

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**  
**DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INGENIERÍA DE LOS**  
**ALIMENTOS**



**“CINÉTICA DE DETERIORO DE LA CALIDAD DE LA COL**  
**(*Brassica olerácea L.*) C.V CORAZÓN DE BUEY, MINIMAMENTE**  
**PROCESADA”**

**TESIS**

Para optar el título de:

**INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Presentado por:

**LESLIE LILIAN TENAZOA HUITRÓN**

**Promoción 2012 - I**

**Tingo María - PERÚ**  
**2014**



**T  
IND**

**TENAZOA HUITRON, LESLIE LILIAN**

“Cinética de deterioro de la calidad de la COL (*Brassica olerácea L.*)  
C.V. Corazón de Buey mínimamente procesada”

75 páginas.; 15 cuadros; 12 figuras.; 64 ref.; 30 cm.

Tesis (Ingeniero en Industrias Alimentarias) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María (Perú). Facultad de Industrias Alimentarias

**1- COL 2- CINÉTICA DE DETERIORO 3- PROCESAMIENTO  
MÍNIMO 4- SANITIZANTE 5- ENERGÍA DE ACTIVACIÓN  
6- AEROBIOS MESÓFILOS**



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
Tingo María  
**FACULTAD DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**  
Av. Universitaria s/n. Teléfono (062) 561385 – Fax (062) 561156  
Apart. Postal 156 Tingo María E.mail: [fiia@unas.edu.pe](mailto:fiia@unas.edu.pe)


## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 006-2014

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos en acto público el 28 de abril de 2014, a horas 6:00 p.m. en la Sala de Audiovisuales 2 de la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicada en la ciudad de Tingo María, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco, para calificar la tesis presentada por la Bach. **TENAZOA HUITRON, Leslie Lilian**, titulada:

**“CINÉTICA DE DETERIORO DE LA CALIDAD DE LA COL (*Brassica olerácea L.*) C.V CORAZÓN DE BUEY MÍNIMAMENTE PROCESADA”**


Después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las preguntas formuladas, lo declaran **APROBADO** con el calificativo de **MUY BUENO**; en consecuencia la Bachiller, queda apta para recibir el título de **Ingeniero en Industrias Alimentarias** del Consejo Universitario, de conformidad con el Art. 22° de la Ley Universitaria 23733; los artículos 51° y 52° del Estatuto de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.


Tingo María, 28 de abril de 2014

  
.....  
Blga. Margarita Alcedo Romero  
Presidente

  
.....  
Blgo. Julio C. Giraldo Huayta  
Miembro

  
.....  
Ing. Luz Milagros Follegatti Romero  
Miembro

  
.....  
Ing. Williams Vicente Roldán Carbajal  
Asesor

  
.....  
Ing. Yolanda Jesús Ramírez Trujillo  
Co Asesora

## DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico con mucho  
cariño a mi querida familia:

A mi querido padre: REMIGIO

Por su apoyo incondicional, con  
quien estoy sumamente agradecida  
por su comprensión y paciencia.

A mi querida madre: LILIANA

Por apoyarme en cada proyecto que  
emprendo en mi vida y porque sé  
que siempre contaré con ella en  
todas y cada una de las metas que  
me proponga.

A mi hermana GISELA, y sobrinas,  
quienes al brindarme una palabra o  
una sonrisa llenan mi vida y me dan  
fuerzas para continuar.

## AGRADECIMIENTO

- Expreso mi agradecimiento a Dios Jehová quien me dio vida para poder terminar uno de mis proyectos, por darme fuerza de voluntad en los momentos de dificultad, y por haberme permitido conocer a personas maravillosas que me ayudaron de alguna manera en mi superación profesional.
- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, y a los docentes de la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias por haber contribuido en mi formación profesional.
- Al Ing. Williams Vicente Roldan Carbajal, asesor de tesis y a mi coasesora Ing. Yolanda Jesús Ramírez Trujillo por su gran apoyo incondicional, a ambos que hicieron posible la culminación del presente trabajo de investigación y por compartir sus conocimientos y buenos consejos muchas gracias.
- A los Ingenieros Richard, Vela, Natividad, Salazar, Mónica. Los Técnicos Lucas, Pedro, a mis primos Josué, Omar e Iris a mis amigas Judith, Nely, Tios Rusbel, Lucy, Betzabeth y Eliseo por su apoyo durante el desarrollo y culminación de mi trabajo de investigación. A todos quienes colaborar mis más sinceros agradecimientos.

## ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Generalidades de la col .....	3
2.1.1. Origen de la col ( <i>Brassica Olerácea L.</i> ) .....	3
2.1.2. Clasificación taxonómica .....	3
2.1.3. Descripción botánica.....	4
2.1.4. Composición química y valor nutricional .....	4
2.2. Frutas y verduras mínimamente procesadas.....	6
2.2.1. Generalidades.....	6
2.2.2. Beneficios e inconvenientes de las frutas y verduras mínimamente procesadas.....	6
2.2.3. Mecanismos de alteración de la calidad en vegetales mínimamente procesados.....	7
2.2.4. Desinfectantes usados en frutas y verduras frescas cortadas.....	11
2.3. Calidad de los alimentos.....	13
2.3.1. Vida útil de los alimentos .....	16
2.4. Cinética de deterioro de los alimentos.....	17
2.4.1. Cinética de reacciones básicas para predecir la pérdida de la calidad de los alimentos.....	18
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	25
3.1. Lugar de ejecución.....	25

3.2. Materiales .....	25
3.2.1. Materia prima .....	25
3.2.2. Equipos de laboratorio y/o proceso.....	26
3.2.2. Materiales de laboratorio .....	26
3.2.3. Materiales diversos .....	26
3.2.4. Reactivos y soluciones .....	27
3.3. Métodos de análisis .....	27
3.3.1. Análisis sensorial .....	27
3.3.2. Análisis microbiológico.....	27
3.4. Metodología experimental.....	28
3.4.1. Obtención de la col fresca mínimamente procesada .....	28
3.4.2. Evaluación sensorial .....	30
3.4.3. Determinación de la cinética de deterioro de localidad sensorial de la col mínimamente procesada.....	30
3.4.4. Determinación de la energía de activación y el factor pre exponencial de la pérdida de calidad sensorial.....	31
3.4.5. Evaluación microbiológica .....	31
3.4.6. Determinación de la cinética de reacciones de las características microbiológicas .....	31
3.4.7. Determinación de la energía de activación y el factor pre exponencial de las características microbiológicas.....	32
3.4.8. Diseño experimental .....	32
3.4.4. Análisis estadístico .....	32
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34

4.1. Cinética del deterioro de la calidad sensorial de la col mínimamente procesada .....	34
4.2. Energía de activación y el factor pre exponencial de la pérdida de la calidad sensorial .....	44
4.3. Velocidad de crecimiento de microorganismos aerobios mesófilos en la col mínimamente procesada durante su almacenamiento a 4, 12, y 20° C.....	51
4.4. Energía de activación y el factor pre exponencial de la cinética de crecimiento microbiano en la col mínimamente procesada.....	59
4.5. De la evaluación estadística del color de la col mínimamente procesada durante su almacenamiento a 4, 12 y 20° C .....	62
V. CONCLUSIONES.....	64
VI. RECOMENDACIONES .....	65
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
ANEXO .....	75



## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Valor nutricional de la col 100g de porción comestible.....	5
2. Enzimas que catalizan reacciones de deterioro en vegetales mínimamente procesados (VMP).....	10
3. Ecuaciones para los parámetros de calidad en función del tiempo para diferentes órdenes de reacción (n) .....	23
4. Valor del coeficiente de correlación, para los atributos sensoriales evaluados, según el orden de reacción para 4°C, 12°C Y 20°C.....	36
5. Valor de la constante de velocidad de reacción para el atributo sensorial olor a 4°C, 12°C y 20°C.....	45
6. Valor de la constante de velocidad de reacción para el atributo sensorial apariencia general a 4°C, 12°C y 20°C.....	45
7. Valor de la constante de velocidad de reacción para el atributo amarronamiento a 4°C, 12°C y 20°C .....	46
8. Valor de la constante de velocidad de reacción para el atributo marchitamiento a 4°C, 12°C y 20°C .....	46
9. Valor de la constante de velocidad de reacción para el atributo color a 4°C, 12°C y 20°C.....	47
10. Valor de la constante de velocidad de reacción para el atributo color a 4°C, 12°C y 20°C .....	50
11. Velocidad de crecimiento microorganismos aerobios mesófilos en el almacenamiento a 4, 12 y 20°C.....	52

12. Valores del coeficiente de correlación para el crecimiento microbiológico.....	59
13. Valor de la constante de velocidad de reacción para 4°C, 12°C y 20°.....	60
14. Parámetros de la cinética de crecimiento microbiano de la col ( <i>Brassica Olerácea L.</i> ) mínimamente procesada.....	62
15. Análisis de varianza para el crecimiento microbiano.....	63

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Plantación de col ( <i>Brassica oleracea</i> L. c.v corazón de buey) Caserío dos aguas.....	25
2. Flujograma para la obtención de la col fresco cortado.....	29
3. Diseño experimental para la determinación de la cinética de deterioro de la calidad de la verdura mínimamente procesada.....	34
4. Valor del coeficiente de correlación, para el atributo sensorial olor, orden de reacción 2.....	37
5. Valor del coeficiente de correlación, para el atributo sensorial apariencia general, orden de reacción 1.....	37
6. Valor del coeficiente de correlación, para el atributo amarronamiento, orden de reacción 0.....	37
7. Valor del coeficiente de correlación, para el atributo marchitamiento, orden de reacción 2.....	37
8. Valor del coeficiente de correlación, para el atributo color, orden de reacción 1.....	38
9. Velocidad de crecimiento donde el coeficiente de correlación es R2, para 4°C y orden (n) 1.....	54
10. Velocidad de crecimiento donde el coeficiente de correlación es R2, para 12°C y orden (n) 0.....	54
11. Velocidad de crecimiento donde el coeficiente de correlación es R2, para 20°C y orden (n) 0.....	55

12. Velocidad de crecimiento donde el coeficiente de correlación es  $R^2$ , orden  $(n)^2$ .....60

## RESUMEN

El trabajo de investigación se ejecutó en los laboratorios de Análisis Sensorial de la y Microbiología – UNAS. Los objetivos fueron: Determinar los datos cinéticos que representan los cambios en la calidad de la col mínimamente procesada (orden de reacción ( $n$ ), constante de velocidad de reacción ( $k$ ) y la energía de activación ( $E_a$ )). La velocidad de deterioro de los atributos sensoriales durante el almacenamiento y las constantes de velocidad de crecimiento de microorganismos aerobios mesófilos y su velocidad de deterioro. Para tal fin, la muestra de col cortada se desinfectó (Dimanim 0,26 mL/L) y se almacenó a refrigeración a 4, 12 y 20°C, realizándose los análisis sensorial y microbiológico (de acuerdo al método descrito por la ICMSF) a los 0, 1, 3, 4, 7 y 10 días. Luego de la evaluación, las muestras resultaron sensorialmente y microbiológicamente aptas para su consumo a 4°C hasta el día 10, a 12°C hasta el día 4 y a 20°C hasta el día 1, por lo que se consideró el amarronamiento y olor como el atributo de falla a diferencia de otros autores, probablemente debido a que en el presente trabajo de investigación no se usó como sanitizante el cloro ni atmósferas modificadas. Los resultados fueron para el atributo olor un comportamiento de orden ( $n=2$ ), con Energía de Activación  $E_a= 194,2899$  KJ/mol; apariencia general, orden ( $n=1$ ),  $E_a=169,0818$ KJ/mol; amarronamiento, orden ( $n=0$ ),  $E_a=235,3111$ KJ/mol; marchitamiento, orden ( $n=2$ ),  $E_a=146,2682$  KJ/mol; color, orden ( $n=1$ ),  $E_a=88,7436$ KJ/mol. Para el crecimiento microbiano, orden ( $n=1$ ),  $E_a=11,843293$  KJ/mol. La velocidad de deterioro de los atributos sensoriales que limitan la vida útil tuvieron un Factor

pre exponencial para el olor  $K_0=1,46E+34(s^{-1})$ , apariencia general  $K_0=7,33E+29 S^{-1}$ , amarronamiento  $K_0=2,69E+42 S^{-1}$ , marchitamiento  $K_0=1,96E+25 S^{-1}$ , color  $K_0 = 3,56E+15 S^{-1}$ . La constante de velocidad de crecimiento de microorganismos a 4, 12 y 20°C es 0,2699; 359,82; 4551,4 (día<sup>-1</sup>) respectivamente. Y su velocidad de deterioro tuvo un Factor pre exponencial  $K_0 = 45,54496137 S^{-1}$ .

