

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO POS COSECHA Y CINÉTICA DE VIDA
ÚTIL DE DOS VARIEDADES DE ARVEJA (*Pisum sativum* L.) SUREÑA Y OBONUCO
ANDINA**

LAURA INÉS LATORRE VÁSQUEZ I.AI.

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRARIAS
ÉNFASIS EN PRODUCCIÓN DE CULTIVOS
SAN JUAN DE PASTO**

2017

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO POS COSECHA Y CINÉTICA DE VIDA
ÚTIL DE DOS VARIEDADES DE ARVEJA (*Pisum sativum* L.) SUREÑA Y OBONUCO
ANDINA**

LAURA INÉS LATORRE VÁSQUEZ I.AI.

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de
Magister en Ciencias Agrarias con Énfasis en Producción de Cultivos**

Asesor:

M.Sc. DIEGO FERNANDO MEJÍA ESPAÑA

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRARIAS
ÉNFASIS EN PRODUCCIÓN DE CULTIVOS
SAN JUAN DE PASTO**

2017

NOTA DE RESPONSABILIDAD

“Las ideas y conclusiones aportadas en el trabajo son responsabilidad exclusiva de sus autores”

Artículo 1º de acuerdo 324 de octubre 11 de 1966 emanado por el Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño

NOTA DE ACEPTACIÓN

Oswaldo Osorio-Mora. IAI. Ph.D.

Jurado delegado

Oscar Checa-Coral. IA. Ph.D.

Jurado

Fánor Casierra-Posada. IA. Ph.D.

Jurado

Diego Mejía-España. IAI. M.Sc.

Presidente

San Juan de Pasto, Noviembre de 2017

DEDICATORIA

Al finalizar otro paso por la academia quisiera dedicar mi trabajo de grado a mi familia por darme

fuerza en todos los momentos de mi vida

A mi madre por su apoyo incondicional

A mi padre que me cuida y guía desde el cielo

A mis hermanos por su compañía y apoyo

A mis profesores y a mi asesor por su orientación

A mis compañeros, amigos y todas las personas que me ofrecieron su apoyo en mi crecimiento
profesional y personal.

AGRADECIMIENTOS

La autora expresa sus sinceros agradecimientos a:

A la Universidad de Nariño por permitirme la culminación de mi maestría.

Al Sistema General de Regalías por la financiación de este trabajo de investigación, a través del Proyecto “Evaluación de la aptitud de nuevas líneas de arveja (*Pisum sativum* L.) para procesamiento agroindustrial actualmente aptas agronómicamente en el departamento de Nariño”.

Al Grupo de investigación GAIDA por la asesoría y colaboración brindada.

A mi asesor, M.Sc. Diego Mejía España, por su apoyo, colaboración y aportes en el desarrollo del trabajo de grado.

A mis jurados Ph.D. Oscar Checa, Ph.D. Oswaldo Osorio y Ph.D. Fánor Casierra por su asesoría y correcciones del trabajo de grado.

A mis amigas y compañeras Lucy Figueroa por su ayuda en la toma de datos y Viviana Benavides por su apoyo en el análisis de la información.

A mis compañeros y amigos por su apoyo y colaboración en el desarrollo del trabajo de grado.

A mis amigos, compañeros y a todas las personas que de alguna manera colaboraron en la realización y culminación de este trabajo de grado.

RESUMEN

El departamento de Nariño cuenta con una diversidad de climas y pisos térmicos en donde se siembra gran variedad de frutas y hortalizas como la arveja (*Pisum sativum* L.), la cual cuenta con un área sembrada significativa, sobre todo en la región sur del departamento, y solo es transformada en un nivel cero porque se cosecha, y en algunos casos se desgrana y comercializa. Desde el punto de vista agrícola, la producción de arveja es estratégica para los agricultores nariñenses porque presenta un ciclo de cultivo relativamente corto, lo que permite diferentes arreglos productivos; tiene grandes beneficios nutricionales, por lo que se considera un importante complemento de una dieta saludable, lo cual se ve reflejado en el consumo de la misma. Sin embargo, tras la cosecha, debido a su naturaleza temporal y perecedera, la arveja acelera su metabolismo, lo que conlleva a cambios como pérdida de peso, nutrientes, color y otros fenómenos que afectan la calidad del producto, disminuyendo su vida útil. En consecuencia, el objetivo de la investigación fue evaluar el comportamiento pos cosecha y realizar cinéticas de vida útil de dos variedades de arveja (*Pisum sativum* L.) Sureña y Obonuco Andina.

Para la evaluación de características físicas y bromatológicas, se utilizó un diseño irrestrictamente al azar, teniendo como único factor la variedad, en cuanto a la evaluación del comportamiento pos cosecha se utilizó un diseño irrestrictamente al azar con arreglo factorial 3x3x2, teniendo como factores la temperatura (0°C, 4°C y 18°C), el empaque (bolsa de polietileno de baja densidad, bandejas de poli estireno con papel vita film y termoformado perforado) y la variedad (Sureña y Obonuco Andina), por último, con la ayuda de la ecuación de Arrhenius se estimó tiempos de vida útil de arveja almacenada a diferentes temperaturas.

A las variables evaluadas para la caracterización física y bromatológica (peso de mil granos, esfericidad, densidad aparente y análisis proximal) y para la evaluación del comportamiento pos cosecha (constantes cinéticas de orden cero y uno de las variables brotación, firmeza, pérdida de

peso, índice de color, contenido de clorofila, humedad y actividad de agua) se realizó un análisis de varianza y una comparación de múltiples medias según Tukey a un 95% de confianza.

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las variedades de arveja, según las características físicas y bromatológicas, pero si se evidenciaron diferencias estadísticas en la evaluación del comportamiento pos cosecha; se encontró valores de las constantes cinéticas favorables en la interacción triple variedad*empaque*temperatura para brotación (Sureña, bolsa a 0°C, $K= 0,083 \text{ días}^{-1}$), en el efecto simple de la temperatura en la variable firmeza (0°C, $K= 0,370 \text{ días}^{-1}$), en la interacción doble empaque*temperatura para la pérdida de peso (rígido a 0°C, $K= 0,001 \text{ días}^{-1}$), en la interacción triple variedad*empaque*temperatura en el índice de color (Obonuco Andina, bandeja a 0°C, $K= 0,032 \text{ días}^{-1}$), para el contenido de clorofila en los efectos simples empaque y temperatura (Bandeja, $K= 0,037 \text{ días}^{-1}$, y 0°C, $K= 0,029 \text{ días}^{-1}$), para el contenido de humedad en la interacción doble empaque*temperatura (Rígido a 0°C, $K= 0,0002 \text{ días}^{-1}$) y en las interacciones variedad*temperatura y empaque*temperatura, en la variable actividad de agua (Obonuco Andina a 0°C, $K= 0,0002 \text{ días}^{-1}$, y Rígido a 0°C, $K= 0,0002 \text{ días}^{-1}$).

En cuanto a la estimación de vida útil, se encontraron ecuaciones que permiten estimar tiempos de anaquel de la arveja almacenada en condiciones similares a la de la investigación, para cada una de las variables de estudio.

Palabras Clave: arveja, pos cosecha, cinética de vida útil.

ABSTRACT

The department of Nariño counts on a diversity of climates and thermal floors in which is planted great variety of fruits and vegetables like pea (*Pisum sativum* L.), which has a significant area planted, mainly in the southern region of the department, and is only transformed into a zero level because it is harvested, and in some cases is harvested and traded. From the agricultural point of view, the production of peas is strategic for Nariño farmers because it presents a relatively short crop cycle, which allows different productive arrangements; has great nutritional benefits, reason why it is considered an important complement of a healthy diet, which is reflected in the consumption of the same one. However, after harvest, because of its temporary and perishable nature, peas accelerates its metabolism, which leads to changes such as weight loss, nutrients, color and other phenomena that affect the quality of the product, reducing its shelf life. Consequently, the objective of the research was to evaluate the post-harvest behavior and to realize kinetics of life of two varieties of pea (*Pisum sativum* L.) Sureña and Obonuco Andina.

For the evaluation of physical and bromatological characteristics, an unrestricted random design was used, having as only factor the variety; in the evaluation of post-harvest behavior, an unrestricted random design with 3x3x2 factorial arrangement was used, taking into account the temperature (0°C, 4°C and 18°C), the packaging (low density polyethylene bag, poly styrene trays with paper vita film and perforated thermoforming) and the variety (Sureña and Obonuco Andina), finally, with the help of the Arrhenius equation, shelf life of peas stored at different temperatures was calculated.

To the variables evaluated for the physical and chemical characterization (thousand grain weight, sphericity, apparent density and proximal analysis) and for post-harvest behavior evaluation (kinetic constants zero order and one of the variables sprouting, firmness, weight loss,

color index, chlorophyll content, moisture and water activity) an analysis of variance and a comparison of multiple means were performed according to Tukey at a 95% confidence level.

No statistically significant differences were found between the pea varieties, according to the physical and chemical characteristics, however, statistical differences were found in the post-harvest behavior evaluation; favorable values of the kinetic constants in the triple interaction variety*packaging*temperature for sprouting (Sureña, bag at 0 ° C, $K = 0,083 \text{ days}^{-1}$), in the simple effect of temperature on the variable firmness (0°C, $K= 0,370 \text{ days}^{-1}$), in the interaction double packaging*temperature for weight loss (perforated thermoforming at 0°C, $K= 0,001 \text{ days}^{-1}$), in the triple interaction variety*packaging*temperature for the color index (Obonuco Andina, tray at 0°C, $K= 0,032 \text{ days}^{-1}$), for the chlorophyll content in the simple effects packaging and temperature (Tray, $K= 0,037 \text{ days}^{-1}$, and 0°C, $K= 0,029 \text{ days}^{-1}$), for the moisture content in the double interaction packaging*temperature (perforated thermoforming at 0°C, $K= 0,0002 \text{ days}^{-1}$) and the interactions variety*temperature and packaging*temperature, in the water activity variable (Obonuco Andina a 0°C, $K= 0.0002 \text{ days}^{-1}$, and perforated thermoforming at 0°C, $K= 0,0002 \text{ days}^{-1}$).

As for the estimation of useful life, it was found equations that allow to estimate shelf times of the pea stored in conditions similar to the one of the investigation, for each of the study variables.

Keywords: Pea, postharvest, kinetic of useful life.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	23
1. MARCO TEÓRICO.....	25
1.1 Generalidades de la arveja.....	25
<i>1.1.1 Composición química</i>	26
<i>1.1.2 Variedades de Arveja</i>	27
<i>1.1.2.1 Variedad Obonuco Andina</i>	27
<i>1.1.2.2 Variedad Sureña</i>	28
<i>1.1.2.3 Cosecha y pos cosecha</i>	28
<i>1.1.3 Manejo pos cosecha</i>	29
1.2 Fundamentos teóricos.....	30
<i>1.2.1 Análisis proximal o bromatológico</i>	30
<i>1.2.2 Características físicas y pos cosecha</i>	31
<i>1.2.2.1 Actividad de agua</i>	31
<i>1.2.2.2 Clorofila</i>	31
<i>1.2.2.3 Firmeza</i>	32
<i>1.2.2.4 Índice de Color</i>	32
<i>1.2.2.5 Humedad</i>	33
<i>1.2.2.6 Peso</i>	33
<i>1.2.2.7 Pérdida de peso</i>	33
<i>1.2.3 Empaques</i>	33
<i>1.2.4 Características de calidad y vida útil</i>	34

1.2.4.1 Ecuaciones de Vida Útil	35
1.2.4.2 Cinética de orden cero, primero y segundo	35
1.2.4.3 Ecuación de Arrhenius.....	37
1.3 Antecedentes del tema	38
2. METODOLOGÍA	42
2.1 Localización.....	42
2.2 Material vegetal	42
2.3 Operaciones preliminares	42
2.4 Diseño experimental	44
2.5 Variables de respuesta evaluadas	47
2.5.1 Evaluación de características físicas y bromatológicas.....	47
2.5.1.1 Peso de mil granos en fresco	47
2.5.1.2 Esfericidad	47
2.5.1.3 Densidad aparente	48
2.5.1.4 Características bromatológicas.....	49
2.5.2 Evaluación del comportamiento pos cosecha	50
2.5.2.1 Días a brotación	50
2.5.2.2 Firmeza	50
2.5.2.3 Índice de color (IC).....	51
2.5.2.4 Pérdida de peso	52
2.5.2.5 Contenido de clorofila	52
2.5.2.6 Humedad.....	53
2.5.2.7 Actividad de Agua	54
2.5.2.8 Estimación de vida útil	55

2.6 Análisis de la información.....	55
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	57
3.1 Evaluación de características físicas y bromatológicas.....	57
3.2 Evaluación del comportamiento pos cosecha.....	59
3.2.1 Brotación.....	59
3.2.2 Firmeza.....	65
3.2.3 Pérdida de peso.....	68
3.2.4 Índice de color.....	73
3.2.5 Clorofila.....	77
3.2.6 Humedad.....	81
3.2.7 Actividad de agua (<i>Aw</i>).....	85
3.3 Estimación de vida útil.....	90
3.3.1 Firmeza.....	90
3.3.2 Pérdida de peso.....	92
3.3.3 Índice de color.....	94
3.3.4 Clorofila.....	95
3.3.5 Humedad.....	97
3.3.6 Actividad de agua (<i>Aw</i>).....	99
3.3.7 Tiempos de vida útil.....	100
4. CONCLUSIONES.....	106
BIBLIOGRAFÍA.....	107
ANEXOS.....	120

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Composición química de arveja por cada 100 g de porción comestible, en diferentes condiciones.....	26
Tabla 2. Descripción de los tratamientos para la evaluación de las características físicas y bromatológicas en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.).....	44
Tabla 3. Descripción de los tratamientos para la evaluación del comportamiento pos cosecha en arveja (<i>Pisum stivum</i> L.).....	45
Tabla 4. Cuadrado medio para características físicas de arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) en variedad Sureña y Obonuco Andina.....	57
Tabla 5. Cuadrado medio para características bromatológicas de arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) en variedad Sureña y Obonuco Andina.....	58
Tabla 6. Cuadrados medios para brotación en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) bajo diferentes condiciones de almacenamiento.....	60
Tabla 7. Promedios de constantes cinéticas de brotación en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) bajo diferentes condiciones de almacenamiento.....	62
Tabla 8. Cuadrados medios para firmeza en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) bajo diferentes condiciones de almacenamiento.....	65
Tabla 9. Promedios de constantes cinéticas de firmeza en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) bajo diferentes condiciones de almacenamiento.....	66
Tabla 10. Cuadrados medios para pérdida de peso en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) bajo diferentes condiciones de almacenamiento.....	69

Tabla 11.	Promedios de constantes cinéticas de pérdida de peso en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) bajo diferentes condiciones de almacenamiento.	70
Tabla 12.	Cuadrados medios para cambios de color en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) bajo diferentes condiciones de almacenamiento.	74
Tabla 13.	Promedios de constantes cinéticas de cambios de color en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) bajo diferentes condiciones de almacenamiento.	75
Tabla 14.	Cuadrados medios para la pérdida del contenido de clorofila en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) bajo diferentes condiciones de almacenamiento.	78
Tabla 15.	Promedios de constantes cinéticas del contenido de clorofila arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) bajo diferentes condiciones de almacenamiento.	79
Tabla 16.	Promedios de constantes cinéticas del contenido de clorofila arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) bajo diferentes condiciones de almacenamiento.	79
Tabla 17.	Cuadrados medios para cambios en el contenido de humedad en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) bajo diferentes condiciones de almacenamiento.	82
Tabla 18.	Promedios de constantes cinéticas del contenido de humedad en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) bajo diferentes condiciones de almacenamiento.	83
Tabla 19.	Cuadrados medios para cambios en la actividad de agua en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) bajo diferentes condiciones de almacenamiento.	85
Tabla 20.	Promedios de constantes cinéticas de la actividad de agua en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) bajo diferentes condiciones de almacenamiento.	86
Tabla 21.	Promedios de constantes cinéticas de la actividad de agua en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) bajo diferentes condiciones de almacenamiento.	87

Tabla 22.	Promedios de parámetros cinéticos y bondad de ajuste ecuación de Arrhenius para cambios de firmeza en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.	91
Tabla 23.	Promedios de parámetros cinéticos y bondad de ajuste ecuación de Arrhenius para pérdida de peso en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) variedad Sureña y Obonuco Andina. ..	93
Tabla 24.	Promedios de parámetros cinéticos y bondad de ajuste ecuación de Arrhenius para cambios de color en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.	95
Tabla 25.	Promedios de parámetros cinéticos y bondad de ajuste ecuación de Arrhenius para contenido de clorofila en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.	96
Tabla 26.	Promedios de parámetros cinéticos y bondad de ajuste ecuación de Arrhenius para contenido de humedad en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.	98
Tabla 27.	Promedios de parámetros cinéticos y bondad de ajuste ecuación de Arrhenius para actividad de agua en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.	100
Tabla 28.	Consolidado de ecuaciones de Arrhenius para las variables evaluadas.	101
Tabla 29.	Constantes cinéticas (K) a diferentes temperaturas para las variables evaluadas.	102
Tabla 30.	Consolidación de parámetros cinéticos de las variables evaluadas.	103
Tabla 31.	Días estimados de vida útil a diferentes temperaturas de almacenamiento.	104

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Variación de un índice de calidad en función del tiempo, de acuerdo con la cinética de orden cero, primero y segundo.....	36
Figura 2. Diagrama de flujo de proceso de la preparación de la muestra.	43
Figura 3. Cinética de porcentaje de brotación en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.	63
Figura 4. Cinética de cambios de firmeza en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.	67
Figura 5. Cinética de cambios de pérdida de peso en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.	72
Figura 6. Cinética de cambios de color en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.	77
Figura 7. Cinética de cambios del contenido de clorofila en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.	80
Figura 8. Cinética de cambios del contenido de humedad en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.	85
Figura 9. Cinética de cambios de la actividad de agua en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.	89
Figura 10. Ecuación de Arrhenius para cambios de firmeza en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.	91
Figura 11. Ecuación de Arrhenius para pérdida de peso en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.	92

Figura 12.	Ecuación de Arrhenius para cambios de color en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.	94
Figura 13.	Ecuación de Arrhenius para contenido de clorofila en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.	96
Figura 14.	Ecuación de Arrhenius para contenido de humedad en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.	97
Figura 15.	Ecuación de Arrhenius para actividad de agua en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.	99

LISTA DE IMÁGENES

	Pág.
Imagen 1. Variedades de arveja utilizadas en esta investigación.....	42
Imagen 2. Empaques utilizados para la evaluación del comportamiento pos cosecha en arveja..	44
Imagen 3. Peso de granos de arveja.	47
Imagen 4. Medición de esfericidad.	48
Imagen 5. Determinación de densidad aparente.....	49
Imagen 6. Días a brotación en arveja.	50
Imagen 7. Determinación de firmeza en arveja.....	51
Imagen 8. Determinación del índice de color en arveja.....	52
Imagen 9. Determinación de pérdida de peso en arveja.....	52
Imagen 10. Determinación del contenido de clorofila en arveja.....	53
Imagen 11. Determinación del porcentaje de humedad en arveja.....	53
Imagen 12. Determinación de actividad de agua en arveja.	54
Imagen 13. Transpiración de la arveja en envase rígido, ambiente de alta humedad.	73

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Resultados promedios de la caracterización física y bromatológica en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.....	121
Anexo 2. Análisis de Varianza para densidad aparente en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.....	121
Anexo 3. Análisis de Varianza para peso de mil granos en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.....	122
Anexo 4. Análisis de Varianza para esfericidad en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.....	122
Anexo 5. Análisis de Varianza para materia seca en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.....	122
Anexo 6. Análisis de Varianza para cenizas en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.....	123
Anexo 7. Análisis de Varianza para extracto etéreo en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.....	123
Anexo 8. Análisis de Varianza para fibra cruda en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.....	123
Anexo 9. Análisis de Varianza para proteína total en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.....	124
Anexo 10. Análisis de Varianza para extracto no nitrogenado en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.....	124

Anexo 11.	Análisis de Varianza para brotación en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) variedad Sureña y Obonuco Andina, cinética de reacción orden uno.....	125
Anexo 12.	Parámetros cinéticos y bondad de ajuste cinética de orden uno para porcentaje de brotes en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.....	126
Anexo 13.	Análisis de Varianza para firmeza en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) variedad Sureña y Obonuco Andina, cinética de reacción orden cero.....	127
Anexo 14.	Parámetros cinéticos y bondad de ajuste cinética de orden cero para cambios de firmeza en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.....	128
Anexo 15.	Análisis de Varianza para pérdida de peso en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) variedad Sureña y Obonuco Andina, cinética de reacción orden uno.....	129
Anexo 16.	Parámetros cinéticos y bondad de ajuste cinética de orden uno para pérdida de peso en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.....	130
Anexo 17.	Análisis de Varianza para cambios de color en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) variedad Sureña y Obonuco Andina, cinética de reacción orden cero.....	131
Anexo 18.	Parámetros cinéticos y bondad de ajuste cinética de orden cero para cambios de color en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) variedad Sureña y Obonuco	132

Andina.....	
Anexo 19. Análisis de Varianza para contenido de clorofila en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) variedad Sureña y Obonuco Andina, cinética de reacción orden cero.....	133
Anexo 20. Parámetros cinéticos y bondad de ajuste cinética de orden uno para contenido de clorofila en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.....	134
Anexo 21. Análisis de Varianza para contenido de humedad en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) variedad Sureña y Obonuco Andina, cinética de reacción orden uno.....	135
Anexo 22. Parámetros cinéticos y bondad de ajuste cinética de orden uno para contenido de humedad en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.....	136
Anexo 23. Análisis de Varianza para actividad de agua en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) variedad Sureña y Obonuco Andina, cinética de reacción orden uno.....	137
Anexo 24. Parámetros cinéticos y bondad de ajuste cinética de orden uno para actividad de agua en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.....	138

INTRODUCCIÓN

La arveja (*Pisum sativum* L.) es uno de los principales cultivos comestibles en el mundo (Amarakoon *et al.*, 2012), y es utilizada como fuente de proteína debido a su valor nutritivo (Laudadio y Tufarelli, 2010). En Colombia su producción se concentra en los departamentos de Nariño, Cundinamarca y Boyacá, que suman más del 80% de la producción total (FENALCE, 2015).

En Nariño, es uno de los cultivos más importantes para la región por su capacidad de adaptación, alto potencial de rendimiento y por la posibilidad de cosechar en vaina o en grano seco (Sañudo, Checa y Arteaga, 1999), cuenta con un área sembrada significativa, que representa el 55,2% de la producción nacional (Cerón *et al.*, 2015), ha sido un factor estabilizador de la economía de los pequeños productores de la zona Andina, ha contribuido a la seguridad alimentaria (Pabón y Castaño, 2012), y se estima que de este cultivo dependen más de 26.000 productores, concibiendo alrededor de 2.3 millones de jornales y unos 15.000 empleos directos (FENALCE, 2010).

La arveja en vaina verde se comercializa en más de 30 mercados mayoristas a nivel nacional, lo que revela su amplio consumo; aunque es un producto que no puede ser almacenado por mucho tiempo (SIPSA, 2013), debido a su alta perecibilidad, relacionada con procesos metabólicos y al manejo pos cosecha, lo que se traduce en cambios de firmeza, color, sabor y aroma (Morales, 2009; Flores y Ruiz, 2010).

Una de las técnicas que permiten mantener la calidad de los productos es el uso de empaques plásticos y almacenamiento a bajas temperaturas, que ejercen una acción modificadora sobre los procesos fisiológicos (Castro *et al.*, 2003), los cuales son técnicas adecuadas para prolongar la vida útil de las frutas y hortalizas después de la cosecha, porque retarda la maduración y el deterioro al reducir la velocidad de los procesos metabólicos (Magaña *et al.*, 2004).

Por lo anterior, la investigación tuvo como objetivo general la evaluación del comportamiento pos cosecha y cinética de vida útil de dos variedades de arveja (*Pisum sativum* L.) Sureña y Obonuco Andina, el cual se desarrolló mediante la evaluación de las características físicas y bromatológicas, la evaluación del comportamiento pos cosecha en diferentes condiciones de almacenamiento y tipos de empaque, y la estimación de la vida útil de dos variedades de arveja en estado fresco.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Generalidades de la arveja

La arveja (*Pisum sativum* L.) es uno de los cultivos más antiguos de la humanidad, hay evidencias del consumo de arvejas silvestres unos 10.000 años A.C., pertenece a la familia de las leguminosas, es muy apreciada y valorada por su calidad nutricional y el aporte a la salud de los consumidores, se consume fresca y también en estado seco (FENALCE, 2010).

Es una leguminosa herbácea, pertenece a la familia *Fabaceae* o *leguminoseae*, subfamilia *Papilionoideae*, género *Pisum*, especie *sativum*, que se da en climas templados, templado frío y húmedo (FENALCE, 2010; Sañudo, Checa y Arteaga, 1999). Según Perales *et al.* (2009), la arveja, junto con el fríjol y el haba son las especies de legumbres de mayor importancia en el mundo.

En Colombia la producción se concentra en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Nariño y Tolima (Zamorano, López y Alzate, 2008), siendo el mayor productor Nariño, con una participación del 55,2% (Latorre, Mejía y Osorio, 2016), la diversidad es amplia, con un gran número de variedades que se han mejorado por rendimiento y por calidad del producto fresco o como materia prima para la agroindustria (Ligarreto y Ospina, 2009); las variedades más sembradas en el país son: Santa Isabel, Piquinegra, Guatecana, Sindamanoy, San Isidro y Obonuco Andina (FENALCE, 2010).

Sin embargo, en el año 2012, el grupo de investigación Cultivos Andinos de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño (Pasto - Colombia), evaluaron 20 líneas, proporcionadas por la Universidad Nacional de Colombia y el programa de recursos genéticos de CORPOICA La Selva (Valencia, Timaná y Checa, 2012). El resultado de la evaluación en campo arrojó que la línea UN 7143-3 y UN 7325 fueron aptas agronómicamente para el departamento de

Nariño, constituyéndose en dos nuevas variedades mejoradas (Sureña y Alcalá); superiores en calidad comercial y productividad a las mencionadas (Diaz *et al.*, 2014).

1.1.1 Composición química

Varios autores reportan que la arveja (*Pisum sativum* L.) es fuente importante de proteínas, carbohidratos y vitaminas (Barac *et al.*, 2010; Yalçın, Özarlan y Akbaş, 2007). Sin embargo, su composición química puede variar de acuerdo al estado en el que se encuentre. En la tabla 1, se muestra los cambios en la composición química de la arveja en estado fresco y seco.

Tabla 1.

Composición química de arveja por cada 100 g de porción comestible, en diferentes condiciones.

Característica	**Grano fresco	*Grano seco
Energía (Kcal)	383.20	341.00
Agua (g)	62.48	11.27
Proteína (g)	8.37	24.55
Carbohidratos (g)	24.28	60.37
Fibra (g)	3.17	25.50
Grasa (g)	0.55	1.16
Ceniza (g)	1.15	2.65
Calcio (mg)	23.00	55.00
Fosforo	103.80	366
Hierro (mg)	1.40	4.43
Vitamina C (mg)	18.20	2.00
Tiamina (mg)	0.24	0.73

Característica	**Grano fresco	*Grano seco
Riboflavina (mg)	0.12	0.22
Niacina (mg)	2.00	2.89
Vitamina A (mg)	0.36	0.007
Colesterol (mg)	0.00	0.00
Zinc (mg)	1.10	3.01
Potasio (mg)	1583.00	9 61.00
Sodio (mg)	3.70	15.00
Magnesio (mg)	32.00	115.00
Fracción comestible (%)	1.00	1.00

Fuente: *(Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, 2012); **(Betancourth y Montenegro, 2004).

1.1.2 Variedades de Arveja

En el departamento de Nariño se destacan las variedades tales como: ICA CORPOICA Sindamanoy, San Isidro, Obonuco Sindamanoy, Alcalá, Obonuco Andina y Sureña, las cuales se han venido introduciendo a las zonas productoras a través de los años, como resultado de los procesos de mejoramiento genético de la especie, por lo tanto, para la investigación se consideraron dos de estas variedades: Sureña y Obonuco Andina.

