–104.
- Kandasamy, P., Moitra, R., & Mukherjee, S. (2012). Diffusion Channel System for Enhancing the Shelf Life of Fruits and Vegetables under Controlled / Modified Atmosphere. *Revista Internacional de Bio-Recursos Y Gestión Del Estrés*, 3(3), 394–403.
- Knorr, D., Ade, O. B. I. O., & Heinz, V. (2002). Nutritional improvement of plant foods by non-thermal processing. *Proceedings of the Nutrition Society*, 61(2), 311–318. <https://doi.org/10.1079/PNS2002162>
- Kuo, F.-J., Sheng, C.-T., & Ting, C.-H. (2008). Evaluation of ultrasonic propagation to measure sugar content and viscosity of reconstituted orange juice. *Journal of Food Engineering*, 86(1), 84–90. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2007.09.016>

- Labbe, D., Rytz, A., & Hugli, A. (2004). Training is a critical step to obtain reliable product profiles in a real food industry context. *Food Quality and Preference*, 15(4), 341–348.
- Lanchero, G. V. (2007). Comportamiento de la uchuva (*Physalis peruviana L.*) en poscosecha bajo condiciones de atmósfera modificada activa. *Corpoica*, 8(1), 1–39.
- Latorre, L. I., Pantoja, A. L., Mejía, E. D. F., Osorio, O., & Hurtado, A. M. (2013). Evaluation of thermal treatments for inactivation of enzymes in fique juice. *Biotechnologia En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial*, 11(1), 113–122.
- Lee, D. un. (2002). *Application of Combined Non-Thermal Treatments for the Processing of Liquid Whole Egg* (Tesis de Doctorado). Technical University of Berlin.
- Limonchi, F., Gutierrez, P., & Cosio, E. (2015). El uso de atmósfera modificada en el envasado de ensaladas de verduras y frutas. *Agro Enfoque 198*, 198(1), 44–48.
- Lizarme, G. R. (2015). *Tratamiento Hidrotérmico y Uso de Plástico Extensible en la Poscosecha del Chile Poblano (Capsicum annum)* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Lopes, A. M., Toralles, R. P., & Rombaldi, C. V. (2014). Thermal inactivation of polyphenoloxidase and peroxidase in Jubileu clingstone peach and yeast isolated from its spoiled puree. *Food Science and Technology (Campinas)*, 34(1), 150–156.  
<https://doi.org/10.1590/S0101-20612014000100022>
- López, A. R. (2005). *Tecnología de envasado y conservación de alimentos. Laboratorio de Procesos Químicos de CARTIF*. bogota.
- López, G. (1989). Tecnologías de Envasado en atmósferas protectoras y su calidad microbiológica. *Universidad de León*, 2(1), 1–14.
- López, W. A. D. (2014). *Evaluación de la aptitud de tres nuevas líneas de arveja (Pisum sativum*

- l.) para procesamiento como conserva en lata* (Tesis de pregrado). Universidad de Nariño, Ciencias Agrícolas, Pasto, Colombia.
- Mahecha, H. R. E., & Suárez, L. G. (2014). *Estudio del efecto de la concentración de cloruro de sodio y temperatura en el proceso de deshidratación osmótica y su influencia en cambios colorimétricos y de textura como parámetros de calidad en la conservación de arveja (Pisum sativum L.)* (Tesis de pregrado). Fundación Universitaria Agraria de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Mañas, P., & Pagán, R. (2005). Microbial inactivation by new technologies of food preservation. *Journal of Applied Microbiology*, 98(6), 1387–1399. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2005.02561.x>
- Mar, A. I. E. (2016). *Efecto del consumo de un jugo de frutos rojos y uva rico en polifenoles procesado con ultrasonido en ratas Wistar con diabetes inducida* (Tesis de pregrado). Universidad veracruzana, Xalapa, Veracruz, Mexico.
- Marcela, S., Meneses, O., Régulo, J., Valenzuela, C., Marcela, S., Meneses, O., ... Valenzuela, C. (2008). La atmósfera modificada : una alternativa para la conservación de los alimentos. *Lasallista de Investigación*, 5(2), 112–123.
- Marquez, C., Otero, C., & Cortes, M. (2007). Cambios fisiológicos, texturales, fisicoquímicos y microestructurales del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea s.*) en poscosecha. *Revista De La Facultad De Química Farmacéutica*, 14, 9–16.
- Martínez, M. R. (2005). *Evaluación del efecto de pre-tratamientos con ultrasonido sobre el nivel de extracción y la actividad de sustancias antioxidantes contenidas en el bagazo de uva (Vitis vinifera)* (Tesis de pregrado). Universidad de la sabana, Chia, Colombia.
- Mason, T. J., Paniwnyk, I., & Lorimer, J. P. (1996). The uses of ultrasound in food technology.

*Ultrasonics Sonochemistry*, 3(3), S253–S260. [https://doi.org/10.1016/S1350-4177\(96\)00034-X](https://doi.org/10.1016/S1350-4177(96)00034-X)

Mazzeo, T., Paciulli, M., Chiavaro, E., Visconti, A., Fogliano, V., Ganino, T., & Pellegrini, N. (2015). Impact of the industrial freezing process on selected vegetables -Part II. Colour and bioactive compounds. *Food Research International*, 75(2), 89–97. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.05.036>

Mcclements, D. J. (1995). Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing. *Trends in Food Science & Technology*, 6(9), 293–299. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(00\)89139-6](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(00)89139-6)

Mejía, A. (2012). *Evaluación del efecto de factores intrínsecos de una matriz líquida sobre la inactivación microbiana mediante la aplicación de ultrasonido de alta intensidad* (Tesis de pregrado). Universidad de la Sabana, Bogotá, Colombia.

Mendoza, A. (1994). *Índices de madurez y conservación de mango mediante el uso de atmósferas modificadas (Mangifera indica var. Tommy Atkins)*. (Tesis de pregrado). Universidad de la Salle, Pereira, Colombia.

Mendoza, R., & Herrera, A. O. (2012). Cinética de Inactivación de la Enzima Peroxidasa, Color y Textura en Papa Criolla (*Solanum tuberosum* Grupo *phureja*) sometida a tres Condiciones de Escaldado. *Información Tecnológica*, 23(4), 73–82. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642012000400009>

Meneses, S. M. O., & Valenzuela, J. R. C. (2004). La atmósfera modificada: una alternativa para la conservación de los alimentos. *Lasallista de Investigación*, 5(2), 112–123.