## I. INTRODUCCIÓN

Actualmente existe un aumento en la conciencia por parte de los consumidores, en mantener una buena salud y se observa un creciente interés acerca del rol de los alimentos y su efecto en el bienestar del ser humano. Asimismo, se observa una marcada tendencia por adquirir alimentos con características sensoriales que reflejen una mínima intervención de procesos industriales, especialmente cuando el alimento comercializado es una fruta o una hortaliza. Estas tendencias, más el acelerado ritmo de la vida actual y la falta de tiempo para la elaboración de los alimentos han incrementado el interés por parte de los consumidores por frutas y hortalizas mínimamente procesadas, principalmente porque son productos frescos y por su fácil consumo.

Este tipo de productos conocidos como mínimamente procesados en fresco (MPF), precortados, cuarta gama o "fresh-cut" representan una etapa de transición entre aquellos completamente procesados (congelados, enlatados o conservas) y los llamados productos frescos. Estos productos se definen como aquellas frutas y hortalizas crudos, sin sus partes no comestibles, perfectamente lavados, pelados y en ciertos casos, trozados, rebanados o rayados, posteriormente embolsados en plástico y conservados a temperaturas

de refrigeración, garantizando una duración mínima de siete días para su consumo inmediato.

No obstante las hortalizas son productos muy perecederos en especial al daño físico del corte de ahí que la extensión de vida útil de hortalizas mínimamente procesadas confronta dos problemas básicos, el control de la fisiología del tejido vegetal y el crecimiento microbiológico, ya que las condiciones en que se realizan las diferentes etapas de elaboración influirán sobre su calidad como por ejemplo la calidad microbiológica ante el corte, que provoca que los jugos celulares se escurran sobre la superficies de utensilios y equipos, y sobre el producto mismo, promoviendo así el desarrollo microbiano y afectando su calidad.

Sin embargo la temperatura es el factor más crítico para la extensión de la vida útil. En base a este marco se plantearon los siguientes objetivos:

- Determinar los datos cinéticos que representan los cambios en la calidad de la col mínimamente procesada, como son el orden de reacción ( $n$ ), la constante de velocidad de reacción ( $k$ ) a temperaturas de 4, 12 y 20°C y la energía de activación ( $E_a$ ) de las reacciones.
- Determinar la velocidad de deterioro de los atributos sensoriales durante el almacenamiento a 4°C, 12°C y 20°C.
- Determinar las constantes de velocidad de crecimiento de microorganismos aerobios mesófilos y velocidad de deterioro durante el almacenamiento.



## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Generalidades de la col

#### 2.1.1. Origen de la col (*Brassica olerácea L.*)

La col perteneciente a la familia de las *Brasicáceas*, es la más popular de la familia. Aunque se producen en prácticamente todo el mundo, las coles son originarios de las zonas costeras de Europa central y meridional, pero eran ya conocidas y apreciadas por egipcios, griegos y romanos, aunque el comercio del Medioevo las llevó a todas partes (MURCIA *et al.*, 2011).

La col puede ser cultivada todo el año según el cultivar. Las temperaturas favorables óptimas mensuales para la col o repollo deberán encontrarse entre los 16° y 19°C, con mínimas de 5°C y máximas de 24°C, los rangos climáticos son sólo relativos ya que pueden variar utilizando diversos cultivares o técnicas de manejo agronómico, y tomando en cuenta las características específicas del microclima local (UNALM,2000).

#### 2.1.2. Clasificación taxonómica

PÉREZ y MORENO (2012) y RICCI y KAHAN (2005) indican la siguiente taxonomía de la col:

- **Nombre científico:** *Brassica olerácea L.*
- **Sistemática:**

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Brassicales
Familia	Brassicaceae o crucíferas
Género	Brassica
Especie	<i>Brassica olerácea L.</i>
Variiedad	<i>Capitata</i>
Cultivar	Corazón de buey

### **2.1.3. Descripción botánica**

Planta de la familia de las crucíferas, de raíz gruesa, carnosa, con tallo corto sin ramificaciones, formando una masa terminal de hojas imbricadas, las cuales constituyen el fruto. Florece solo después de un largo periodo de clima frío. Se reproduce por semillas. Su cosecha comienza entre 85 y 105 días después de la siembra. Su densidad promedio es de 30000 a 35000 plantas por hectárea. Crece mejor en climas fríos y frescos, se cultiva satisfactoriamente a partir de los 500 msnm en suelos limo arenosos, bien drenados y con buen contenido de materia orgánica (FAO,2006).

### **2.1.3. Composición química y valor nutricional**

JARAMILLO y DÍAZ (2006) mencionan que la composición nutricional de 100 gramos de parte comestible contienen los componentes que se muestra en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Valor nutricional de la col (100g de porción comestible)

Componente	Unidad	Contenido	
Agua	%	96,86	
Ceniza	%	0,09	
Energía	Cal	28,00	
Proteína	G	1,40	
Lípidos	G	0,20	
Grasa	G	0,40	
Glucósidos	G	0,00	
Carbohidratos	G	4,60	
Fibra	G	1,35	
	A	U.I	1,00
	B1 (Tiamina)	Mg	0,05
	B2 (Riboflavina)	Mg	0,04
	B3 (Niacina)	Mg	0,40
<b>Vitaminas</b>	B6	Mg	0,19
	C (Ac. ascórbico)	Mg	65,00
	E	Mg	1,70
	Folatos	Mg	0,031
	Calcio	Mg	35,00
	Hierro	Mg	1,00
	Fósforo	Mg	4,00
	Potasio	Mg	246,00
	Sodio	Mg	18,00
<b>Minerales</b>	Zinc	Mg	0,224
	Magnesio	Mg	14,00
	Selenio	Mg	2,50
	Cobre	Mg	0,023
	Manganeso	Mg	0,159
	Azufre	Mg	64,00
	Cloro	Mg	14,20

Fuente: JARAMILLO y DÍAZ (2006)

## **2.2. Frutas y verduras mínimamente procesadas**

### **2.2.1. Generalidades**

Por definición se trata de productos alterados físicamente para obtener productos listos para el consumo pero permaneciendo en su estado in natura, es decir sin tratamientos severos alterantes de sus características intrínsecas (SALINAS *et al.*, 2007). Estas son conservadas, distribuidas y comercializadas bajo cadena de frío y su período de vida útil es de 7 a 10 días. El tipo de presentación (rodajas, tiras, cubos, etc.) es muy amplio, dependiendo de la naturaleza del producto a ser procesado y de su forma general de consumo (FÓRTIZ y RODRÍGUEZ, 2010).

Las frutas y verduras frescas cortadas (FVFC) o cuarta gama, o también llamados "listos para usar" o mínimamente procesados, son una de las innovaciones más recientes en lo que se refiere a conservación y consumo de verduras y frutas; consisten en vegetales frescos, lavados, pelados, trozados, rallados, cubeteados, cortados o que hayan sufrido algún proceso mecánico (RODRIGUEZ *et al.*, 2002).

### **2.2.2. Beneficios e inconvenientes de las frutas y verduras mínimamente procesadas**

El propósito de los alimentos mínimamente procesados refrigerados es proporcionar al consumidor un producto hortícola muy parecido al fresco, con una vida útil prolongada y al mismo tiempo garantizar la seguridad de los mismos, manteniendo una sólida calidad nutritiva y sensorial. También tienen como ventajas la reducción del espacio durante el

transporte y almacenamiento, menor tiempo de preparación de las comidas, calidad uniforme y constante de los productos durante todo el año, posibilidad de inspeccionar la calidad del producto en la recepción y antes del uso y a menudo son más económicos para el usuario debido a la reducción de desperdicios. La conservación de los productos mínimamente procesados es crítica debido a los daños físicos ocurridos en los tejidos vegetales durante el proceso. Estos daños aceleran el metabolismo provocando deterioro de características sensoriales deseables, pérdida de nutrientes, así como desarrollo de microorganismos, que llevan a un rápido decaimiento de la calidad y acortamiento de la vida de estante. Son más caros que el producto a granel, por lo que requieren una gran rotación, una logística muy especializada y un sector de población con un poder adquisitivo medio (ROTONDO *et al.*, 2008).

Según PARZANESE (2012), otro inconveniente es que la calidad de la materia prima no es uniforme. Además se requiere mantener el producto a temperatura de refrigeración en todas las etapas del proceso, almacenamiento, comercialización y distribución.

### **2.2.3. Mecanismos de alteración de la calidad en vegetales mínimamente procesados**

Según PARZANESE (2012), la actividad metabólica relacionada con los procesos de deterioro se acentúa luego de la cosecha y se va incrementando durante las distintas etapas y condiciones de operación.

GÜBELI (2012) dice que el daño sobre la calidad de los vegetales mínimamente procesados aumenta durante el procesamiento principalmente debido a la ruptura del tejido vegetal por daños mecánicos, por ejemplo durante las operaciones de pelado y cortado, incrementando la tasa a la cual ocurren los procesos fisiológicos naturales. Dicha ruptura desencadena procesos bioquímicos y físicos, que pueden dar por resultado la degradación del color, textura, sabor y aroma del producto, como también alteración microbiológica. Es importante conocer cada uno de estos fenómenos para poder evitarlos o minimizar sus efectos. Dentro de ellos tenemos:

- **Cambios en procesos fisiológicos y metabólicos**

La pérdida de turgencia del tejido vegetal es consecuencia de la pérdida de agua por evaporación y se traduce en pérdida de calidad sensorial del producto final (PARZANESE, 2012).

El ablandamiento de los productos mínimamente procesados ocurre como consecuencia de la disminución de la turgencia de los tejidos producto del corte, en parte por la degradación de la pared celular primaria donde se produce la solubilización y despolimerización de pectinas y hemicelulosas, y en parte por la pérdida de agua que ocurre durante la postcosecha de la fruta (MERY, 2011).

En las hortalizas y frutas enteras el agua se encuentra contenida en los espacios inter e intracelulares y por lo tanto no está expuesta a la atmósfera. Cuando se dañan los tejidos aumenta la velocidad de evaporación y la deshidratación del producto por la exposición de esta a la atmósfera.

Asimismo se produce la activación del metabolismo vinculado a la degradación, lo cual es un factor determinante para el deterioro y reducción de la vida útil del producto. Esto da como resultado principalmente un aumento en la velocidad de respiración, y por lo tanto un consumo más rápido del oxígeno en el envase, y una pérdida más veloz de azúcares y otros compuestos determinantes del sabor y aroma. En algunos casos, puntualmente en vegetales denominados climatéricos, ocurre también el aumento de la producción de etileno, lo cual contribuye a la síntesis de enzimas involucradas en reacciones bioquímicas de maduración. Esto último puede ser deseable en determinados productos durante su comercialización en fresco, sin embargo es indeseable en otros casos porque el etileno acelera los mecanismos biológicos que ocasionan el deterioro y senescencia de los tejidos (PARZANESE, 2012).

- **Deterioro enzimático**

El pardeamiento enzimático se produce cuando se corta el tejido vegetal, lo cual produce ruptura celular y liberación de la enzima polifenoloxidasa, la cual cataliza la reacción entre el oxígeno y las moléculas libres de polifenoles, causando el pardeamiento del tejido. El pardeamiento enzimático consiste en la oxidación de substratos fenólicos a O-quinonas, moléculas muy reactivas que condensan rápidamente combinándose con otros grupos amino o sulfhidrilo de las proteínas y con azúcares reductores, dando lugar a polímeros pardos, rojizos o negros, de alto peso molecular y estructura desconocida (MERY, 2011).

PARZANESE (2012), describe algunas enzimas que intervienen en el deterioro vegetal mínimamente procesado, tal como se describe en el Cuadro 2.