1.1.2.1 Variedad Obonuco Andina

Es un producto tecnológico colombiano de gran aceptación por su intensidad de color, brillo, tamaño y forma de grano además de su textura suave. Obtenido por el cruzamiento entre líneas L-48 y EE.UU, y reconocida como línea experimental OBO-AR-018, y en el año 2006 como variedad. Se adapta a la subregión natural Andina, a una altitud entre los 2600 a los 2900 msnm, presentó un rendimiento experimental de 1848,7 kg ha⁻¹ en grano seco y 3436,1 kg ha⁻¹ en vaina

verde, su ciclo de vida de emergencia a cosecha en grano verde es de 128 días y a grano seco de 155 días, se caracteriza por tener un habito de crecimiento voluble, una altura de planta de 151 cm, color de flor blanca, color de hoja verde azulado y color de vaina verde, las vainas presentan una longitud de 7,4 cm, ancho de 1,8 cm, 6 granos por vaina, y 19 vainas por planta. La semilla es redonda y lisa, de color verde con hilum blanco (Resolución ICA 002620, 2006).

1.1.2.2 Variedad Sureña

Surgió a partir del cruce entre las variedades San Isidro y Santa Isabel como alternativa para los productores Nariñenses gracias a un proceso de selección participativa por parte de la Universidad de Nariño a través de un trabajo conjunto entre la Facultad de Ciencias Agrarias y agricultores del sur del departamento a partir de cruzamientos realizados en la Universidad Nacional sede Bogotá. Se adapta a la subregión Andina, a alturas mayores a 2200 msnm, presentó un rendimiento experimental de 14990 kg ha⁻¹ en vaina verde, su ciclo de vida de emergencia a cosecha en grano verde es de 125 días y a grano seco de 147 días, se caracteriza por tener un habito de crecimiento voluble, una altura de planta de 146 cm, color de flor blanca, color de hoja y vaina verde, las vainas presentan una longitud de 8,49 cm, 6 granos por vaina, y 53 vainas por planta. La semilla es ligeramente ovalada, de color verde con hillium blanco y mancha crema junto al hillium (Resolución ICA 001249, 2012).

1.1.2.3 Cosecha y pos cosecha

La cosecha de la arveja se hace en verde y en seco, para ambos casos se recomienda realizar la recolección en días secos. Para la cosecha en verde se deben hacer dos a tres pases en el cultivo recolectando únicamente las vainas que han alcanzado su llenado total, pero que tengan un color verde y al apretarlas con los dedos ofrezcan resistencia. La cosecha en seco se hace cuando se observe más de un 90% de vainas secas y haya peligro de desgrane o cuando las vainas se hagan demasiado fibrosas. Las plantas se arrancan en su totalidad y se llevan a un lugar protegido de

lluvias en donde se recomienda sacar las vainas verdes y pintonas haciendo un secado artificial de estas últimas (Sañudo, Checa y Arteaga, 1999).

Flores y Ruiz (2010), mencionan que en el periodo de pos cosecha, la recolección somete a los productos vegetales a un estrés que determina cambios esenciales en el metabolismo y por ende cambios bioquímicos y fisiológicos, reflejados en las características del producto. Las frutas y hortalizas son estructuras vivas que después de la recolección continúan desarrollando sus procesos metabólicos y manteniendo sus sistemas fisiológicos, toman oxígeno del aire y desprenden dióxido de carbono, agua, sustancias volátiles y calor, tras la recolección continúan respirando y transpirando; y como han perdido su fuente de agua, productos de la fotosíntesis y minerales dependen de sus reservas alimenticias y de su contenido de agua, esta actividad fisiológica puede conducir a la disminución de su calidad o en otros casos alcanzar su grado de maduración (Flores y Ruiz, 2010).

1.1.3 Manejo pos cosecha

El interés por tratar estos temas radica en las pérdidas físicas y de calidad de los productos que se dan en esta fase, por lo que es necesario conocer y determinar los aspectos críticos que se evidencian con relación a la provisión manejo y distribución de los productos, en este caso los granos. El tratamiento que se realiza al producto cosechado es el desgrane, clasificación y embalaje, utilizando herramientas convencionales e insumos como agua, químicos, plásticos, costales y bandejas (Díaz, 2014).

La evaluación y monitoreo de la calidad de frutas y vegetales durante la etapa pre y pos cosecha resulta de gran importancia para el manejo y toma de decisiones adecuadas, como determinar índices que permitan establecer un estándar de un punto óptimo de cosecha para nuevas variedades de arveja, además de conocer su comportamiento en fresco y posibilidades de transformación agroindustrial.

El grado de madurez al momento de la cosecha, es un factor de primera importancia, debido a que de él depende principalmente la palatabilidad y aceptación del producto por el consumidor, además de la duración de almacenamiento (Gonzalo y Zoffoli, 1989).

Las hortalizas cosechadas son organismos vivos en los cuales se presenta una actividad metabólica elevada propia de los tejidos inmaduros, en crecimiento activo o de órganos vegetativos. Salvo algunas excepciones, las hortalizas tienen escasas sustancias de reserva, son altamente sensibles a los daños mecánicos ocasionados por inadecuadas prácticas de manipulación y a las condiciones ambientales, especialmente, las altas temperaturas, la baja humedad relativa, la concentración de etileno en la atmósfera y la presencia de patógenos (CORPOICA, 2002).

1.2 Fundamentos teóricos

1.2.1 Análisis proximal o bromatológico

El análisis de Weende es el más conocido y, si bien posee una utilidad relativa, en algunos aspectos no ha podido ser mejorado. El método fue ideado en la estación experimental de Weende (Alemania) en 1867 y consiste en separar, a partir de la materia seca (MS) de la muestra, una serie de fracciones que presentan unas ciertas características comunes de solubilidad o insolubilidad en diferentes reactivos. Con este método se obtienen cinco principios nutritivos brutos que incluyen los siguientes compuestos (Ramos, 2013):

- ✓ *Cenizas (Cnz)*: Materiales inorgánicos en general.
- ✓ *Proteína bruta (PB)*: Proteínas, péptidos, aminoácidos, bases nitrogenadas, amidas, nitrógeno vitamínico.
- ✓ *Extracto etéreo (EE) o Grasa bruta (GB)*: Grasas, ceras, resinas, lípidos complejos, pigmentos, vitaminas liposolubles.
- ✓ *Fibra bruta (FB)*: Celulosa, hemicelulosa, lignina insoluble, cutina.

- ✓ *Sustancias Extractivas Libres de Nitrógeno (SELN, MELN, ELN):* Almidón, glucógeno, azúcares, celulosa, hemicelulosa, lignina, pectinas, pigmentos, ácidos grasos de bajo peso molecular, vitaminas hidrosolubles.

Las cuatro primeras fracciones (Cnz, PB, FB, EE) se obtienen a partir de análisis específicos, mientras que la quinta (ELN) se calcula restando al porcentaje de MS las cuatro primeras fracciones (Ramos, 2013).

1.2.2 Características físicas y pos cosecha

1.2.2.1 Actividad de agua

Parámetro adimensional que es definido como la relación entre la presión de vapor de agua en el alimento (debido a la humedad contenida en este) con respecto a la presión de vapor de agua saturado a la misma temperatura. Este parámetro puede variar entre 0 y 1, y es una medida indirecta del agua disponible en un producto para participar en las reacciones químicas, enzimáticas y microbiológicas; es decir que toma en cuenta las interacciones del agua con otros componentes de un alimento (Jovanovic, 2013).

1.2.2.2 Clorofila

Uno de los parámetros más importantes en la calidad de un alimento es su color, el cual está relacionado con la presencia de pigmentos en los tejidos. Uno de los compuestos responsables del color en los alimentos es la clorofila, relacionada al color verde en los vegetales (Shmalko *et al.*, 2003). Las clorofilas son compuestos solubles en solventes no polares y se localizan, formando complejos pigmento-proteína, en la fase lipídicas de las membranas de los cloroplastos que habitualmente se determinan por métodos espectrofotométricos en solventes orgánicos (Mckinney, 1941). La estructura química de la molécula de clorofila es compleja y se altera fácilmente por diferentes agentes físicos y químicos (Garza, 2002).

1.2.2.3 Firmeza

La firmeza es un atributo de la textura de las frutas y vegetales que está relacionada con el punto de cosecha, la calidad para su comercialización y el procesamiento. Este atributo está ligado con los cambios fisicoquímicos y estructurales del material biológico. Se define la firmeza de un material como la fuerza necesaria para romper los tejidos carnosos, y está vinculada con los diferentes estados durante el proceso de maduración (Ospina, Ciro y Aristizábal, 2007; Zapata *et al.*, 2010).

1.2.2.4 Índice de Color

El Índice de Color describe la coloración de la epidermis de la fruta y hortaliza, permitiendo seguir la evolución de la maduración y para ello devuelve tres parámetros L^* , a^* , b^* , siguiendo el estándar de iluminación de la escala espectral, donde L^* describe la luminosidad y a^* , b^* , evalúan la saturación que da la pureza del color y el tono es el color propiamente (García *et al.*, 2011).

El IC^* por sus características de variación puede utilizarse como variable de control de la calidad fisicoquímica de alimentos (Vignoni *et al.*, 2006):

- Si el IC^* está entre -40 a -20, su valor relaciona los colores que van desde el azul-violeta al verde profundo.
- Si el IC^* está entre -20 a -2, su valor relaciona los colores que van del verde profundo al verde amarillento.
- Si el IC^* está entre -2 a +2, representa el amarillo verdoso.
- Si el IC^* está entre +2 a +20, se relaciona con los colores que van desde el amarillo pálido al naranja intenso.

- Si el IC* está entre +20 a +40, se relaciona con los colores que van desde el naranja intenso al rojo profundo.

1.2.2.5 Humedad

Es el agua contenida por atracción molecular a sustancias adsorbentes y es retenida por débiles fuerzas de acción capilar en espacios extracelulares. Ejerce una presión de vapor igual a la del agua pura a igual temperatura. Es el líquido que se encuentra en exceso con respecto a la humedad de equilibrio y puede retirarse con procesos como secado (Kader y Pelayo, 2011).

1.2.2.6 Peso

Es una característica importante a considerar para muchos procesos industriales y comerciales, como el empaque, secado, almacenamiento, entre otros (Salamandra, 2006).

1.2.2.7 Pérdida de peso

Las frutas y hortalizas frescas se componen principalmente de agua (80% o más) y en la etapa de crecimiento tienen un abastecimiento abundante de agua a través del sistema radicular de la planta. Con la cosecha, este abastecimiento de agua se corta y el producto debe sobrevivir de sus propias reservas. Al mismo tiempo que ocurre la respiración, el producto cosechado continúa perdiendo agua hacia la atmósfera, tal como lo hacía antes de la cosecha, por un proceso conocido como transpiración (Flores y Ruiz, 2010).

1.2.3 Empaques

El uso de bolsas de polietileno y PVC, permiten mejorar la calidad del vegetal en almacenamiento refrigerado, los cuales ejercen una acción modificadora sobre los procesos fisiológicos. Son empaques casi impermeables al vapor de agua, que permiten, dependiendo del calibre, un intercambio gaseoso (Castro *et al.*, 2003).

1.2.4 Características de calidad y vida útil

La calidad es un conjunto de propiedades que influye en el grado de aceptación de un alimento por el consumidor. Debido a la naturaleza de los alimentos como sistemas biológicos y físico-químicamente activos, su calidad es un estado dinámico continuo hacia menores niveles. Por lo tanto, para cada alimento existe un tiempo finito, después de su producción, durante el cual el producto mantendrá el nivel requerido de calidad y de seguridad, bajo determinadas condiciones de almacenamiento, este periodo se define como vida de anaquel. El momento en que un alimento es considerado inadecuado para ser consumido, se dice que ha alcanzado el fin de su vida de anaquel. No obstante, la determinación de este punto presenta dificultades en los diferentes tipos de productos, dada la diversidad de factores que intervienen en el deterioro (Salinas-Hernández *et al.*, 2007).

Algunas características que hacen parte de este concepto son: sabor, textura, apariencia, inocuidad, nutrición y funcionalidad. En consecuencia se cuenta con cuatro tipos de estabilidad para determinar la vida útil de los alimentos, los cuales son: microbiológicos, químicos, físicos y sensoriales (Anzueto, 2012).

Algunos índices de deterioro de los alimentos con su forma de medición se presentan a continuación:

Índice de deterioro	Forma de evaluación
Características sensoriales anómalas	Evaluación sensorial mediante panel de catadores
Variación del color	Determinación cuantitativa de pigmentos
Presencia de microorganismos	Determinaciones cuantitativas
Disminución del contenido de vitamina C	Determinaciones cuantitativas
Lipólisis	Detección sensorial

Fuente: (Salinas-Hernández *et al.*, 2007)

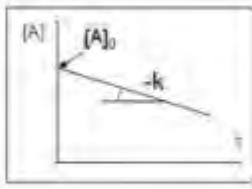
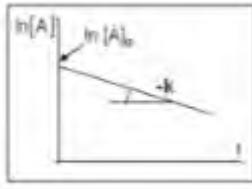
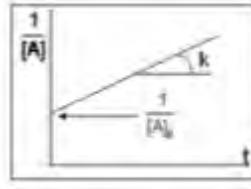
1.2.4.1 Ecuaciones de Vida Útil

La vida útil de un producto depende de diversos factores como: ambientales, humedad, temperatura de almacenamiento, procesos, calidad de la materia prima, entre otros (García, Chacón y Molina, 2011). Cuyos cambios pueden ser representados a través de ecuaciones que muestran la cinética de degradación de atributos de calidad.

En general, la pérdida de la calidad de un alimento se representa de la siguiente forma: $-dQ/dt = KQ^n$; Dónde: dQ/dt es la proporción de cambio de Q en función del tiempo, Q es el factor medido, t el tiempo, K es la constante dependiente de la temperatura y n es el orden de reacción (Hough y Fiszman, 2005).

1.2.4.2 Cinética de orden cero, primero y segundo

Si en la ecuación $-dQ/dt = KQ^n$, se reemplaza con cada orden de reacción (0, 1 y 2), se resuelven las ecuaciones, y se obtiene las siguientes expresiones:

Orden de reacción	$n = 0$	$n = 1$	$n = 2$
Ecuación	$dQ/dt = -K$	$dQ/dt = -KQ$	$dQ/dt = -KQ^2$
Ecuación cinética	$Q = Q_0 - Kt$	$\ln Q = \ln Q_0 - Kt$	$1/Q = 1/Q_0 + Kt$
Representación gráfica			

Fuente: (Atarés, 2009).

Donde:

Q = atributo de calidad a tiempo t ,

Q_0 = atributo de calidad a tiempo cero,

K = constante de velocidad de reacción, y

T = tiempo de almacenamiento.

En la cinética de orden cero, se considera que la variación de la proporción (dQ/dt) es independiente de la concentración de los reactivos (Garza, 2002), y al representar gráficamente el atributo de calidad en función del tiempo se obtiene una línea recta. Si se representa el logaritmo del atributo de calidad respecto al tiempo, se obtiene una línea recta, la reacción es de primer orden, en donde la variación de la proporción depende directamente a la concentración (Piergiovanni y Limbo, 2010).

Por último, si la variación de la proporción depende del producto de dos reactivos o el cuadrado de uno, se representa mediante una cinética de segundo orden, y al graficar el inverso del atributo respecto al tiempo se obtiene una línea recta (Hough y Fiszman, 2005). En la figura 1 se define el comportamiento para cada orden de reacción.

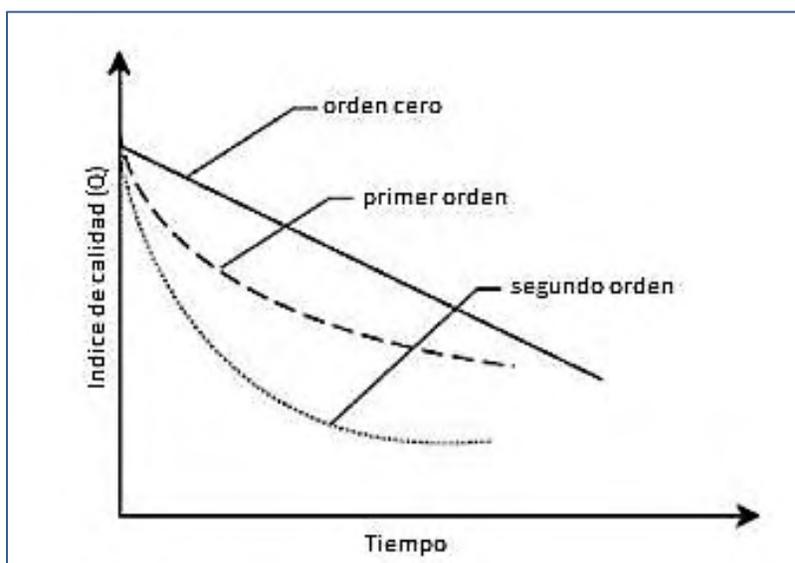


Figura 1. Variación de un índice de calidad en función del tiempo, de acuerdo con la cinética de orden cero, primero y segundo.

Fuente: (Piergiovanni y Limbo, 2010).

1.2.4.3 Ecuación de Arrhenius

Es una expresión matemática que se utiliza para comprobar la dependencia de la constante cinética respecto a la temperatura y a la energía de activación, de acuerdo con la expresión:

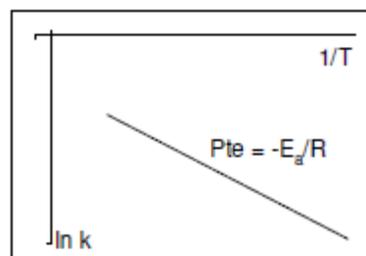
Ecuación de Arrhenius

$$K = A * e^{-E_a/RT}$$

Ecuación de Arrhenius linealizada

$$\ln K = \ln A - \frac{E_a}{R} * \frac{1}{T}$$

Representación gráfica



Fuente: (Atarés, 2009).

Donde:

K = constante cinética (dependiente de la temperatura),

A = factor preexponencial o factor de frecuencia,

E_a = energía de activación, expresada en J mol⁻¹,

R = constante universal de los gases (8,3143 JK⁻¹mol⁻¹)

T = temperatura en Kelvin

En esta ecuación se debe tener en cuenta; a) La energía de activación (E_a) que está relacionada con la barrera de energía que deben superar los reactivos para transformarse en productos, por lo que un valor elevado de la misma provoca un valor reducido de K. b) El factor preexponencial o factor de frecuencia (A) tiene las mismas unidades que K (Atarés, 2009).

1.3 Antecedentes del tema

Se han realizado algunas investigaciones en cuanto a prolongar la vida útil de arveja, tal como lo reportan los siguientes autores:

Pariasca *et al.* (2000), determinaron el efecto del pre tratamiento y el tipo de envasado en atmosfera (controlada y modificada) en películas de polimetilpenteno, en el almacenamiento de arveja a 5°C. Obteniendo como resultado el mantenimiento de las características de calidad en vainas y granos.

Martins y Silva (2002), modelaron las pérdidas de color y clorofila en judías verdes congeladas, las cuales fueron estudiadas durante 250 días almacenadas a -7, -15 y -30°C. Los efectos de la temperatura se describieron por la ley de Arrhenius, los resultados mostraron que el color es el parámetro más importante para evaluar la calidad visual de las judías.

Los mismos autores en el (2004), cuantificaron la cinética de pérdida de calidad de judías verdes almacenadas en congelación, mediante simulaciones computarizadas, con los datos obtenidos de ácido ascórbico, vitamina C y sabor, se estimaron los parámetros cinéticos mediante análisis de regresión. Se concluye que las fluctuaciones de temperatura dentro del congelador influyen en la exactitud de las estimaciones cinéticas, sin embargo, las metodologías de simulación computarizada se pueden aplicar a alimentos congelados.

Lin y Brewer (2005), evaluaron el efecto del escaldado (vapor, agua hirviendo y microondas) previo a la congelación de arvejas. Realizaron lecturas de humedad, ácido ascórbico, actividad enzimática de peroxidasa, color y características sensoriales, a las 0, 6 y 12 semanas. Todos los pre tratamientos mostraron una reducción de la actividad de peroxidasa en un 97%; el escaldado por vapor presento menores pérdidas de ácido ascórbico respecto a los otros métodos; el escaldado por microondas evidenció oscurecimiento de los granos, pero presentó una mejor apariencia de los granos.

Rojano (2006), utilizó atmósferas modificadas con el objeto de conservar e incrementar la vida útil de arveja fresca, determinando el efecto del tipo de desinfectante, embalaje y temperatura de almacenamiento sobre características físicas y organolépticas tales como; pH, °Brix, color, olor, textura de la arveja durante el almacenamiento. Obteniendo como resultado que la modificación de la atmósfera de almacenamiento mostró un retardo en los cambios bioquímicos y fisiológicos relacionados con la senescencia.

Serpen *et al.* (2006), midieron la cinética de degradación de vitamina C en arvejas escaldadas y no escaldadas, almacenadas en congelación a -18°C durante 12 meses. El resultado mostró que el escaldado produjo una reducción del 19% en la tasa de degradación de aminoácidos. Esto significa que el tratamiento térmico logró disminuir el ritmo de pérdida de vitamina C, concluyendo que el blanqueamiento es una etapa necesaria para el proceso.

Garrote *et al.* (2006), estudiaron los cambios de ácido ascórbico y color superficial de arveja enlatada, usando la metodología de superficie de respuesta, teniendo como factores la temperatura de esterilización (110, 120 y 130°C), velocidad de agitación (5,10 y 15 rpm) y espacio de cabeza (4, 8 y 12 mm). Los resultados mostraron que los mejores valores de retención de ácido ascórbico y color superficial de la arveja se obtuvieron a altas temperaturas.

Belalcazar (2007), determinó el efecto del empacado al vacío en arvejas frescas y escaldadas almacenadas en refrigeración y al ambiente, sobre el color, estado de cierre del empaque, signos de deterioro y procesos de respiración, donde la combinación de envasado al vacío y refrigeración prolonga por más tiempo las características del producto.

Martínez (2007), determinó el efecto del almacenamiento refrigerado (5°C) y tratamientos (coberturas plásticas y películas comestibles) en la duración de la vida pos cosecha de vainas de arveja tipo Sugar Snap, sobre parámetros de color, firmeza, pérdida de peso y duración. Como

resultado obtuvo que las coberturas plásticas fueron más efectivas en la duración y la conservación de la calidad de las vainas de arveja.

Hajare *et al.* (2007), evaluaron el efecto de la radiación durante un periodo de 12 días a dos temperaturas de almacenamiento (4 y 8°C), sobre parámetros como el contenido de vitamina C y carotenoides, textura, color y calidad sensorial, en arveja y judía, concluyendo que la irradiación, el periodo de almacenamiento y la temperatura, no tuvieron efecto significativo en los parámetros evaluados.

Erge *et al.* (2008), realizaron cinéticas de degradación de clorofila y pérdida de color visual en arvejas tratadas térmicamente a 70, 80, 90 y 100°C. Los resultados mostraron modelos cinéticos de orden uno para ambas variables.

Flores y Ruiz (2010), determinaron la influencia del tiempo de escaldado, presión de empacado y grado de madurez del grano en la conservación de arveja, mediante un diseño completamente al azar (DCA) con un arreglo factorial $A \times B \times C$, donde A correspondió al grado de madurez del grano, B al tiempo de escaldado y C a la presión de empacado, las variables evaluadas fueron: color, olor, sabor textura y preferencia del producto. El tratamiento que conservó por mayor tiempo (22 días) las características de la arveja fue con madurez fisiológica, tiempo de escaldado de 10 min y presión de empacado de 5 mbar.

Osorio, Arango y Hurtado (2012), estudiaron el efecto de aplicar radiación ultravioleta en arveja fresca para evitar la germinación y mantener la calidad del producto en su etapa de pos cosecha, concluyendo que esta tecnología es una alternativa viable y económica para el control de la germinación de productos agrícolas.

Elwan *et al.* (2015), investigaron la aplicación de atmósferas modificadas en arveja en vaina envasada en varios tipos de empaque microperforados con diferentes permeabilidades, encontrando que dentro de las atmosferas se mantiene la calidad durante el almacenamiento,

conservando características de calidad visual, firmeza, frescura y sabor, así como también, contenidos de clorofila, vitamina C y azúcares.

Vallejo y Velasco (2015), evaluaron el efecto del envasado en atmósferas modificada sobre algunas propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales en arveja, obteniendo como resultado que el tiempo de vida útil puede ser estimado por el parámetro color como factor de aceptabilidad por parte del consumidor a una temperatura de almacenamiento en refrigeración.

Świeca y Gawlik-Dziki (2015), determinaron el efecto de la germinación y el almacenamiento a temperatura de congelación (-20°C) sobre los compuestos fenólicos, la capacidad antioxidante y el contenido de almidón en arvejas, lentejas y judías, concluyendo que el almacenamiento pos cosecha mejora la digestibilidad del almidón e incrementa la capacidad antiradical en los brotes de arveja, sin embargo, la calidad nutricional de las legumbres es afectada por el almacenamiento a bajas temperaturas.

Andrade *et al.* (2016), evaluaron la viabilidad del uso de un recubrimiento para la conservación de arveja, sobre variables como intensidad respiratoria, pérdida de peso, índice de color y firmeza, en tres condiciones de almacenamiento (4 , 18 y 30°C) por 5 días. Mostrando que las muestras recubiertas conservan mejor el color y presentaron pérdidas de peso menores que las arvejas sin recubrimiento.

El-hamahmy, ElSayed y Odero (2017), evaluaron el efecto de tres tratamientos (recubrimiento de quitosano, inmersión en ácido giberélico y en agua caliente), sobre la calidad y el tiempo de vida útil de la arveja almacenada a 4°C por 35 días, concluyendo que los tratamientos de recubrimiento y ácido giberélico, pueden mantener efectivamente las características sensoriales y prolongar la vida útil pos cosecha de la arveja.

2. METODOLOGÍA

2.1 Localización

La investigación se llevó a cabo en el laboratorio de Investigación en Conservación y Calidad de Alimentos de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad de Nariño sede Torobajo, Pasto (Nariño). Altura 2527 msnm, con una temperatura media de 14°C.

2.2 Material vegetal

La materia prima que se utilizó en la investigación fue arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Sureña y Obonuco Andina en grano verde fresco (Imagen 1). La recolección de las variedades se realizó en el Centro Agropecuario del SENA Regional Nariño, ubicado a 2650 msnm con una temperatura promedio de 13°C y una precipitación promedio anual de 700 mm. Posterior a su cosecha se procedió a desgranar y empacar en bolsas de un kilo para su posterior análisis.



Imagen 1. Variedades de arveja utilizadas en esta investigación.

Fuente: Esta Investigación.

2.3 Operaciones preliminares

Para la evaluación de los aspectos pos cosecha se tuvo en cuenta el diagrama de flujo de proceso (Figura 2) que se realizó hasta el almacenamiento de las arvejas frescas empacadas.

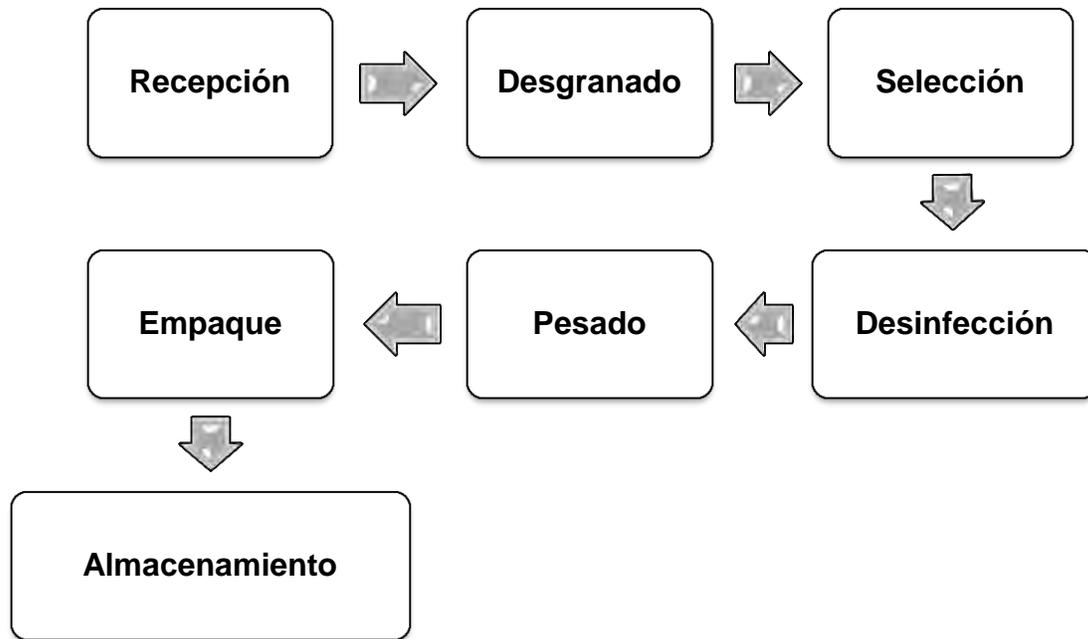


Figura 2. Diagrama de flujo de proceso de la preparación de la muestra.