Meneses, S. M. O., & Valenzuela, J. R. C. (2008). La atmósfera modificada: una alternativa para la conservación de los alimentos. *Revista Lasallista*, 5(2), 112–123.

- Mera, M., & Kehr, E. (2007). Investigación arvejas (*Pisum sativum*) de vaina comestible “ sugar snap ”: antecedentes y comportamiento en el sur de Chile in southern Chile. *Fisiología Y Tecnología Poscosecha*, 67(4), 343–352.
- Molina, C. A., & Osorio, O. (2016). Evaluation of physical changes of pea (*Pisum sativum*) subjected to pan-frying processes : Analysis of color. *ResearchGate*, 23(January), 128–130.
- Mónaco, E., Chiesa, A., Trincherio, G., & Raschina, A. (2005). Selección de películas poliméricas para su empleo con lechuga en atmósfera modificada. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 34(1), 59–70. <https://doi.org/10.1002/bdm.565>
- Monsalve, N. M. L. (2003). *Influencia de la concentración Enzimática inicial en la cinética de desactivación térmica de peroxidasa comercial* (Tesis de pregrado). Universidad Austral De Chile, Escuela de Ingeniería en Alimentos, Valdivia, Chile.
- Morales, B. E. F., Chandia, V. E., & Cisneros, Z. L. (2002). Thermal inactivation kinetics of peroxidase and lipoxygenase from broccoli, green asparagus and carrots. *Journal of Food Science*, 67(1), 146–154. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb11375.x>
- Moreno, C. del P. M. (2011). *Determinación de indicadores de calidad por apariencia para vegetales frescos precortados* (Tesis de Maestría). Universidad de la Sabana, Chia, Colombia.
- Mullan, M. (2002). Science and technology of modified atmosphere packaging. Retrieved September 28, 2017, from <https://www.dairyscience.info/index.php/packaging/117-modified-atmosphere-packaging.html>
- Muñoz, K., Checa, O., & Pantoja, D. (2014). Evaluation and correlation of yield components in advanced lines of pea (*Pisum sativum*) with *afila* gene. *Revista De Ciencias Agrícolas*, 31(2), 24–39.

- Muralidhara, H. S., Ensminger, D., & Putnam, A. (1985). Acoustic Dewatering And Drying (Low And High Frequency): State Of The Art Review. *Drying Technology*, 3(4), 529–566. <https://doi.org/10.1080/07373938508916296>
- Murray, A. C. (1989). Factors Affecting Beef Color At Time of Grading. *Canadian Journal of Animal Science*, 69(2), 347–355. <https://doi.org/10.4141/cjas89-039>
- Navas, J. S. R. (2017). Análisis sensorial: pruebas orientadas al consumidor. *ReCiTeIA*, 12(September), 84–102.
- Nicolais, V., Russo, M., Barbieri, G., & Rastrelli, L. (2011). Effect of sulphuric fertilization on the shelf life of Broccoli packaged in protective atmosphere. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 23(6), 542–553.
- NTC 1009. (1998). Norma técnica Colombiana. Bogotá: Arvejas (guisantes) frescas en conserva.
- NTC 1250. (1979). Norma técnica Colombiana. Bogotá: Arveja Verde.
- Ochoa, velasco C. E., & Guerrero, beltrán J. Á. (2013). Efecto de la temperatura de almacenamiento sobre las características de calidad de tuna blanca villanueva (*Opuntia albicarpa*). *Rev. Iber. Tecnología Postcosecha*, 14(2), 149–161.
- Orrego, C. E., Vallejo, D., Manrique, D. L., & González, J. D. (2016). Inactivación de peroxidasa en banano (*Musa paradisiaca*) por medio de tratamiento térmico y ultrasónico. *Agronomía Colombiana*, 34(2), 457–460. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v34n1supl.58264>
- Osorio, A. G., & Castaño, J. Z. (2011). Caracterización del agente causante de la pudrición de raíces de la arveja (*Pisum sativum linneo*), enfermedad endémica en el municipio de manizales- caldas (colombia). *Agron*, 19(2), 33–43.
- Osorio, O., Rodríguez, G., CasteNanos, F., & Chávez, A. (2016). Procesamiento de Arvejas

- (*Pisum sativum L.*). Parte 3: Cinética de Pérdida de Agua en Chips de Arveja en Condiciones de Fritura Convencional y a Vacío. *Información Tecnológica*, 27(4), 33–42. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000400004>
- Özdemir, A. E., Çandir, E. E., Kaplankiran, M., & Soylu, E. M. (2010). The effects of ethanol-dissolved propolis on the storage of grapefruit cv . Star Ruby. *Turk J Agric For*, 34, 155–162. <https://doi.org/10.3906/tar-0902-50>
- Pantoja, D. C., Osorio, O., Mejía, D. F., & Váquiro, H. A. (2016). Procesamiento de Arvejas (*Pisum sativum L.*). Parte 1: Modelado de la Cinética de Secado por Capa Delgada de Arveja, Variedades Obonuco Andina y Sureña. *Información Tecnológica*, 27(1), 69–80. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000100009>
- Pardilla, S., Vega, L. ., Mor, M. M., & Guri, S. (2000). Efecto del envasado en atmósfera modificada conteniendo argón sobre la calidad organoléptica y microbiológica de manzana iv gama. *Red de Revistas Científicas de America Latina*, 2(1), 185–195. <https://doi.org/10.21315/tlsr>
- Pariasca, J. A. T., Miyazaki, T., Hisaka, H., Hiroki, N., & Sato, T. (2000). Effect of modified atmosphere packaging (MAP) and controlled atmosphere (CA) storage on the quality of snow pea pods (*Pisum sativum L. var. saccharatum*). *Elsevier*, 21, 213–223.
- Patiño, W., Valderrama, V., & Ñustez, C. (1997). Evaluación de nueve (*Pisum sativum l.*) para uso industrial , en la region de evaluation of 9 industrial pea varieties ( *Pisum sativum l.*). *Agronomia Colombiana*, XIV(2), 108–118.
- Peñuela, J. M. (1994). *Influencia de los procesos de cocción y conservación sobre el contenido de nitratos y nitritos en espinacas (Spinacia oleracea l.)*. (Tesis de Doctorado). *Universidad Complutense de Madrid, Servicio de Publicaciones*. Univerdidad Complutense de Madrid,

Madrid, España.

Pereira, L., Rodrigues, A., Sarantópoulos, C., Junqueira, V., Cunha, R., & Hubinger, M. (2004).