**Cuadro 2.** Enzimas que catalizan reacciones de deterioro en vegetales mínimamente procesados (VMP)

<b>Enzimas</b>	<b>Reacción que cataliza</b>	<b>Defecto de la calidad</b>
Lipooxigenasa	Oxidación de ácidos grasos poliinsaturados	Rancidez oxidativa
Polifenoloxidasas	Oxidación de fenoles	Oscurecimiento o pardeamiento
Pectínmetilesterasa	Hidrólisis de pectina a ácido péctico y metanol	Ablandamiento y pérdida de textura
Poligalacturonasa	Hidrólisis de enlaces glicosídicos en ácido péctico	Ablandamiento y pérdida de textura
Ácido ascórbico oxidasa	Oxidación del ácido L-ascórbico	Pérdida de vitamina C
Tiaminasa	Hidrólisis de tiamina	Pérdida de vitamina B

Fuente: PARZANESE (2012)

- **Alteración por microorganismos**

Los vegetales presentan características óptimas para el desarrollo de microorganismos, ya que tienen alto contenido de nutrientes y actividad de agua (aw) elevada (agua disponible como medio de reacción y para crecimiento de microorganismos). Durante las operaciones de mínimo



proceso como selección, corte, envasado y distribución la superficie de los tejidos son expuestos a la posible contaminación de bacterias, hongos y levaduras. La alta humedad y el gran número de superficies de corte, así como las características propias de pH de los productos mínimamente procesados proveen el ambiente ideal para la proliferación de microorganismos (ALLENDE *et al.*, 2009).

#### **2.2.4. Desinfectantes usados en las frutas y verduras mínimamente procesadas**

Es importante destacar que los sanitizantes aprobados para la desinfección de hortalizas frescas cortadas son altamente efectivos en inactivar los microorganismos en el agua de lavado y por tanto juegan un papel esencial en la preservación de la contaminación. Numerosos estudios se han llevado a cabo para comparar la eficacia de varios agentes descontaminantes en remover y/o inactivar los microorganismos que logran adherirse y sobrevivir en la superficie de vegetales mínimamente procesados. De los mismos se desprende que la eficacia de los diferentes tratamientos depende del tipo y de la concentración del sanitizante, del tiempo de exposición al mismo, de la naturaleza del microorganismo a remover, del tipo de vegetal a desinfectar, de la relación volumen de agua/producto y del pH y la temperatura del agua de lavado (REYES, 2007).

Numerosos estudios han constatado la gran eficacia del cloro para la desinfección del agua de lavado. El empleo de agua clorada en la etapa de lavado es ampliamente conocido en toda la industria de la cuarta

gama, ya que desinfecta el agua de proceso, eliminando y previniendo la proliferación de microorganismos. Sin cloro, probablemente no existirían los productos de cuarta gama (GIL *et al.*, 2009).

La industria de la cuarta gama usa cloro en forma de cloro gas, hipoclorito sódico o dióxido de cloro en el agua de lavado por ser uno de los desinfectantes más efectivos. Sin embargo, en los últimos años se ha generalizado la recomendación de prescindir del uso del cloro, los principales motivos son el riesgo medioambiental asociados al vertido del agua con gran contenido de contaminantes y al riesgo para la salud debido a la formación de compuestos cancerígenos (trihalometanos y cloramidas) formados por la reacción del cloro con la materia orgánica presente en el agua (GIL *et al.*, 2009).

Agentes desinfectantes alternativos al cloro: yodo, compuestos per (peróxido de hidrógeno, perácidos orgánicos, percompuestos inorgánicos), surfactantes (amonio cuaternario, tensioactivos anfóteros) (VALDEZ, 2013).

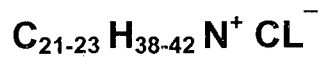
**Dímanin:** Según BAYER (2012), el Dímanin es un desinfectante a base de amonio cuaternario (grupo químico) de amplio espectro contra gérmenes gram positivos, gram negativos, eliminando en una sola operación diversos tipos de microorganismos bacterias, hongos, levaduras, algas y algunos virus (*Vibrio cholerae*).

Sus propiedades físicas y químicas son:

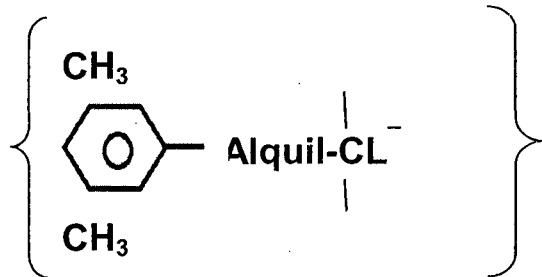
- Estado físico: líquido, transparente.
- Color: amarillo claro.

- Olor: poco característico.
- pH: 6-8 a 100g/L de agua

Su composición es Cloruro de benzalconio\* (33g), coadyuvantes c.s.p (100ml); su fórmula bruta es la siguiente:



Su fórmula estructural del (\*) Cloruro de alquildimetilbencil amonio es la siguiente:



### 2.3. La calidad de los alimentos

Se define como el conjunto de propiedades que influyen en su aceptación por el consumidor y que diferencian unos de otros. Como se ha indicado anteriormente, los alimentos son sistemas fisico-químicos y biológicamente activos, por lo tanto la calidad de los alimentos es un estado dinámico que se mueve continuamente hacia niveles más bajos. Así pues, para cada alimento particular, hay un periodo de tiempo determinado, después de su

producción, durante el cual mantiene el nivel requerido de sus cualidades organolépticas y de seguridad, bajo determinadas condiciones de conservación. Este periodo se define como vida útil del alimento correspondiente (FERNÁNDEZ, 2008).

La calidad es el grado en el que un conjunto de características (físicas, químicas, biológicas, sensoriales, de comportamiento, de tiempo, ergonómicas y funcionales) inherentes cumple con los requisitos (INDECOPI, 2001).

Según SALINAS *et al.*, 2007, el deterioro de los alimentos, en general, y de los frutos y verduras frescas cortadas involucra cambios en la calidad durante su vida en el anaquel, estos son fisicoquímicos, sensoriales, nutricionales y problemas microbiológicos.

- **Los cambios fisicoquímicos.** Consisten principalmente en deterioro de la textura, variación en el contenido de sólidos solubles y ácidos, así como oscurecimiento enzimático. En las frutas y hortalizas el oscurecimiento se debe a la acción de la enzima polifenoloxidasa (PPO), lo mismo ocurre en los vegetales cortados tal y como lo confirman algunos estudios. La firmeza o textura de los productos vegetales está determinado por la turgencia del tejido relacionada asociada al contenido de agua así como a la actividad de distintas enzimas que inducen cambios en los componentes de la pared celular, ambos aspectos son afectados en el fruto cortado, lo que se manifiesta como ablandamiento del tejido vegetal. En cuanto al contenido de sólidos solubles y ácidos en los frutos y vegetales frescos cortados; éste se

determina durante el desarrollo en la planta. Sin embargo, el incremento en azúcares simples y la disminución de ácidos orgánicos en el tejido vegetal involucra reacciones enzimáticas favorecidas por el daño físico, estos cambios afectan la relación dulce/ácido que determina el sabor del producto y su aceptación por parte de los consumidores, los cambios en estas características se presentan en los primeros días de almacenamiento y la magnitud del cambio depende del producto.

- **Los cambios sensoriales.** Las características sensoriales determinan la decisión de compra por el consumidor. Los cambios sensoriales son de importancia en los frutos y vegetales debido a que la aceptación está dada por las características propias del producto, a diferencia de las hortalizas a las que se adicionan condimentos o se elaboran mezclas de productos que mejoran las características sensoriales. Los atributos sensoriales están dados por el aroma, sabor, color y textura. Por lo que éstos, deben examinarse cuidadosamente cuando se determina la vida de anaquel de los frutos y vegetales frescos cortados. El color y su uniformidad son dos de las principales características que determinan la calidad de un fruto u hortaliza y se utiliza frecuentemente como un índice de frescura, palatabilidad y valor nutricional del producto ya que se relaciona con la intensidad del sabor y la dulzura, siendo el más importante en la aceptabilidad del producto. Una buena apariencia no implica la ausencia de sabores u olores desagradables, esto se ha observado en el caso de duraznos que mantienen la calidad visual pero un sabor muy pobre cuando se procesan inmaduros, al igual que en el caso de melón.

- **Los cambios nutricionales.** La pérdida nutricional del producto es importante para determinar su vida útil, debido al concepto de ser frescos y saludables, que se tiene de estos productos. La pérdida de nutrientes, principalmente ácidos orgánicos, vitamina C y carotenos, es consecuencia del procesado y se debe a que la estabilidad de estos componentes es afectada por un gran número de factores entre los que sobresalen la temperatura, la luz y el oxígeno.

- **Problemas microbiológicos.** En los frutos y vegetales frescos cortados es un aspecto particularmente crítico debido a que la exposición de la superficie de corte, favorece la contaminación con bacterias, hongos y levaduras. Los microorganismos predominantes en frutos y verduras frescas cortadas difieren de acuerdo con el tipo de producto, de esta manera, para asegurar su calidad y seguridad microbiológica, es necesario llevar a cabo estudios sistemáticos durante el almacenamiento. Y para ello es necesario un monitoreo específico de los cambios para asegurar la inocuidad y seguridad microbiológica. En el caso de zanahorias frescas cortadas el deterioro se debe a pérdida de firmeza, cambios de color, mal olor y crecimiento microbiano (SALINAS *et al.*, 2007).

### **2.3.1. Vida útil de los alimentos**

El término vida útil se define como el tiempo en el que un alimento conservado en unas condiciones determinadas reúne tres condiciones: 1) es

seguro; 2) mantiene unas características químicas, físicas, microbiológicas y sensoriales adecuadas y 3) cumple (RODRIGUEZ, 2002).

El estudio de la vida útil tiene como objetivo evaluar el comportamiento de los productos en desarrollo y tradicionales a los que se les ha hecho algún cambio en la receta o en el proceso, durante un tiempo determinado y a diferentes temperaturas, además señala que el final de la vida útil se alcanza por la vía del modo de deterioro predominante en el alimento. El parámetro o los parámetros que se usan como indicadores de la calidad deben ser escogidos cuidadosamente, deben ser confiables y de fácil medición (GAMBOA *et al.*, 2008).

#### **2.4. Cinética de deterioro de los alimentos**

La medida de la velocidad de reacción, implica la medida de la concentración de uno de los reactivos o productos a lo largo del tiempo, para medir la velocidad de una reacción, necesitamos medir bien la cantidad de reactivo que se degrada por unidad de tiempo, o bien la cantidad de producto que aparece por unidad de tiempo. La velocidad de reacción depende de los reactantes y en algunos casos especiales de los productos, que es de esperar que, al avanzar la reacción y modificarse las concentraciones, varíe la velocidad (LABUZA, 1995).

La ecuación de Arrhenius es un modelo matemático para la determinación de la vida útil, lo cual es de tipo cinético. Calcula la constante de velocidad de degradación en función de la temperatura y el tiempo de exposición (CASTILLO y MIRANDA, 1995).

### **2.4.1. Cinética de reacciones básicas para predecir la pérdida de la calidad de los alimentos**

Según ALVARADO (1996), la cinética química es la rapidez o velocidad con la que ocurren las reacciones químicas, es decir, la desaparición de reactivos para convertirse en productos; así como de los mecanismos de las mismas. Los cambios que llegan a ocurrir en los alimentos son el resultado de las numerosas y complejas reacciones químicas y bioquímicas acompañadas de diversos efectos físico.

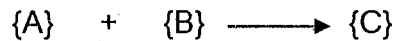
Este método consiste en utilizar un diseño basado en los principios de la cinética química y determinar la dependencia de la temperatura real de diversos atributos de calidad ese método nos da predicciones más exactas, formulaciones más eficaces de productos, y la capacidad para optimizar el proceso.

CANEDO (1978) citado por ALVARADO (1996) indican que la cinética química involucra el estudio de la velocidad y mecanismos por el cual una especie química se convierte en otro. Se define a la velocidad de reacción como la cantidad de sustancia formada (si tomamos como referencia un producto) o transformada (si tomamos como referencia un reactivo) por unidad de tiempo. La velocidad de reacción no es constante.

La medida de la velocidad de reacción implica la medida de la concentración de uno de los reactivos o productos a largo del tiempo, esto es, para medir la velocidad de una reacción necesitamos medir, bien la cantidad de reactivo que desaparece por unidad de tiempo, o bien la cantidad de producto que aparece por unidad de tiempo.