Fuente: Esta Investigación.

Tras la cosecha y la recepción de las variedades de arveja, se desgranó y se seleccionaron los granos que cumplieron los requerimientos de calidad necesarios para su procesamiento, es decir, que no presentaron impurezas ni granos dañados (ICONTEC, 2002). Posteriormente, se lavaron en una solución a una concentración de 50 ppm (mL/dm^3) con hipoclorito de sodio al 5,25%, con el fin de remover impurezas y minimizar la carga microbiana, se eliminó el exceso de agua.

Se utilizaron tres tipos de empaque, bolsa de polietileno de baja densidad, envase plástico rígido perforado en la tapa referencia AL 114 y bandeja de poliestireno con papel vinipel termoencogible (Imagen 2), cada empaque con una capacidad de 250 g, en los cuales se empaquetaron aproximadamente 220 g de arveja en grano fresco.

Se almacenaron en tres temperaturas 0°C , 4°C y 18°C , por un tiempo de 25 días o hasta que las arvejas presenten mal aspecto en cuanto a su calidad, olores fuertes, presencia de hongos, exudación excesiva, y brotación.



Imagen 2. Empaques utilizados para la evaluación del comportamiento pos cosecha en arveja.

Fuente: Esta Investigación.

2.4 Diseño experimental

Para la evaluación de las características físicas y bromatológicas se utilizó un Diseño Irrestringidamente al Azar (DIA), teniendo como único factor las variedades de arveja, Sureña y Obonuco Andina, para un total de dos tratamientos y cinco repeticiones (Tabla 2).

Tabla 2.

Descripción de los tratamientos para la evaluación de las características físicas y bromatológicas en arveja (Pisum sativum L.).

Tratamiento	Descripción
1	Variedad Obonuco Andina
2	Variedad Sureña

Fuente: Esta Investigación.

El modelo matemático que representa el diseño estadístico es:

$$Y = \mu + X_1 + e$$

En donde:

Y = Variable de respuesta

μ = Media general del experimento

X = Efecto del factor

e = Error experimental asociado al efecto del factor

En el caso de la evaluación del comportamiento de pos cosecha se aplicó un diseño irrestrictamente al azar (DIA) con arreglo trifactorial 3x3x2, donde el factor uno correspondió al tipo de empaque, con tres niveles, así: bolsa, rígido perforado y bandeja; el factor dos estuvo definido por la temperatura de almacenamiento, cuyos niveles fueron 0°C, 4°C y 18°C y el factor tres estuvo conformado por las variedades de arveja, con sus dos niveles, Sureña y Obonuco Andina, para un total de 18 tratamientos con 5 repeticiones (Tabla 3), se contó con 90 unidades experimentales cuyo peso fue de aproximadamente 220 g cada una, siendo el tamaño de la muestra de 19,8 kg.

Tabla 3.

Descripción de los tratamientos para la evaluación del comportamiento pos cosecha en arveja (*Pisum stivum L.*).

Tratamiento	Descripción		
	Empaque	Temperatura	Variedad
1	Bolsa	0°C	Sureña
2	Rígido	0°C	Sureña
3	Bandeja	0°C	Sureña
4	Bolsa	4°C	Sureña
5	Rígido	4°C	Sureña
6	Bandeja	4°C	Sureña
7	Bolsa	18°C	Sureña

8	Rígido	18°C	Sureña
9	Bandeja	18°C	Sureña
10	Bolsa	0°C	Andina
11	Rígido	0°C	Andina
12	Bandeja	0°C	Andina
13	Bolsa	4°C	Andina
14	Rígido	4°C	Andina
15	Bandeja	4°C	Andina
16	Bolsa	18°C	Andina
17	Rígido	18°C	Andina
18	Bandeja	18°C	Andina

Fuente: Esta Investigación.

El modelo matemático que representa el diseño estadístico es:

$$Y = \mu + X_1 + X_2 + X_3 + X_1X_2 + X_1X_3 + X_2X_3 + X_1X_2X_3 + e$$

En donde:

Y = Variable de respuesta según efecto de cada factor

μ = Media general del experimento

X = Efecto de cada factor 1 (empaquete), 2 (temperatura) y 3 (variedad), y sus interacciones.

e = Error experimental asociado al efecto de cada factor

En lo que concierne a la estimación de vida útil, los parámetros cinéticos se obtuvieron a partir de los datos experimentales mediante regresión lineal a cada uno de los tratamientos descritos en la tabla 3, para luego aplicar Arrhenius.

2.5 Variables de respuesta evaluadas

2.5.1 Evaluación de características físicas y bromatológicas

2.5.1.1 Peso de mil granos en fresco

Se determinó por medio de una balanza analítica marca OHAUS (Imagen 3), pesando 100 granos y extrapolando el resultado a 1000 granos (Ordoñez *et al.*, 2012).

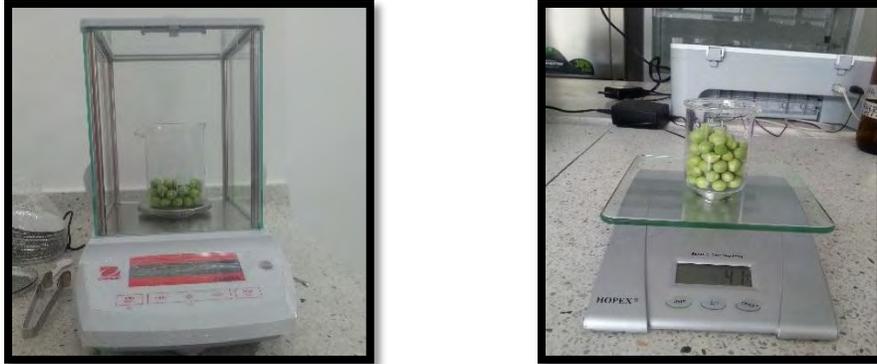


Imagen 3. Peso de granos de arveja.

Fuente: Esta Investigación.

2.5.1.2 Esfericidad

Para determinar la esfericidad (Φ), se tomaron arvejas y se midieron sus respectivas dimensiones; diámetro polar (L), diámetro ecuatorial (W) y espesor (T) (Yalçın, Özarlan y Akbaş, 2007), para ello se usó un calibrador pie de rey (Imagen 4) y la ecuación 1:

$$\Phi = \frac{(LWT)^{1/3}}{L} \quad (\text{Ec. 1})$$



Imagen 4. Medición de esfericidad.

Fuente: Esta Investigación.

2.5.1.3 Densidad aparente

Se determinó mediante la prueba de peso estándar, utilizando una probeta de 250 mL, en la cual se dejó caer arvejas a velocidad constante desde una altura de 10 cm tomada desde la abertura de la probeta, este proceso se realizó hasta alcanzar la línea que representa los 200 mL. La masa de las arvejas contenidas en el recipiente se dividió entre el volumen del cilindro representado por la probeta (Imagen 5), como resultado la densidad aparente se calculó por la ecuación 2 (Singh y Goswami, 2000).

$$\rho_b = \frac{M_{rl} - M_{rv}}{V_r} \quad (\text{Ec. 2})$$

Dónde: M_{rl} = Masa del recipiente lleno; M_{rv} = Masa del recipiente vacío; V_r = Volumen del recipiente



Imagen 5. Determinación de densidad aparente.

Fuente: Esta Investigación.

2.5.1.4 Características bromatológicas

La caracterización del material fresco se realizó mediante métodos descritos para el análisis químico de alimentos del laboratorio de bromatología de la Universidad de Nariño, basado en las técnicas de la AOAC (1997) y el método de análisis de alimentos propuesto por Bernal (1998) determinando:

- ✓ **Humedad:** Se determinó por el método de secado en dos pasos, un secado parcial a 65°C, seguido de un secado total a 105°C, mediante el análisis de Weende.
- ✓ **Cenizas:** Se evaluó por el método de incineración en mufla, en el que la materia orgánica se quemó y la materia inorgánica remanente se enfrió y pesó.
- ✓ **Extracto etéreo:** Se realizó por medio del método Soxhlet, sobre el cual se cuantificó el porcentaje de grasa presente en una muestra determinada.
- ✓ **Fibra cruda:** El método empleado para la determinación consistió en efectuar dos digestiones. La primera con ácido sulfúrico y la segunda con hidróxido de sodio. La finalidad del método busca eliminar las proteínas, carbohidratos solubles, residuos de grasas, vitaminas y otros compuestos diferentes que interfieren en su determinación.

- ✓ **Proteína:** Se cuantificó por el método de Kjeldalh ($\% \text{ proteína} = \%N \times 6,25$), fundamentado en tres pasos: digestión de la muestra con ácido sulfúrico concentrado, en presencia de un catalizador a elevada temperatura, para transformar el nitrógeno en sulfato de amonio. La solución se alcalinizó y el amoniaco librado se destiló para su posterior titulación.
- ✓ **Extracto no nitrogenado:** Se cuantificó con el respectivo cálculo matemático.

2.5.2 Evaluación del comportamiento pos cosecha

2.5.2.1 Días a brotación

Se contaron los días a los cuales la arveja empacada presentó una ruptura de la testa en algunos de sus granos (Imagen 6).



Imagen 6. Días a brotación en arveja.

Fuente: Esta Investigación.

2.5.2.2 Firmeza

Para medir la firmeza de los granos de arveja se utilizó un texturómetro LLOYD LS1 según la metodología descrita por Zapata *et al.*, (2010). Se utilizó una punta cilíndrica de 0,46 mm de diámetro (Imagen 7) con una carga de 250 Newton (N) y velocidad de 21 mm/min. Los datos se capturaron gracias al software NEXYGEN Plus para cada ensayo.

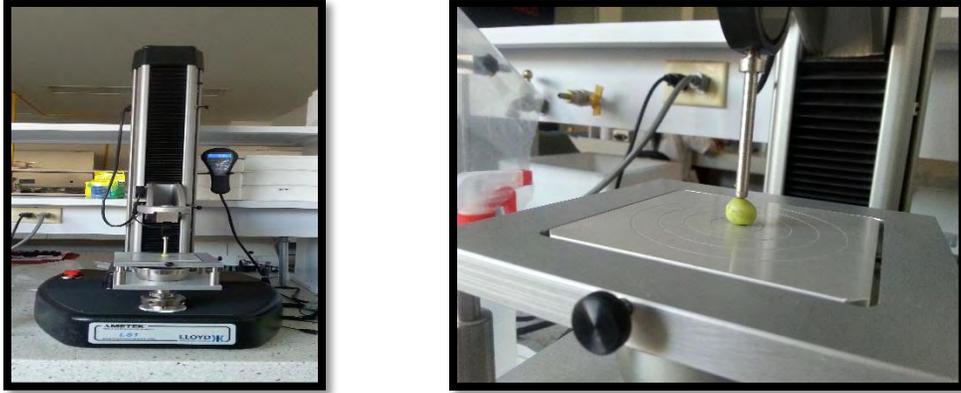


Imagen 7. Determinación de firmeza en arveja.

Fuente: Esta Investigación.

2.5.2.3 Índice de color (IC)

El color se evaluó mediante la determinación del índice de color IC en un colorímetro CM5 Konica Minolta (Imagen 8), obtenido por la ecuación 3:

$$IC = \frac{1000 * a}{L * b} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde L , a , y b son los parámetros del sistema color CIELAB. El parámetro L proporciona un valor de la Luminancia o brillo de la muestra. El parámetro a indica la zona de variación entre el rojo y el verde del espectro. El parámetro b se refiere a la zona de variación entre el amarillo y el azul del espectro (García *et al.*, 2011).



Imagen 8. Determinación del índice de color en arveja.

Fuente: Esta Investigación.

2.5.2.4 Pérdida de peso

Se determinó mediante pesaje directo con una balanza analítica marca KERN (Imagen 9) (Magaña *et al.*, 2004).



Imagen 9. Determinación de pérdida de peso en arveja.

Fuente: Esta Investigación.

2.5.2.5 Contenido de clorofila

La extracción se realizó mediante una trituración del tejido vegetal mezclado con arena reactivo y bicarbonato de magnesio, posteriormente se filtró y enrasó con solución de acetona al 80% (Pariasca *et al.*, 2000; Weemaes *et al.*, 1999). Se determinó por un control en el cambio de

absorbancia, a una longitud de onda de 663 y 645 nm en un Espectrómetro UV VIS ThermoScientific (Imagen 10) (Pariasca *et al.*, 2000).



Imagen 10. Determinación del contenido de clorofila en arveja.

Fuente: Esta Investigación.

2.5.2.6 Humedad

Se determinó por el método de secado a 105°C en una balanza de humedad marca Kern referencia DLB 160 (Imagen 11), se pesan aproximadamente 2 g de arveja para cada análisis.



Imagen 11. Determinación del porcentaje de humedad en arveja.

Fuente: Esta Investigación.

2.5.2.7 Actividad de Agua

Se determinó mediante un equipo de medición de actividad de agua marca Rotronic referencia Hygrolab C1 (Imagen 12), se pesan aproximadamente 2 g y se realiza la lectura.

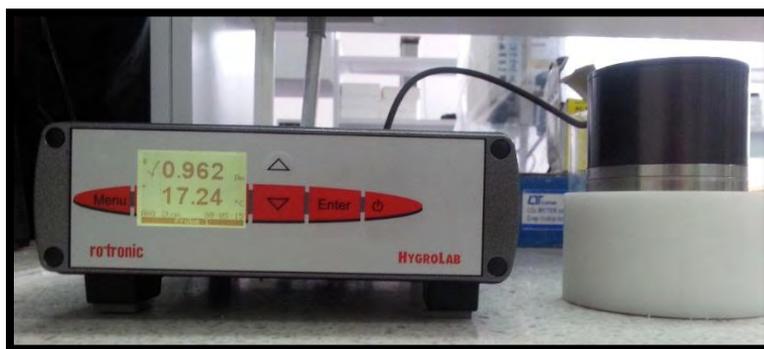


Imagen 12. Determinación de actividad de agua en arveja.

Fuente: Esta Investigación.

En las tres condiciones de almacenamiento 0°C, 4°C y 18°C, se realizaron lecturas cada dos días por 16, 25 y 30 días respectivamente, de las variables anteriormente mencionadas, en las arvejas empacadas en bolsa de polietileno de baja densidad, envase plástico rígido perforado en la tapa referencia AL 114 y bandeja de poliestireno con papel vinipel termoencogible.

Con los datos obtenidos en la experimentación, se calcularon las constantes cinéticas de velocidad de cambio en los atributos pos cosecha evaluados, de acuerdo a modelos de orden cero y primer orden (Ecuación 4 y 5).

$$\text{Orden cero} \quad Q = Q_0 \pm Kt \quad (\text{Ec. 4})$$

$$\text{Orden uno} \quad \ln Q = \ln Q_0 \pm K't \quad (\text{Ec. 5})$$

En donde Q: valor del atributo al tiempo t; K: constante de velocidad de orden cero; K': constante de velocidad de primer orden.

Se escoge el orden según el coeficiente de correlación más alto, obtenido de la linealización de las gráficas K y K', las cuales corresponden a las pendientes de cada gráfica.

2.5.2.8 Estimación de vida útil

Para comprobar la dependencia de las constantes cinéticas a la temperatura a la que se lleva a cabo los cambios de atributos, y para los cálculos de tiempo de vida útil se utilizó la metodología descrita por Baldizón, Valle y Córdoba (2011), mediante la ecuación de Arrhenius (Ecuación 6), a cada una de las variables evaluadas (firmeza, pérdida de peso, contenido de clorofila, humedad y actividad de agua) en el comportamiento pos cosecha.

$$\ln K = \ln A - \frac{E_a}{R} * \frac{1}{T} \quad (\text{Ec. 6})$$

En donde K = factor preexponencial; E_a = energía de activación de la reacción; R = constante ideal de los gases (8,314 KJ mol⁻¹ °K⁻¹); T = temperatura en Kelvin.

2.6 Análisis de la información

Se realizaron análisis de varianza mediante prueba de F (al 5% de probabilidad) para la evaluación de las características físicas, bromatológicas y del comportamiento pos cosecha (constantes cinéticas K o K'); y en el caso de diferencias estadísticas entre los tratamientos se aplicó la prueba de comparación de múltiples medias de Tukey al 95% de confianza.

Para las constantes cinéticas de velocidad y la estimación de vida útil se determinó la bondad de ajuste de los modelos utilizando los parámetros R² (coeficiente de determinación), RMSE (raíz cuadrada del error medio cuadrático) y %E (error porcentual) ecuaciones 7 y 8.

$$\text{RMSE} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (C_{cal} - C_{exp})^2}{n} \right]^{0.5} \quad (\text{Ec. 7})$$

$$\% E = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|C_{cal} - C_{exp}|n}{C_{exp}n}}{n} \cdot 100 \quad (\text{Ec. 8})$$

Dónde: C_{exp} : valor experimental; C_{cal} : valor calculado; n : número de determinaciones. Según Brousse *et al.* (2014) un buen ajuste es indicado por valores pequeños de RMSE, $\%E < 10\%$ y $R^2 > 0.85$.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Evaluación de características físicas y bromatológicas

En los análisis de varianza (Anexos 2 al 4) para las características físicas en arveja, no se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas (Tabla 4).

Tabla 4.

Cuadrado medio para características físicas de arveja (*Pisum sativum* L.) en variedad Sureña y Obonuco Andina.

FV	GL	Densidad aparente		Peso granos		Esfericidad	
		CM	P	CM	P	CM	P
Variedad	1	0,002ns	0,052	5,944ns	0,923	0,00003ns	0,800
Error	8	0,001		596,592		0,001	
Total	9						
CV (%)		0,914		3,324		2,447	

FV: Fuente de Variación, GL: Grados de Libertad, CM: Cuadrados Medios, P: Valor P, CV: Coeficiente de Variación. Fuente: Esta Investigación

Los valores de esfericidad encontrados son cercanos a los valores reportados para geometría de un cilindro 0,874 y distantes de los valores de una esfera 1,0 y un cubo 0,804 (Bayram, 2005). Así mismo, se determinó que los valores del peso de mil semillas y densidad aparente coinciden con los reportados por Cerón *et al.* (2015), para la variedad San Isidro. Según Rojas (2010), los valores bajos de densidad aparente son producto del alto contenido de humedad de las semillas, mayor al 60%, indicando que al ser la densidad del agua menor que la densidad de la semilla, la densidad de esta se acercará a la del agua. Respecto al uso de los resultados obtenidos, Ordóñez, Gely y Pagano (2012), mencionan que la densidad aparente permite determinar la capacidad de

almacenamiento y la capacidad de los sistemas de transporte, debido a que es una medida que relaciona el peso y el volumen de los granos.

Para las características bromatológicas de arveja no se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas (Tabla 5), según los análisis de varianza (Anexos 5 al 10).

Tabla 5.

Cuadrado medio para características bromatológicas de arveja (*Pisum sativum L.*) en variedad Sureña y Obonuco Andina.

FV	GL	Materia Seca		Cenizas		Extracto Etéreo	
		CM	P	CM	P	CM	P
Variedad	1	0,361ns	0,769	0,012ns	0,746	0,004ns	0,227
Error	8	3,912		0,011		0,002	
Total	9						
CV (%)		5,344		9,596		8,409	

FV	GL	Fibra Cruda		Proteína Total		Extracto No Nitrogenado	
		CM	P	CM	P	CM	P
Variedad	1	0,083ns	0,124	0,404ns	0,181	0,052ns	0,882
Error	8	0,028		0,189		2,193	
Total	9						
CV (%)		7,172		5,173		6,007	

FV: Fuente de Variación, GL: Grados de Libertad, CM: Cuadrados Medios, P: Valor P, CV: Coeficiente de Variación. Fuente: Esta Investigación

Según Polo (2012), el análisis bromatológico permite identificar la calidad nutritiva global de un alimento. Autores como Peñaranda y Molina (2011), mencionan que la arveja es una de las leguminosas con mayor cantidad de carbohidratos y proteínas por unidad de peso, destacándose como fuente importante de aminoácidos y sacarosa, debido a la concentración de los respectivos sólidos solubles totales (almidón, azúcares, pectinas y ácidos orgánicos). Además, la arveja es rica en minerales, fibras solubles, vitaminas, antioxidantes, ácido fólico y ácido ascórbico (Elhamahmy, ElSayed y Odero, 2017). Pacheco, Vergara y Ligarreto (2011), reporta que la arveja aporta 22,5 g de proteína, mientras que Ratnayake *et al.* (2001), indican que contiene entre 1,5 a 3,7 g de lípidos, valores similares a los encontrados en esta investigación.

Sin embargo, Cerón, Bucheli y Osorio (2014), mencionan que la composición bromatológica depende de factores como: la variedad, el clima, el sistema de manejo, la época, la zona de cultivo, la procedencia, forma de almacenamiento y manejo en pos cosecha. A pesar de esta afirmación, no se encontró diferencias significativas en las características evaluadas, pese a tratarse de dos variedades distintas. Por otro lado, la no diferencia entre variedades puede darse a su generación parental, debido a que las variedades de estudio pueden compartir genes en un porcentaje, ya que Sureña es resultado del cruzamiento entre Santa Isabel y San Isidro, y la variedad Obonuco Andina es media hermana de San Isidro, lo cual conlleva a que estas variedades tengan un padre en común (Resolución ICA 002620, 2006; Resolución ICA 001249, 2012).

3.2 Evaluación del comportamiento pos cosecha

3.2.1 Brotación

El análisis de varianza para las constantes cinéticas de la brotación de granos de arveja (Anexo 11) mostró diferencias estadísticas altamente significativas para los efectos simples y las interacciones, para el análisis se priorizó la interacción variedad*empaque*temperatura, lo cual

indica que tanto la variedad, como el empaque y la temperatura influyen en el comportamiento de esta variable (Tabla 6).

Tabla 6.

Cuadrados medios para brotación en arveja (*Pisum sativum* L.) bajo diferentes condiciones de almacenamiento.

	FV	GL	CM	P
Modelo		17	0,0308472**	<,0001
Variedad		1	0,0019201**	0,0001
Empaque		2	0,0025303**	0,0001
Temperatura		2	0,2479189**	0,0001
Variedad * Empaque		2	0,0004470**	0,0001
Variedad * Temperatura		2	0,0013596**	0,0001
Empaque * Temperatura		4	0,0021893**	0,0001
Variedad * Empaque * Temperatura		4	0,0023037**	0,0001
Error		72	0,0000431	
Total		89		
CV			3,243	

FV: Fuente de Variación, GL: Grados de Libertad, CM: Cuadrados Medios, P: Valor P, CV: Coeficiente de Variación, ns: no significativo, * Significativo, ** Altamente significativo. Fuente: Esta Investigación

La prueba de comparación de medias de Tukey para la interacción variedad*empaque*temperatura (Tabla 7), mostró para la variedad Obonuco Andina a la temperatura de 0°C, no diferencias significativas entre las medias de las constantes cinéticas en los empaques bolsa y rígido, pero si una diferencia de estos respecto al empaque en bandeja, el

cual presentó menos porcentaje de granos brotados en el tiempo de almacenamiento; a 4°C, se evidenció diferencias entre las medias de las constantes cinéticas de los tres empaques, y menor porcentaje de granos brotados en bolsa, rígido y bandeja respectivamente; y a 18°C, el porcentaje de brotación en los granos es menor en los empaques bandeja y bolsa, al no presentar diferencias entre las medias de las constantes cinéticas, en comparación con el empaque rígido, en el cual se presentó mayor brotación.

En la variedad Sureña se presentó similar comportamiento que la variedad Obonuco Andina a la temperatura de almacenamiento de 18°C; a 4°C, se evidenciaron diferencias entre las medias de las constantes cinéticas en los tres tipos de empaque, donde el menor porcentaje de brotación fue en el empaque rígido, seguido de bolsa y bandeja; y a la menor temperatura de almacenamiento, 0°C, las diferencias entre las medias de las constantes cinéticas fueron diferentes entre sí, en los tres tipos de empaque, siendo el que mostró menor porcentaje de granos brotados en bolsa de polietileno.

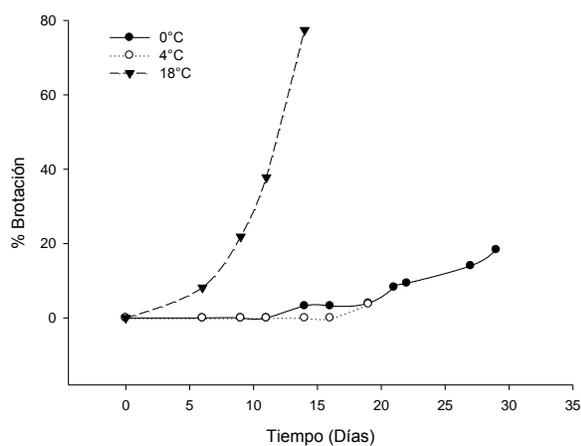
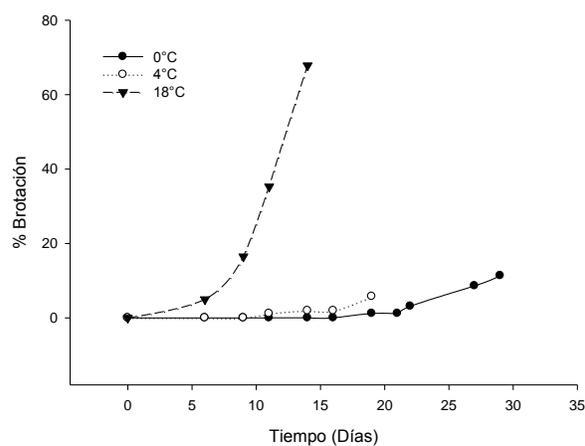
Tabla 7.

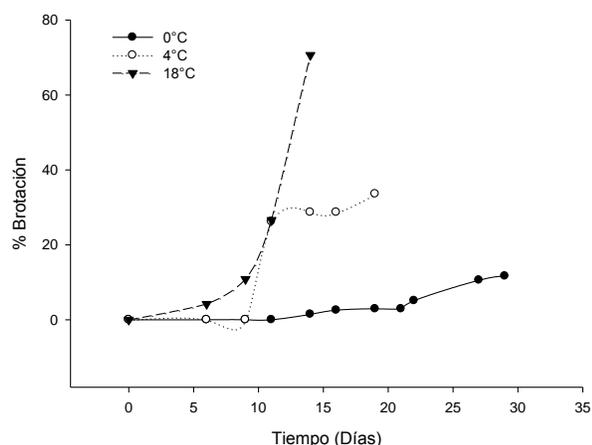
Promedios de constantes cinéticas de brotación en arveja (*Pisum sativum* L.) bajo diferentes condiciones de almacenamiento.

Variedad	Obonuco Andina			Sureña		
	0°C	4°C	18°C	0°C	4°C	18°C
Bandeja	0,1064a	0,2157c	0,2972a	0,1306b	0,1798c	0,3048a
Bolsa	0,1391b	0,1713a	0,2904a	0,0828a	0,1702b	0,2974a
Rígido	0,1474b	0,1825b	0,3121b	0,1448c	0,1555a	0,3132b

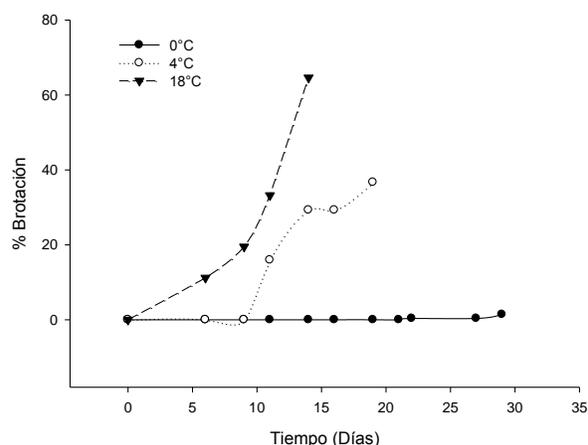
Letras diferentes en la misma columna implican diferencias entre promedios, según prueba de Tukey a un 95% de confianza. Comparador DMS = 0,00996. Fuente: esta Investigación.