Influence of Modified Atmosphere Packaging and Osmotic Dehydration on the Quality Maintenance of Minimally Processed Guavas. *Journal of Food Science*, 69(4), 172–177.

Pineda, D. (2012). Preservación de los Alimentos por Ultrasonido.

Pinheiro, J., Alegria, C., Abreu, M., Gonçalves, E. M., & Silva, C. L. M. (2015). Influence of postharvest ultrasounds treatments on tomato (*Solanum lycopersicum*, cv. Zinac) quality and microbial load during storage. *Ultrasonics Sonochemistry*, 27(March), 552–559. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.04.009>

Połata, H., Wilińska, A., Bryjak, J., & Polakovič Milan. (2009). Thermal inactivation kinetics of vegetable peroxidases. *Researchgate*, 9, 387–391.

Porras, O. O., Castellanos, A., & Ballesteros, J. (2011). Efecto de la aplicación de ondas de ultrasonido sobre las propiedades fisicoquímicas, reológicas y microbiológicas de pulpa de mango (*Mangifera indica* L.). *Revista Alimentos Hoy*, 20(23), 53–78.

Ramirez, C. (2009). *Estudio experimental de la desactivación de la enzima peroxidasa durante el proceso de escaldado de papas (Solanum tuberosum) y el almacenamiento a -18°C*. (Tesis de pregrado). Universidad austral de Chile, Valdivia, Chile.

Ramírez, M., Sáenz, M. V., & Vargas, A. (2011). Efecto de la inmersión en agua caliente sobre la secreción de látex por la corona de gajos recién conformados de frutos de banano. *Agronomía Costarricense*, 35(1), 1–14.

Ramirez, R. (2012). *Tecnología de Frutas y hortalizas* (1st ed.). Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a distancia.

Rangel, M. M., & López, M. A. (2012). Cambios en frutas tropicales frescas, cortadas y

- empacadas en atmósfera modificada durante su almacenamiento en refrigeración. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 6(2), 94–109.
- Rangel Marrón, M., & López Malo, A. (2012). Cambios en frutas tropicales frescas, cortadas y empacadas en atmósfera modificada durante su almacenamiento en refrigeración. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 6(2), 94–109.
- Raviyan, P., Zhang, Z., & Feng, H. (2005). Ultrasonication for tomato pectinmethylesterase inactivation: effect of cavitation intensity and temperature on inactivation. *Journal of Food Engineering*, 70(2), 189–196. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.09.028>
- Remacha, J. E., Ibarz, A., & Giner, J. (1992). Evolucion del color por efecto de la temperatura en pulpas de fruta. *Alimentaria*, 234(2), 59–68.
- Ren, F., Perussello, C. A., Zhang, Z., Kerry, J. P., & Tiwari, B. K. (2018). Impact of ultrasound and blanching on functional properties of hot-air dried and freeze dried onions. *LWT - Food Science and Technology*, 87, 102–111. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2017.08.053>
- Riquelme, M. C. L. (2007). *Influencia de los Factores Pre y Postcosecha en la Calidad de la Lechuga IV Gama* (Tesis de pregrado). Pnas. Universidad de murcia, Facultad de veterinaria, España. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2171.2482>
- Rivera, L. G. M. (2012). *Estudio de la inhibición del pardeamiento enzimático por irradiación y de la calidad poscosecha durante el almacenamiento refrigerado de la naranjilla (solanum quitoense lam.) irradiada* (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Robles, O. L. ., & Ochoa-, M. L. A. (2012). Ultrasonido y sus aplicaciones en el procesamiento de alimentos. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 13(2), 109–122.
- Rodrigo, C., Mateu, A., Alvarruiz, A., Chinesta, F., & Rodrigo, M. (1998). Kinetic parameters

- for thermal degradation of green asparagus texture by unsteady-state method. *Journal of Food Science*, 63, 126–129. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1998.tb15691.x>
- Rojano, G., & Guadalupe, L. (2006). *El empleo de atmósferas modificadas en la conservación de arveja (Pisum Sativum L. ssp. sativum var. sativum)* (Tesis de pregrado). Universidad técnica de ambato, Ambato, Ecuador.
- Sala, F. J., Burgos, J., Condón, S., Lopez, P., & Raso, J. (1995). Effect of heat and ultrasound on microorganisms and enzymes. In *New Methods of Food Preservation* (pp. 176–204). Boston, MA: Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2105-1\\_9](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2105-1_9)
- Salazar, C., & Betancourth, C. (2009). Evaluación de extractos de plantas para el manejo de polilla guatemalteca (*Tecia solanivora*) en cultivos de papa en Nariño, Colombia. *Agronomía Colombiana*, 27(2), 219–226.
- Sánchez, D. E. Á. (2015). *Actividad biocida del aceite esencial de lippia origanoides h.b.k sobre algunos fitopatógenos de papa (Solanum tuberosum l.)* (Tesis de Maestría). Universidad de nariño, Pasto, Colombia.
- Sandhya. (2010). Modified atmosphere packaging of fresh produce: Current status and future needs. *LWT - Food Science and Technology*, 43(3), 381–392. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.05.018>
- Sangucho, L. A. Q. (2011). *Evaluación de cuatro tipos de temperaturas con tres distintos tipos de empaque en cultivo de capulí (Prunus serotina)* (Tesis de pregrado). *Repo.Uta.Edu.Ec.* Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Cotopaxi, Ecuador.
- Santander, M., Mejía, D., & Osorio, O. (2013). Estandarización del protocolo para evaluar la actividad enzimática de peroxidasa en tomate de arbol (*Solanum betaceum cav.*). *Temas Agrarios*, 18(2), 36–49.