La velocidad de reacción depende de los reactantes y en algunos casos especiales de los productos es de esperar entonces que, al avanzar la reacción y modificarse las concentraciones, varíe la velocidad. Por tanto conviene referirse a velocidades instantáneas, es decir en intervalos de tiempo infinitamente pequeños. Esto requiere definir la velocidad de reacción como derivada de la concentración respecto al tiempo. Dada una transformación química:



La velocidad de reacción será:

$$v = - d \{A\} / dt = - d \{B\} / dt = d \{C\} / dt$$

El signo negativo indica que la concentración de los reactante {A} y {B} decrece al transcurrir, por lo contrario, el signo de velocidad será positivo respecto al producto de la reacción {C}, pues su concentración aumenta con el incremento del tiempo. Por otro lado, en muchos casos se ha determinado en forma experimental que la velocidad de reacción se ajusta a una expresión matemática del tipo:

$$v = k \{A\}^i \{B\}^j$$

En el caso de expresiones cinéticas de este tipo, se define como el orden de reacción respecto a una de las sustancias el exponente al cual se eleva la concentración de dicha sustancia en la expresión cinética.

La constante  $k$  de la expresión representa la velocidad específica, también llamada constante de velocidad de reacción. Salvo en algunos casos

la velocidad de reacción es independiente de la concentración de los reactivos y productos, por lo tanto del grado de avance de la reacción.

Para el caso de reacciones de un solo reactivo y de orden  $n$ , la expresión de la velocidad de reacción puede ser escrita:

$$(- d \{A\} / dt) = k \{A\}^n$$

LABUZA y RIBOH (1982) y (LABUZA, 1995) mencionan que la pérdida de la calidad alimenticia para la mayoría de los alimentos puede ser representada por una ecuación matemática de la siguiente forma:

$$\pm \frac{dA}{dQ} = KA^n$$

Dónde:

A : Factor de calidad medido.

Q : Tiempo.

K : Constante que depende de la temperatura y la actividad de agua.

$n$  : Factor de potencia llamado orden de la reacción, en el cual define si la velocidad es dependiente de la cantidad presente A.

$\frac{dA}{dQ}$  : Velocidad de cambio de A con respecto al tiempo.

El signo negativo es utilizado si el deterioro es una pérdida o destrucción de un atributo o calidad deseable A (ej. Un nutriente o aroma característico) y un signo positivo señala si es por la producción de un producto final indeseable (ej. Pérdida de aroma o colaboración). Usualmente los resultados de estos estudios para predecir la pérdida de calidad no son obtenidos como una velocidad sino más bien como una cantidad de A en

función del tiempo. Así para obtener la velocidad de deterioro, uno debe transformar los datos en un gráfico cinético.

### **- Energía de activación ( $E_A$ )**

Según LABUZA (1995) y ALVARADO (1996), la velocidad de casi todas las reacciones bioquímicas aumenta con la temperatura. Muchas reacciones bioquímicas de importancia agroindustrial se llevan a cabo a temperaturas superiores a la ambiental, ya que en esas condiciones, la velocidad de la reacción permite que su explotación sea viable desde el punto de vista económico. Por el contrario, una forma de preservar los alimentos consiste en almacenarlos a baja temperatura para que, la velocidad de descomposición bacteriana disminuya. Para que exista una reacción química es necesario que las moléculas de los reactivos colisionen entre sí. Para que la colisión sea efectiva es necesario que las moléculas choquen con la orientación adecuada y con la energía suficiente.

Según FENNEMA (2000), una reacción química es consecuencia de la reorganización de los átomos de los reactivos para dar lugar a productos. Este proceso no se lleva a cabo directamente, sino a través de una asociación transitoria de las moléculas o estado intermedio denominado complejo activo.

Según TOLEDO (2007), la energía necesaria para que los reactivos formen el complejo activo se le llama energía de activación,  $E_A$ , y representa la barrera de energía que han de salvar las moléculas para que tenga lugar la reacción.

### - Orden de reacción

Según FENNEMA (2000), la mayor parte de los datos de la vida útil para el cambio de una característica de calidad basados en una reacción química o crecimiento bacteriano, sigue un modelo de orden cero ( $n=0$ ) o primer orden ( $n=1$ ). Si los datos son de orden cero, se obtiene una gráfica lineal usando coordenadas lineales; mientras que si los datos son de primer orden, en coordenadas semilogarítmicas ( $\text{Log } A$ ) para obtener una representación lineal. En el caso de que los datos sean de segundo orden la representación gráfica de  $1/A$  frente al tiempo produce una relación lineal.

Una vez que el orden aparente de reacción de deterioro de la calidad se ha determinado, más allá de análisis estadístico del parámetro  $k$ , la constante de velocidad se requiere para conseguir una estimación del error en la determinación de  $K$  y la vida en anaquel. En los procesos de pardeamiento, al igual que en otro tipo de reacciones, se estudian la cinética de deterioro, o de formación de nuevos productos, es decir, la velocidad en que transcurre dicho fenómeno.

FENNEMA (2000) menciona que la reducción de calidad puede representarse por una pérdida cuantificable de un atributo de calidad deseable  $A$  (ejemplo: un nutriente o aroma característico) o por la formación de un atributo indeseable  $B$  (ejemplo: pérdida de aroma o de coloración).

Las velocidades de pérdida de  $A$  formación de  $B$  se expresan con las ecuaciones siguientes:

$$-d[A]/dQ = KA^n$$

$$-d[B]/dQ = K \cdot B^n$$

El factor [A] y[B] puede medirse como un parámetro químico, físico microbiológico o sensorial, K y K' son las constantes de velocidad de reacción y n y n' son los órdenes de reacción aparente.

FENNEMA (2000) menciona ecuaciones para los parámetros de calidad según el orden de reacción tal como se observa en el Cuadro 3.

**Cuadro 3.** Ecuaciones para los parámetros de calidad en función del tiempo para diferentes órdenes de reacción (n)

Orden de reacción (n)	0	1	2
Función de calidad	$A_0 - A$	$A_0 - A \ln(A_0/A)$	$(1/(n-1)) \times (A^{n-1} - A_0^{n-1})$
	$B_0 - B$	$B_0 - B \ln(B_0/B)$	$(1/(n-1)) \times (B^{n-1} - B_0^{n-1})$

Fuente: Fennema (2000)

#### - Influencia de la temperatura sobre la velocidad de reacción

La influencia de la temperatura sobre la velocidad de reacción ha sido determinada empíricamente, también por medios termodinámicos, mecánico-estadísticos; entre otros.

$$K = K_0 e^{-E_a/RT}$$

Donde:

K = Constante de velocidad

K<sub>0</sub> = Factor pre exponencial

e = Número e, base de los logaritmos neperianos. (2,7182812.....)

R = Constante de los gases

T = Temperatura en °K

$E_A$  = Energía de activación ( $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}$ ) o energía extra necesitada por los componentes de la reacción para tener una alta probabilidad de formar el producto.

Según LABUZA y RIBOH (1982), la ecuación de Arrhenius nos dice que un ploteo del  $\ln K$  vs el recíproco de la temperatura absoluta nos da una línea recta, la pendiente de la cual es la energía de activación ( $E_A$ ), dividida por la constante de los gases R. Así, estudiando una reacción y midiendo K a dos o tres temperaturas altas, se puede entonces extrapolar con una línea recta para una temperatura baja y predecir la velocidad a la reacción a la temperatura baja deseada. Esto reduce considerablemente el tiempo experimental, especialmente si la energía de activación ( $E_A$ ) es alto.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de ejecución

El presente trabajo se realizó en los laboratorios de: Análisis Sensorial de la Facultad de Industrias Alimentarias y Microbiología de la Facultad de Recursos Naturales de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), ubicados en Tingo María (departamento de Huánuco), a 660 msnm, con temperatura promedio de 25°C y humedad relativa promedio 80%.

#### 3.2. Materiales

##### 3.2.1 Materia prima

Se utilizó la col (*Brassica olerácea* L. c.v corazón de buey) procedente del caserío dos aguas, pueblo Acomayo, distrito de Chinchao, departamento de Huánuco (ver Figura 1).



**Figura 1.** Plantación de col (*Brassica olerácea* L. c.v corazón de buey), caserío Dos aguas.

### **3.2.2. Equipos de laboratorio y/o proceso**

- Centrifuga marca Consul de 110V
- Baño María
- Balanza analítica marca OHAUS, modelo AP210S, de 0 – 210g decapacidad. (USA)
- Cámara de refrigeración con control de temperatura (0-10°C)
- Estufa bacteriológica (Precison Cientific Thelco USA).
- Contador de colônias (Titriplaque Hungary)
- Autoclave (Modelo 25X-2)
- Refrigeradora Samsung SR-438

### **3.2.3. Materiales de laboratorio**

- Vasos de precipitación (Germany, 100mL)
- Matraz (Giardino de 250mL)
- Probeta (Germany de 100mL)
- Termómetro (0 - 100°C)
- Placas petri
- Tubos de ensayo (Kimax)
- Pipetas (Germany de 1, 5, 10mL)
- Gradillas

### **3.2.3 Reactivos y soluciones**

- Dimanim (0,26 ml/L)
- Agua de red (0,2 mg/L de cloro activo)
- Agua peptonada 0,1% (90 mL)



- Agar plate count (22,5g/L)
- Alcohol al 96%
- Agua destilada

#### **3.2.4. Materiales diversos**

Bolsas de polietileno de alta densidad, tabla de picar, jarras de 1 L, baldes de 10 a 20 L, colador, selladoras de bolsa, cuchillo de acero inoxidable (Tramontina), algodón, hilo pabilo, papel kraf.

### **3.3. Métodos de análisis**

#### **3.3.1. Análisis sensorial**

Se realizó una prueba descriptiva cuantitativo, por el método de evaluación con escala lineal no estructurada para describir la intensidad de los atributos del producto, según la metodología de PIROVANI *et al.*, (1999). Ver Anexo A.

#### **3.3.2. Análisis microbiológico**

El análisis microbiológico se realizó de acuerdo al método descrito por la ICMSF (2001).

### **3.4. Metodología experimental**

#### **3.4.1. Obtención de col fresca mínimamente procesada**

En la Figura 2, se muestra el flujograma del proceso de obtención de la col mínimamente procesada, el mismo que se describe a continuación:

- **Recepción:** Se realizó la recepción de la col fresca en el laboratorio de Microbiología de la Facultad de Recursos Naturales de la Universidad Nacional Agraria de la Selva para su almacenamiento a temperatura de refrigeración.

- **Refrigeración:** Las muestras se llevaron a refrigeración hasta su procesamiento (no más de 24 h después de ser cosechado) para eliminar el calor de campo a 4°C.

- **Acondicionamiento y cortado:** En esta operación, se eliminaron hojas dañadas, quebradas, manchadas o amarillentas, raíces, tallos y el corazón. Luego se cortó en tiras de 3 mm de ancho utilizando un cuchillo de acero inoxidable bien afilado para reducir los riesgos de pardeamiento enzimático.