En la figura 3 se muestran las cinéticas de incremento del porcentaje de granos brotados en los días de almacenamiento, bajo las tres condiciones de empaque y temperatura. Los parámetros cinéticos de las ecuaciones de orden uno para porcentaje de brotación, se muestran en el Anexo 12.

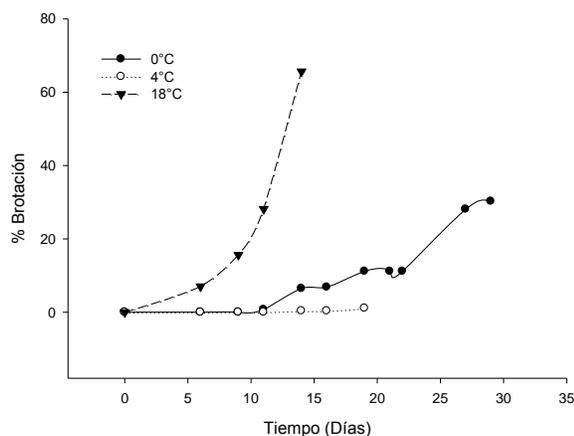
**a) Var. Sureña empaque rígido****b) Var. Andina empaque rígido**



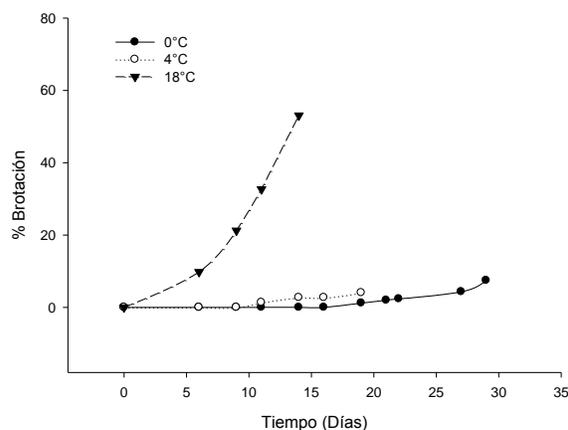
c) Var. Sureña empaque bandeja



d) Var. Andina empaque bandeja



e) Var. Sureña empaque bolsa



f) Var. Andina empaque bolsa

Figura 3. Cinética de porcentaje de brotación en arveja (*Pisum sativum* L.) variedad

Sureña y Obonuco Andina.

Fuente: Esta Investigación.

Los resultados muestran que a temperatura de 18°C se produce mayor porcentaje de granos brotados; según Davila, Sangronis y Granito (2003), y Mamilla y Mishra (2017), el tiempo y condiciones de la germinación tales como luz, temperatura y humedad favorecen el proceso. Los mismos autores mencionan que durante esta etapa (germinación) se producen diferentes cambios

en la distribución de metabolitos secundarios, movilización de las proteínas de reserva que están almacenadas en los cuerpos proteicos de los cotiledones y cambios en la composición de aminoácidos soluble.

Así mismo, Urbano *et al.* (2005), en su trabajo concluyen que periodos cortos de germinación mejora las propiedades nutricionales de la arveja, respecto a su contenido de proteína y carbohidratos, favoreciendo la ingesta de los mismos. Los brotes de arveja han ido ganando popularidad, y se han convertido en parte importante de la dieta debido a su valor nutritivo (vitaminas B1 y B2, ácido fólico, proteína y fibra), en muchas partes del mundo (Hajare *et al.*, 2007).

Świeca y Gawlik-Dziki (2015), mencionan que la germinación es un proceso muy dinámico, que provoca importantes cambios cualitativos y cuantitativos en los nutrientes y compuestos bioactivos, estos cambios se asocian con la activación de las vías enzimáticas implicadas en la obtención de energía, la construcción de nuevas estructuras, y el metabolismo de compuestos funcionales tales como hormonas y reguladores.

Pająk *et al.* (2014), mencionan que los brotes de granos germinados presentan niveles más altos de nutrientes en comparación con las semillas no germinadas, donde pueden clasificarse como alimentos funcionales, debido a que pueden proporcionar protección natural contra enfermedades del corazón y algunas formas de cáncer. Por otro lado, la calidad de los alimentos germinados puede generarse en cada etapa de su producción, pero depende principalmente de la calidad de las semillas, las condiciones de germinación y el almacenamiento (Świeca y Gawlik-Dziki, 2015).

Teniendo en cuenta que el proceso de brotación es favorable en cuanto a sus características nutricionales, en periodos cortos de almacenamiento (Urbano *et al.*, 2005), la temperatura de 0°C, puede jugar un papel importante en cuanto al uso de la arveja, por un lado mantiene sus

características en estado fresco por más tiempo, permitiendo un mayor lapso de comercialización, por otro lado al presentarse brotes en los granos, después de este tiempo, los granos pueden ser utilizados como insumos en la elaboración de otros productos, debido a su mejora en las propiedades nutricionales. Por otro lado, Suslow y Cantwell (1998), mencionan que los granos de arveja producen niveles bajos de etileno ($<0,1 \mu\text{L} / \text{kg} \cdot \text{h}$ a 20°C), por lo que en las condiciones evaluadas en la investigación no favorecen la producción de este gas.

3.2.2 Firmeza

El análisis de varianza para las constantes cinéticas de firmeza en granos de arveja (Anexo 13) mostró diferencias estadísticas altamente significativas para temperatura de almacenamiento, mientras que para las interacciones y demás efectos simples no se observaron diferencias estadísticas (Tabla 8).

Tabla 8.

Cuadrados medios para firmeza en arveja (Pisum sativum L.) bajo diferentes condiciones de almacenamiento.

	FV	GL	CM	P
Modelo		17	0,273554**	<,0001
Variedad		1	0,000000ns	0,9983
Empaque		2	0,001163ns	0,9232
	FV	GL	CM	P
Temperatura		2	2,322483**	<,0001
Variedad * Empaque		2	0,000012ns	0,9992
Variedad * Temperatura		2	0,000009ns	0,9994
Empaque * Temperatura		4	0,000739ns	0,9950

Variedad * Empaque * Temperatura	4	0,000032ns	1,0000
Error	72	0,014539	
Total	89		
CV		21,228	

FV: Fuente de Variación, GL: Grados de Libertad, CM: Cuadrados Medios, P: Valor P, CV: Coeficiente de Variación, ns: no significativo, * Significativo, ** Altamente significativo. Fuente: Esta Investigación

La prueba de comparación de medias de Tukey para firmeza (Tabla 9), en el efecto simple temperatura, mostró que los granos de arveja almacenados a 0°C, presentan una constante cinética menor a las otras temperaturas de almacenamiento, donde el cambio de firmeza es menos drástico en el tiempo que estuvieron expuestas a los tratamientos a 0°C, conservando la firmeza de los granos.

Tabla 9.

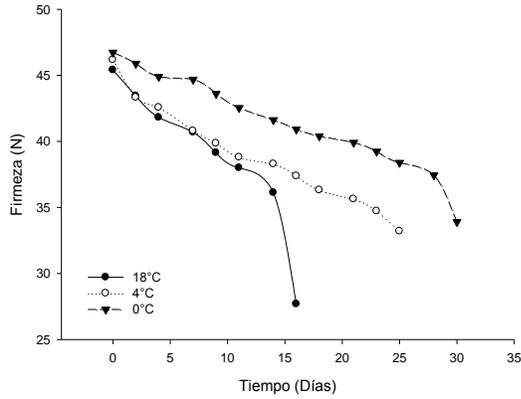
Promedios de constantes cinéticas de firmeza en arveja (*Pisum sativum* L.) bajo diferentes condiciones de almacenamiento.

Temperatura (°C)	Promedio K (días ⁻¹) en firmeza
0	0,37023 a
4	0,44762 b
18	0,88617 c

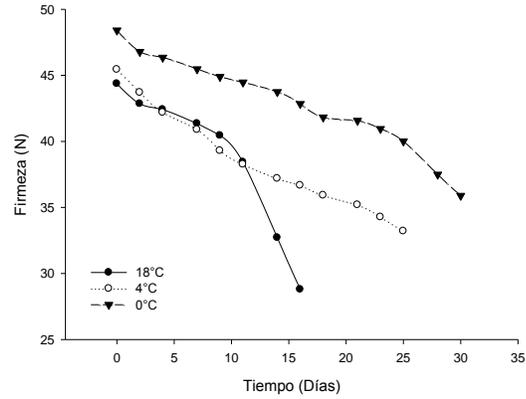
Letras diferentes en la misma columna implican diferencias entre promedios, según prueba de Tukey a un 95% de confianza.

Comparador DMS = 0,0745. Fuente: esta Investigación.

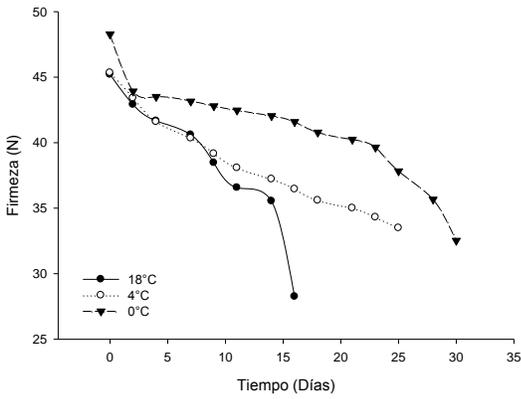
En la figura 4 se muestran las cinéticas de cambios de firmeza en arveja.



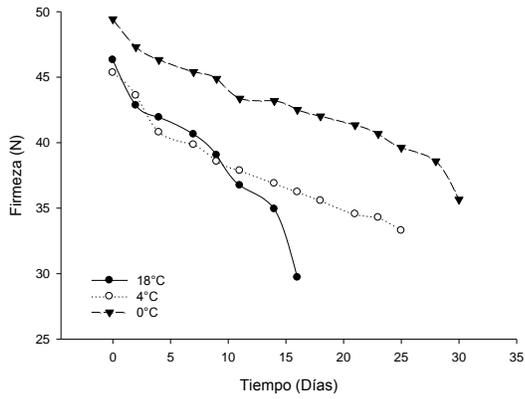
a) Var. Sureña empaque rígido



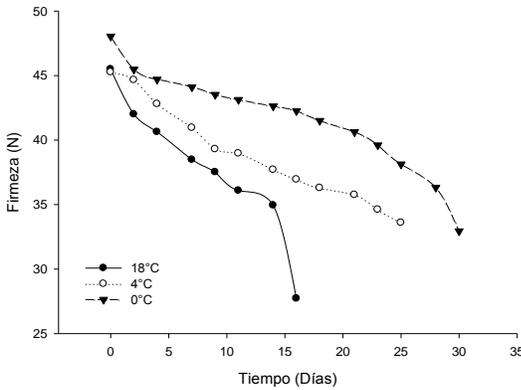
b) Var. Andina empaque rígido



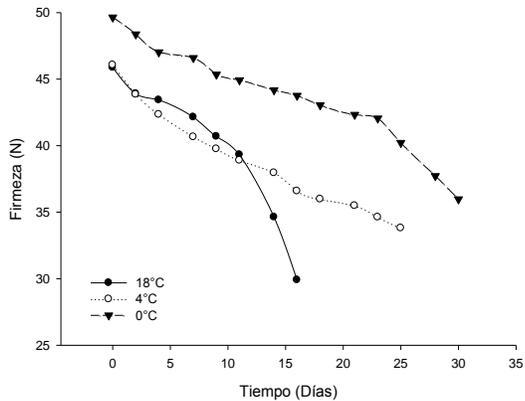
c) Var. Sureña empaque bandeja



d) Var. Andina empaque bandeja



e) Var. Sureña empaque bolsa



f) Var. Andina empaque bolsa

Figura 4. Cinética de cambios de firmeza en arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Sureña y

Obonuco Andina.

Fuente: Esta Investigación.

Los parámetros cinéticos de las ecuaciones de orden cero para cambios de firmeza en arveja almacenada a diferentes condiciones de almacenamiento, se muestran en el Anexo 14.

Conforme transcurrieron los días de evaluación se evidenció disminuciones en los valores de firmeza bajo cualquier condición de estudio. Contrario a lo observado en otras investigaciones, afirmando que en la etapa de almacenamiento hay una pérdida de agua por transpiración y por lo tanto existe concentración de solutos dentro del material vegetal, aumentando la firmeza (Rangel-Marrón y López-Malo, 2012).

No obstante el fenómeno observado puede explicarse a través del proceso de respiración y transpiración donde se evidencia la producción de CO_2 y agua; el CO_2 al disolverse en agua produce ácido carbónico (H_2CO_3) que aumenta la acidez del medio originando exudado por la pérdida de la capacidad de retención de agua en los tejidos de las proteínas y conllevando a su desnaturalización, además se podrían desencadenar reacciones de hidrólisis y glicólisis (Elwan *et al.*, 2015), como también daños en los tejidos vegetales por el exceso de humedad dentro del contenedor, asociado a la alta presión de vapor de agua (Lanchero *et al.*, 2007), además de la presencia de microorganismos.

3.2.3 Pérdida de peso

El análisis de varianza para las constantes cinéticas de la pérdida de peso en granos de arveja (Anexo 15) mostró diferencias estadísticas altamente significativas para los efectos simples empaque y temperatura, así como para la interacción empaque*temperatura, es decir que el comportamiento de la pérdida de peso se encontró influenciado por el tipo de empaque y la temperatura de almacenamiento (Tabla 10).

Tabla 10.

*Cuadrados medios para pérdida de peso en arveja (*Pisum sativum* L.) bajo diferentes condiciones de almacenamiento.*

FV	GL	CM	P
Modelo	17	0,0000074**	<,0001
Variedad	1	0,0000001ns	0,5136
Empaque	2	0,0000179**	<,0001
Temperatura	2	0,0000388**	<,0001
Variedad * Empaque	2	0,0000003ns	0,2468
Variedad * Temperatura	2	0,0000003ns	0,2689
Empaque * Temperatura	4	0,0000021**	<,0001
Variedad * Empaque * Temperatura	4	0,0000004ns	0,0984
Error	72	0,0000002	
Total	89		
CV		18,353	

FV: Fuente de Variación, GL: Grados de Libertad, CM: Cuadrados Medios, P: Valor P, CV: Coeficiente de Variación, ns: no significativo, * Significativo, ** Altamente significativo. Fuente: Esta Investigación

La prueba de comparación de medias de Tukey para pérdida de peso de arveja (Tabla 11), para la interacción empaque*temperatura mostró que los granos de arveja tanto de la variedad Obonuco Andina y Sureña almacenados a 0°C, presentaron una constante cinética de cambio de atributo menor si se empacan en envases rígidos perforados, seguido del empaque en bandeja, y al ser almacenadas en bolsa de polietileno, pierden mayor peso durante el tiempo de almacenamiento; comportamiento diferente se evidenció a 4°C, la pérdida del atributo peso,

representado por la constante cinética, es igual si se empacan los granos de arveja en envase rígido o bandeja, pero pierden mucho más peso en el tiempo de almacenamiento si se empacan en bolsas de polietileno; a 18°C, el mejor envase para evitar mayores pérdidas de peso, es en rígido perforado, y en los empaques bandeja y bolsa no presentan diferencias en las medias de las constantes cinéticas.

Tabla 11.

Promedios de constantes cinéticas de pérdida de peso en arveja (*Pisum sativum L.*) bajo diferentes condiciones de almacenamiento.

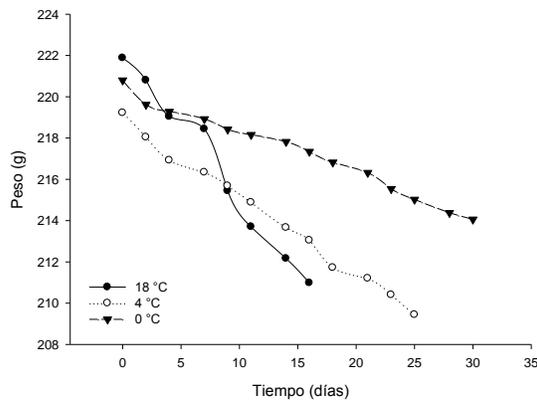
Empaque	Temperatura		
	0°C	4°C	18°C
Rígido	0,0010a	0,0018a	0,0030a
Bandeja	0,0014b	0,0021a	0,0039b
Bolsa	0,0020c	0,0041b	0,0043b

Letras diferentes en la misma columna implican diferencias entre promedios, según prueba de Tukey a un 95% de confianza. Comparador DMS = 0,00068. Fuente: esta Investigación.

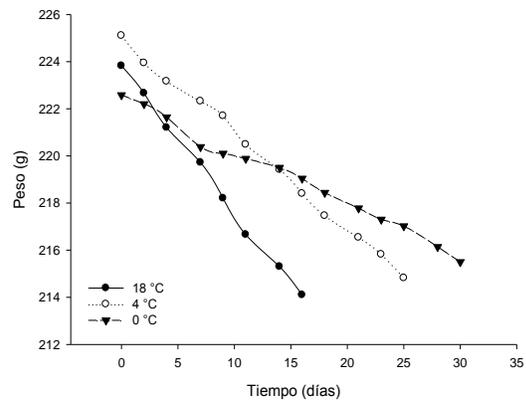
En la figura 5 se muestran las cinéticas de pérdida de peso de los granos de arveja variedad Sureña y Obonuco Andina, almacenados bajo las tres condiciones de empaque y temperatura. Los parámetros cinéticos de las ecuaciones de orden uno, se muestran en el Anexo 16.

Con el paso del tiempo de almacenamiento, se evidenció cambios en el peso de los granos, similar conclusión reportaron Terán *et al.*, (2015). Algunos autores citados por Parra (2014), mencionan que la transpiración y el consumo de sustratos, son la razón de la pérdida de peso durante la etapa pos cosecha.

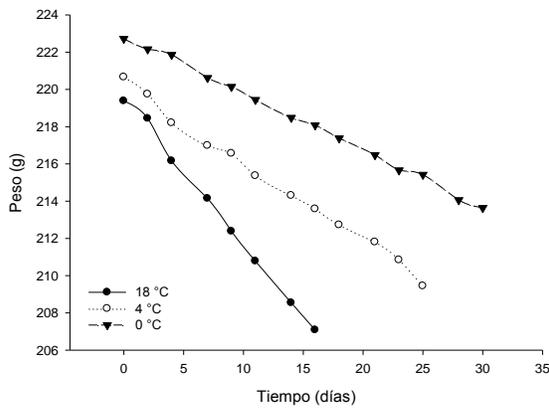
Kader y Pelayo, (2011), menciona que la pérdida de agua libre es una de las principales causas de deterioro, ya que se originan pérdidas cuantitativas directas, así como pérdidas cualitativas relacionadas con el aspecto, pérdida de brillo y de turgencia, cambios en la textura, la consistencia y en el valor nutricional, reduciendo precios en el mercado y la aceptabilidad por el consumidor (Ramana, Gol y Shah, 2011).



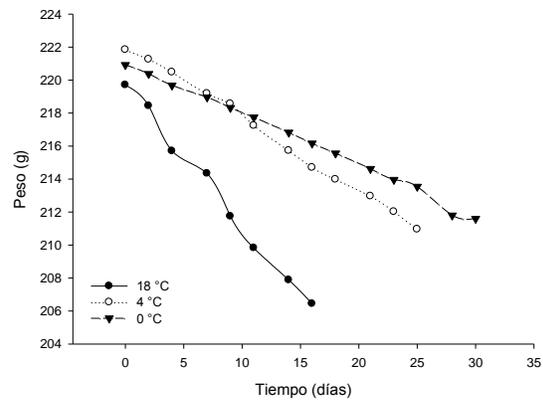
a) **Var. Sureña empaque rígido**



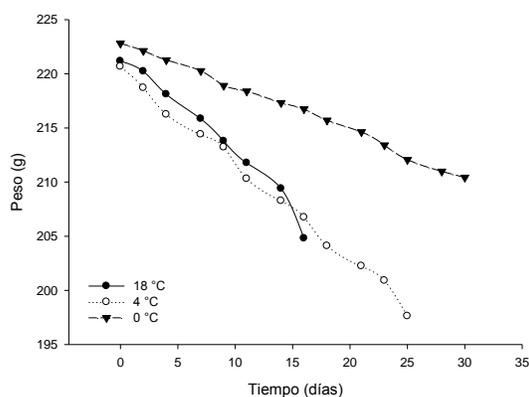
Var. Andina empaque rígido



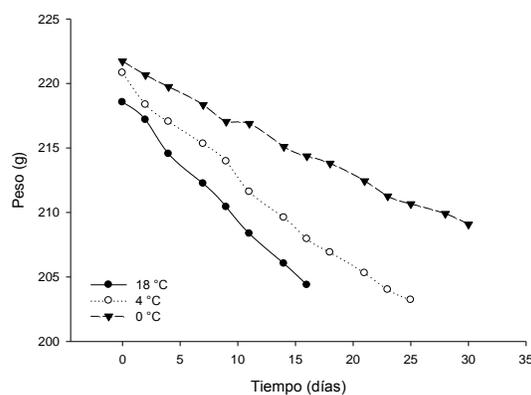
Var. Sureña empaque bandeja



Var. Andina empaque bandeja



b) Var. Sureña empaque bolsa



c) Var. Andina empaque bolsa

Figura 5. Cinética de cambios de pérdida de peso en arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.

Fuente: Esta Investigación.

Parra, (2014) menciona que la pérdida de masa se incrementa a medida que aumenta la temperatura, Ramana, Gol y Shah (2011) concluyen que la pérdida de peso aumenta progresivamente con el tiempo y la temperatura de almacenamiento; en el estudio realizado por Ortiz *et al.*, (2014) se encontró que el almacenamiento en cámara frigorífica redujo significativamente el porcentaje de pérdida de peso; Garcia y Pacheco-Delahaye (2007), concluyeron que las condiciones de refrigeración a la temperatura de 10°C y 85% HR controlaron la rápida pérdida de peso en arracacha. Según Ochoa y Guerrero (2012), el almacenamiento a bajas temperaturas ayuda a mantener una adecuada apariencia, reducir la respiración y reacciones enzimáticas, así como disminuir el ablandamiento y crecimiento microbiano.

Autores citados por Ramana, Gol y Shah (2011), mencionan que las altas temperaturas de almacenamiento, incrementan la tasa de respiración y aceleran las reacciones de otros procesos metabólicos, causando la disminución de sustratos como azúcares y proteínas.

Vinicio, Castro y Gonzalez, (1991) señalan que los empaques sin perforaciones son más eficientes en prevenir las pérdidas de peso, debido a que el empaque no permite la salida del agua de transpiración, creando un ambiente de alta humedad que limita la pérdida posterior de humedad interna (Imagen 13). Así mismo, dichos autores mencionan que si el empaque presenta orificios o permeabilidad, entre mayor diámetro tengan, mayor será la pérdida de peso.

Sin embargo, Ramana, Gol y Shah (2011) mencionan que el almacenamiento de los productos cosechados puede incrementarse mediante la aplicación de diversos tratamientos, entre ellos la utilización de envases y el uso de bajas temperaturas, lo cual permite reducir el deterioro de los mismos.



Imagen 13. Transpiración de la arveja en envase rígido, ambiente de alta humedad.

Fuente: Esta Investigación.

3.2.4 Índice de color

El análisis de varianza para las constantes cinéticas del índice de color en granos de arveja (Anexo 17) mostró diferencias estadísticas significativas para temperatura y la interacción variedad*empaque*temperatura, por lo tanto el índice de color está determinado por estos tres

factores de almacenamiento, mientras que en los efectos simples mostró diferencias estadísticas altamente significativas para temperatura (Tabla 12).

Tabla 12.

Cuadrados medios para cambios de color en arveja (*Pisum sativum L.*) bajo diferentes condiciones de almacenamiento.

	FV	GL	CM	P
Modelo		17	0,043252**	<,0001
Variedad		1	0,000215ns	0,2625
Empaque		2	0,000754*	0,0149
Temperatura		2	0,364786**	<,0001
	FV	GL	CM	P
Variedad * Empaque		2	0,000328ns	0,1504
Variedad * Temperatura		2	0,000063ns	0,6886
Empaque * Temperatura		4	0,000237ns	0,2413
Variedad * Empaque * Temperatura		4	0,000564*	0,0144
Error		72	0,000169	
Total		89		
CV			10,977	

FV: Fuente de Variación, GL: Grados de Libertad, CM: Cuadrados Medios, P: Valor P, CV: Coeficiente de Variación, ns: no significativo, * Significativo, ** Altamente significativo. Fuente: Esta Investigación

La prueba de comparación de medias de Tukey (Tabla 13), para la interacción variedad*empaque*temperatura mostró que tanto para la variedad Obonuco Andina y Sureña almacenadas a 0°C y 4°C en los tres tipos de empaque, bandeja, bolsa y rígido, no se presentaron

diferencias estadísticas entre las medias de las constantes cinéticas de cambio del atributo color, evidenciando que a estas condiciones de almacenamiento se mantienen atributos de calidad como el color en el tiempo de almacenamiento.

A la temperatura de 18°C, la variedad Obonuco Andina, empacada en bandeja o bolsa de polietileno, presentó constantes cinéticas más bajas si se compara con el empaque rígido, y la variedad Sureña mostró una constante cinética de cambio del índice de color menor en empaque bandeja, en comparación con las medias de los empaques bolsa y rígido, los cuales no presentaron diferencias. Sin embargo, hay mayor pérdida de la coloración de los granos en el tiempo, a la temperatura de almacenamiento de 18°C, lo que se puede evidenciar con la pérdida de la luminosidad de los granos.

Tabla 13.

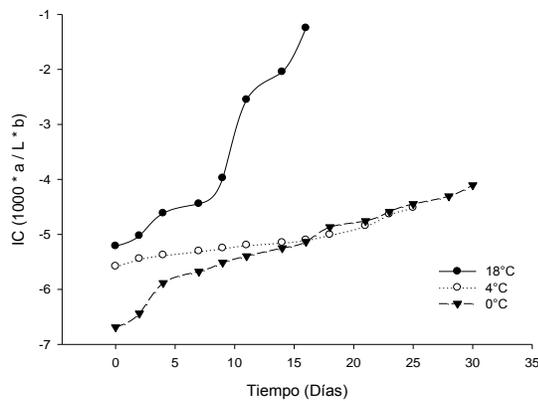
Promedios de constantes cinéticas de cambios de color en arveja (*Pisum sativum* L.) bajo diferentes condiciones de almacenamiento.

Variedad	Obonuco Andina			Sureña		
	0°C	4°C	18°C	0°C	4°C	18°C
Temperatura						
Empaque						
Bandeja	0,0322a	0,0694a	0,2385a	0,0368a	0,0742a	0,2271a
Bolsa	0,0351a	0,0783a	0,2278a	0,0380a	0,0745a	0,2610b
Rígido	0,0371a	0,0776a	0,2553b	0,0373a	0,0782a	0,2522b

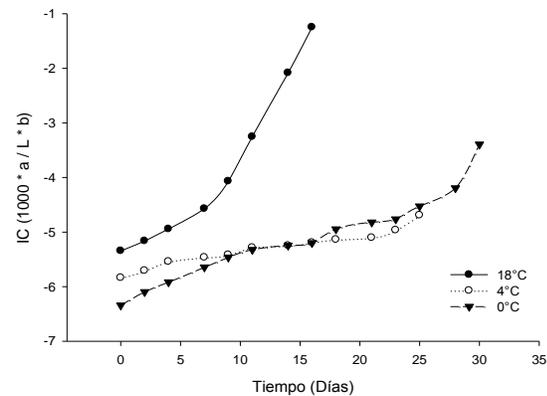
Letras diferentes en la misma columna implican diferencias entre promedios, según prueba de Tukey a un 95% de confianza. Comparador DMS = 0,01972. Fuente: esta Investigación.

En la figura 6 se muestran las cinéticas de cambio de color de los granos de arveja variedad Sureña y Obonuco Andina, almacenados bajo las tres condiciones de empaque y temperatura. Los parámetros cinéticos de las ecuaciones de orden cero, se muestran en el Anexo 18.