- Santhirasegaram, V., Razali, Z., & Somasundram, C. (2013). Effects of thermal treatment and sonication on quality attributes of Chokanan mango (*Mangifera indica L.*) juice. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20(5), 1276–1282. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2013.02.005>
- Santos, C. M. S., Vilas Boas, E. V. de B., Botrel, N., & Pinheiro, A. C. M. (2006). Influência da atmosfera controlada sobre a vida pós-colheita e qualidade de banana “Prata Ana.” *Ciência E Agrotecnologia*, 30(2), 317–322. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542006000200018>
- Sciancalepore, V., Longone, V., & Alвити, F. S. (1985). Partial purification and some properties of peroxidase from Malvasia grapes. *Am. Soc. Enol. Viticult*, 36(2), 105–110.
- Sharma, S. K., Mulvaney, S. J., & Rizvi, S. S. H. (2003). *Ingeniería de alimentos: operaciones unitarias y prácticas de laboratorio*. (Editorial Limusa, Ed.) (2nd ed.). Editorial Limusa S.A. De C.V.
- Smock, R. . (1979). Controlled atmosphere stop age of fruits. *HORTSCI*, 1(4), 301–336. [https://doi.org/10.1016/0925-5214\(94\)00032-N](https://doi.org/10.1016/0925-5214(94)00032-N)
- Solarte, R. D., Osorio, O., Hurtado, A. M., & Mejia, D. F. (2012). Evaluación del Bioinsumo de Fique Pulverizado (*Furcraea spp*) para el Control in vitro de Phytophthora infestans en papa (*Solanum tuberosum L.*). *Información Tecnológica*, 23(3), 77–86. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642012000300010>
- Sørheim, O., Ofstad, R., & Lea, P. (2004). Effects of carbon dioxide on yield, texture and microstructure of cooked ground beef. *Meat Science*, 67(2), 231–236. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2003.10.010>
- Suslick, K. S., Didenko, Y., Fang, M. M., Hyeon, T., Kolbeck, K. J., McNamara, W. B., ... Wong, M. (1999). Acoustic cavitation and its chemical consequences. *Philosophical*

- Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 357(1751), 335–353. <https://doi.org/10.1098/rsta.1999.0330>
- Tabares, C. A., & Velásquez, J. R. (2003). *Estudio de la vida de anaquel del tomate de árbol (Cyphomandra Betacea) osmodeshidratado empacado en atmósferas modificadas* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Tano, K., Arul, J., Doyon, G., & Castaigne, F. (1999). Atmospheric Composition and Quality of Fresh Mushrooms in Modified Atmosphere Packages As Affected by Storage Temperature Abuse. *Journal of Food Science*, 64(6), 1073–1077. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1999.tb12285.x>
- Terpinc, P., & Abramovič, H. (2010). A kinetic approach for evaluation of the antioxidant activity of selected phenolic acids. *Food Chemistry*, 121(2), 366–371. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.12.037>
- Tosne, Z. L., Mosquera, S. A., & Villada, H. S. (2014). Efeito de revestimento de fécula de mandioca e cera de abelha no chontaduro. *Biotecnología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial*, 12(2), 30–39.
- Trujillo, Y. N., Cáceres, L. L., & Silva, J. (2011). Preservation of minimally processed cauliflower (Brassica Oleraceae L.) cv. botrytis. *@LIMENTECH CIENCIA Y TECNOLOGÍA ALIMENTARIA*, 9(1), 31–37.
- Tsikrika, K., Chu, B.-S., Bremner, D. H., & Lemos, M. A. (2016). The effect of different frequencies of ultrasound on the activity of horseradish peroxidase. *LWT - Food Science and Technology*, 89, 591–595. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2017.11.021>
- Turkmen, N., Poyrazoglu, E. S., Sari, F., & Sedat Velioglu, Y. (2006). Effects of cooking methods on chlorophylls, pheophytins and colour of selected green vegetables.

- International Journal of Food Science and Technology*, 41(3), 281–288.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.01061.x>
- Ulloa, J. A., Ulloa, P. R., Ramírez, J. C. R., & Rangel, B. E. U. (2015). Ultrasonido : aplicaciones en el campo de los alimentos. *Nueva Época*, 4, 14.
- Ulrich, R. (1983). Modifications de la structure et de la composition des fruits et légumes non blanchis et conséquences du blanchiment. *Générale Du Froid*, 1, 11–19.
- Umaña, C. E. (2010). *Conservación de alimentos por irradiación*. Universidad de Belgrano. Buenos Aires, Argentina. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4151.2563>
- Valenzuela, J. Á. L., Juárez, F. J. V., Torres, S. L. M., Angulo, G. L., & García, M. O. V. (2011). Efecto del almacenamiento en atmósfera controlada sobre la calidad poscosecha y nutricional del tomate. *Chapingo Serie Horticultura*, 17(2), 115–128.
- Vera, Y. C., & Gélvez, V. M. (2011). Efecto de La termosonicación sobre las propiedades fisicoquímicas Del Hongo comestible (*Pleurotus Ostreatus*) fresco empacado al Vacío. *Revista De La Facultad De Ciencia Basicas*, 9(2), 55–63.
- Vicente, A. R. (2004). *Efecto de tratamientos térmicos de alta temperatura sobre calidad y fisiología postcosecha de frutillas ( Fragaria x ananassa Duch .)* (Tesis de Doctorado). Centro de investigación y desarrollo en criotecnología de Alimentos. Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina.
- Villalobos, J. P., & Zapata, J. C. (2012). Manejo de la pudrición radical de la arveja (*Pisum sativum linneo*) causada por fusarium oxysporum. *Agron*, 20(2), 37–44.
- Watts, B. M., Ylimaki, G. L., Jeffery, L. E., & G, E. L. (1992). *Basic Sensor y Methods f or F ood Evaluation*. (Intemational Development Research Centre, Ed.). Ottawa Canadá.
- Wolti, Chanes, F., Vergara, B., Guerrero, B. R., García, T., & Villa, R. R. (2005). *Métodos* ,

*criterios y modelación para la selección de películas plásticas en atmósferas modificadas .*

*Segundo Simposio Internacional de Innovación y Desarrollo de Alimentos.* Puebla.

Willis, R., Evans, T., Lim, J., Scriven, F., & Greenfield, H. (1984). Composition of Australian foods. 25. Peas and beans. *Composition of Australian Foods*, 11(36), 512–514.

Wills, R. B. H. (1998). *Postharvest: an introduction to the physiology & handling of fruit, vegetables & ornamentals* (4th ed.). Madison: UNSW Press.

Yildirim, A., Öner, M. D., & Bayram, M. (2013). Effect of soaking and ultrasound treatments on texture of chickpea. *Journal of Food Science and Technology*, 50(3), 455–465.  
<https://doi.org/10.1007/s13197-011-0362-8>

Zaldívar, C. P., Córdoba, J. O., Calvo, J. R. V., Valadez, M. P., Sánchez, F. D. de L., & Huevo, M. E. R. (2011). Conservation of cactus stems “Milpa Alta” (*Opuntia ficus indica* Mill.) in modified atmosphere packaging. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 10(1), 93–104.