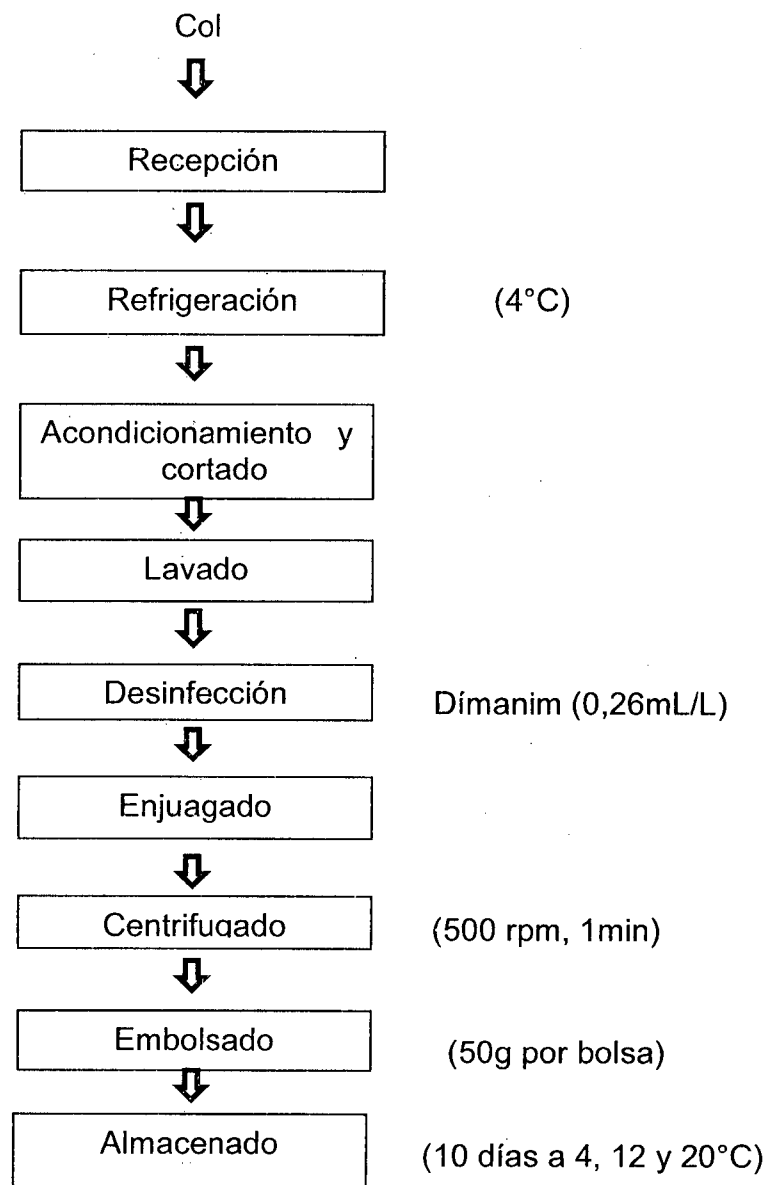
- **Lavado y desinfectado:** Se realizó con la finalidad de eliminar las impurezas presentes. El producto tomado del caserío Dos Aguas se encuentra libre de residuos de pesticidas porque los agricultores no lo utilizan; sin embargo, dado que usan como abono heces de animales fue necesario una desinfección por inmersión utilizando amonio cuaternario 0,26 mL/L según BAYER (2012).

- **Enjuagado:** Se usó agua destilada, con la finalidad de eliminar los residuos del higienizante y así terminar el lavado.

- **Centrifugado:** Se centrifugó la col a 500 rpm durante 1 min.

- **Embolsado:** La col cortada y desinfectada se colocó en bolsas de polietileno de alta densidad en cantidad de 50 g por bolsa.

- **Almacenado:** Las muestras de col, se almacenaron por 10 días cada uno a 4°, 12° y 20°C según PIAGENTINI *et al.*, (2004).



**Figura 2.** Flujograma para la obtención de la col fresco cortado

### **3.4.2. Evaluación sensorial**

Para la evaluación sensorial se contó con un panel de 20 jueces quienes evaluaron los atributos según la planilla del Anexo A; las muestras fueron identificadas con números aleatorios. Los panelistas seleccionados se fijaron en los atributos sensoriales y los correspondientes términos anclas.

Los términos ancla fueron:

Para olor: 1= normal y 9 = nauseabundo

Para apariencia general: 1 = muy pobre y 9 = excelente

Para marchitamiento: 1 = ninguno y 9 = muy severo

Para amarronamiento: 1 = ausencia y 9 = muy severo.

Para todos los atributos (apariencia general, amarronamiento, marchitamiento, olor, color) se estableció el valor de 5 como límite de aceptabilidad. La muestra es inaceptable cuando alcanza un valor promedio inferior a 5 para apariencia general o superior a 5 para el resto de los atributos sensoriales.

### **3.4.3. Determinación de la cinética de deterioro de la calidad sensorial de la col mínimamente procesada.**

Con los resultados promedio de la evaluación sensorial para cada uno de los atributos sensoriales de la col mínimamente procesada almacenada a 4,12 y 20°C durante 10 días, se determinó la cinética de reacción para las órdenes 0, 1 y 2 determinándose los valores de K (velocidad de reacción) para cada temperatura de almacenamiento y atributo sensorial.

#### **3.4.4. Determinación de la $E_A$ y el factor pre exponencial para la pérdida de calidad sensorial**

Con los valores encontrados de la velocidad de reacción a las temperaturas de almacenamiento de 4, 12 y 20°C, se determinó la Energía de Activación ( $E_A$ ) y el Factor pre Exponencial ( $K_0$ ), para cada atributo sensorial utilizando la ecuación de Arrhenius, utilizándose el mejor modelo de reacción es decir aquel que tenga el mayor coeficiente de correlación (FENNEMA, 2000).

#### **3.4.5. Evaluación microbiológica**

Se utilizó el recuento total en placa para microorganismos aerobios mesófilos (RAM) en agar Plate Count, a través de la técnica de las diluciones sucesivas. Se tomaron 10g de cada muestra y se homogenizaron con 90 mL de agua peptonada al 0,1% por 2 min. Se efectuaron diluciones decimales con agua peptonada, sembrando 1 mL de diluciones decimales, en la superficie de las placas por duplicado y se incorporó el agar. Los análisis se realizaron sobre muestras duplicadas con tres repeticiones. Las placas se incubaron a 35°C±2 durante 24-48h los resultados se expresaron como UFC/g o UFC/mL.

#### **3.4.6. Determinación de la cinética de reacción de las características microbiológicas.**

Con los resultados promedio de la evaluación microbiológica de la col mínimamente procesada almacenada a 4°, 12° y 20°C durante 10 días, se determinó la cinética de reacción para las órdenes 0, 1 y 2, determinándose los

valores de K (velocidad de reacción) de las características microbiológicas (FENNEMA, 2000).

#### **3.4.7. Determinación de la $E_A$ y el factor pre exponencial de las características microbiológicas**

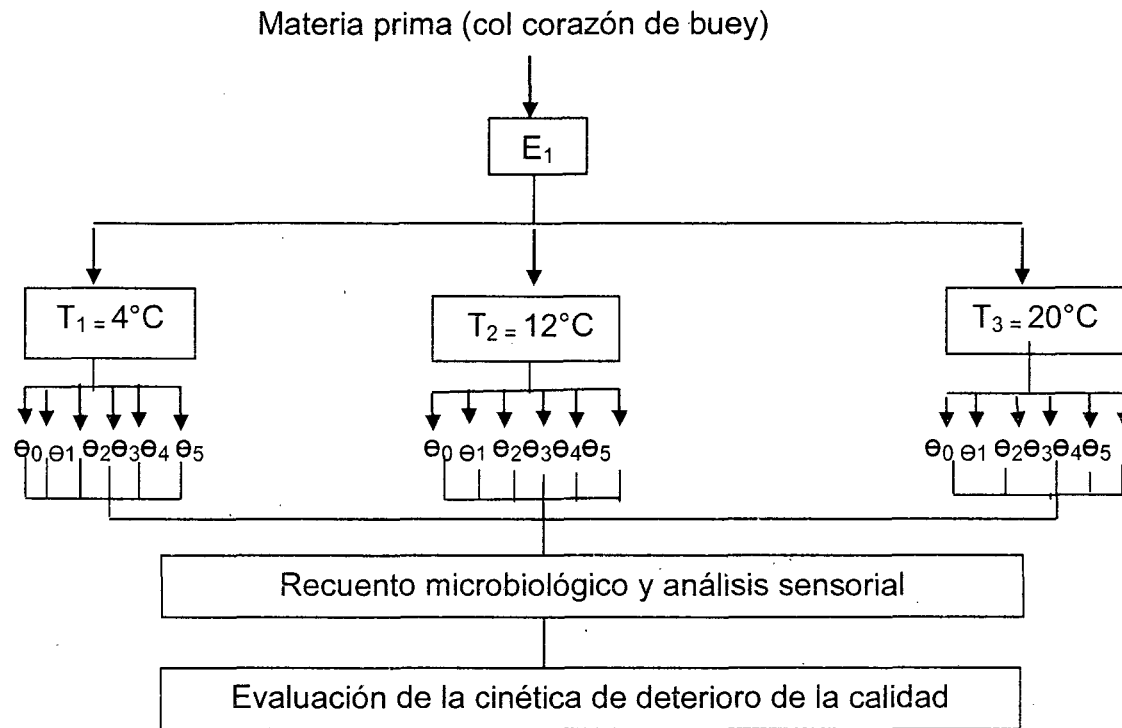
Con los valores encontrados de la velocidad de reacción microbiológica a las temperaturas de almacenamiento de 4°, 12° y 20°C, se determinó la energía de activación  $E_A$  y el factor pre exponencial  $K_0$ , utilizando la ecuación de Arrhenius y modelo de reacción que tenga el más alto  $R^2$  (FENNEMA, 2000).

#### **3.4.8. Diseño experimental**

El diseño experimental de la investigación se muestra en la Figura 3.

#### **3.4.9. Análisis estadístico**

La evaluación estadística se realizó con el programa statgraphic, para cada factor de calidad (marchitamiento, amarronamiento, color, apariencia general, olor y crecimiento de microorganismos), los datos obtenidos se ajustaron mejor a un diseño completamente al azar con arreglo factorial, y se realizó en forma individual a través de la prueba de Tuckey con el objetivo de calcular los límites de confianza y determinar si existen diferencias significativas entre los resultados promedio a las tres temperaturas de trabajo correspondientes en función del tiempo.



Dónde: E<sub>1</sub>: Col(desinfectada); T<sub>1</sub>: Tratamiento a 4°C; T<sub>2</sub>: Tratamiento a 12°C; T<sub>3</sub>: Tratamiento a 20°C; θ=(0,1,3,4,7,10) días.

**Figura 3.** Diseño experimental para la determinación de la cinética de deterioro de la calidad de la col mínimamente procesada

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Cinética del deterioro de la calidad sensorial de la col (*Brassica oleracea L.*) mínimamente procesada.

En el Anexo B se presentan los resultados promedio de la evaluación sensorial de cada uno de los atributos de la col mínimamente procesada en almacenamiento por 10 días y a temperaturas de 4°, 12° y 20°C y en el Anexo C, la cinética de degradación de los atributos sensoriales (olor, apariencia general, amarronamiento, marchitamiento) a las órdenes de reacción  $n= 0, 1$  y  $2$ , de donde se obtienen los valores de la velocidad de degradación ( $K$ ) para cada atributo y temperatura de almacenamiento.

En los Anexos C, D y E se presentan las gráficas de la regresión lineal de  $\ln k$  versus  $1/T$  (inversa de la temperatura) al modelo de orden ( $n= 0, 1, 2$ ) según la ecuación de Arrhenius para cada atributo sensorial y temperatura de almacenamiento, en los que se pueden observar los coeficientes de correlación.

En el Cuadro 4, se presenta el resumen de los valores del coeficiente de correlación ( $R^2$ ), para los atributos sensoriales evaluados, según el orden de reacción; donde se puede observar que el grado de ajuste de los datos experimentales a los diferentes modelos de órdenes de reacción medidos por el coeficiente de correlación  $R^2$ , son: modelo de reacción más adecuado



para el atributo sensorial olor es el de orden 2 con  $R^2$  de 0,9229; para apariencia general, el orden de reacción es 1 y  $R^2 = 1$ ; amarronamiento, orden de reacción 0, con  $R^2 = 0,9393$ ; marchitamiento, orden de reacción 2 con  $R^2 = 0,9684$ ; y color, orden de reacción 1 y  $R^2 = 0,9939$ .

**Cuadro4.** Valores del coeficientes de correlación, para los atributos sensoriales evaluados con la ecuación de Arrhenius.

Atributos	$R^2$		
	n =0	n =1	n =2
Olor	0,9071	0,9172	<b>0,9229</b>
Apariencia General	0,9961	<b>1</b>	0,9943
Amarronamiento	<b>0,9393</b>	0,9211	0,9057
Marchitamiento	0,9073	0,9393	<b>0,9684</b>
Color	0,9908	<b>0,9939</b>	0,8852

Donde n representan las órdenes de reacción y los superíndices 0, 1 y 2,  $R^2$  el coeficiente de correlación.

HERNANDEZ *et al.*, (2001) indican que los valores cercanos a uno se considera ajustes casi perfectos, esto significa que tiene buena estimación de ajuste de los datos. Por ese motivo se escoge los coeficientes de correlación más cercanos a uno para determinar los mejores modelos de órdenes de reacción; concordando con lo realizado en la presente tesis.