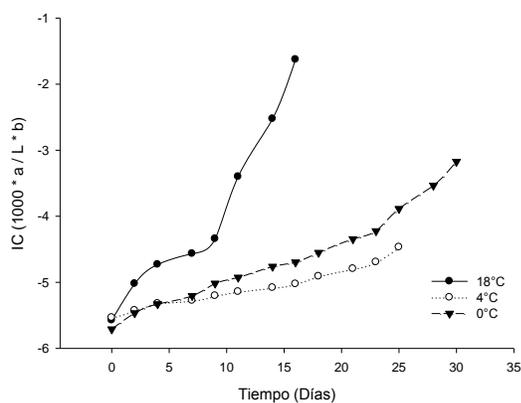
Conforme transcurren los días de evaluación el índice de color se acerca a valores positivos; no obstante, Vignoni *et al.*, (2006) reporta que valores entre -20 a -2 representan los colores que van del verde profundo, mientras que la zona entre -2 a +2 representa el amarillo verdoso, los valores encontrados se encuentran dentro de estas dos zonas. Según Parra (2014), el cambio de color se atribuye a la degradación de la clorofila (debido a procesos oxidativos). Con el aumento de la temperatura los valores de K aumentaron, siendo el cambio en el color significativo, Salamanca y Abril, (2008) concluyen que el efecto de la temperatura sobre el producto se evidencia con el pardeamiento de la materia prima, explicando el fenómeno observado (paso de verde intenso a amarillo verdoso). Por otro lado, Santos *et al.*, (2014) mencionan que las hortalizas pueden sufrir cambios de color durante el almacenamiento, siendo la pérdida del verdor y la aparición de una tonalidad amarillenta, un signo de inicio de la senescencia.



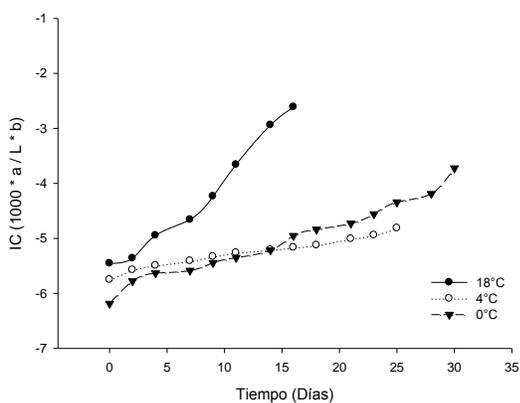
a) Var. Sureña empaque rígido



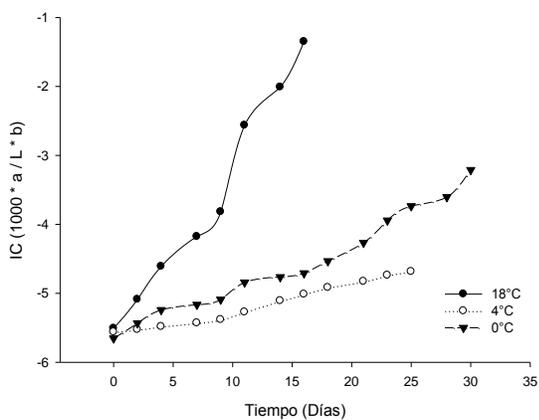
b) Var. Andina empaque rígido



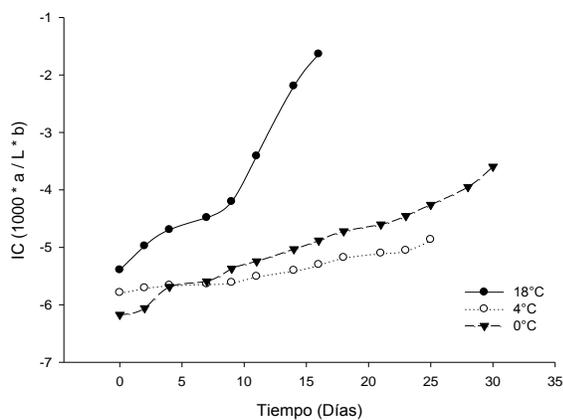
c) Var. Sureña empaque bandeja



d) Var. Andina empaque bandeja



e) Var. Sureña empaque bolsa



f) Var. Andina empaque bolsa

Figura 6. Cinética de cambios de color en arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Sureña y

Obonuco Andina.

Fuente: Esta Investigación.

3.2.5 Clorofila

El análisis de varianza para las constantes cinéticas del contenido de clorofila en arveja (Anexo 19) mostró diferencias estadísticamente significativas para los efectos simples de

empaque y temperatura, mientras que para las interacciones y los demás efectos simples no se evidenciaron diferencias estadísticas significativas (Tabla 14).

Tabla 14.

Cuadrados medios para la pérdida del contenido de clorofila en arveja (*Pisum sativum L.*) bajo diferentes condiciones de almacenamiento.

	FV	GL	CM	P
Modelo		17	0,0004677**	<,0001
Variedad		1	0,0000120ns	0,5465
Empaque		2	0,0001754*	0,0068
Temperatura		2	0,0037665**	<,0001
Variedad * Empaque		2	0,0000069ns	0,8092
Variedad * Temperatura		2	0,0000032ns	0,9062
Empaque * Temperatura		4	0,0000075ns	0,9209
Variedad * Empaque * Temperatura		4	0,0000010ns	0,9982
Error		72	0,0000327	
Total		89		
CV			14,723	

FV: Fuente de Variación, GL: Grados de Libertad, CM: Cuadrados Medios, P: Valor P, CV: Coeficiente de Variación, ns: no significativo, * Significativo, ** Altamente significativo. Fuente: Esta Investigación

La prueba de comparación de medias de Tukey para empaques (Tabla 15), mostró que si se almacenan granos de arvejas en empaque rígido o bandeja, los valores de la constante cinética es menor en comparación con el empaque en bolsa, disminuyendo la pérdida del contenido de clorofila en el tiempo de almacenamiento.

Tabla 15.

Promedios de constantes cinéticas del contenido de clorofila arveja (*Pisum sativum* L.) bajo diferentes condiciones de almacenamiento.

Empaque	Promedio K (días⁻¹) en clorofila
Bandeja	0,03713 a
Rígido	0,03786 a
Bolsa	0,04163 b

Letras diferentes en la misma columna implican diferencias entre promedios, según prueba de Tukey a un 95% de confianza.

Comparador DMS = 0,0035. Fuente: esta Investigación.

Para el caso de la temperatura, la prueba de comparación de medias de Tukey (Tabla 16), mostró que con el incremento de la temperatura, aumenta el valor de la constante cinética de pérdida del contenido de clorofila. Siendo la temperatura de 0°C donde se retarda la pérdida de este atributo de calidad en el tiempo de almacenamiento.

Tabla 16.

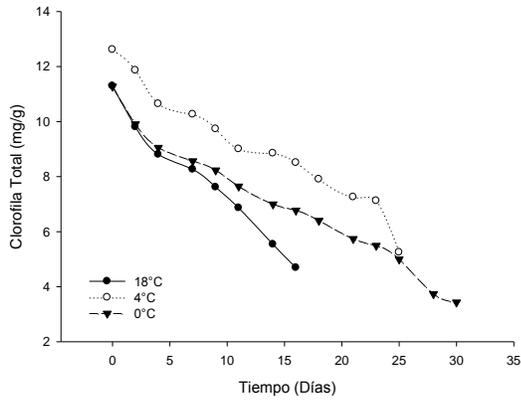
Promedios de constantes cinéticas del contenido de clorofila arveja (*Pisum sativum* L.) bajo diferentes condiciones de almacenamiento.

Temperatura (°C)	Promedio K (días⁻¹) en clorofila
0	0,02901 a
4	0,03657 b
18	0,05106 c

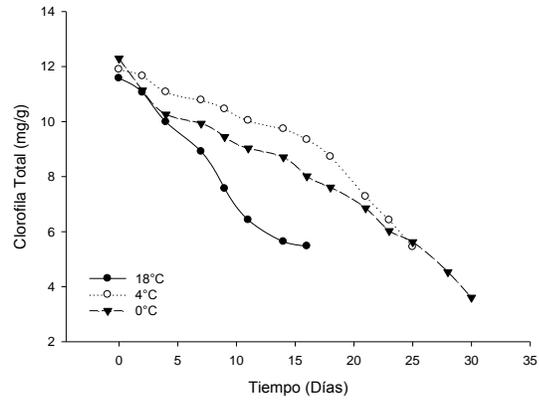
Letras diferentes en la misma columna implican diferencias entre promedios, según prueba de Tukey a un 95% de confianza.

Comparador DMS = 0,0035. Fuente: esta Investigación.

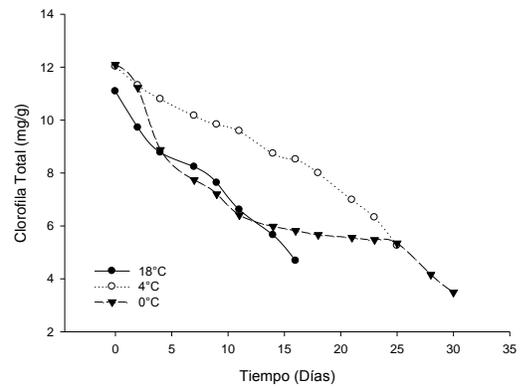
En la figura 7 se muestran las cinéticas de pérdida del contenido de clorofila en los granos de arveja.



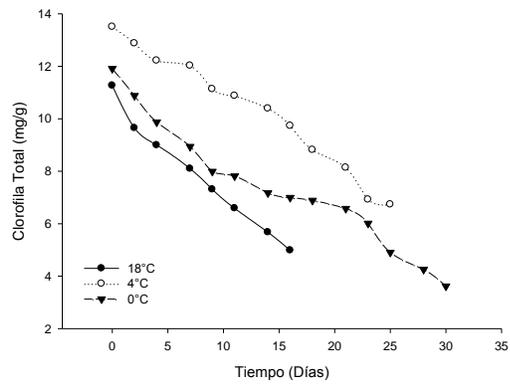
a) Var. Sureña empaque rígido



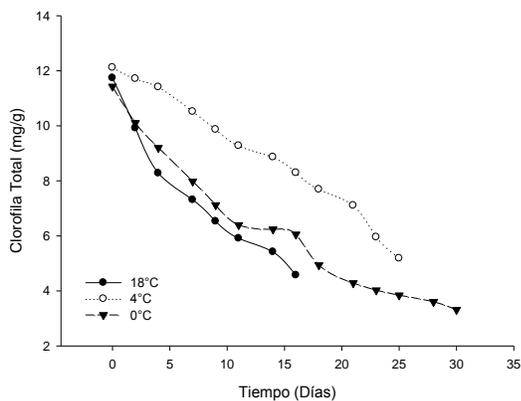
b) Var. Andina empaque rígido



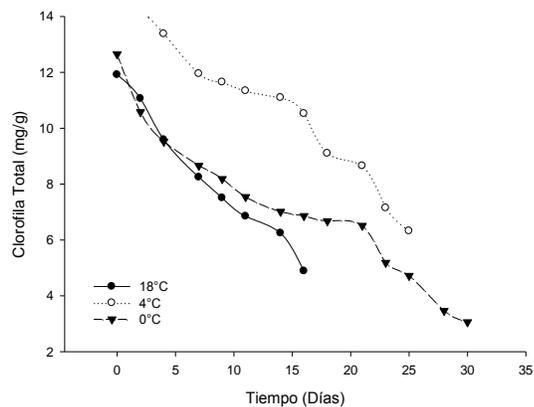
c) Var. Sureña empaque bandeja



d) Var. Andina empaque bandeja



Var. Sureña empaque bolsa



Var. Andina empaque bolsa

Figura 7. Cinética de cambios del contenido de clorofila en arveja (*Pisum sativum* L.)

variedad Sureña y Obonuco Andina.

Fuente: Esta Investigación.

Los parámetros cinéticos de las ecuaciones de orden cero, de los granos de arveja de la variedad Obonuco Andina y Sureña, almacenados bajo tres condiciones de empaque (rígido, bolsa y bandeja) y temperaturas (0°C, 4°C y 18°C), se muestran en el Anexo 20.

Bautista *et al.*, (2016) menciona que la clorofila, es el pigmento responsable del característico color verde y que es altamente susceptible a la degradación durante el procesamiento y almacenamiento, lo que resulta en cambios de color en los alimentos, de igual manera que el calentamiento hace que las clorofilas pierdan magnesio, transformándose en otras sustancias llamadas feofitinas y cambiando su color verde característico por un color pardo oliváceo mucho menos atractivo.

Ulloa, Sáenz y Castro, (2015) mencionan una disminución en el contenido de clorofila, en diferentes frutos que permanecieron en las mayores temperaturas de almacenamiento (12,5°C y 15,0°C). En el mismo sentido, Gómez, Herrera y Flórez, (2015) en su trabajo concluyen que el cambio de color externo y la degradación de la clorofila, se ve afectado por el aumento en la temperatura de almacenamiento, resultados similares a los de esta investigación.

3.2.6 Humedad

En análisis de varianza para las constantes cinéticas del contenido de humedad (Anexo 21) determinó diferencias estadísticas altamente significativas para los efectos simples empaque y temperatura, de la misma manera se presentó diferencias estadísticamente significativas en la interacción empaque*temperatura (Tabla 17).

Tabla 17.

Cuadrados medios para cambios en el contenido de humedad en arveja (*Pisum sativum* L.) bajo diferentes condiciones de almacenamiento.

FV	GL	CM	P
Modelo	17	0,00000397**	<,0001
Variedad	1	0,00000064ns	0,0576
Empaque	2	0,00000211**	<,0001
Temperatura	2	0,00002944**	<,0001
Variedad * Empaque	2	0,00000013ns	0,3734
Variedad * Temperatura	2	0,00000015ns	0,3172
Empaque * Temperatura	4	0,00000073*	0,0004
Variedad * Empaque * Temperatura	4	0,00000007ns	0,7036
Error	72	0,00000013	
Total	89		
CV		12,046	

FV: Fuente de Variación, GL: Grados de Libertad, CM: Cuadrados Medios, P: Valor P, CV: Coeficiente de Variación, ns: no significativo, * Significativo, ** Altamente significativo. Fuente: Esta Investigación

La prueba de comparación de medias de Tukey para la interacción empaque*temperatura evidenció que los granos de arveja a la temperatura de 0°C, no presentaron diferencias entre las medias de las constantes cinéticas de pérdida de atributos, manteniendo el porcentaje de humedad de los granos en el tiempo de almacenamiento.

A la temperatura de almacenamiento de 4°C, los granos de arveja empacados en envases rígidos perforados presentaron valores menores de la constante cinética, en comparación con el

empaque en bolsa de polietileno, siendo favorable para el porcentaje de humedad los empaques rígidos, por otro lado, los granos de arvejas empacados en bandeja, mostraron valores de constantes cinéticas similares tanto al empaque rígido como en bolsa. Por último, a 18°C, las constantes cinéticas en los empaques bandeja y bolsa no presentaron diferencias entre las medias, en comparación con el rígido, donde la pérdida del contenido de humedad se minimiza en el tiempo de almacenamiento, si se empacan los granos de arveja en envases rígidos.

Tabla 18.

Promedios de constantes cinéticas del contenido de humedad en arveja (*Pisum sativum* L.) bajo diferentes condiciones de almacenamiento.

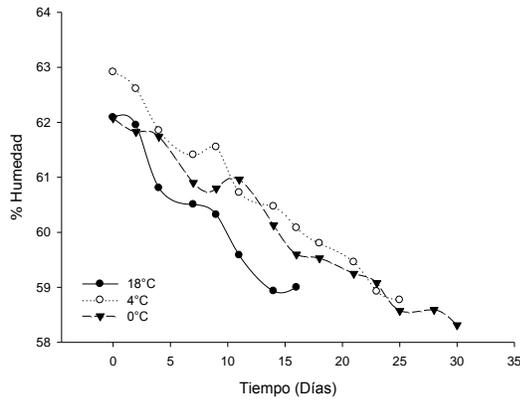
Temperatura	Empaque		
	0°C	4°C	18°C
Rígido	0,0021a	0,0025a	0,0034a
Bandeja	0,0020a	0,0028ab	0,0042b
Bolsa	0,0022a	0,0029b	0,0045b

Letras diferentes en la misma columna implican diferencias entre promedios, según prueba de Tukey a un 95% de confianza. Comparador DMS = 0,00036. Fuente: esta Investigación.

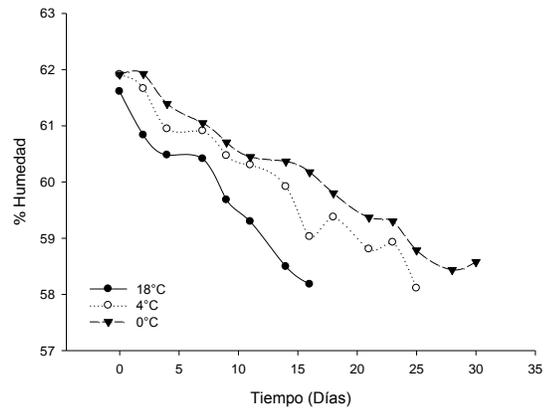
En la figura 8 se muestran las cinéticas del contenido de humedad en los granos de arveja variedad Sureña y Obonuco Andina, almacenados bajo las tres condiciones de empaque y temperatura. Los parámetros cinéticos de las ecuaciones de orden uno, se muestran en el Anexo 22.

Conforme transcurre el tiempo de almacenamiento, el contenido de humedad en los granos empacados disminuye. Este fenómeno se presenta debido a que el agua existente como fase

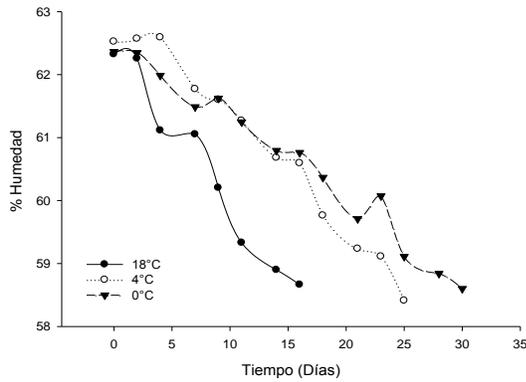
líquida continua en el vegetal y se pierde simultáneamente a través de la transpiración que involucra la transferencia de la humedad a través de la piel del alimento (Muy *et al.*, 2004). Los resultados coinciden con los presentados por Garcia y Pacheco-Delahaye, (2007) a mayores temperaturas de almacenamiento se evidenció mayores pérdidas de humedad, como se observa en el aumento de K.



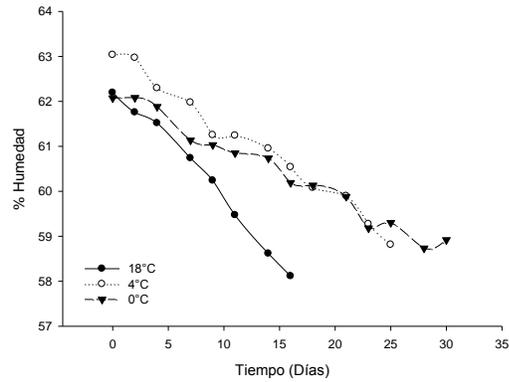
Var. Sureña empaque rígido



Var. Andina empaque rígido



Var. Sureña empaque bandeja



a) Var. Andina empaque bandeja

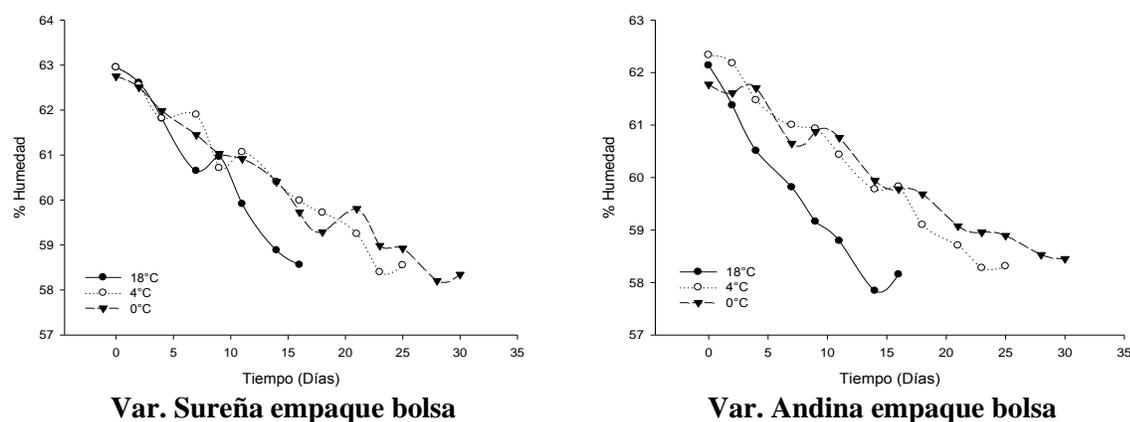


Figura 8. Cinética de cambios del contenido de humedad en arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.

Fuente: Esta Investigación.

3.2.7 Actividad de agua (A_w)

El análisis de varianza para las constantes cinéticas de actividad de agua (Anexo 23) mostró diferencias estadísticas altamente significativas para temperatura, y estadísticamente significativas para las interacciones variedad*temperatura y empaque*temperatura, no evidenciando diferencias para los demás efectos (Tabla 19).

Tabla 19.

Cuadrados medios para cambios en la actividad de agua en arveja (*Pisum sativum* L.) bajo diferentes condiciones de almacenamiento.

	FV	GL	CM	P
Modelo		17	$4,4842 \cdot 10^{-7}$ **	<,0001
Variedad		1	$1,10 \cdot 10^{-9}$ ns	0,7988
Empaque		2	$1,9444 \cdot 10^{-8}$ ns	0,2863
Temperatura		2	$3,5634 \cdot 10^{-6}$ **	<,0001
Variedad * Empaque		2	$1,0333 \cdot 10^{-8}$ ns	0,5117

Variedad * Temperatura	2	9,2333*10⁻⁸ *	0,0037
Empaque * Temperatura	4	4,1611*10⁻⁸ *	0,0359
Variedad * Empaque * Temperatura	4	2,1166*10 ⁻⁸ ns	0,2476
Error	72	1,5277*10 ⁻⁸	
Total	89		
CV		22,656	

FV: Fuente de Variación, GL: Grados de Libertad, CM: Cuadrados Medios, P: Valor P, CV: Coeficiente de Variación, ns: no significativo, * Significativo, ** Altamente significativo. Fuente: Esta Investigación

La prueba de comparación de medias de Tukey (Tabla 20) para la interacción variedad*temperatura evidenció que para las temperaturas de almacenamiento de 0°C y 4°C, las medias de las constantes cinéticas de pérdida de la actividad de agua en los granos de arveja de las variedades Obonuco Andina y Sureña, no presentaron diferencias. En la temperatura de 18°C, los granos de la variedad Sureña, presentaron una constante cinética menor que la variedad Obonuco Andina, eliminando menos vapor de agua hacia el ambiente en el tiempo de almacenamiento.

Tabla 20.

Promedios de constantes cinéticas de la actividad de agua en arveja (*Pisum sativum* L.) bajo diferentes condiciones de almacenamiento.

Temperatura Variedad	0°C	4°C	18°C
	Sureña	0,00027a	0,00051a
Obonuco Andina	0,00019a	0,00047a	0,00099b

Letras diferentes en la misma columna implican diferencias entre promedios, según prueba de Tukey a un 95% de confianza.

Comparador DMS = 0,00016. Fuente: esta Investigación.

La prueba de comparación de medias de Tukey (Tabla 21) para la interacción empaque*temperatura mostró que las medias de las constantes cinéticas de la pérdida de actividad de agua en los granos de arveja, en las temperaturas de 0°C y 4°C, en los empaques de bandeja, bolsa y rígido, no presentaron diferencias significativas.

Caso contrario se evidenció a la temperatura de 18°C, no se presentaron diferencias en las medias de las constantes cinéticas en los empaques bandeja y bolsa, pero si en comparación con el rígido, siendo este último empaque donde se presentó mayor pérdida de la actividad de agua de los granos de arveja, en el tiempo de almacenamiento.

Tabla 21.

Promedios de constantes cinéticas de la actividad de agua en arveja (*Pisum sativum* L.) bajo diferentes condiciones de almacenamiento.

Empaque	Temperatura		
	0°C	4°C	18°C
Bandeja	0,00026a	0,00047a	0,00084a
Bolsa	0,00022a	0,00052a	0,00088a
Rígido	0,00021a	0,00049a	0,00102b

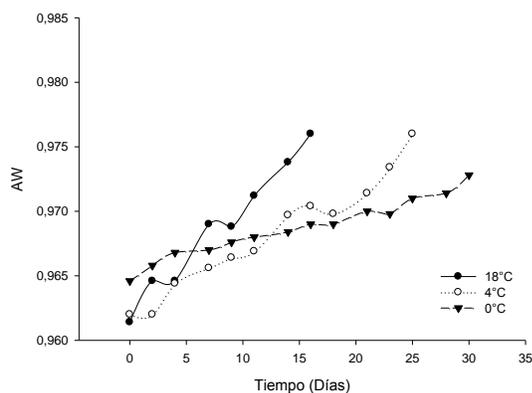
Letras diferentes en la misma columna implican diferencias entre promedios, según prueba de Tukey a un 95% de confianza.

Comparador DMS = 0,00013. Fuente: esta Investigación

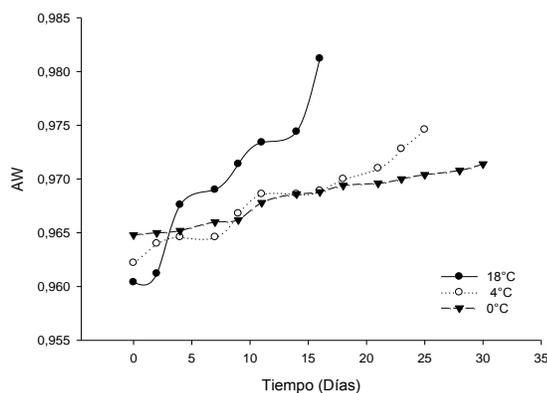
En la figura 9 se muestran las cinéticas del cambio en la actividad de agua en los granos de arveja variedad Sureña y Obonuco Andina, almacenados bajo las tres condiciones de empaque y temperatura. Los parámetros cinéticos de las ecuaciones de orden uno, se muestran en el Anexo 24.

Gálvez, Aravena y Mondaca, (2006) mencionan que la actividad de agua (A_w) es un parámetro que indica la disponibilidad de agua en un alimento para que existan reacciones químicas, bioquímicas (p.e. oxidación de lípidos, reacciones enzimáticas, reacción de Maillard) y desarrollo microbiano. Por esto la actividad de agua es un parámetro bastante usado como indicador para predecir la vida útil de un alimento.

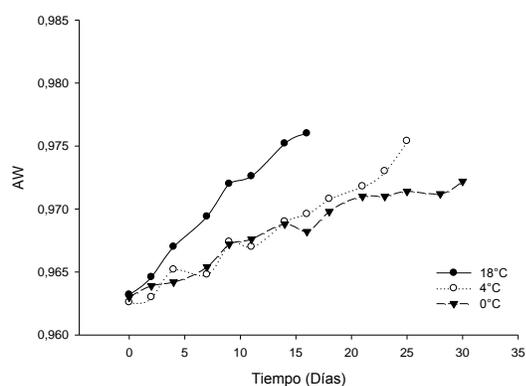
Según Ríos, Giraldo y Duque, (2007) la alta cantidad de agua disponible en los materiales vegetales hace que su vida útil sea muy corta, jugando un papel muy importante en la estabilidad. Los valores de la disponibilidad de agua (a_w) varían de 0,100 para alimentos secos, hasta 0,999 para los de alta humedad, como frutas y hortalizas frescas, acorde a lo encontrado en esta investigación.