Zamorano, C., López, H., & Alzate, G. (2008). Evaluación de la competencia de arvenses en el cultivo de arveja (*Pisum sativum*) en Fusagasugá, Cundinamarca (Colombia). *Rev. Agron. Col*, 26(3), 443–450.

Zapata, L., Malleret, A., Quinteros, C., Lesa, C., Vuarant, C., Rivadeneira, M., & Gerad, J. (2010). Estudio sobre cambios de la firmeza de bayas de arándanos durante su maduración. *Ciencias Exactas Y Naturales (Scielo Argentina)*, 159–171.

## **ANEXOS**

**Anexo 1.** Datos de Actividad Enzimática de POD para cada tratamiento ( $\Delta$  Abs/min)

<b>tratamiento</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>PROM</b>	<b>SD</b>
sin tratamiento	0,0664	0,0645	0,0631	0,0647	0,0017
F 37 KHz, T 45°C, t 5 min	0,0468	0,0519	0,0540	0,0509	0,0037
F 37 KHz, T 45°C, t 10 min	0,0465	0,0481	0,0383	0,0443	0,0053
F 37 KHz, T 45°C, t 15 min	0,0398	0,0323	0,0395	0,0372	0,0042
F 37 KHz, T 45°C, t 20 min	0,0325	0,0296	0,0296	0,0306	0,0017
F 37 KHz, T 45°C, t 25 min	0,0306	0,0250	0,0240	0,0266	0,0035
F 37 KHz, T 65°C, t 5. min	0,0479	0,0514	0,0414	0,0469	0,0051
F 37 KHz, T 65°C, t 10 min	0,0449	0,0385	0,0356	0,0397	0,0048
F 37 KHz, T 65°C, t 15 min	0,0321	0,0351	0,0313	0,0329	0,0020
F 37 KHz, T 65°C, t20 min	0,0258	0,0295	0,0237	0,0263	0,0030
F 37 KHz, T 65°C, t 25 min	0,0246	0,0188	0,0225	0,0220	0,0030
F 80 KHz, T 45°C, t5 min	0,0427	0,0460	0,0494	0,0460	0,0034
F 80 KHz, T 45°C, t 10 min	0,0390	0,0416	0,0326	0,0377	0,0046
F 80 KHz, T 45°C, t 15 min	0,0216	0,0188	0,0225	0,0209	0,0019
F 80 KHz, T 45°C, t 20 min	0,0198	0,0182	0,0153	0,0178	0,0022
F 80 KHz, T 45°C, t 25 min	0,0151	0,0162	0,0128	0,0147	0,0018
F 80 KHz, T 65°C, t 5 min	0,0379	0,0407	0,0321	0,0369	0,0044
F 80 KHz, T 65°C, t 10 min	0,0300	0,0282	0,0226	0,0270	0,0039
F 80 KHz, T 65°C, t 15 min	0,0189	0,0164	0,0145	0,0166	0,0022
F 80 KHz, T 65°C, t 10 min	0,0162	0,0130	0,0131	0,0141	0,0018
F 80 KHz, T 65°C, t 15 min	0,0114	0,0105	0,0128	0,0116	0,0012

*Fuente: Esta investigación.*

**Anexo 2.** Datos de medición de Actividad Enzimática Residual de POD

<b>tratamiento</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>PROM</b>	<b>SD</b>
F 37 KHz, T 45°C, t 5 min	69,842	80,229	85,746	69,842	8,0751
F 37 KHz, T 45°C, t 10 min	69,964	74,613	61,110	69,964	6,8598
F 37 KHz, T 45°C, t 15 min	59,552	50,111	58,923	59,552	5,2786
F 37 KHz, T 45°C, t 20 min	48,961	45,830	46,943	48,961	1,5868
F 37 KHz, T 45°C, t 25 min	46,075	38,819	38,000	46,075	4,4447
F 37 KHz, T 65°C, t 5. min	71,832	79,941	65,986	71,832	7,0082
F 37 KHz, T 65°C, t 10 min	67,599	59,631	56,453	67,599	5,7418
F 37 KHz, T 65°C, t 15 min	48,387	54,465	49,660	48,387	3,2053
F 37 KHz, T 65°C, t20 min	38,853	45,756	37,509	38,853	4,4248
F 37 KHz, T 65°C, t 25 min	37,061	29,077	35,698	37,061	4,2705
F 80 KHz, T 45°C, t5 min	64,380	71,292	78,263	64,380	6,9414
F 80 KHz, T 45°C, t 10 min	58,896	64,428	52,247	58,896	6,0992
F 80 KHz, T 45°C, t 15 min	32,473	29,395	35,763	32,473	3,1846
F 80 KHz, T 45°C, t 20 min	30,000	28,000	24,000	30,000	3,0551
F 80 KHz, T 45°C, t 25 min	22,724	25,166	19,910	22,724	2,6303
F 80 KHz, T 65°C, t 5 min	57,011	62,749	51,030	57,011	5,8598
F 80 KHz, T 65°C, t 10 min	45,233	44,199	35,532	45,233	5,3278
F 80 KHz, T 65°C, t 15 min	28,000	25,196	23,168	28,000	2,4263
F 80 KHz, T 65°C, t 20 min	24,000	20,221	21,094	24,000	1,9784
F 80 KHz, T 65°C, t 25 min	17,133	16,310	20,172	17,133	2,0343

*Fuente: Esta investigación.*

**Anexo 3.** Formato Prueba Hedónica (escala de cinco puntos)

Nombre: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

**INSTRUCCIONES:**

Frente a usted se presentan cuatro muestras de arveja. Por favor, observe cada una de ellas, de izquierda a derecha. Indique el grado en que le gusta o le disgusta cada atributo de cada muestra, de acuerdo al puntaje/categoría, escribiendo el número correspondiente en la línea del código de la muestra.

Puntaje	Categoría
1	Me gusta mucho
2	Me gusta moderadamente
3	No me gusta ni me disgusta
4	Me disgusta moderadamente
5	Me disgusta mucho

CODIGO	Calificación para cada atributo		
	OLOR	COLOR	TEXTURA
747			
422			
865			
967			

Comentarios: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

¡Muchas gracias por su colaboración!