Este método es validado por varios investigadores, quienes estudiaron el efecto del tiempo y temperatura sobre el deterioro de la calidad de vegetales frescos cortados (REYES, 2007; YENDI 2009; MAUREIRA, 2012 y CASTRO, 2008). PIAGENTINI *et al.*, (2004), observaron que la ecuación de

Arrhenius es la expresión más aceptable para estimar el efecto de la temperatura sobre la velocidad de deterioro de los alimentos; motivo por el cual en la presente investigación se decidió el uso de la ecuación de Arrhenius.

REYES (2007) y SALINAS *et al.*,(2007) indican que la mayoría de las reacciones llevadas a cabo en alimentos, son descritas con un orden de reacción 0 a 1, siendo menos frecuentes el uso de otros órdenes de reacción; en la investigación se tuvieron ordenen de reacción 2 para olor y marchitamiento, pudiendo deberse esto a lo indicado por LABUZA y RIBOH (1982) quienes mencionan que la pérdida de calidad en muchos casos no sigue una velocidad constante de degradación. La velocidad de reacción va a depender de los reactantes y en algunos casos especiales de los productos y es de esperar que, al avanzar la reacción y modificarse las concentraciones, varíe la velocidad. Así que muchos alimentos no se deterioran por orden 0 ó 1, de allí que más bien siguen el modelo de orden 2.

En las Figuras 4, 5, 6, 7, 8 se observan los mejores modelos para los atributos olor, apariencia general, amarronamiento, marchitamiento y color respectivamente. Además se puede notar que la velocidad de reacción aumenta conforme aumenta la temperatura, por lo tanto hay variación de los atributos sensoriales y pérdida de calidad tal como menciona LABUZA y RIBOH (1982) y LABUZA (2000).La razón por la que aumenta la velocidad de reacción y conlleva al deterioro, es debido a que al aumentar la temperatura también lo hacen la energía de las partículas que reaccionan y al tener mayor energía aumenta el número de choques que facilita la disgregación de las partículas tal como lo indica PETRUCCI *et al.* (2003).

Además se observa que cuanto más elevada es la temperatura de exposición y con el transcurso del tiempo, mayor es el deterioro; PIAGENTINI (2004), menciona que la temperatura es el factor más crítico para la extensión de la vida útil, ya que debido al corte y la elevada temperatura aumenta la respiración del tejido y por ende hay mayor consumo de oxígeno que conlleva al deterioro de la calidad sensorial y nutritiva (pérdida de vitaminas, minerales, fitoquímicos).

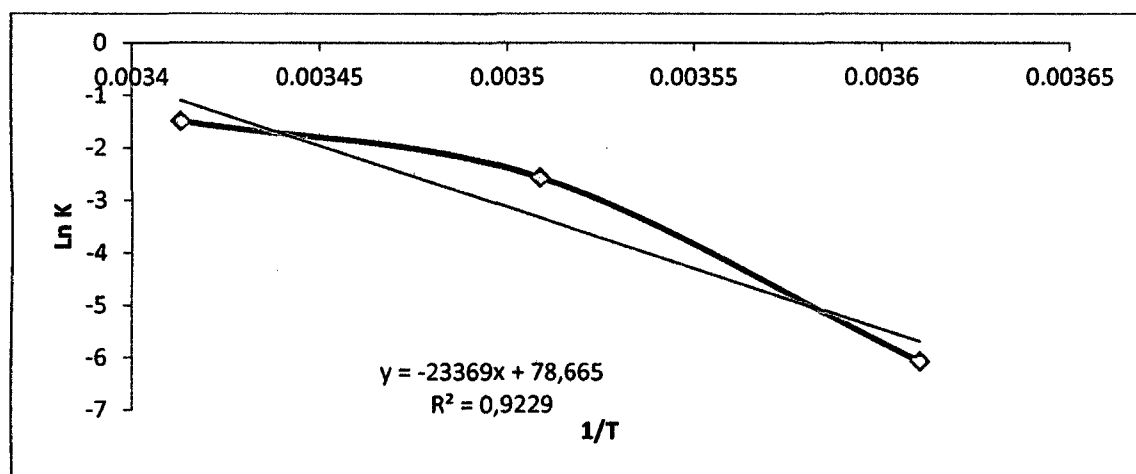


Figura 4. Coeficiente de correlación para el atributo sensorial olor, orden de reacción 2.

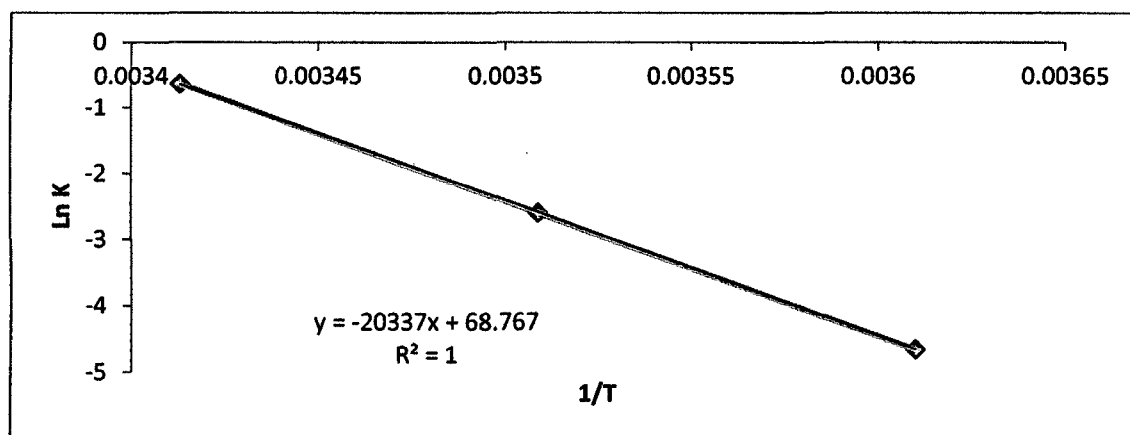
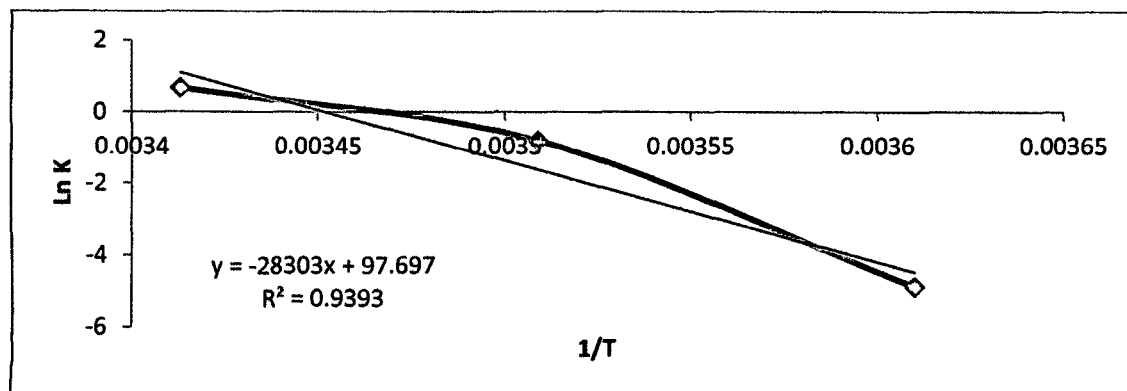
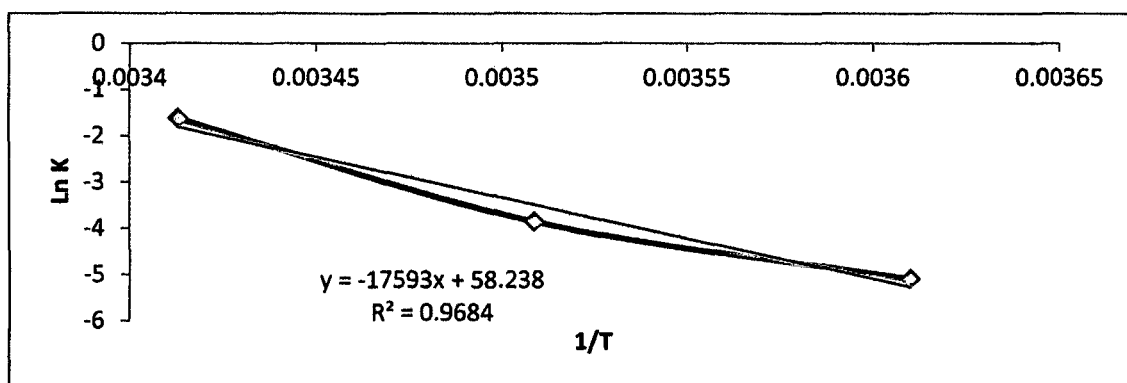


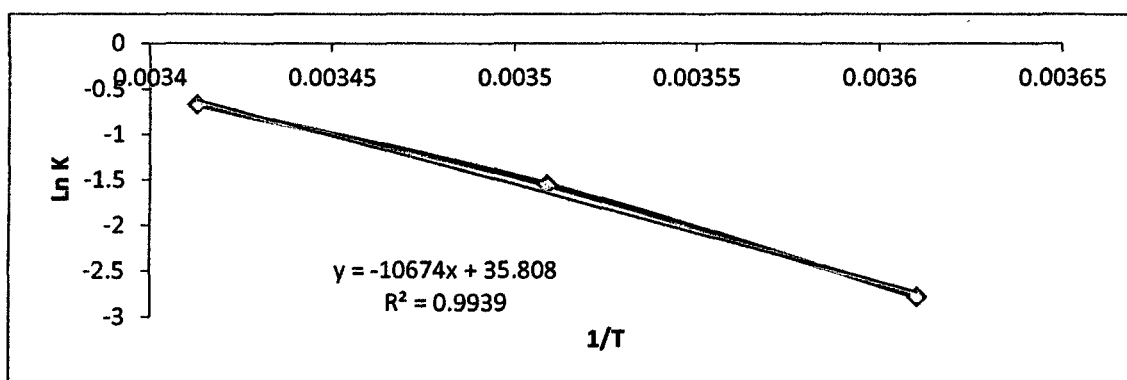
Figura 5. Coeficiente de correlación para el atributo sensorial apariencia general, orden de reacción 1.



**Figura 6.** Coeficiente de correlación para el atributo amarramiento, orden de reacción 0.



**Figura 7.** Coeficiente de correlación para el atributo marchitamiento, orden de reacción 2.



**Figura 8.** Coeficiente de correlación para el atributo color, orden de reacción 1.

RODRÍGUEZ *et al.*, (2002) mencionan que a más temperatura hay más deterioro en las características organolépticas, debido a que el corte en vegetales mínimamente procesados desencadena procesos bioquímicos y

físicos, que pueden dar por resultado la degradación del color, textura, sabor y aroma del producto, como también alteración microbiológica, lo que es evidente en la presente investigación.

GARCÍA (2008) menciona que el control de la temperatura es importante para obtener la estabilidad de los productos mínimamente procesados ya que uno de los problemas básicos, está relacionado con el vegetal como tejido vivo donde la interacción de muchas reacciones como deshidratación, oxidación, elevada velocidad de respiración, actividad enzimática, entre otras sino son controladas adecuadamente pueden conducir a la rápida senescencia o deterioro de la calidad. Por su parte PARZANESE (2012) afirma que un aumento en la velocidad de respiración, conlleva a un consumo más rápido del O<sub>2</sub> en el envase y por ende una pérdida más veloz de azúcares y otros compuestos determinantes del sabor y aroma.

De los resultados de la evaluación sensorial se puede observar que en el almacenamiento a 4°C, la pérdida de color, deshidratación y presencia de podredumbres o desarrollo visible de microorganismos no es significativa comparado con el inicio del almacenamiento; al finalizar el día 10 de almacenamiento el aspecto general de la col mínimamente procesada es buena y no hay percepción de olor desagradable; la razón por la que no hubo variación es debido a la temperatura baja de almacenamiento, que disminuye la velocidad de respiración, haciendo que los efectos de las reacciones químicas y enzimáticas sean más lentas haya retardo del crecimiento de microorganismos, que causan descomposición tal como lo indica AGUILAR (2012).