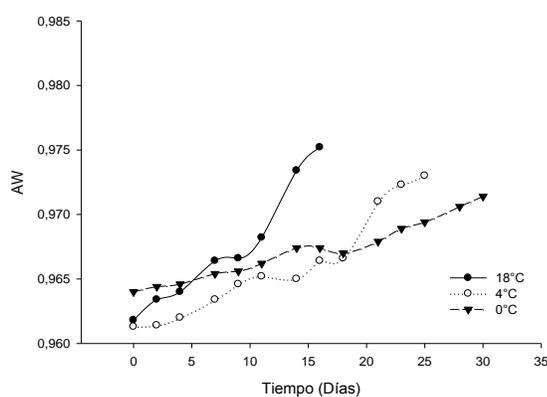
a) Var. Sureña empaque rígido



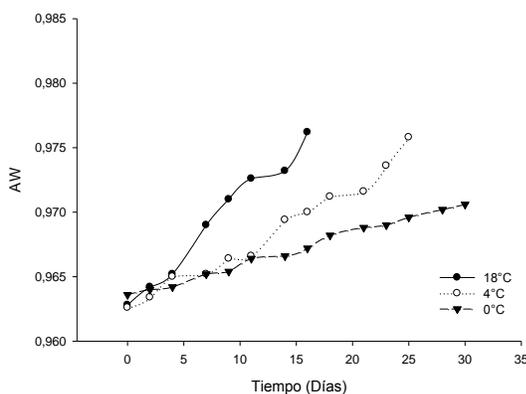
b) Var. Andina empaque rígido



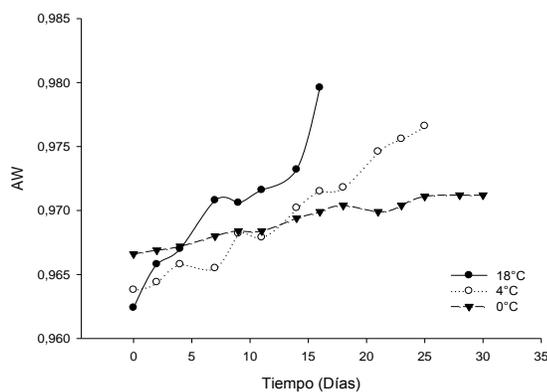
c) Var. Sureña empaque bandeja



d) Var. Andina empaque bandeja



e) Var. Sureña empaque bolsa



f) Var. Andina empaque bolsa

Figura 9. Cinética de cambios de la actividad de agua en arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.

Fuente: Esta Investigación.

Ríos, Giraldo y Duque, (2007), mencionan que la máxima estabilidad se alcanza cuando la aw se encuentra entre 0,2 y 0,4; lo cual corresponde a la humedad de la monocapa y permite su conservación a condiciones ambientales

Se observó que al aumentar la temperatura de almacenamiento los valores de K aumentaron contrario a lo observado por Lazcano *et al.* (2001), afirmando que los valores de la Aw no mostraron una variación definida con la temperatura. Sin embargo, Soteras *et al.*, (2014)

mencionan que con el incremento de la temperatura se produce un aumento de la solubilidad del agua (traspiración) y según Ríos, Giraldo y Duque, (2007) la disminución o aumento de la actividad del agua en un alimento se consigue modificando su humedad. Así mismo, Garza (2002), menciona que la A_w está relacionada con las propiedades físicas, químicas y biológicas, y cambios en esta, influye en la velocidad de reacción de alteraciones de color, aroma, sabor, textura y aceptabilidad de los alimentos crudos o procesados.

3.3 Estimación de vida útil

La ecuación de Arrhenius es una expresión matemática que se utiliza para comprobar la dependencia de las constantes cinéticas con respecto a la temperatura a la que se lleva a cabo los cambios en los atributos evaluados.

3.3.1 Firmeza

En la figura 10 se muestra la representación gráfica de la ecuación de Arrhenius, evidenciando la dependencia de los cambios de firmeza en los granos de arveja almacenada a diferentes condiciones de almacenamiento, representados por las constantes cinéticas, a la temperatura. En la tabla 22, se presenta los parámetros cinéticos y la bondad de ajuste para cada variedad y empaque, también se presenta el dato de energía de activación (E_a).

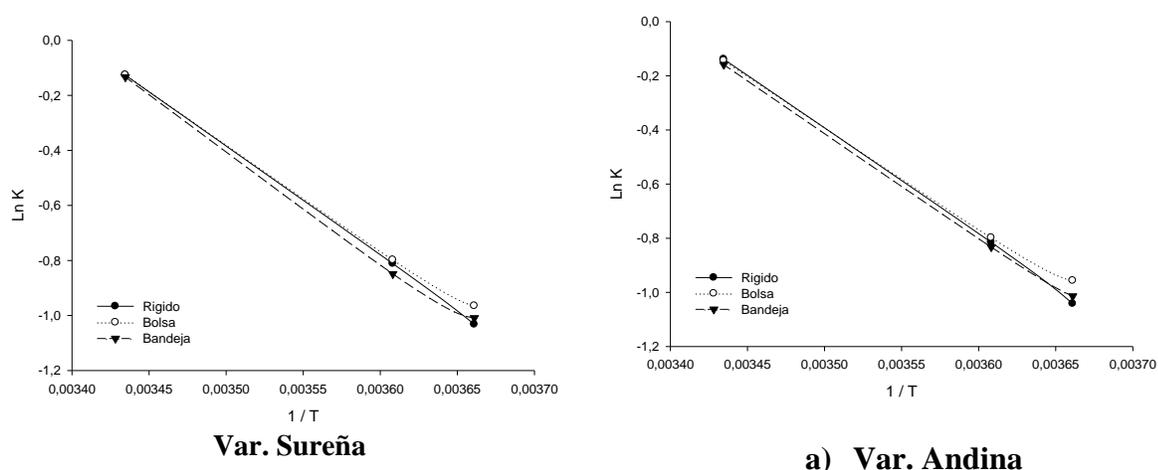


Figura 10. Ecuación de Arrhenius para cambios de firmeza en arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.

Fuente: Esta Investigación.

Tabla 22.

*Promedios de parámetros cinéticos y bondad de ajuste ecuación de Arrhenius para cambios de firmeza en arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.*

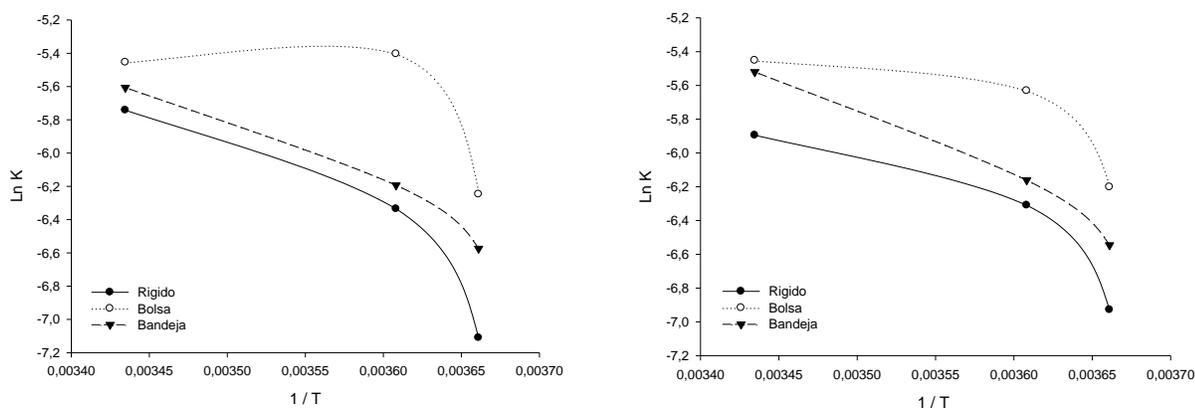
Variedad	Empaque	$m * 10^{+3}$ (días ⁻¹)	B	R ² (%)	%E	RMSE * 10 ⁻⁵	Ea (KJ*mol ⁻¹)
Andina	Rígido	3,969	13,496	99,960	1,226	2,604	32,998
	Bolsa	3,636	12,340	99,840	2,426	9,790	30,231
	Bandeja	3,803	12,900	99,950	1,363	1,363	31,618
Sureña	Rígido	3,988	13,572	99,990	0,753	0,908	33,156
	Bolsa	3,751	12,752	99,870	2,233	8,507	31,182
	Bandeja	3,930	13,360	99,730	3,275	19,859	32,678

m: pendiente, B: Intercepto, R²: Coeficiente de Determinación, E: Error Porcentual, RMSE: raíz cuadrada del error medio cuadrático, Ea: Energía de activación. Fuente: Esta Investigación.

En cuanto a la energía de activación, Melquíades, López y Rosas, (2009) menciona que estos valores, termodinámicamente representan la energía que necesitan las moléculas para su migración o movimiento dentro del producto. Tal es el caso del agua cuando se da el fenómeno de transpiración; los valores encontrados son similares a los reportados por Kashiri, Kashaninejad y Aghajani, (2010) para otros granos: 24,21 kJ/mol para sorgo, 37,62 y 35,69 kJ/mol para caupí y bambara respectivamente y de 43 KJ/mol en espinaca (Dermesonluoglu *et al.*, 2015).

3.3.2 Pérdida de peso

En la figura 11 se muestra la representación gráfica de la ecuación de Arrhenius, evidenciando la dependencia de la pérdida de peso en los granos de arveja almacenado a diferentes condiciones de almacenamiento, representados por las constantes cinéticas, a la temperatura. En la tabla 23, se presenta los parámetros cinéticos y la bondad de ajuste para cada variedad y empaque, también se presenta el dato de energía de activación (E_a).



a) Var. Sureña

b) Var. Andina

Figura 11. Ecuación de Arrhenius para pérdida de peso en arveja (*Pisum sativum* L.)

variedad Sureña y Obonuco Andina.

Fuente: Esta Investigación.

Tabla 23.

Promedios de parámetros cinéticos y bondad de ajuste ecuación de Arrhenius para pérdida de peso en arveja (*Pisum sativum L.*) variedad Sureña y Obonuco Andina.

Variedad	Empaque	$m * 10^{+3}$ (días ⁻¹)	B	R ² (%)	%E	RMSE	Ea (KJ*mol ⁻¹)
	Rígido	4,322	7,984	83,910	2,369	0,015	35,466
Andina	Bolsa	2,746	4,036	68,960	2,760	0,016	22,829
	Bandeja	4,025	9,347	97,610	0,948	0,002	33,936
	Rígido	5,391	12,838	86,560	2,836	0,021	44,818
Sureña	Bolsa	2,559	3,429	40,990	4,689	0,044	21,276
	Bandeja	4,055	8,343	96,930	1,005	0,002	33,712

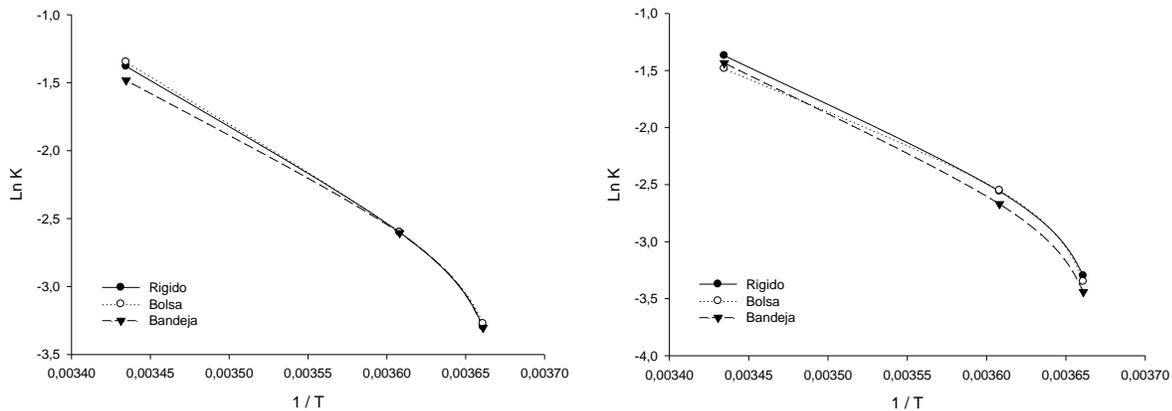
m: pendiente, B: Intercepto, R²: Coeficiente de Determinación, E: Error Porcentual, RMSE: raíz cuadrada del error medio cuadrático, Ea: Energía de activación. Fuente: Esta Investigación.

Los datos de energía de activación mostrados en la tabla 23, nos permiten inferir que en el empaque en bolsa, independiente de la variedad, es aquel en el cual la arveja pierde peso de manera más rápida en comparación con los otros empaques, debido a que la barrera de energía que deben superar los reactivos para transformarse en productos (Atarés, 2009), es más baja.

Aplicando el concepto anterior, es el empaque termoformado perforado (rígido), aquel que evita la pérdida de peso por más tiempo, almacenado a bajas temperaturas, El-hamahmy, ElSayed y Otero (2017), mencionan que la refrigeración es el método más utilizado para aumentar la vida útil de las hortalizas mediante la reducción de la tasa respiratoria, en comparación con el almacenamiento a temperatura ambiente.

3.3.3 Índice de color

En la figura 12 se muestra la representación gráfica de la ecuación de Arrhenius, evidenciando la dependencia del cambio de color en los granos de arveja almacenado a diferentes condiciones de almacenamiento, representados por las constantes cinéticas, a la temperatura. En la tabla 23, se presenta los parámetros cinéticos y la bondad de ajuste para cada variedad y empaque, también se presenta el dato de energía de activación (E_a).



a) Var. Sureña

b) Var. Andina

Figura 12. Ecuación de Arrhenius para cambios de color en arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.

Fuente: Esta Investigación.

Tabla 24.

*Promedios de parámetros cinéticos y bondad de ajuste ecuación de Arrhenius para cambios de color en arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.*

Variedad	Empaque	$m * 10^{+3}$ (días ⁻¹)	B	R ² (%)	%E	RMSE * 10 ⁻³	Ea (KJ*mol ⁻¹)
	Rígido	8,109	26,526	97,290	4,680	8,567	67,424
Andina	Bolsa	7,726	25,106	95,410	5,739	13,427	64,238
	Bandeja	8,428	27,558	97,280	4,661	9,280	70,077
	Rígido	8,111	26,515	98,010	3,955	6,228	67,437
Sureña	Bolsa	8,185	26,797	98,420	3,571	5,013	68,052
	Bandeja	7,650	24,832	97,330	4,268	7,501	63,604

m: pendiente, B: Intercepto, R²: Coeficiente de Determinación, E: Error Porcentual, RMSE: raíz cuadrada del error medio cuadrático, Ea: Energía de activación. Fuente: Esta Investigación.

Mónaco *et al.* (2005a), menciona 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, recomendando la utilización en envases selectivos para evitar dicho fenómeno.

Martins y Silva (2002), Erge *et al.*, (2008) y Urrea *et al.*, (2012) reportan valores de 55,329 y 55,06 KJ/mol para arveja y 46,5 KJ/mol para zanahoria respectivamente, indicando que estas matrices son más susceptibles a la degradación de los compuestos que aportan el color.

3.3.4 Clorofila

En la figura 13 se muestra la representación gráfica de la ecuación de Arrhenius, evidenciando la dependencia del cambio del contenido de clorofila en los granos de arveja almacenado a

diferentes condiciones de almacenamiento, representados por las constantes cinéticas, a la temperatura. En la tabla 25, se presenta los parámetros cinéticos y la bondad de ajuste para cada variedad y empaque, también se presenta el dato de energía de activación (E_a).

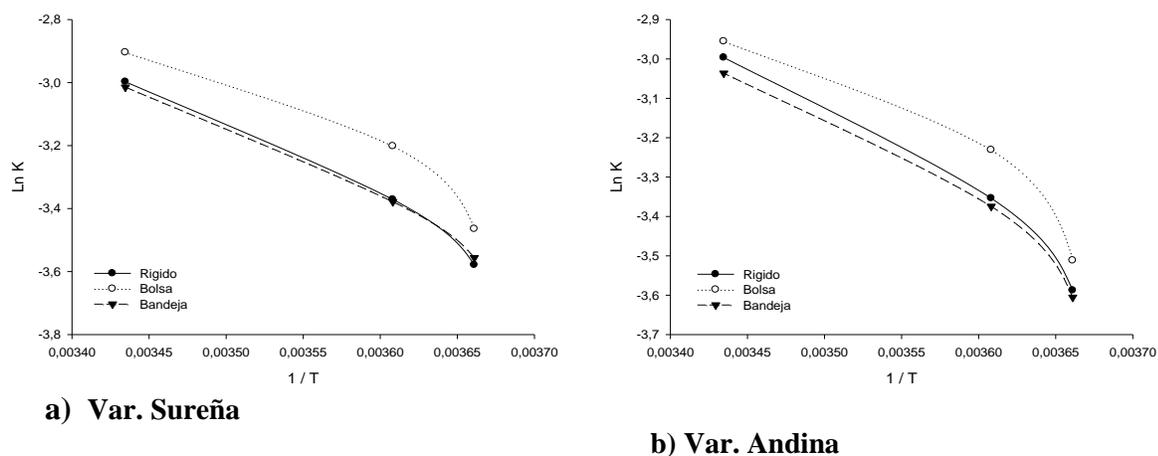


Figura 13. Ecuación de Arrhenius para contenido de clorofila en arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.

Fuente: Esta Investigación.

Tabla 25.

Promedios de parámetros cinéticos y bondad de ajuste ecuación de Arrhenius para contenido de clorofila en arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.

Variedad	Empaque	$m * 10^{+3}$ (días ⁻¹)	B	R^2 (%)	%E	RMSE $* 10^{-4}$	E_a (KJ* mol^{-1})
Andina	Rígido	2,475	5,519	96,830	1,151	9,368	20,581
	Bolsa	2,243	4,769	91,050	1,857	23,094	18,647
	Bandeja	2,374	5,133	96,420	1,167	9,774	19,741
Sureña	Rígido	2,466	5,482	98,180	0,862	5,275	20,499
	Bolsa	2,287	4,972	93,260	1,646	17,678	19,019
	Bandeja	2,319	4,959	98,950	0,614	2,671	19,284

m: pendiente, B: Intercepto, R^2 : Coeficiente de Determinación, E: Error Porcentual, RMSE: raíz cuadrada del error medio cuadrático, E_a : Energía de activación. Fuente: Esta Investigación.

El fenómeno observado se explica a través de las condiciones de almacenamiento, según Ulloa, Sáenz y Castro, (2015) la disminución en el contenido de clorofila se atribuye a mayores temperaturas de almacenamiento, por ello bajo las condiciones de estudio no se presentaron cambios significativos en la E_a , no obstante, Erge *et al.*, (2008) reporta valores de E_a de 47,78 y 26,77 KJ/mol, al igual que, Martins y Silva, (2002) de 48,730 y 49,595 KJ/mol para clorofila a y b respectivamente.

3.3.5 Humedad

En la figura 14 se muestra la representación gráfica de la ecuación de Arrhenius, evidenciando la dependencia del cambio del contenido de humedad en los granos de arveja almacenado a diferentes condiciones de almacenamiento, representados por las constantes cinéticas, a la temperatura. En la tabla 26, se presenta los parámetros cinéticos y la bondad de ajuste para cada variedad y empaque, también se presenta el dato de energía de activación (E_a).

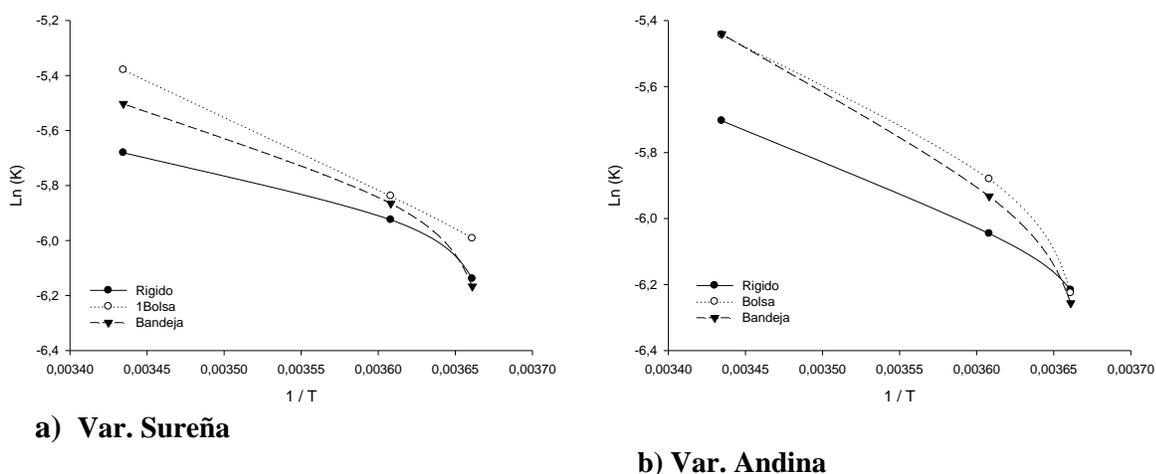


Figura 14. Ecuación de Arrhenius para contenido de humedad en arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.

Fuente: Esta Investigación.

Tabla 26.

Promedios de parámetros cinéticos y bondad de ajuste ecuación de Arrhenius para contenido de humedad en arveja (*Pisum sativum L.*) variedad Sureña y Obonuco Andina.

Variedad	Empaque	$m * 10^{+3}$ (días ⁻¹)	B	R ² (%)	%E	RMSE	Ea (KJ*mol ⁻¹)
	Rígido	2,193	1,837	98,820	0,344	0,268	18,234
Andina	Bolsa	3,223	5,648	94,760	1,109	2,681	26,792
	Bandeja	3,411	6,295	96,780	0,905	1,807	28,361
	Rígido	1,871	0,762	93,300	0,732	1,175	15,558
Sureña	Bolsa	2,691	3,865	99,960	0,076	0,012	22,373
	Bandeja	2,724	3,874	94,080	1,003	2,182	22,647

m: pendiente, B: Intercepto, R²: Coeficiente de Determinación, E: Error Porcentual, RMSE: raíz cuadrada del error medio cuadrático, Ea: Energía de activación. Fuente: Esta Investigación.

Los valores de Ea encontrados representa la energía requerida para iniciar la difusión de humedad de las dos variedades de arveja durante el almacenamiento. Pantoja *et al.* (2016), mencionan que la energía de activación de los alimentos fluctúa entre 12,7 y 110 kJ/mol. Dichos autores, reportan valores de energía de activación para la variedad de arveja Obonuco Andina: 26,867 kJ/mol, y para la variedad Sureña: 25,291 kJ/mol, similares a los encontrados en esta investigación. Así mismo, al comparar los resultados obtenido con otras investigaciones se evidencia que la arveja pierde con mayor facilidad agua que otros materiales vegetales en los cuales se reporta energía de activación de: 77,16 kJ/mol para hojas de tomillo (da Rocha *et al.*, 2012); 39,7 kJ/mol para pimientos (Vega, Andres y Fito, 2005).

Ardila y Parra-Coronado, (1999) y Vinicio, Castro y Gonzalez, (1991) mencionan que

empaques sin perforaciones son más eficientes en prevenir las pérdidas de agua, debido a que el empaque no permite la salida del agua de transpiración, creando un ambiente de alta humedad que limita la pérdida posterior de humedad interna; sin embargo, una humedad relativa alta puede ocasionar condensación.

3.3.6 Actividad de agua (A_w)

En la figura 15 se muestra la representación gráfica de la ecuación de Arrhenius, evidenciando la dependencia de la actividad de agua en los granos de arveja almacenada a diferentes condiciones de almacenamiento, representados por las constantes cinéticas, a la temperatura. En la tabla 26, se presenta los parámetros cinéticos y la bondad de ajuste para cada variedad y empaque, también se presenta el dato de energía de activación (E_a).

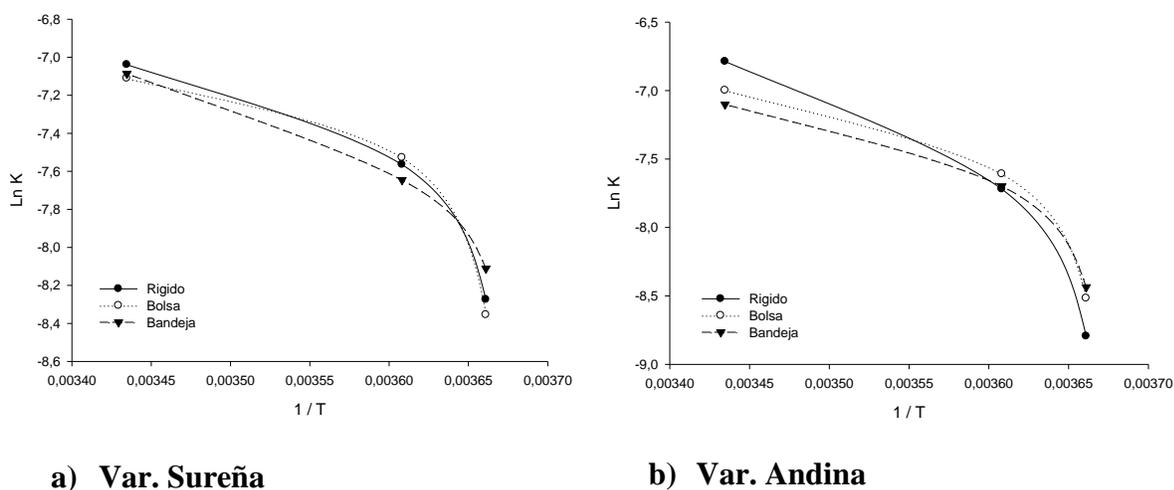


Figura 15. Ecuación de Arrhenius para actividad de agua en arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.

Fuente: Esta Investigación.

Tabla 27.

Promedios de parámetros cinéticos y bondad de ajuste ecuación de Arrhenius para actividad de agua en arveja (*Pisum sativum L.*) variedad Sureña y Obonuco Andina.

Variedad	Empaque	$K * 10^{+3}$ (días ⁻¹)	B	R ² (%)	%E	RMSE	Ea (KJ*mol ⁻¹)
	Rígido	7,996	20,762	88,890	3,090	0,037	66,479
Andina	Bolsa	5,915	13,398	84,02	2,864	0,031	49,181
	Bandeja	5,287	11,117	87,63	2,192	0,018	43,953
	Rígido	4,851	9,683	85,93	2,206	0,018	40,333
Sureña	Bolsa	4,729	9,208	78,15	2,803	0,029	39,317
	Bandeja	4,202	7,378	94,04	1,189	0,005	34,937

m: pendiente, B: Intercepto, R²: Coeficiente de Determinación, E: Error Porcentual, RMSE: raíz cuadrada del error medio cuadrático, Ea: Energía de activación. Fuente: Esta Investigación.

Como ya se ha mencionado antes el efecto observado en envase rígido es producto de que el empaque no permite la salida del agua de transpiración, creando un ambiente de alta humedad (Vinicio, Castro y Gonzalez, 1991).

3.3.7 Tiempos de vida útil

Garrote *et al.*, (2008) menciona que los parámetros cinéticos, la constante de velocidad y la energía de activación permiten predecir los cambios de calidad que se producen durante algún procesamiento o almacenamiento.

En la tabla 28, se presenta un consolidado de las ecuaciones después de aplicar Arrhenius para cada uno de los atributos de calidad. El ajuste de los datos experimentales mostró que las ecuaciones obtenidas, describe adecuadamente cada atributo, como lo muestran los valores de R²,

RMSE y E (Tablas 22 a 27).

Tabla 28.

Consolidado de ecuaciones de Arrhenius para las variables evaluadas.

Variabes	Ecuación	R²	E (%)	RMSE
Firmeza	$\text{Ln } K = - 3988 * \frac{1}{T} + 13,572$	99,99	0,753	0,000
Peso	$\text{Ln } K = - 4322 * \frac{1}{T} + 9,347$	97,61	0,948	0,002
Color (IC)	$\text{Ln } K = - 8185 * \frac{1}{T} + 26,797$	98,42	3,571	0,005
Clorofila	$\text{Ln } K = - 2319 * \frac{1}{T} + 4,959$	98,95	0,614	0,003
Humedad	$\text{Ln } K = - 2691 * \frac{1}{T} + 3,865$	99,96	0,076	0,012
Aw	$\text{Ln } K = - 4202 * \frac{1}{T} + 7,378$	94,04	1,189	0,005

K: Constante de velocidad de orden 0 o 1, T: Temperatura en Kelvin, R²: Coeficiente de Determinación, E: Error Porcentual, RMSE: raíz cuadrada del error medio cuadrático. Fuente: Esta Investigación.

Varios autores citados por Brousse *et al.* (2014), mencionan que un buen ajuste es indicado por $R^2 > 85$, $E < 10 \%$ y valores pequeños de RMSE ($< 0,03$), indicando que los valores del pronóstico son muy aproximados a los valores reales, valores grandes significa que existen grandes errores en el pronóstico.

Las ecuaciones de la tabla 28 permiten calcular constantes cinéticas a diferentes temperaturas para cada atributo. En la tabla 29 se muestra valores de K para las temperaturas de 0°C, 6°C,

10°C y 24°C. En las anteriores ecuaciones (Tabla 28), se reemplaza el valor de la temperatura en grados Kelvin y se realiza el respectivo cálculo.