*Fuente: Esta investigación.*

**Anexo 4.** Ficha técnica empaque utilizado en la investigación

ficha técnica	
referencia	Película poliamida
	Ref. PAPE 65
Material	Extrusión De Polietileno
Espesor Promedio	65 micras $\pm$ 7%
Gramaje	65,39 g/m <sup>2</sup> $\pm$ 7%
Color	Transparente
Ancho	Según Especificación
Presentación	Lamina Sencilla En Rollos

CARACTERÍSTICAS	Sentido	Método ASTM	UNIDADES	Valor Típico*
<b>MECÁNICAS</b>				
Resistencia a la Rotura	MD CD	D-882-83	lbf/in <sup>2</sup>	5352 4630
Cedencia	MD CD	D-882-83	lbf/in <sup>2</sup>	2383 3679
Elongación a Rotura	MD CD	D-882-83	%	516 602
Coefficiente dinámico de fricción	CARA DORSO	D-1894-87	Adimensional	0,18 0,21
Rasgado PFT	MD	D-2582-67	lb	12
<b>Ópticas</b>				
Haze			%	10
Transmitancia			%	90
Brillo 45°				84
<b>Transmisión de Oxígeno.</b>				
<b>CONDICIONES DE ENSAYO</b>				
Período de Acondicionamiento 1h				
Humedad Relativa 0%				
Temperatura de Ensayo 23°C				
Caudal O <sub>2</sub> 20 cm <sup>3</sup> /min				
Caudal N <sub>2</sub> 10 cm <sup>3</sup> /min				
		D 3985-05	CC/[M <sup>2</sup> -DAY]	55

**Anexo 5.** Datos correspondientes al análisis estadístico.

**Tabla A1.** ANOVA para la transpiración.

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
<b>Entre grupos</b>	0,00000196827	3	6,5608E-7	33,52	0,0001
<b>Intra grupos</b>	0,00000015660	8	1,9575E-8		
<b>Total (Corr.)</b>	0,00000212487	11			

**Tabla A2.** ANOVA para la humedad.

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
<b>Entre grupos</b>	0,0000213203	3	7,107E-06	11,45	0,0029
<b>Intra grupos</b>	0,0000049656	8	6,2070E-7		
<b>Total (Corr.)</b>	0,0000262859	11			

**Tabla A3.** ANOVA para el parámetro de color (a\*).

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
<b>Entre grupos</b>	0,0000184825	3	6,1608E-06	20,31	0,0004
<b>Intra grupos</b>	0,0000024266	8	3,03333E-7		
<b>Total (Corr.)</b>	0,0000209092	11			

**Tabla A4.** ANOVA para el parámetro de color (L\*).

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
<b>Entre grupos</b>	0,00000501667	3	1,67E-06	17,60	0,0007
<b>Intra grupos</b>	0,00000076000	8	9,500E-8		
<b>Total (Corr.)</b>	0,00000577667	11			

**Tabla A5.** ANOVA para parámetro de color (b\*).

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
<b>Entre grupos</b>	0,000017736	3	5,9122E-06	10,53	0,0038
<b>Intra grupos</b>	0,000004493	8	5,61667E-7		
<b>Total (Corr.)</b>	0,000022230	11			

**Tabla A6.** ANOVA para el cambio total de color ( $\Delta E$ ).

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
<b>Entre grupos</b>	0,00790596	3	0,00263532	4,98	0,0309
<b>Intra grupos</b>	0,00423525	8	0,00052941		
<b>Total (Corr.)</b>	0,0121412	11			

**Tabla A7.** ANOVA para la Firmeza.

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
<b>Entre grupos</b>	0,00005530	3	0,00001843	17,23	0,0008
<b>Intra grupos</b>	0,00000856	8	0,00000107		
<b>Total (Corr.)</b>	0,00006386	11			

**Tabla A8.** Análisis de varianza para el seguimiento de la reactivación de la enzimática.

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
<b>T3</b>					
<b>Entre grupos</b>	130,476	3	43,4921	12,09	0,0024
<b>Intra grupos</b>	28,7796	8	3,59744		
<b>Total (Corr.)</b>	159,256	11			
<b>T2</b>					
<b>Entre grupos</b>	54,161	3	18,0537	3,67	0,0627
<b>Intra grupos</b>	39,3226	8	4,91533		
<b>Total (Corr.)</b>	93,4836	11			
<b>T1</b>					
<b>Entre grupos</b>	40,7549	3	13,585	1,78	0,2283
<b>Intra grupos</b>	60,9925	8	7,6241		
<b>Total (Corr.)</b>	101,747	11			

**Tabla A9.** ANOVA Análisis estadístico pruebas sensoriales.

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
<b>Color</b>					
<b>Entre grupos</b>	2,4	1	2,4	4,03	0,0493
<b>Intra grupos</b>	34,5333	58	0,595402		
<b>Total (Corr.)</b>	36,9333	59			
<b>Olor</b>					
<b>Entre grupos</b>	0,01668	1	0,016667	0,02	0,8784
<b>Intra grupos</b>	40,9667	58	0,706322		
<b>Total (Corr.)</b>	40,9833	59			
<b>Textura</b>					
<b>Entre grupos</b>	0,41667	1	0,416667	0,87	0,3547
<b>Intra grupos</b>	27,7667	58	0,478736		
<b>Total (Corr.)</b>	28,1833	59			

**Tabla A10.** ANOVA análisis estadístico pruebas sensoriales para el parámetro olor, durante el periodo de almacenamiento.

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
<b>Tratamiento T4</b>					
<b>Entre grupos</b>	18,6	3	6,2	6,53	0,0004
<b>Intra grupos</b>	110,2	116	0,95		
<b>Total (Corr.)</b>	128,8	119			
<b>Tratamiento T3</b>					
<b>Entre grupos</b>	42,3	3	14,1	15,01	0,0000
<b>Intra grupos</b>	109,0	116	0,939655		
<b>Total (Corr.)</b>	151,3	119			
<b>Tratamiento T2</b>					
<b>Entre grupos</b>	7,03333	3	2,34444	3,46	0,0188
<b>Intra grupos</b>	78,6667	116	0,67816		
<b>Total (Corr.)</b>	85,7	119			
<b>Tratamiento T1</b>					
<b>Entre grupos</b>	57,1	3	19,0333	23,44	0,0000
<b>Intra grupos</b>	94,2	116	0,81207		
<b>Total (Corr.)</b>	151,3	119			

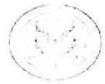
**Tabla A11.** ANOVA análisis estadístico pruebas sensoriales para el parámetro color, durante el periodo de almacenamiento.