En la col mínimamente procesada almacenada a 12°C, en el día 4 comienza a percibirse el amarronamiento en los cortes, no siendo sin embargo, de importancia, pero el olor comienza a intensificarse, ya en el día 7 se comienza a observar descomposición y olor desagradable.

En las muestras almacenadas a 20°C, en el día 1, el olor comienza a intensificarse debido a que comienza a descomponerse por acción de los microorganismos o por acción de la lipoxidasas que da origen a la formación de aldehídos y cetonas que desarrollan olores desagradables tal como menciona GÓMEZ (2007). Además la translucencia que es un proceso por el cual los espacios celulares libres se llenan con líquido, dando a los tejidos un aspecto de transparencia o vitrosidad, suelen desarrollar también aromas desagradables.

En el día 3, en las muestras almacenadas a 20°C, hay presencia de líquido en el empaque. Normalmente las células vegetales se hallan en equilibrio con la atmósfera cuando están a la misma temperatura y a alta humedad relativa. Cualquier disminución de la presión de vapor, por debajo de estos niveles, conlleva a la pérdida de agua, manifestándose por el marchitamiento, afectando el peso, la apariencia y la textura; de ahí que la pérdida de agua por transpiración es un factor que incide negativamente en la calidad, tal como indica GÓMEZ *et al.*, (2007).

ESPARZA *et al.* (2013) mencionan que los productos frescos troceados, en general, sufren pérdida de la estructura celular durante las operaciones de corte, lo cual permite interactuar a la polifenol oxidasa (PPO) con compuestos fenólicos oxidables presentes naturalmente en el producto,

causando el oscurecimiento de las superficies cortadas (amarronamiento) tal como se puede apreciar en las fotografías del Anexo N.

MORALES (2011) afirma que los cambios de color no solamente se dan como resultado del pardeamiento causado por enzimas y procesos biológicos, también existen procesos naturales de pérdida de agua en la superficie de los tejidos que hace que la apariencia del alimento no sea atractiva a los consumidores; la falta de agua en la superficie hace que el tejido se haga más opaco a medida que pasa el tiempo, dando al alimento un aspecto de deshidratado y poco fresco. En el trabajo se pudo observar que a medida que pasa el tiempo la col se hace más blanca, esto sería debido a la pérdida de la clorofila, no obstante, a diferencia de otras hortalizas frescas cortadas, el color no es un atributo de calidad principal que limite su vida útil tal como menciona LEON *et al.*,(2007).

PIAGENTINI (2004) refiere que se debe controlar la integridad de los sellos, así como los sellos laterales y de fondo en las bolsas preformadas; un sellado apropiado es crítico para mantener la calidad del producto, ya que las bolsas con sellados imperfectos tendrán concentraciones de oxígeno más altas y amarronamiento acelerado; esto se pudo comprobar en el trabajo realizado, al momento del sellado.

De los resultados se comprobó que en el almacenamiento a 20°C y 12°C en los días 1 y 4 respectivamente, al abrir los empaques el olor de la col comienza a intensificarse levemente. La intensificación del olor se debe a la rancidez que es un nombre general con el que se designa a la alteración negativa de los lípidos debida a diversas razones, tales como: un

almacenamiento demasiado largo, condiciones desfavorables de almacenamiento, a la acción microbiana o simplemente a la oxidación enzimática. La oxidación de los lípidos limita el periodo de almacenaje de algunos alimentos vegetales. La oxidación enzimática es catalizada por la enzima lipoxidasa, la cual en presencia de oxígeno reacciona con los ácidos grasos de cadenas largas, que tienen uno o más dobles enlaces, generando así ácidos grasos de cadenas cortas que conllevan a la rancidez tal como indica MERY (2011).

PIAGENTINI (1999) menciona que entre los diferentes tipos de alteraciones bioquímicas del aroma propio de un órgano vegetal, la peroxidación enzimática de ácidos grasos poliinsaturados es una de las más rápidas. Esta reacción catalizada por la lipoxigenasa, conduce a la formación de numerosos compuestos volátiles: aldehídicos y cetónicos que confieren un aroma desagradable. También las enzimas peroxidasa (PO) y catalasa están primariamente asociadas con cambios en sabor y aroma.

VALDEZ (2013) e INDECOPI (2012), mencionan que la calidad de los vegetales mínimamente procesados está dada por una combinación de atributos que determinan su valor como alimento. Estos factores de calidad incluyen apariencia visual (frescura, color, defectos y decaimiento), textura (crujibilidad, turgencia, firmeza e integridad del tejido), flavor (sabor y aroma), valor nutritivo (vitamina A y C, minerales) y seguridad (ausencia de residuos químicos y contaminación microbiana). La calidad de los productos mínimamente procesados depende de la calidad del producto intacto, del método de elaboración y de las subsecuentes condiciones de manejo. De allí



que se tuvo en cuenta para el proceso, las buenas prácticas de manufactura, como también que el vegetal esté libre de pesticidas y que el desinfectante a usar este aprobado por el INDECOPI; así el producto sería de calidad y seguro para el consumidor. En el trabajo de investigación se utilizaron bolsas de polietileno de alta densidad (HDPE), considerando que la selección correcta del empaque para el envasado de productos de la cuarta gama es una de las razones para la preservación del alimento, que requiere que el envase resista las condiciones adversas a la que es expuesto: humedad, calor, frío, oxígeno atmosférico y otros. Por ese motivo se consideró lo indicado por PIAGENTINI (1999), quien recomienda que las películas poliméricas que potencialmente podrían usarse para productos mínimamente procesados son: polietileno de baja densidad (LDPE), polietileno lineal de baja densidad (LLDPE), polietileno de mediana densidad (MDPE), polietileno de alta densidad (HDPE), polipropileno (PP), cloruro de polivinilo (PVC) y poliestireno (PS).

MERY (2011) menciona que el desarrollo de la flora aerobia mesófila (FAM), *off odor* (olor) o la apariencia general, serían los factores que limitan la vida útil de un vegetal mínimamente procesado y que por ello es importante también el tipo de empaque, para así contrarrestar los factores externos que conllevan al deterioro y así mantener las características organolépticas del producto. En el presente trabajo se comprobó que el empaque utilizado expuesto a la luz fue uno de los factores que influyeron en el deterioro, percibido por la apariencia general y marchitamiento; debido a que la luz desgasta el color y afecta nutrientes haciendo que el producto no sea atractivo al consumidor tal como indica AGUILAR (2012).

#### 4.2. Energía de Activación y Factor pre Exponencial de la pérdida de calidad sensorial.

A continuación se presentan los valores de la constante de velocidad de reacción (K), para los atributos evaluados con el orden de reacción determinado ( $n= 0,1$  ó  $2$ ) para cada atributo sensorial. Valores cercanos a uno significa mejor estimación en los datos experimentales y por ende mejor modelo HERNANDEZ *et al.*,(2001).

En el Cuadro 5 se presenta los valores de la constante de velocidad de reacción  $K=0,0023$ ;  $0,077$ ;  $0,2255$  a  $4$ ,  $12$  y  $20^{\circ}\text{C}$  respectivamente, para el atributo sensorial olor con el modelo más adecuado de orden 2, así como los valores de la inversa de la temperatura absoluta y el  $\text{Ln K}$  los mismos que permitieron hallar los valores de  $E_A$  y  $K_0$  para la degradación del atributo olor.

**Cuadro5.** Valores de la constante de velocidad de reacción para el atributo sensorial olor a  $4$ ,  $12$  y  $20^{\circ}\text{C}$ .

$n=2$		
Olor		
$1/T$	K	LnK
0,003610108	0,0023	-6,07484616
0,003508772	0,077	-2,56394986
0,003412969	0,2255	-1,48943512

Donde  $n$  representa el orden de reacción,  $K$  la velocidad de reacción

En el Cuadro 6 se presenta los valores de  $K = 0,0096; 0,0743; 0,5291$  a temperaturas de 4, 12 y 20°C respectivamente, con el orden más adecuado de 1, para el atributo apariencia general, así como los valores de la inversa de la temperatura absoluta y el  $\ln K$  los mismos que permitieron hallar los valores de  $E_A$  y  $K_0$  para la degradación del atributo apariencia general.

**Cuadro 6.** Valores de la constante de velocidad de reacción para el atributo sensorial apariencia general a 4, 12 y 20°C.

**n = 1**

<b>Apariencia general</b>		
<b>1/T</b>	<b>K</b>	<b>LnK</b>
0,003610108	0,0096	-4,64599218
0,003508772	0,0743	-2,59964433
0,003412969	0,5291	-0,63657783

Donde n representa el orden de reacción y K es la velocidad de reacción

En el Cuadro 7 se presenta los valores de  $K = 0,0076; 0,4516$  y  $1,9682$  a temperaturas de 4, 12 y 20°C respectivamente, con el orden más adecuado de 0, para el atributo amarronamiento así como los valores de la inversa de la temperatura absoluta y el  $\ln K$  los mismos que permitieron hallar los valores de  $E_A$  y  $K_0$  para la degradación del atributo amarronamiento.

**Cuadro 7.** Valores de la constante de velocidad de reacción para el atributo sensorial amarronamiento a 4°C, 12°C y 20°C

$$n = 0$$

<b>Amarronamiento</b>			
<b>Temperatura</b>	<b>1/T</b>	<b>K</b>	<b>LnK</b>
277	0,003610108	0,0076	-4,87960703
285	0,003508772	0,4516	-0,79495845
293	0,003412969	1,9682	0,67711942

Donde n representa el orden de reacción y K la velocidad de reacción

En el Cuadro 8 se presentan los valores de K = 0,0061; 0,0212 y 0,1977 a temperaturas de 4, 12 y 20°C respectivamente con el orden más adecuado de 2, para el atributo marchitamiento, así como los valores de la inversa de la temperatura absoluta y el Ln K los mismos que permitieron hallar los valores de  $E_A$  y  $K_0$  para la degradación del atributo marchitamiento.

**Cuadro 8.** Valores de la constante de velocidad de reacción para el atributo marchitamiento a 4°C, 12°C y 20°C

$$n = 2$$

<b>Marchitamiento</b>		
<b>1/T</b>	<b>K</b>	<b>LnK</b>
0,003610108	0,0061	-5,09946651
0,003508772	0,0212	-3,8537541
0,003412969	0,1977	-1,62100455

Donde n, representa el orden de reacción, K la velocidad de reacción

En el Cuadro 9 se presenta los valores de  $K=0,0625$ ;  $0,2123$  y  $0,5112$  a temperaturas de  $4,12$  y  $20^{\circ}\text{C}$  respectivamente, con el orden más adecuado de  $1$ , para el atributo color, así como los valores de la inversa de la temperatura absoluta y el  $\text{Ln } K$  los mismos que permitieron hallar los valores de  $E_A$  y  $K_0$  para la degradación del atributo color.

**Cuadro9.** Valores de la constante de velocidad de reacción para el atributo color a  $4, 12$  y  $20^{\circ}\text{C}$

<b>n=1</b>		
<b>Color</b>		
<b>1/T</b>	<b>K</b>	<b>LnK</b>
0,003610108	0,0625	-2,77258872
0,003508772	0,2123	-1,54975491
0,003412969	0,5112	-0,67099438

Donde  $n$ , representa el orden de reacción,  $K$  la velocidad de reacción

De los Cuadros 5 al 9 se comprueba que a temperatura de almacenamiento de  $4^{\circ}\text{C}$ , la velocidad con que se deteriora la col es menor a comparación con la almacenada a  $12$  y  $20^{\circ}\text{C}$ , esto debido a que el frío permite que por un tiempo, el alimento conserve sus propiedades. RODRÍGUEZ *et al.*, (2002) indican que entre los cambios fisiológicos que induce el daño mecánico que sufren los alimentos vegetales cuando son preparados, se encuentra la activación del metabolismo celular que se manifiesta a través del incremento de la intensidad respiratoria; por ello recomienda su almacenamiento a bajas temperaturas entre  $0$  y  $4^{\circ}\text{C}$ , para su conservación y consumo.

GÓMEZ *et al.*, (2007) mencionan que la tasa de respiración está altamente relacionada con la temperatura; de allí la importancia de mantenerla lo más baja posible; concordándolo manifestado con los resultados obtenidos.