Tabla 29.

Constantes cinéticas (K) a diferentes temperaturas para las variables evaluadas.

Parámetro	Constante Cinética K (días ⁻¹)			
	0°C	6°C	10°C	24°C
Firmeza	0,358	0,489	0,599	1,163
Peso	1,540 * 10 ⁻³	2,164 * 10 ⁻³	2,693 * 10 ⁻³	5,528 * 10 ⁻³
IC	0,042	0,080	0,121	0,473
Clorofila	2,923 * 10 ⁻²	3,514 * 10 ⁻²	3,952 * 10 ⁻²	5,813 * 10 ⁻²
Humedad	2,512 * 10 ⁻³	3,104 * 10 ⁻³	3,557 * 10 ⁻³	5,566 * 10 ⁻³
Aw	3,336 * 10 ⁻⁴	4,644 * 10 ⁻⁴	5,744 * 10 ⁻⁴	11,557 * 10 ⁻⁴

Fuente: Esta Investigación.

No obstante, para estimar el tiempo de vida útil, es necesario definir que atributo de calidad presenta mayor relevancia. Autores como Alia *et al.* (2002), reporta que pérdidas de peso de entre 5 y 10% pueden representar un producto comercialmente inaceptable, en consecuencia para los datos experimentales se toma como límite de pérdida el 5%, siendo Q el valor de peso menos el 5% de pérdida permisible (209 g). Para la variable Aw, Garza (2002) y Puerta (2006) reportan que las frutas y hortalizas presentan valores de actividad acuosa entre 0,97 y 1, considerándose en este rango una gran actividad microbiológica, en consecuencia se toma como parámetro de actividad de agua Q = 0,97. Respecto del IC, Vallejo y Velasco, (2015) reportan que valores de -5,1 ya no son aceptables, así mismo reportan que valores de firmeza por debajo de 33,84 N, hace

que el producto se torne gomoso. Por último, para el contenido de clorofila, Q es el valor mínimo promedio obtenido en la experimentación (4,665 mg/g).

En este sentido, en la tabla 30 se muestra las ecuaciones obtenidas con los parámetros cinéticos, tras aplicar el orden de reacción a cada variable de estudio en la experimentación (Anexo 14, 16, 18, 20, 22 y 24), y según los resultados de los análisis de varianza y comparación de medias de las variables pérdida de peso, actividad de agua, contenido de humedad, índice de color, firmeza y contenido de clorofila.

Tabla 30.

Consolidación de parámetros cinéticos de las variables evaluadas.

Parámetro	Orden	Ecuación	Q	R ²	E (%)	RMSE
Firmeza	0	$Q = -K * t + 48,221$	33,84 N	96,030	1,034	0,233
Peso	1	$\ln Q = -K * t + 5,405$	209 g	99,070	0,014	$0,589 * 10^{-6}$
Color	0	$Q = K * t - 5,659$	-5,1	97,600	0,650	$0,081 * 10^{-2}$
Clorofila	1	$\ln Q = -K * t + 2,646$	4,665 mg/g	95,280	1,928	$11,759 * 10^{-4}$
Humedad	1	$\ln Q = -K * t + 4,126$	59%	98,540	0,044	$2,613 * 10^{-6}$
AW	1	$\ln Q = K * t - 0,036$	0,97	94,100	2,465	$0,418 * 10^{-6}$

K: Constante de velocidad de orden 0 o 1, Q: Valor atributo al tiempo, R²: Coeficiente de Determinación, E: Error Porcentual, RMSE: raíz cuadrada del error medio cuadrático. Fuente: Esta Investigación.

Con cada una de las ecuaciones (Tabla 30), se despeja el tiempo y se reemplaza los valores de Q y de K dependiendo de la temperatura a la cual se desea estimar la vida útil de la arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Sureña y Obonuco Andina, empacada bajo las mismas condiciones de estudio.

En la tabla 31, se muestran los días de vida útil estimados, donde la arveja en estado fresco conserva sus características a las diferentes temperaturas de almacenamiento y empaque, según cada variable de estudio.

Tabla 31.

Días estimados de vida útil a diferentes temperaturas de almacenamiento.

Parámetro	Vida Útil (días)			
	0 °C	6 °C	10 °C	24 °C
Firmeza	40	29	24	12
Peso	40	28	23	11
Color (IC)	13	7	5	2
Clorofila	37	31	27	19
Humedad	19	16	14	9
AW	16	11	10	5

Fuente: Esta Investigación.

Autores citados por Parra (2014), mencionan que los cambios observados se atribuyen en gran medida a las condiciones de manejo y almacenamiento pos cosecha, en dicha etapa la transpiración y el consumo de sustratos, son la razón de la pérdida de peso. También, Kader y Pelayo (2011), exponen que la pérdida de agua libre es una de las principales causas de deterioro, ya que se originan pérdidas cuantitativas directas, así como pérdidas cualitativas relacionadas con el aspecto, pérdida de brillo, de turgencia, cambios en la textura y consistencia y en el valor nutricional, cambios de color que se presentan por degradación de la clorofila, debido a procesos oxidativos.

De igual manera, El-hamahmy, ElSayed y Odero (2017), mencionan que la arveja es una leguminosa no climatérica con una vida útil relativamente corta debido a su estructura de parénquima, por lo que es importante mantener su calidad pos cosecha para prolongar su almacenamiento.

Yanfeng (2106), menciona que las pérdidas pos cosecha se miden como pérdida de cantidad, medida de la reducción del peso o volumen del producto causado por procesos metabólicos como la respiración, y pérdida de calidad, que hace referencia a la disminución del valor del producto, que por lo general estas pérdidas se traducen en una reducción de los precios y del mercado.

Las frutas y verduras frescas tienen una vida útil corta y son propensas a pérdidas pos cosecha debido a lesiones mecánicas, causas fisiológicas y pudrición; siendo las bajas temperaturas el tratamiento pos cosecha más aplicado para retrasar la senescencia en los vegetales, manteniendo así su calidad pos cosecha (Aghdam *et al.*, 2013).

No obstante, Gómez y Vásquez, (2007) indican que las características de color y textura de un vegetal tienen un rol muy importante en la evaluación de calidad y aceptabilidad por parte del consumidor, sin embargo, el parámetro IC está relacionado con la clorofila los dos parámetros expresan diferentes tiempos de vida útil, por ello se toma el atributo firmeza como indicador de vida útil.

4. CONCLUSIONES

- En las dos variedades de arveja (*Pisum sativum* L.) Sureña y Obonuco Andina, no se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas en cada una de las características físicas y bromatológicas
- A la temperatura de almacenamiento de 0°C, se presentaron valores de constantes cinéticas más bajos en las variables firmeza y contenido de clorofila, y en el empaque bandeja, las variedades de arveja pierden más lentamente clorofila.
- El empleo de empaques rígidos perforados y el almacenamiento a 0°C, permitió conservar por más tiempo las características de los granos de arveja, en cuanto a pérdida de peso, contenido de humedad y actividad de agua.
- El menor porcentaje de brotación se presentó en los granos de arveja variedad Sureña, almacenada a 0°C en bolsas plásticas, de igual manera, los granos de la variedad Andina, mantuvieron su coloración por más tiempo si se empacan en bandeja a 0°C.
- Se obtuvieron ecuaciones de orden cero y uno para cada una de las variables de estudio, y con la ecuación de Arrhenius se estimó tiempos de vida útil para la arveja almacenada bajo las mismas condiciones de esta investigación, siendo la variable Índice de Color aquella que permite predecir el comportamiento pos cosecha.
- En general se recomienda el uso de empaques plásticos y almacenamiento a bajas temperaturas para conservar las características de calidad y obtener tiempos largos de vida útil.

BIBLIOGRAFÍA

- Aghdam, M., Sevillano, L., Flores, F., y Bodbodak, S. (2013). Heat shock proteins as biochemical markers for postharvest chilling stress in fruits and vegetables. *Scientia Horticulturae*, 160, 54-64.
- Alia, I., Colinas, M., Martínez, M., y Soto, M. (2002). Factores fisiológicos, bioquímicos y de calidad en frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota* Jacq. H.E. Moore y Steam) durante poscosecha. *Chapingo Serie Horticultura*, 8(2): 263-281.
- Amarakoon, D., Thavarajah, D., McPhee, K., y Thavarajah, P. (2012). Iron-, zinc-, and magnesium-rich field peas (*Pisum sativum* L.) with naturally low phytic acid: A potential food-based solution to global micronutrient malnutrition. *Journal of Food Composition and Analysis*, 27, 8-13.
- Andrade, J., Pinchao, Y., Osorio, O., y Mejía, D. (2016). Procesamiento de Arvejas (*Pisum sativum* L.). Parte 5: Desarrollo de un Recubrimiento para la Conservación de Arveja (*Pisum sativum* L.). *Información tecnológica*, 27(5), 15-26.
- Anzueto, C. (2012). *Modelos matemáticos para la estimación de vida útil de alimentos*. OSMOSIS Consultores. San Salvador. Guatemala.
- Ardila, L., y Parra-Coronado, A. (1999). Evaluación de Tres Tipos de Empaque (bolsas de polietileno) para Almacenamiento de de guayaba manzana (*Psidium guajava* var., Klom sali). *Revista Ingeniería e Investigación*, (43), 40-45.
- Atarés, L. (2009). Resolución problema cinético (n, K). Universitat Politècnica de València.
- Baldizon, C., Valle, G., y Córdoba, M. (2011). Evaluación de la vida útil de una pasta de tomate mediante pruebas aceleradas por temperatura. *Ingeniería*, 21(2), 31-38.
- Barac, M., Cabrilo, S., Pesic, M., Stanojevic, S., Zilic, S., Macej, O., y Ristic, N. (2010). Profile and functional properties of seed proteins from six pea (*Pisum sativum*) genotypes.

International Journal of Molecular Sciences, 11(12), 4973-4990.

- Bautista, M., Nuñez, A., Amaya, C., Báez, J., Espinoza, A., Rodríguez, A., y otros. (2016). Influencia del tipo y tiempo de cocción en la degradación de clorofila en hortalizas. *Investigación y Desarrollo En Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(1), 411-416.
- Bayram, M. (2005). Determination of the sphericity of granular food materials. *Journal of Food Engineering*, 68(3), 385-390.
- Belalcazar, F. (2007). *Evaluación de los procesos de envasado y empaclado al vacío para la variedad de arveja (Pisum sativum L.) Obonuco Andina* (Tesis Pregrado). Facultad de Ingeniería Agroindustrial. Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. 113p.
- Bernal, I. (1998). *Análisis de alimentos*. (G. LTDA, Ed.) (3rd ed.). Bogota.
- Betancourth, E., y Montenegro, 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 Pregrado). Universidad de Nariño, Pasto, Colombia.
- Brousse, M., Vergara, M., Zubreski, E., Cruz, N., y Martos, M. (2014). Cinética de absorción de agua de tejidos de mandioca macerados con una poligalacturonasa microbiana. *Revista de Ciencia Y Tecnología*, 16(22), 53-57.
- Castro, J., Pfaffenbach, L., Carvalho, C., y Rossetto, C. (2003). Efecto del empaque plástico sobre la vida de anaquel del mango "KEITT". *Rev. Iber. Tecnología Pos cosecha*, 5(1), 33-37.
- Cerón, A., Bucheli, M., y Osorio, O. (2014). Elaboración de galletas a base de harina de papa de la variedad Parda Pastusa (*Solanum tuberosum L.*). *Acta Agronómica*, 63(2), 101-109.
- Cerón, A., Latorre, L., Bucheli, M., Osorio, O., Mejía, D., y Garcés, L. (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.

- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - CORPOICA. (2002). Taller de Hortalizas - Productividad - Mercadeo. SEDE CORPOICA-TIBAITATA-MOSQUERA: Memorias.
- da Rocha, R., Melo, E., Corbín, J., Berbert, P., Donzeles, S., y Tabar, J. (2012). Cinética del secado de tomillo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola E Ambiental*, 16(6), 675-683.
- Davila, M., Sangronis, E., y Granito, M. (2003). Leguminosas germinadas o fermentadas: Alimentos o ingredientes de alimentos funcionales. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 53(4), 348-354.
- Dermesonluoglu, E., Katsaros, G., Tsevdou, M., Giannakourou, M., y Taoukis, P. (2015). Kinetic study of quality indices and shelf life modelling of frozen spinach under dynamic conditions of the cold chain. *Journal of Food Engineering*, 148, 13-23.
- Díaz, W. (2014). Evaluación de la aptitud de tres nuevas líneas de arveja (*Pisum sativum* L.) para procesamiento como conserva en lata. Tesis Maestría. Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Nariño. 143p.
- Diaz, W., Cerón, A., Osorio, O., y Mejía, D. (2014). Efecto de la humedad en propiedades físicas de semillas de arveja (*Pisum sativum* L.). *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*, 67(2 (Sup. II)), 579-581.
- El-hamahmy, M., ElSayed, A., y Odero, D. (2017). Physiological effects of hot water dipping, chitosan coating and gibberellic acid on shelf-life and quality assurance of sugar snap peas (*Pisum sativum* L. var. *macrocarpon*), *Food Packaging and Shelf Life*, 11, 58-66.
- Elwan, M., Nasef, I., El-Seifi, S., Hassan, M., y Ibrahim, R. (2015). Storability, shelf-life and quality assurance of sugar snap peas (cv. super sugar snap) using modified atmosphere packaging. *Postharvest Biology and Technology*, 100, 205-211.
- Erge, H., Karadeniz, F., Koca, N., y Soyer, Y. (2008). Effect of treatment on chlorophyll

- degradation and color loss in green peas. *GIDA*, 33(5), 225-233.
- Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas - FENALCE. (2010). *El cultivo de la arveja, historia y su importancia*. Consulta, 32-34. Recuperado de http://www.fenalce.org/arch_public/arveja93.pdf.
- Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y leguminosas - FENALCE. (2015). *El cultivo de arveja en Colombia*. 33. 1-12. Recuperado de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos31_mar_2015.pdf
- Flores, D., y Ruiz, E. (2010). *Influencia del tiempo de escaldado, presión de empacado al vacío y grado de madurez del grano en la conserva de arveja (Pisum sativum L.)* (Tesis). Universidad Tecnica del Norte, Ibarra - Ecuador.
- Frets, M. (1990). Lentil and Split Pea Cookbook. *Peanut Butter Publishing*, Seattle, WA.
- Gálvez, A., Aravena, E., y Mondaca, R. (2006). Isotermas de adsorción en harina de maíz (*Zea mays L.*). *Ciência E Tecnologia de Alimentos*, 26(4), 821-827.
- García, C., Chacon, G. y Molina, M. (2011). Evaluación de la vida útil de una pasta de tomate mediante pruebas aceleradas por temperatura. *Ingeniería*, 21(2), 31-38.
- García, A. y Pacheco-Delahaye, E. (2007). Temperature effects upon the postharvest quality of the arracacha. *Agronomia Tropical (Maracay)*, 57(4), 323-330.
- García, Y., García, A., Hernández, A., y Pérez, J. (2011). Estudio de la variación del Índice de Color durante la conservación de la piña variedad Cayena Lisa a temperatura ambiente. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(4), 12-16.
- Garrote, R., Silva, E., Bertone, R., y Roa, R. (2006). Changes of ascorbic acid and surface color of green peas sterilized in cans subjected to end-over-end agitation. *Journal of Food Engineering*, 73, 29-37.

- Garrote, R., Silva, E., Roa, R., y Bertone, R. (2008). Kinetic parameters of surface color degradation of canned fresh Green peas sterilized in a rotary retort. *LWT*, 41, 408-413.
- Garza, S. (2002). *Caracterización reológica y microbiológica, y cinéticas de deterioro en cremogenado de melocotón*. Universitat de Lleida. 174 p.
- Gómez, C., Herrera, A., y Flórez, V. (2015). Efecto de 1-metilciclopropeno y temperatura de almacenamiento en la pos cosecha de mandarina (*Citrus reticulata* L.) var. Arrayana. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias*, 47(2), 27-41.
- Gómez, S., y Vásquez, A. (2007). Tecnología de empacado en atmósferas modificadas: principios, desarrollo en investigación y aplicaciones. *Ingeniería de Alimentos*, 1(1), 66-79.
- Gonzalo, G., y Zoffoli, J. (1989). Madurez de Consumo de Peras. *Revista Fruticola*, 10(1), 14-15.
- Hajare, S., Saroj, S., Dhokane, V., Shashidhar, R., y Bandekar, J. (2007). Effect of radiation processing on nutritional and sensory quality of minimally processed green gram and garden pea sprouts. *Radiation Physics and Chemistry*, 76, 1642-1649.
- Hough, G., y Fiszman, S. (2005). Estimación de la vida útil sensorial de alimentos. Valencia, España. 114p.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación - ICONTEC. (2002). *Arveja verde NTC 1250*. Bogotá, Colombia.
- Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá. (2012). *Tabla de Composición de Alimentos*. (INCAP, Ed.) (2nd ed.). Guatemala.
- Jovanovic, S. (2013). Quality Characterization and Modeling Experimental Kinetics in Pilot Scale Heat Pump Drying of Green Peas. Masters Thesis. Department of Energy and Process Engineering. Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway.
- Kader, A., y Pelayo, C. (2011). Tecnología postcosecha de cultivos hortofrutícolas, Información e Investigación en Tecnología Postcosecha. California, Estados Unidos.

- Kashiri, M., Kashaninejad, M., y Aghajani, N. (2010). Modeling water absorption of sorghum during soaking. *Latin American Applied Research*, 40(4), 383-388.
- Lanchero, O., Velandia, G., Fischer, G., y Varela, N. (2007). Comportamiento de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en poscosecha bajo condiciones de atmósfera modificada activa. *Revista CORPOICA – Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 8(1), 61-68.
- Latorre, L., Mejía, D., y Osorio, O. (2016). Cambios en el contenido de clorofila y peso en dos variedades de arveja (*Pisum sativum* L.) almacenadas a diferentes temperaturas. *Vitae*, 23(Supl. 1), 836-839.
- Laudadio, V., y Tufarelli, V. (2010). Pea (*Pisum sativum* L.) Seeds as an Alternative Dietary Protein Source for Broilers: Influence on Fatty Acid Composition, Lipid and Protein Oxidation of Dark and White Meats. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 88, 967-973.
- Lazcano, M., Avila, R., Mújica, H., y Valdez, A. (2001). Efecto de la temperatura en la actividad de agua, conductividad y difusividad térmica de miel de abeja. 1p.
- Ligarreto, G., y Ospina, A. (2009). Análisis de parámetros heredables asociados al rendimiento y precocidad en arveja voluble (*Pisum sativum* L.) tipo Santa Isabel. *Agronomía Colombiana*, 27(3), 333-339.
- Lin, S., y Brewer, M. (2005). Effects of blanching method on the quality characteristics of frozen peas. *Journal of Food Quality*, 28, 350-360.
- Magaña, W., Balbín, M., Corrales, J., Rodríguez, A., Saucedo, C., Cañizares, E., y otros. (2004). Efecto de la frigoconservación en el comportamiento fisiológico de frutas de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth). *Cultivos Tropicales*, 25(4), 33-39.
- Mamilla, R., y Mishra, V. (2017). Effect of germination on antioxidant and ACE inhibitory activities of legumes. *LWT – Food Science and Technology*, 75, 51-58.

- Martinez, C. (2007). *Efecto de diferentes tratamientos en la calidad y duración de vida poscosecha de arveja de vaina comestible dulce (Pisum sativum L.) tipo sugar snap* (Tesis pregrado). Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad de la Frontera, Temuco, Chile. 40p.
- Martins, R., y Silva, C. (2002). Modelling colour and chlorophyll losses of frozen green beans (*Phaseolus vulgaris*, L.). *International Journal of Refrigeration*, 25, 966-974.
- Martins, R., y Silva, C. (2004). Computational design of accelerated life testing applied to frozen green beans. *Journal of Food Engineering*, 64, 455-464.
- Mckinney, G. (1941). Absorption of light by chlorophyll solutions. *Journal Biology Chemistry*, 315-322.
- Melquíades, Y., López, C., y Rosas, M. (2009). Estudio de la cinética de rehidratación de zanahoria (*Daucus Carota*) deshidratadas. *Información Tecnológica*, 20(3), 65-72.
- Mónaco, E., Chiesa, A., Trincherro, G., y Frascina, A. (2005a). Selección de películas poliméricas para su empleo con lechuga en atmósfera modificada. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 34(1), 59-70.
- Morales, C. (2009). *Evaluación de la calidad del nopal (Opuntia ficus indica) variedad Milpa Alta desespinado, envasado en atmósferas modificadas* (Tesis). Universidad Autónoma Metropolitana, México D. F.
- Muy, D., Siller, J., Díaz, J., y Valdéz, B. (2004). Efecto de las condiciones de almacenamiento y el encerado en el estatus hídrico y la calidad pos cosecha de pepino de mesa. *Rev. Fitotec. Mex.*, 27(2), 157-165.
- Ochoa, C., y Guerrero, J. (2012). Efecto del almacenamiento a diferentes temperaturas sobre la calidad de tuna roja (*Opuntia ficus indica* (L.) Miller). *Informacion Tecnologica*, 23(1), 117-128.

- Ordóñez, M., Gely, M., y Pagano, A. (2012). Estudio de las propiedades físicas y de la cinética de secado de granos de maíz colorado duro. *Avances En Ciencia E Ingeniería*, 3(3), 153-171.
- Ortiz, M., Rotondo, R., Grasso, R., Calani, P., Firpo, I., y Cosolito, P. (2014). Evaluación de alternativas de manejo de pos cosecha en hortalizas de hoja sobre las pérdidas a nivel minorista. La producción mundial de alimentos destinada al consumo humano, desde la especie y la ausencia de métodos universales para su medición. *Deco. Fave. Sección Ciencias Agrarias*, 13(1), 35-50.
- Osorio, O., Arango, O., y Hurtado, A. (2012). Inhibición de la germinación de cuatro materiales de arveaj (*Pisum sativum*), mediante luz ultravioleta tipo C. *Vitae*, 19(Supl. 1), 63-65.
- Ospina, D., Ciro, H., y Aristizábal, I. (2007). Determinación de la fuerza de la fractura superficial y fuerza de firmeza en frutos de lulo (*Solanum quitoense* x *Solanum hirtum*). *Rev.Fac.Nal.Agr*, 60(2), 4163-4178.
- Pabón, J., y Castaño, J. (2012). Identificación de hongos y bacterias en granos de arveja (*Pisum sativum* LLINNEO). *Revista de agronomía Universidad de Caldas*, 20(1), 26-37.
- Pacheco, C., Vergara, M., y Ligarreto, G. (2011). Clasificación de 42 Líneas Mejoradas de Arveja (*Pisum sativum* L.) por Caracteres Morfológicos y Comportamiento Agronómico. *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín*, 63(73), 5543-5553.
- Pajak, P., Socha, R., Galkowska, D., Rożnowski, J., y Fortuna, T. (2014). Phenolic profile and antioxidant activity in selected seeds and sprouts. *Food Chemistry*, 14, 300-306.
- Pantoja, D., Osorio, O., Mejía, D., y Váquiro, H. (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.
- Pariasca, J., Miyazaki, T., Hisaka, H., Nakagawa, H., y 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*). *Postharvest Biology and Technology*, 21, 213-223.
- Parra, A. (2014). Maduración y comportamiento pos cosecha de la guayaba (*Psidium guajava* L.). Una revisión. *Revista Colombiana De Ciencias Hortícola*, 8(2), 314-32.
- Peñaranda, G., y Molina, D. (2011). La producción de arveja (*Pisum sativum*) en la vereda Monteadentro, provincia de Pamplona, Norte de Santander. *Revista FACE*, VII(11): 43-56.
- Perales, A., Loli, O., Alegre, J., y Camarena, F. (2009). Indicadores de sustentabilidad del manejo de suelos en la producción de arveja (*Pisum sativum* L.). *Ecología Aplicada*, 8(1-2), 47-52.
- Piergiovanni, L., y Limbo, S. (2010). *Shelf life prodotto-dipendente*. In Food packaging. Materiali, tecnologie e qualità alimenti (pp. 431–451). Italia.
- Polo, I. (2012). *Determinación proximal de los principales componentes nutricionales de seis variedades de leguminosas: arveja, garbanzo, lenteja, maní y soya* (Tesis Pregrado). Facultad de Ciencias Exactas y Naturales/Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador. 126p.
- Puerta, G. (2006). La humedad controlada del grano preserva la calidad del café. *Avance Técnicos No. 317*. CENICAFÉ, 8p.
- Ramana, T., Gol, N., y Shah, K. (2011). Effect of postharvest treatments and storage temperatures on the quality and shelf life of sweet pepper (*Capsicum annum* L.). *Scientia Horticulturae*, 132, 18-26.
- Ramos, A. (2013). *Composición química y valor nutricional de los alimentos para animales*. Evaluación y manejo de alimentos. 54p. Recuperado de <http://www.fagro.edu.uy/~nutrical/ensenanza/AVI%20WEB/cursoema/Tecnicas2013.pdf>
- Rangel-Marrón, M., y 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.
- Ratnayake, W., Hoover, R., Shahidi, F., Perera, C., y Jane, J. (2001). Composition, molecular structure, and physicochemical properties of starches from four field pea (*Pisum sativum* L.) cultivars. *Food Chemistry*, 74, 189-202.
- Resolución ICA – Instituto Colombiano Agropecuario 002620. (25 de septiembre de 2006). Registro de cultivar comercial para producción y comercialización de semillas en Colombia. 5p.
- Resolución ICA – Instituto Colombiano Agropecuario 001249. (10 de mayo de 2012). Registro de cultivar comercial para producción y comercialización de semillas en Colombia. 5p.
- Ríos, E., Giraldo, G., y Duque, A. (2007). Predicción de la Actividad de Agua en Frutas Tropicales. *Revista de Investigación - Universidad Del Quindío*, 17(17), 27-32.
- Rojano, L. (2006). *El empleo de atmósferas modificadas en la conservación de arveja (Pisum sativum L. ssp. sativum var. sativum)* (Tesis). Facultad de Ciencia e Ingeniería en alimentos, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.
- Rojas, A. (2010). *Caracterización físico-mecánica de la semilla de vitabosa* (Tesis Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. 135p.
- Salamanca, G., y Abril, J. (2008). Cinética de la degradación térmica del color en cremogenado de mango (*Mangifera Indica*. L. Var. Hilacha). In Congreso español de ingeniería de alimentos, 1-6.
- Salamandra, P. (2006). Algunas características de pos cosecha del lulo (*Solanum tojiro* Humb). *Revista Institucional, Universidad Tecnológica del Chocó D. L. C.*(24), 37-42.
- Salinas-Hernandez, R., González-aguilar, G., Pirovani, M., y Ulín-Montejo, F. (2007). Modelación del deterioro de productos vegetales frescos cortados. *Universidad y Ciencia*

- Trópico Húmedo*, 23(2), 183-196.
- Santos, J., Herrero, M., Mendiola, J., Oliva-Teles, M., Ibáñez, E., Delerue-Mantos, C., y Oliveira, M. (2014). Assessment of nutritional and metabolic profiles of pea shoots: The new ready-to-eat baby-leaf vegetable. *Food Research International*, 58, 105-111.
- Sañudo, S., Checa, O., y Arteaga, M. (1999). *Manejo agronómico de leguminosas en zonas cerealistas*. Pasto: Produmedios.
- Serpen, A., Gökmen, V., Bahçeci, K., y Acar, J. (2006). Reversible degradation kinetics of vitamin C in peas during frozen storage. *European Food Research and Technology*, 224(6), 749-753.
- Shmalko, M., Scipioni, P., Ferreyra, D., y Alzamora, S. (2003). Efecto de la Actividad del Agua y la Temperatura en la Degradación de la Clorofila y el Color en Hojas de Yerba Mate. Universidad Nacional de Buenos Aires, Buenos Aires Argentina.
- Singh, K., y Goswami, T. (2000). Thermal properties of cumin seed. *Journal of Food Engineering*, 45, 181-187.
- Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario - SIPSA. (18 de Enero de 2013). *Boletín Semanal*. Recuperado de http://www.agronet.gov.co/www/htm3b/public/boletines/sipsa/Semana_12ene_18ene_2013.pdf
- Soteras, E., Gil, J., Yacanto, P., Muratona, S., Abaca, C., y Sustersic, M. (2014). Water adsorption and desorption isotherms on milk powder: ii. whole milk. *Avances En Ciencias E Ingeniería*, 5(1), 57-66.
- Suslow, T. y Cantwell, M. (1998). Peas-Snow and Pod Peas. *Perishables Handling Quarterly*, Univ, of Calif., 93, 15-16.
- Świeca, M., y Gawlik-Dziki, U. (2015). Effects of sprouting and postharvest storage under cool

- temperature conditions on starch content and antioxidant capacity of green pea, lentil and young mung bean sprouts. *Food Chemistry*, 185, 99-105.
- Terán, Y., Aubeterre, R., Godoy, Y., Marquez, A., Petit, D., Rojas, B., y Mujica, Y. (2015). Efecto del empaque en la calidad pos cosecha de frutos de semeruco (*Malpighia emarginata* DC). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16(2), 210-214.
- Ulloa, L., Sáenz, M., y Castro, J. (2015). Efecto del almacenamiento a diferentes temperaturas sobre el desarrollo de color externo y la calidad de frutos. *Agronomía Costarricense*, 39(3), 9-20.
- Urbano, G., Aranda, P., Vílchez, A., Aranda, C., Cabrera, L., Porres, J., y López-Jurado, M. (2005). Effects of germination on the composition and nutritive value of proteins in *Pisum sativum*, L. *Food Chemistry*, 93, 671-679.
- Urrea, D., Eim, V., Roselló, C., y Simal, S. (2012). Modelos cinéticos de degradación de carotenoides, polifenoles y actividad antioxidante durante el secado convectivo de zanahoria (*Daucus carota* V. Nantesa). *Alimentos Hoy*, 21(27), 68-101.
- Valencia, A., Timaná, Y., y Checa, O. (2012). Evaluación de 20 líneas de arveja (*Pisum sativum* L.) y su reacción al complejo de ascochyta. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 29(2), 39-52.
- Vallejo, J., y Velasco, A. (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 Pregrado). Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Universidad de Nariño. Pasto, Colombia. 133p.
- Vega, A., Andres, A., y Fito, P. (2005). Modelado de la Cinética de Secado del Pimiento Rojo. *Información Tecnológica*, 16(6), 3-11.
- Vignoni, L., Césari, R., Forte, M., y Mirábile, M. (2006). Determinación de Índice de Color en Ajo Picado. *Información Tecnológica*, 17(6), 63-67.