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
<b>Tratamiento T4</b>					
<b>Entre grupos</b>	9,400	3	3,13333	3,84	0,0115
<b>Intra grupos</b>	94,6	116	0,81552		
<b>Total (Corr.)</b>	104,0	119			
<b>Tratamiento T3</b>					
<b>Entre grupos</b>	3,46667	3	1,15556	1,92	0,1298
<b>Intra grupos</b>	69,7333	116	0,60115		
<b>Total (Corr.)</b>	73,2	119			
<b>Tratamiento T2</b>					
<b>Entre grupos</b>	3,35833	3	1,11944	1,60	0,1935
<b>Intra grupos</b>	81,2333	116	0,70029		
<b>Total (Corr.)</b>	84,5917	119			
<b>Tratamiento T1</b>					
<b>Entre grupos</b>	5,55833	3	1,85278	3,10	0,0296
<b>Intra grupos</b>	69,3667	116	0,59798		
<b>Total (Corr.)</b>	74,925	119			

**Tabla A12.** ANOVA análisis estadístico pruebas sensoriales para el parámetro textura, durante el periodo de almacenamiento.

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
<b>Tratamiento T4</b>					
<b>Entre grupos</b>	3,30	3	1,1	1,93	0,1280
<b>Intra grupos</b>	66,0	116	0,568966		
<b>Total (Corr.)</b>	69,3	119			
<b>Tratamiento T3</b>					
<b>Entre grupos</b>	2,867	3	0,955556	1,40	0,2455
<b>Intra grupos</b>	79,000	116	0,681034		
<b>Total (Corr.)</b>	81,867	119			
<b>Tratamiento T2</b>					
<b>Entre grupos</b>	1,633	3	0,544444	0,95	0,4207
<b>Intra grupos</b>	66,734	116	0,575287		
<b>Total (Corr.)</b>	68,368	119			
<b>Tratamiento T1</b>					
<b>Entre grupos</b>	4,667	3	1,55556	2,78	0,0440
<b>Intra grupos</b>	64,800	116	0,558621		
<b>Total (Corr.)</b>	69,467	119			

**Anexo 6.** Análisis Microbiológicos a una muestra de arveja (*Pisum sativum L.*). Laboratorios Especializados Universidad de Nariño.

 Universidad de Nariño	<b>SECCION DE LABORATORIOS</b> <b>INFORME DE RESULTADOS MICROBIOLOGIA</b>	Código: LBE-PRS-FR-113
		Página: 1 de 1
		Versión: 3
		Vigente a partir de: 2013/05/15

**LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA**

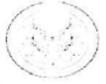
Fecha toma muestra:	24 de Octubre de 2017	Reporte No	LMR014D-17
Hora toma muestra:	12:00 m.	Código de la muestra:	LMA-052-17
Fecha de Recepción:	24 de Octubre de 2017	Establecimiento:	-
Hora de Recepción:	2:50 p.m.	Representante legal:	Wilmar Cordoba
Fecha de Reporte:	24 de Noviembre de 2017	Nit/C.C:	1131084827
Producto:	Blanco Arveja Verde	Dirección y Tel:	3106612403
Muestra tomada por:	Wilmar Cordoba	Municipio - Depto:	Pasto - Nariño
Fecha de Análisis:	24 de Octubre de 2017	Sitio de toma:	Planta Piloto
Motivo de Análisis:	Estudio		
Observaciones:	El Tratamiento realizado a la muestra se realizó el 03 de Octubre de 2017		

**RESULTADO VALIDO PARA LA MUESTRA EXAMINADA**

PARAMETRO	METODO	TECNICA	UNIDADES	VALOR OBTENIDO	VALOR DE REFERENCIA A NORMA
Coliformes Totales	NMP	TUBOS MULTIPLES	No Bacterias / g	-	-
Coliformes Fecales	NMP	TUBOS MULTIPLES	No Bacterias / g	-	-
Mesofilos	RECuento EN PLACA	SIEMBRA EN PROFUNDIDAD	ufc / g	101.000	-
Recuento de Hongos y Levaduras	RECuento EN PLACA	SIEMBRA EN PROFUNDIDAD	ufc / g	55	-
Recuento de Esporas Clostridium Sulfito	RECuento EN TUBO	SIEMBRA EN TUBO	ufc / g	-	-
Recuento de Estafilococo Coagulasa	RECuento EN PLACA	SIEMBRA EN SUPERFICIE	ufc / g	-	-
Recuento de Bacillus Céreus	RECuento EN PLACA	SIEMBRA EN SUPERFICIE	ufc / g	-	-
Salmonella/25g	PRESENCIA/AUSENCIA	AISLAMIENTO E IDENTIFICACION	Positivo/Negativo	-	-

  
**Laboratorio**  
**Microbiología**  
**NANCY GALINDEZ SANTANDER**  
 Profesional de Laboratorio  
 Registro No 125  
 Universidad de Nariño

Análisis Microbiológicos a una muestra de arveja (*Pisum sativum L.*). Laboratorios Especializados Universidad de Nariño.

 Universidad de Nariño	<b>SECCION DE LABORATORIOS</b> <b>INFORME DE RESULTADOS MICROBIOLOGIA</b>	Código: LBE-PRS-FR-113
		Página: 1 de 1
		Versión: 3
		Vigente a partir de: 2013/05/15

**LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA**

Fecha toma muestra:	24 de Octubre de 2017	Reporte No	LMR014C-17
Hora toma muestra:	12:00 m.	Código de la muestra:	LMA-051-17
Fecha de Recepción:	24 de Octubre de 2017	Establecimiento:	-
Hora de Recepción:	2:50 p.m.	Representante legal:	Wilmar Cordoba
Fecha de Reporte:	24 de Noviembre de 2017	Nit/C.C:	1131084827
Producto:	Arveja sin tratamiento	Dirección y Tel:	3106612403
Muestra tomada por:	Wilmar Cordoba	Municipio - Depto:	Pasto - Nariño
Fecha de Análisis:	24 de Octubre de 2017	Sitio de toma:	Planta Piloto
Motivo de Análisis:	Estudio		
Observaciones:			