- Vinicio, M., Castro, L., y Gonzalez, J. (1991). Efecto del empaque y la temperatura de almacenamiento sobre la vida pos cosecha y la calidad de los frutos de maracuya. *Agronomia Costarricense*, 15(2), 79-83.
- Weemaes, C., Ooms, V., Van Loey, A., y Hendrickx, M. (1999). Kinetics of chlorophyll degradation and color loss in heated broccoli juice. *Journal Agriculture Food Chemistry*, 47, 2404-2409.
- Yalçın, İ., Özarıslan, C., y Akbař, T. (2007). Physical properties of pea (*Pisum sativum*) seed. *Journal of Food Engineering*, 79(2), 731-735.
- Yanfeng, K. (2016). Robust grain supply chain desing considering post-harvest loss and harvest timing equilibrium. *Transportation Research Part E*, 88, 110-128.
- Zamorano, C., López, H., y Alzate, G. (2008). Evaluación de la competencia de arvenses en el cultivo de arveja (*Pisum sativum*) en Fusagasugá, Cundinamarca (Colombia). *Revista Agronomía Colombiana*, 26(3), 443-450.
- Zapata, L., Malleret, A., Quinteros, C., Lesa, C., Vuarant, C., Rivadeneira, M., y otros. (2010). Estudios sobre cambios en la firmeza en bayas de arándanos durante su maduración. *Ciencias Exactas y Naturales (Scielo Argentina)*, 159-171.

ANEXOS

Anexo 1. Resultados promedios de la caracterización física y bromatológica en arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.

Característica	Variedad	
	Sureña	Obonuco Andina
Densidad aparente	1,049	1,056
Peso de 1000 granos	734,094	735,636
Esfericidad	0,89	0,8864
Materia seca	36,8506413	37,2314227
Cenizas	1,07027958	1,095038
Extracto etéreo	0,59574859	0,55290893
Fibra cruda	2,4241661	2,2402113
Proteína total	8,19057992	8,5956021
Extracto no nitrogenado	24,5781464	24,722658

Fuente: Esta Investigación

Anexo 2. Análisis de Varianza para densidad aparente en arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.

FV	GL	SC	CM	F	P
Variedad	1	0,001877	0,001877 ns	20,20	0,5120
Error	8	0,000743	0,000093		
Total	9	0,002620			

FV: Fuente de Variación, GL: Grados de Libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrados Medios, F: Valor F, P: Valor P, R²: Coeficiente de Determinación, CV: Coeficiente de Variación.

* Significativo. ** Altamente significativo. ns: no significativo.

Anexo 3. Análisis de Varianza para peso de mil granos en arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.

FV	GL	SC	CM	F	P
Modelo	1	5,944410	5,944410 ns	0,01	0,9229
Error	8	4772,735	596,5918		
Total	9	4778,679			

FV: Fuente de Variación, GL: Grados de Libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrados Medios, F: Valor F, P: Valor P, R²: Coeficiente de Determinación, CV: Coeficiente de Variación.

* Significativo. ** Altamente significativo. ns: no significativo.

Anexo 4. Análisis de Varianza para esfericidad en arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.

FV	GL	SC	CM	F	P
Modelo	1	0,3 * 10 ⁻⁷	0,3 * 10 ⁻⁷ ns	0,00	0,9939
Error	28	0,01566213	0,00055936		
Total	29	0,01566217			

FV: Fuente de Variación, GL: Grados de Libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrados Medios, F: Valor F, P: Valor P, R²: Coeficiente de Determinación, CV: Coeficiente de Variación.

* Significativo. ** Altamente significativo. ns: no significativo.

Anexo 5. Análisis de Varianza para materia seca en arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.

FV	GL	SC	CM	F	P
Modelo	1	0,326667	0,326667 ns	0,04	0,8480
Error	4	31,27333	7,818333		
Total	5	31,60000			

FV: Fuente de Variación, GL: Grados de Libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrados Medios, F: Valor F, P: Valor P, R²: Coeficiente de Determinación, CV: Coeficiente de Variación.

* Significativo. ** Altamente significativo. ns: no significativo.

Anexo 6. Análisis de Varianza para cenizas en arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.

FV	GL	SC	CM	F	P
Modelo	1	0,0019082	0,0019082 ns	0,05	0,8323
Error	4	0,1495327	0,0373832		
Total	5	0,1514408			

FV: Fuente de Variación, GL: Grados de Libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrados Medios, F: Valor F, P: Valor P, R²: Coeficiente de Determinación, CV: Coeficiente de Variación.

* Significativo. ** Altamente significativo. ns: no significativo.

Anexo 7. Análisis de Varianza para extracto etéreo en arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.

FV	GL	SC	CM	F	P
Modelo	1	0,0260042	0,0260042 ns	4,09	0,1133
Error	4	0,0254547	0,0063637		
Total	5	0,0514588			

FV: Fuente de Variación, GL: Grados de Libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrados Medios, F: Valor F, P: Valor P, R²: Coeficiente de Determinación, CV: Coeficiente de Variación.

* Significativo. ** Altamente significativo. ns: no significativo.

Anexo 8. Análisis de Varianza para fibra cruda en arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.

FV	GL	SC	CM	F	P
Modelo	1	0,4565042	0,4565042 ns	0,84	0,4121
Error	4	2,1824307	0,5456077		
Total	5	2,6389348			

FV: Fuente de Variación, GL: Grados de Libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrados Medios, F: Valor F, P: Valor P, R²: Coeficiente de Determinación, CV: Coeficiente de Variación.

* Significativo. ** Altamente significativo. ns: no significativo.

Anexo 9. Análisis de Varianza para proteína total en arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.

FV	GL	SC	CM	F	P
Modelo	1	1,1033882	1,1033882 ns	1,58	0,2769
Error	4	2,7904107	0,6976027		
Total	5	3,8937988			

FV: Fuente de Variación, GL: Grados de Libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrados Medios, F: Valor F, P: Valor P, R²: Coeficiente de Determinación, CV: Coeficiente de Variación.

* Significativo. ** Altamente significativo. ns: no significativo.

Anexo 10. Análisis de Varianza para extracto no nitrogenado en arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.

FV	GL	SC	CM	F	P
Modelo	1	0,1344007	0,1344007 ns	0,14	0,7282
Error	4	3,8665633	0,9666408		
Total	5	4,0009640			

FV: Fuente de Variación, GL: Grados de Libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrados Medios, F: Valor F, P: Valor P, R²: Coeficiente de Determinación, CV: Coeficiente de Variación.

* Significativo. ** Altamente significativo. ns: no significativo.

Anexo 11. Análisis de Varianza para brotación en arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Sureña y Obonuco Andina, cinética de reacción orden uno.

FV	GL	SC	CM	F	P
Modelo	17	0,5244039	0,0308472**	716,41	<,0001
Variedad	1	0,0019201	0,0019201**	44,59	0,0001
Empaque	2	0,0050601	0,0025303**	58,77	0,0001
Temperatura	2	0,4958378	0,2479189**	5757,76	0,0001
Var * Emp	2	0,0008941	0,0004470**	10,38	0,0001
Var * Tem	2	0,0027191	0,0013596**	31,58	0,0001
emp * Tem	4	0,0087572	0,0021893**	50,85	0,0001
Var*Emp*Tem	4	0,0092149	0,0023037**	53,50	0,0001
Error	72	0,0031002	0,0000431		
Total	89	0,5275041			

FV: Fuente de Variación, GL: Grados de Libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrados Medios, F: Valor F, P: Valor P, R²: Coeficiente de Determinación, CV: Coeficiente de Variación.

* Significativo. ** Altamente significativo. ns: no significativo.

Anexo 12. Parámetros cinéticos y bondad de ajuste cinética de orden uno para porcentaje de brotes en arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.

Variedad	Empaque	T (°C)	K (días ⁻¹)	B	R ² (%)	%E	RMSE * 10 ⁻³	
Sureña	Rígido	0	0,145	-1,179	96,620	10,478	16,254	
		4	0,158	-1,908	88,550	13,777	5,060	
		18	0,313	0,127	99,330	3,747	4,689	
	Bolsa	0	0,081	-0,816	92,550	9,445	1,256	
		4	0,172	-1,066	89,110	14,260	69,970	
		18	0,297	0,059	99,830	1,402	1,099	
		0	0,131	-1,298	97,520	9,876	10,192	
		Bandeja	4	0,180	0,480	90,380	8,173	53,478
			18	0,304	-0,144	99,030	4,655	6,407
Andina	Rígido	0	0,145	-1,105	93,100	16,32	7,460	
		4	0,183	-2,872	94,570	8,686	15,490	
		18	0,312	-0,046	99,220	4,205	5,411	
	Bolsa	0	0,139	-2,193	94,620	7,588	8,517	
		4	0,171	-1,565	95,320	12,980	5,577	
		18	0,291	0,199	97,970	4,973	12,472	
		0	0,106	-2,059	94,820	2,998	0,912	
		Bandeja	4	0,214	0,002	95,290	9,453	34,947
			18	0,297	0,234	97,740	4,682	14,525

T: Temperatura, K: Constante Cinética, B: Intercepto, R²: Coeficiente de Determinación, E: Error Porcentual, RMSE: raíz cuadrada del error medio cuadrático. Fuente: Esta Investigación.

Anexo 13. Análisis de Varianza para firmeza en arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Sureña y Obonuco Andina, cinética de reacción orden cero.

FV	GL	SC	CM	F	P
Modelo	17	4,650424	0,273554**	18,82	<,0001
Variedad	1	0,000000	0,000000ns	0,00	0,9983
Empaque	2	0,002326	0,001163ns	0,08	0,9232
Temperatura	2	4,644966	2,322483**	159,74	<,0001
Var * Emp	2	0,000024	0,000012ns	0,00	0,9992
Var * Tem	2	0,000018	0,000009ns	0,00	0,9994
Emp * Tem	4	0,002957	0,000739ns	0,05	0,9950
Var*Emp*Tem	4	0,000130	0,000032ns	0,00	1,0000
Error	72	1,046806	0,014539		
Total	89	5,697230			

FV: Fuente de Variación, GL: Grados de Libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrados Medios, F: Valor F, P: Valor P, R²: Coeficiente de Determinación, CV: Coeficiente de Variación.

* Significativo. ** Altamente significativo. ns: no significativo.

Anexo 14. Parámetros cinéticos y bondad de ajuste cinética de orden cero para cambios de firmeza en arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.

Variedad	Empaque	T (°C)	K (días ⁻¹)	B	R ² (%)	%E	RMSE	
Sureña	Rígido	0	0,359	46,784	95,950	1,233	0,241	
		4	0,451	44,553	97,030	1,140	0,199	
		18	0,888	46,029	85,660	4,538	1,872	
	Bolsa	0	0,384	47,341	91,200	2,257	0,627	
		4	0,453	44,555	97,060	1,389	0,198	
		18	0,889	44,862	90,720	3,542	1,149	
		0	0,367	46,476	86,600	2,847	0,918	
		Bandeja	4	0,439	43,810	96,340	1,552	0,234
			18	0,882	45,596	90,110	3,595	1,212
	Andina	Rígido	0	0,358	48,221	96,030	1,034	0,233
			4	0,456	44,213	97,250	1,327	0,187
			18	0,889	45,921	86,710	4,410	1,719
Bolsa		0	0,386	49,388	95,000	1,606	0,346	
		4	0,452	44,480	96,630	1,488	0,228	
		18	0,885	46,952	89,720	3,488	1,271	
		0	0,368	48,343	95,940	1,362	0,252	
		Bandeja	4	0,436	43,520	94,250	1,884	0,372
			18	0,883	45,969	94,390	2,763	0,657

T: Temperatura, K: Constante Cinética, B: Intercepto, R²: Coeficiente de Determinación, E: Error Porcentual, RMSE: raíz cuadrada del error medio cuadrático. Fuente: Esta Investigación.

Anexo 15. Análisis de Varianza para pérdida de peso en arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Sureña y Obonuco Andina, cinética de reacción orden uno.

FV	GL	SC	CM	F	P
Modelo	17	0,0001254	0,0000074**	31,80	<,0001
Variedad	1	0,0000001	0,0000001ns	0,43	0,5136
Empaque	2	0,0000359	0,0000179**	77,56	<,0001
Temperatura	2	0,0000776	0,0000388**	167,30	<,0001
Var * Emp	2	0,0000006	0,0000003ns	1,43	0,2468
Var * Tem	2	0,0000006	0,0000003ns	1,34	0,2689
Emp * Tem	4	0,0000085	0,0000021**	9,20	<,0001
Var*Emp*Tem	4	0,0000018	0,0000004ns	2,04	0,0984
Error	72	0,0000167	0,0000002		
Total	89	0,0001421			

FV: Fuente de Variación, GL: Grados de Libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrados Medios, F: Valor F, P: Valor P, R²: Coeficiente de Determinación, CV: Coeficiente de Variación.

* Significativo. ** Altamente significativo. ns: no significativo.

Anexo 16. Parámetros cinéticos y bondad de ajuste cinética de orden uno para pérdida de peso en arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.

Variedad	Empaque	T (°C)	K * 10 ⁻³ (días ⁻¹)	B	R ² (%)	%E	RMSE * 10 ⁻⁶	
Sureña	Rígido	0	0,900	5,436	98,570	0,019	0,694	
		4	1,800	5,384	99,410	0,0210	0,733	
		18	3,220	5,412	99,470	0,020	0,824	
	Bolsa	0	1,940	5,407	99,480	0,023	1,069	
		4	4,580	5,316	99,430	0,044	3,844	
		18	4,900	5,343	96,920	0,070	10,753	
		0	1,400	5,407	99,780	0,010	0,196	
		Bandeja	4	2,080	5,348	99,350	0,024	1,025
			18	3,720	5,392	99,770	0,014	0,452
Obonuco Andina	Rígido	0	1,040	5,405	99,070	0,014	0,589	
		4	1,860	5,416	99,700	0,018	0,591	
		18	2,800	5,410	99,720	0,011	0,333	
	Bolsa	0	2,100	5,427	99,590	0,021	1,048	
		4	3,600	5,323	99,330	0,039	2,777	
		18	4,300	5,372	99,780	0,014	0,599	
		0	1,400	5,412	99,540	0,011	0,514	
		Bandeja	4	2,100	5,380	99,640	0,015	0,515
			18	4,100	5,373	99,420	0,028	1,435

T: Temperatura, K: Constante Cinética, B: Intercepto, R²: Coeficiente de Determinación, E: Error Porcentual, RMSE: raíz cuadrada del error medio cuadrático. Fuente: Esta Investigación.

Anexo 17. Análisis de Varianza para cambios de color en arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Sureña y Obonuco Andina, cinética de reacción orden cero.

FV	GL	SC	CM	F	P
Modelo	17	0,735282	0,043252**	256,20	<,0001
Variedad	1	0,000215	0,000215ns	1,28	0,2625
Empaque	2	0,001507	0,000754*	4,47	0,0149
Temperatura	2	0,729572	0,364786**	2160,78	<,0001
Var * Emp	2	0,000657	0,000328ns	1,95	0,1504
Var * Tem	2	0,000126	0,000063ns	0,38	0,6886
Emp * Tem	4	0,000948	0,000237ns	1,40	0,2413
Var*Emp*Tem	4	0,002256	0,000564**	3,34	0,0144
Error	72	0,012155	0,000169		
Total	89	0,747437			

FV: Fuente de Variación, GL: Grados de Libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrados Medios, F: Valor F, P: Valor P, R²: Coeficiente de Determinación, CV: Coeficiente de Variación.

* Significativo. ** Altamente significativo. ns: no significativo.

Anexo 18. Parámetros cinéticos y bondad de ajuste cinética de orden cero para cambios de color en arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.

Variedad	Empaque	T (°C)	K * 10 ⁻¹ (días ⁻¹)	B	R ² (%)	%E	RMSE * 10 ⁻²		
Sureña	Rígido	0	0,373	-5,582	94,040	1,245	0,281		
		4	0,782	-6,379	96,53	1,963	0,969		
		18	2,522	-5,626	92,84	10,034	6,962		
	Bolsa	Bolsa	0	0,380	-5,637	97,97	0,636	0,096	
			4	0,745	-5,692	96,86	2,352	0,793	
			18	2,610	-5,696	97,11	6,280	2,872	
		Bandeja	Bandeja	0	0,368	-5,534	96,27	0,831	0,168
				4	0,742	-5,732	96,12	2,623	0,978
				18	2,271	-5,762	92,48	8,980	5,944
Andina	Rígido	0	0,371	-5,763	94,75	1,089	0,243		
		4	0,776	-6,288	93,39	2,193	1,883		
		18	2,553	-5,846	92,63	12,003	7,358		
	Bolsa	Bolsa	0	0,351	-5,84	96,49	0,861	0,143	
			4	0,783	-6,136	98,70	1,343	0,356	
			18	2,278	-5,669	92,61	9,776	5,873	
		Bandeja	Bandeja	0	0,322	-5,659	97,60	0,650	0,081
				4	0,694	-6,068	97,16	1,733	0,621
				18	2,385	-5,886	93,87	7,400	5,261

T: Temperatura, K: Constante Cinética, B: Intercepto, R²: Coeficiente de Determinación, E: Error Porcentual, RMSE: raíz cuadrada del error medio cuadrático. Fuente: Esta Investigación.

Anexo 19. Análisis de Varianza para contenido de clorofila en arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Sureña y Obonuco Andina, cinética de reacción orden cero.

FV	GL	SC	CM	F	P
Modelo	17	0,0079505	0,0004677**	14,27	<,0001
Variedad	1	0,0000120	0,0000120ns	0,37	0,5465
Empaque	2	0,0003508	0,0001754**	5,35	0,0068
Temperatura	2	0,0075331	0,0037665**	114,97	<,0001
Var * Emp	2	0,0000139	0,0000069ns	0,21	0,8092
Var * Tem	2	0,0000064	0,0000032ns	0,10	0,9062
Emp * Tem	4	0,0000301	0,0000075ns	0,23	0,9209
Var*Emp*Tem	4	0,0000040	0,0000010ns	0,03	0,9982
Error	72	0,0023588	0,0000327		
Total	89	0,0103094			

FV: Fuente de Variación, GL: Grados de Libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrados Medios, F: Valor F, P: Valor P, R²: Coeficiente de Determinación, CV: Coeficiente de Variación.

* Significativo. ** Altamente significativo. ns: no significativo.

Anexo 20. Parámetros cinéticos y bondad de ajuste cinética de orden uno para contenido de clorofila en arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.

Variedad	Empaque	T (°C)	K * 10 ⁻² (días ⁻¹)	B	R ² (%)	%E	RMSE * 10 ⁻⁴
Sureña	Rígido	0	2,808	2,529	92,260	2,334	21,135
		4	3,458	2,389	96,090	3,364	21,460
		18	5,052	2,416	97,36	2,013	9,823
	Bolsa	0	3,168	2,559	95,040	2,372	16,730
		4	4,076	2,369	98,500	2,493	11,153
		18	5,494	2,394	97,980	1,661	8,824
	Bandeja	0	2,894	2,526	93,690	2,386	18,004
		4	3,432	2,358	90,680	5,100	53,375
		18	4,936	2,405	97,340	1,959	9,431
Andina	Rígido	0	2,772	2,561	87,210	3,358	35,972
		4	3,544	2,547	92,160	3,043	47,149
		18	5,084	2,476	98,120	1,614	7,010
	Bolsa	0	3,040	2,729	93,160	2,466	21,711
		4	3,960	2,484	92,590	5,320	55,364
		18	5,244	2,486	98,140	1,516	7,396
	Bandeja	0	2,722	2,646	95,280	1,928	11,759
		4	3,470	2,457	94,870	3,380	28,729
		18	4,824	2,402	99,200	1,035	2,659

T: Temperatura, K: Constante Cinética, B: Intercepto, R²: Coeficiente de Determinación, E: Error Porcentual, RMSE: raíz cuadrada del error medio cuadrático. Fuente: Esta Investigación.

Anexo 21. Análisis de Varianza para contenido de humedad en arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Sureña y Obonuco Andina, cinética de reacción orden uno.

FV	GL	SC	CM	F	P
Modelo	17	0,00006750	0,00000397**	31,28	<,0001
Variedad	1	0,00000064	0,00000064ns	5,06	0,0576
Empaque	2	0,00000422	0,00000211**	16,61	<,0001
Temperatura	2	0,00005888	0,00002944**	231,90	<,0001
Var * Emp	2	0,00000025	0,00000013ns	1,00	0,3734
Var * Tem	2	0,00000030	0,00000015ns	1,17	0,3172
Emp * Tem	4	0,00000294	0,00000073**	5,79	0,0004
Var*Emp*Tem	4	0,00000028	0,00000007ns	0,54	0,7036
Error	72	0,00000914	0,00000013		
Total	89	0,00007664			

FV: Fuente de Variación, GL: Grados de Libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrados Medios, F: Valor F, P: Valor P, R²: Coeficiente de Determinación, CV: Coeficiente de Variación.

* Significativo. ** Altamente significativo. ns: no significativo.

Anexo 22. Parámetros cinéticos y bondad de ajuste cinética de orden uno para contenido de humedad en arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.

Variedad	Empaque	T (°C)	K * 10 ⁻³ (días ⁻¹)	B	R ² (%)	%E	RMSE * 10 ⁻⁶	
Sureña	Rígido	0	2,216	4,128	97,710	0,062	5,026	
		4	2,680	4,139	98,520	0,054	3,471	
		18	3,440	4,128	95,770	0,083	7,452	
	Bolsa	0	2,500	4,137	96,960	0,079	8,771	
		4	2,940	4,141	97,240	0,075	7,862	
		18	4,620	4,144	97,480	0,070	7,939	
		0	2,100	4,137	97,260	0,069	5,593	
		Bandeja	4	2,840	4,143	97,150	0,078	7,615
			18	4,100	4,134	96,390	0,088	8,933
	Andina	Rígido	0	2,000	4,126	98,540	0,044	2,613
			4	2,380	4,124	96,340	0,071	6,926
			18	3,400	4,119	97,240	0,063	4,746
Bolsa		0	1,980	4,125	97,300	0,063	4,867	
		4	2,800	4,133	98,760	0,056	3,223	
		18	4,480	4,124	96,040	0,099	11,127	
		0	1,920	4,130	97,740	0,058	3,873	
		Bandeja	4	2,660	4,145	98,390	0,053	3,783
			18	4,340	4,129	97,910	0,055	5,823

T: Temperatura, K: Constante Cinética, B: Intercepto, R²: Coeficiente de Determinación, E: Error Porcentual, RMSE: raíz cuadrada del error medio cuadrático. Fuente: Esta Investigación.

Anexo 23. Análisis de Varianza para actividad de agua en arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Sureña y Obonuco Andina, cinética de reacción orden uno.

FV	GL	SC	CM	F	P
Modelo	17	$7,6232 \cdot 10^{-6}$	$4,4842 \cdot 10^{-7}$ **	29,35	<,0001
Variedad	1	$1,00 \cdot 10^{-9}$	$1,10 \cdot 10^{-9}$ ns	0,07	0,7988
Empaque	2	$3,8888 \cdot 10^{-8}$	$1,9444 \cdot 10^{-8}$ ns	1,27	0,2863
Temperatura	2	$7,1268 \cdot 10^{-6}$	$3,5634 \cdot 10^{-6}$ **	233,24	<,0001
Var * Emp	2	$2,0666 \cdot 10^{-8}$	$1,0333 \cdot 10^{-8}$ ns	0,68	0,5117
Var * Tem	2	$1,8466 \cdot 10^{-7}$	$9,2333 \cdot 10^{-8}$ **	6,04	0,0037
Emp * Tem	4	$1,6644 \cdot 10^{-7}$	$4,1611 \cdot 10^{-8}$ **	2,72	0,0359
Var*Emp*Tem	4	$8,4666 \cdot 10^{-8}$	$2,1166 \cdot 10^{-8}$ ns	1,39	0,2476
Error	72	$1,10 \cdot 10^{-6}$	$1,5277 \cdot 10^{-8}$		
Total	89	$8,7232 \cdot 10^{-6}$			

FV: Fuente de Variación, GL: Grados de Libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrados Medios, F: Valor F, P: Valor P, R²: Coeficiente de Determinación, CV: Coeficiente de Variación.

* Significativo. ** Altamente significativo. ns: no significativo.

Anexo 24. Parámetros cinéticos y bondad de ajuste cinética de orden uno para actividad de agua en arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Sureña y Obonuco Andina.

Variedad	Empaque	T (°C)	K * 10 ⁻³ (días ⁻¹)	B	R ² (%)	%E	RMSE * 10 ⁻⁶	
Sureña	Rígido	0	0,260	-0,036	94,100	2,465	0,418	
		4	0,520	-0,039	95,730	2,743	0,477	
		18	0,880	-0,039	97,780	1,895	0,256	
	Bolsa	0	0,240	-0,037	99,290	2,384	0,041	
		4	0,540	-0,039	95,640	3,098	0,579	
		18	0,820	-0,037	96,720	2,583	0,345	
		0	0,300	-0,037	95,470	1,908	0,268	
		Bandeja	4	0,480	-0,038	97,420	1,833	0,209
			18	0,840	-0,037	98,650	1,960	0,235
	Andina	Rígido	0	0,166	-0,036	84,640	2,157	0,305
			4	0,460	-0,038	94,530	2,805	0,624
			18	1,160	-0,04	89,770	6,08	2,253
Bolsa		0	0,200	-0,034	87,940	2,027	0,229	
		4	0,500	-0,038	91,660	3,489	0,716	
		18	0,940	-0,037	92,820	4,404	0,989	
		0	0,220	-0,036	92,990	1,971	0,297	
		Bandeja	4	0,460	-0,041	87,840	3,807	1,083
			18	0,840	-0,039	93,850	3,319	0,713

T: Temperatura, K: Constante Cinética, B: Intercepto, R²: Coeficiente de Determinación, E: Error Porcentual, RMSE: raíz cuadrada del error medio cuadrático. Fuente: Esta Investigación.