**RESULTADO VALIDO PARA LA MUESTRA EXAMINADA**

PARAMETRO	METODO	TECNICA	UNIDADES	VALOR OBTENIDO	VALOR DE REFERENCIA A NORMA
Coliformes Totales	NMP	TUBOS MULTIPLES	No Bacterias / g	-	-
Coliformes Fecales	NMP	TUBOS MULTIPLES	No Bacterias / g	-	-
Mesofilos	RECuento EN PLACA	SIEMBRA EN PROFUNDIDAD	ufc / g	21.5000.000	-
Recuento de Hongos y Levaduras	RECuento EN PLACA	SIEMBRA EN PROFUNDIDAD	ufc / g	34.000	-
Recuento de Esporas Clostridium Sulfito	RECuento EN TUBO	SIEMBRA EN TUBO	ufc / g	-	-
Recuento de Estafilococo Coagulasa	RECuento EN PLACA	SIEMBRA EN SUPERFICIE	ufc / g	-	-
Recuento de Bacillus Céreus	RECuento EN PLACA	SIEMBRA EN SUPERFICIE	ufc / g	-	-
Salmonella/25g	PRESENCIA/AUSENCIA	AISLAMIENTO E IDENTIFICACION	Positivo/Negativo	-	

  
**Laboratorio**  
**Microbiología**  
**de Alimentos**  
**NANCY GALINDEZ SANTANDER**  
 Profesional de Laboratorio  
 Registro No 125  
 Universidad de Nariño

Análisis Microbiológicos a una muestra de arveja (*Pisum sativum L.*). Laboratorios Especializados Universidad de Nariño.

 Universidad de Nariño	<b>SECCION DE LABORATORIOS</b> <b>INFORME DE RESULTADOS MICROBIOLOGIA</b>	Código: LBE-PRS-FR-113
		Página: 1 de 1
		Versión: 3
		Vigente a partir de: 2013/05/15

**LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA**

Fecha toma muestra:	24 de Octubre de 2017	Reporte No	LMR014A-17
Hora toma muestra:	12:00 m.	Código de la muestra:	LMA-049 -17
Fecha de Recepción:	24 de Octubre de 2017	Establecimiento:	-
Hora de Recepción:	2:50 p.m.	Representante legal:	Wilmar Cordoba
Fecha de Reporte:	24 de Noviembre de 2017	Nit/C.C.:	1131084827
Producto:	Arveja Verde Gas 1	Dirección y Tel:	3106612403
Muestra tomada por:	Wilmar Cordoba	Municipio - Depto:	Pasto - Nariño
Fecha de Análisis:	24 de Octubre de 2017	Sitio de toma:	Planta Piloto
Motivo de Análisis:	Estudio		
Observaciones:	El Tratamiento realizado a la muestra se realizó el 03 de Octubre de 2017		

**RESULTADO VALIDO PARA LA MUESTRA EXAMINADA**

PARAMETRO	METODO	TECNICA	UNIDADES	VALOR OBTENIDO	VALOR DE REFERENCIA A NORMA
Coliformes Totales	NMP	TUBOS MULTIPLES	No Bacterias / g	-	-
Coliformes Fecales	NMP	TUBOS MULTIPLES	No Bacterias / g	-	-
Mesofilos	RECUESTO EN PLACA	SIEMBRA EN PROFUNDIDAD	ufc / g	18.200	-
Recuento de Hongos y Levaduras	RECUESTO EN PLACA	SIEMBRA EN PROFUNDIDAD	ufc / g	212	-
Recuento de Esporas Clostridium Sulfito	RECUESTO EN TUBO	SIEMBRA EN TUBO	ufc / g	-	-
Recuento de Estafilococo Coagulasa	RECUESTO EN PLACA	SIEMBRA EN SUPERFICIE	ufc / g	-	-
Recuento de Bacillus Céreus	RECUESTO EN PLACA	SIEMBRA EN SUPERFICIE	ufc / g	-	-
Salmonella/25g	PRESENCIA/AUSENCIA	AISLAMIENTO E IDENTIFICACION	Positivo/Negativo	-	-

  
**Laboratorio**  
**Microbiología**  
**de Alimentos**  
**NANCY GARCÍA DE SANTANDER**  
 Profesional de Laboratorio  
 Registro No 125  
 Universidad de Nariño

Análisis Microbiológicos a una muestra de arveja (*Pisum sativum L.*). Laboratorios Especializados Universidad de Nariño.

 Universidad de Nariño	<b>SECCION DE LABORATORIOS</b> <b>INFORME DE RESULTADOS MICROBIOLOGIA</b>	Código: LBE-PRS-FR-113
		Página: 1 de 1
		Versión: 3
		Vigente a partir de: 2013/05/15

**LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA**

Fecha toma muestra:	24 de Octubre de 2017	Reporte No	LMR014B-17
Hora toma muestra:	12:00 m.	Código de la muestra:	LMA-050-17
Fecha de Recepción:	24 de Octubre de 2017	Establecimiento:	-
Hora de Recepción:	2:50 p.m.	Representante legal:	Wilmar Cordoba
Fecha de Reporte:	24 de Noviembre de 2017	Nit/C.C:	1131084827
Producto:	Arveja Verde Gas 2	Dirección y Tel:	3106612403
Muestra tomada por:	Wilmar Cordoba	Municipio - Depto:	Pasto - Nariño
Fecha de Análisis:	24 de Octubre de 2017	Sitio de toma:	Planta Piloto
Motivo de Análisis:	Estudio		
Observaciones:	El Tratamiento realizado a la muestra se realizó el 03 de Octubre de 2017		

**RESULTADO VALIDO PARA LA MUESTRA EXAMINADA**

PARAMETRO	METODO	TECNICA	UNIDADES	VALOR OBTENIDO	VALOR DE REFERENCIA A NORMA
Coliformes Totales	NMP	TUBOS MULTIPLES	No Bacterias / g	-	-
Coliformes Fecales	NMP	TUBOS MULTIPLES	No Bacterias / g	-	-
Mesofilos	RECuento EN PLACA	SIEMBRA EN PROFUNDIDAD	ufc / g	15.500	-
Recuento de Hongos y Levaduras	RECuento EN PLACA	SIEMBRA EN PROFUNDIDAD	ufc / g	900	-
Recuento de Esporas Clostridium Sulfito	RECuento EN TUBO	SIEMBRA EN TUBO	ufc / g	-	-
Recuento de Estafilococo Coagulasa	RECuento EN PLACA	SIEMBRA EN SUPERFICIE	ufc / g	-	-
Recuento de Bacillus Céreus	RECuento EN PLACA	SIEMBRA EN SUPERFICIE	ufc / g	-	-
Salmonella/25g	PRESENCIA/AUSENCIA	AISLAMIENTO E IDENTIFICACION	Positivo/Negativo	-	-

  
**Laboratorio**  
**Microbiología**  
**NANCY GALINDEZ SANTANDER**  
 Profesional de Laboratorio  
 Registro No 125  
 Universidad de Nariño