No obstante, en el día 1 a 20°C y en entre los días 4-5 a 12°C se incrementa la velocidad de reacción, la col pierde su calidad comercial ya que uno de sus atributos sensoriales se altera (ver Anexo N9), lo indicado estaría de acuerdo a lo mencionado por TORALES (2010), que basta que uno de los atributos que definen un producto mínimamente procesado se altere para que pierda su calidad comercial, así como lo indicado por GÜBELI (2012), que la comercialización de frutas y hortalizas mínimamente procesadas se ve limitada por una vida útil corta y un rápido deterioro de sus componentes, debido a daños en los tejidos como resultado de la transformación. Estos efectos que sufren los vegetales y frutas cortadas se deben principalmente a que, al tratarse de un tejido vivo, éste continúa respirando y con mayor intensidad, lo que genera un gran número de reacciones bioquímicas que provocan un aceleramiento de la senescencia. La tasa respiratoria de los productos mínimamente procesados es mucho más alta que la de los productos enteros, dependiendo de los factores mencionados anteriormente como el tipo de producto, la temperatura de almacenamiento y la intensidad de corte. Es importante mencionar el rol fundamental de un buen manejo de la temperatura, la tasa de respiración es directamente proporcional a la temperatura. La reducción de la temperatura mediante la refrigeración disminuye las tasas de respiración, de aquí la ventaja de las bajas temperaturas para conservar alimentos vegetales.

QUEVEDO (2005), afirma que el procesamiento mínimo, que incluye las operaciones de pelado, cortado y rebanado, causa el rompimiento

celular e incrementa la velocidad de respiración y producción de etileno, así como la síntesis de metabolitos secundarios. Estas reacciones acortan la vida de anaquel del producto al inducir oscurecimiento enzimático, pérdida de firmeza y desarrollo de microorganismos. El oscurecimiento enzimático se debe a la oxidación de compuestos fenólicos por la enzima polifenoloxidasas (PPO) y es una de las causas más importantes de la pérdida de calidad de estos productos, ya que afecta su apariencia, ocasiona malos olores y disminuye su valor nutricional.

GARCÍA (2008) menciona que la operación del cortado, al dañar la pared celular, afecta los complejos de pectina, celulasaxiloglucanos, por incrementarse de manera progresiva la solubilización de los poliuranos, pectinas y hemicelulosas debido a la acción de las enzimas poligalacturonasas y a la menor presencia de las pectinesterasa, que desestabiliza los carbohidratos a nivel de la laminilla media de la pared celular, conduciendo a la disminución de la cohesividad de las células y por ende el deterioro.

GÓMEZ *et al.*, (2007) afirman que para reducir los daños mecánicos y la consecuente pérdida de fluidos, es fundamental realizar los cortes con instrumentos bien afilados. El empleo de acero inoxidable reduce los riesgos del pardeamiento enzimático y así evitar la presencia de iones metálicos; por tal motivo en la investigación, la operación del cortado se realizó con un instrumento bien afilado y de acero inoxidable.

En el Cuadro 10, se aprecian los valores de la energía de activación, el factor pre exponencial y el coeficiente de correlación para los atributos evaluados como resultado de linealizar la ecuación de Arrhenius.

En el Anexo K se presenta un ejemplo de cómo determinar la Energía de Activación ( $E_A$ ) y el Factor pre Exponencial  $K_0$ .

**Cuadro 10.** Valores de la  $E_A$  y  $K_0$  de la col mínimamente procesada para cada atributo sensorial.

Atributo	$K_0$ ( $S^{-1}$ )	$E_A$ (KJ/mol)	$R^2$
Olor	1,46E+34	194,2899	0,9229
Apariencia General	7,33E+29	169,0818	1,0000
Amarronamiento	2,69E+42	235,3111	0,9393
Marchitamiento	1,96E+25	146,2682	0,9684
Color	3,56E+15	88,7436	0,9939

Donde  $K_0$  representa el factor pre exponencial,  $E_A$  la energía de activación y  $R^2$  el coeficiente de correlación

De los resultados obtenidos se aprecia que los factores que limitan la vida útil de la col mínimamente procesada son: el amarronamiento que tiene una  $E_a = 235,3111$  KJ/mol con un  $R^2$  más alto de 0,9314 y el atributo olor que tiene una  $E_a = 194,2899$  KJ/mol con un  $R^2$  más alto de 0,9229 lo que indica que los atributos amarronamiento y olor tienen mayor significación a comparación de los demás atributos, es decir mayor variación con la temperatura dentro de los atributos estudiados. Y el color es el que tiene menor variación, tiene una  $E_a = 88,7436$  KJ/mol, resultados que difieren con los resultados de PIAGENTINI *et al.*, (2004) quienes mencionan que es la apariencia general el que tiene mayor variación y el que le sigue el amarronamiento y el olor es el que tiene menor variación frente a la temperatura.



No obstante para MERY (2011), el olor, el desarrollo de la flora aerobia mesófila (FAM), la apariencia general, serían los factores que limitan la vida útil. La diferencia probablemente se deba a que en la presente investigación no se usó como sanitizante el cloro ni atmósferas modificadas.

Según GONZALES (2001), una energía de activación pequeña significa poca pendiente en la representación de Arrhenius y que la reacción es tan rápida que poca aceleración se logra elevando la temperatura. La energía de activación grande significa una reacción lenta, de la pendiente en la representación tipo Arrhenius y que por lo tanto se activará sustancialmente al elevar la temperatura, lo que estaría sucediendo con el producto estudiado..

#### **4.3. Velocidad de crecimiento de microorganismos aerobios mesófilos en col mínimamente procesada almacenada a 4, 12 y 20°C.**

En el Anexo L se presenta los resultados del promedio del recuento de microorganismos, en él, se puede observar que los microorganismos aerobios mesófilos en la col mínimamente procesada almacenada a 4, 12 y 20°C se incrementaron con la temperatura y el tiempo de almacenamiento.

En el Anexo M se presenta la cinética de la velocidad de crecimiento de microorganismos aerobios mesófilos en la col a las temperaturas de 4,12 y 20°C a órdenes de reacción  $n= 0,1$  y  $2$ . Y se presentan también las gráficas de la regresión lineal de  $\ln k$  versus  $1/T$  (inversa de la temperatura) al modelo de orden ( $n= 0, 1, 2$ ) según la ecuación de Arrhenius para las características microbiológicas de la col mínimamente procesada

almacenada a las temperaturas de 4,12 y 20°C, en los que se pueden observar los coeficientes de correlación.

En el Cuadro 11, se presenta la velocidad de crecimiento de microorganismos aerobios mesófilos en la col mínimamente procesada almacenada a 4, 12 y 20°C

**Cuadro 11.** Velocidad de crecimiento de microorganismos aerobios mesófilos en el almacenamiento a 4,12 y 20°C.

Temperatura °C	Velocidad de Crecimiento Kc (día <sup>-1</sup> )
4	0,2716
12	356,82
20	4554,1

Donde Kc representa la constante de velocidad de crecimiento, n orden de reacción y R<sup>2</sup> el coeficiente de correlación.

En las Figuras 9, 10 y 11 se presentan los mejores modelos de predicción ajustados para el recuento de microorganismos aerobios mesófilos con su orden de reacción más adecuado.

De la Figura 9, a 4°C en los días 0 y 1, el crecimiento se mantiene casi constante pero en el día 3 hay disminución de los microorganismos en ese momento probablemente se estén adaptando al medio y en el día 4 comienza nuevamente el desarrollo microbiano hasta el día 10 en que terminó la evaluación. En la misma puede observarse que el desarrollo de los mesófilos en las muestras almacenadas a 4°C fue menor de los observados a 12°C y

20°C tal como indica PIAGENINI (2004), a medida que aumenta la temperatura aumenta el crecimiento de microorganismos.

AVALOS *et al.*, (2012) mencionan que la refrigeración durante el almacenamiento disminuye la actividad biológica y microbiológica y extiende la vida media, pero los productos continúan deteriorándose. En la investigación se observó que 4°C es la mejor temperatura de almacenamiento para la col mínimamente procesada.

SINGH y HELDMAN (2009) indican que la velocidad de crecimiento de microorganismos disminuye porque se agota algún nutriente esencial del medio, porque los productos de desecho que han liberado durante la fase de crecimiento exponencial hacen que el medio no sea favorable para el crecimiento microbiano o por la presencia de competidores u otras células que limiten su crecimiento.

ALONSO y POVEDA (2008) mencionan que un recuento bajo de microorganismos aerobios mesófilos no implica o no asegura la ausencia de patógenos o sus toxinas, de la misma manera un recuento elevado no significa presencia de flora patógena. Salvo en alimentos obtenidos por fermentación, no son recomendables recuentos elevados, en la presente investigación se comprueba que a mayor temperatura se tiene mayor velocidad de crecimiento de microorganismos.

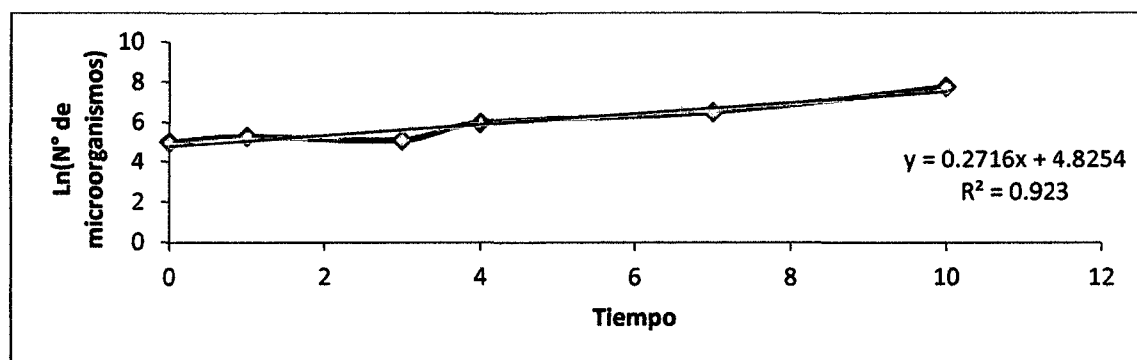


Figura 9. Velocidad de crecimiento donde el coeficiente de correlación es  $R^2$ , para 4°C y orden (n) 1.

De la Figura 10, a 12°C se aprecia que el crecimiento microbiano aumenta a medida que pasa el tiempo de almacenamiento, debido a que ha encontrado nutrientes para su desarrollo tal como lo indica BISABARRO (2008) que para que haya crecimiento necesita nutrientes que le aporten energía y elementos químicos para la síntesis de sus constituyentes celulares.

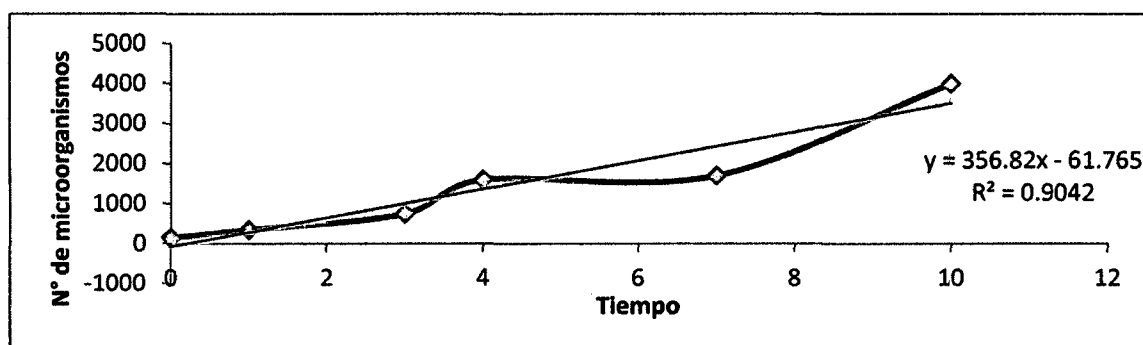


Figura 10. Velocidad de crecimiento donde el coeficiente de correlación es  $R^2$ , para 12°C y orden (n), 0.

En la Figura 11, se observa que a 20°C hay crecimiento exponencial de microorganismos hasta el día 10 en que terminó la evaluación.

SINGH y HELDMAN (2009) mencionan que a temperaturas mayores se produce un incremento lineal de la velocidad de crecimiento con la temperatura de cultivo hasta que se alcanza la temperatura óptima a la que la velocidad es máxima. Por encima de esta temperatura óptima, la velocidad de crecimiento decae bruscamente y se produce la muerte celular.

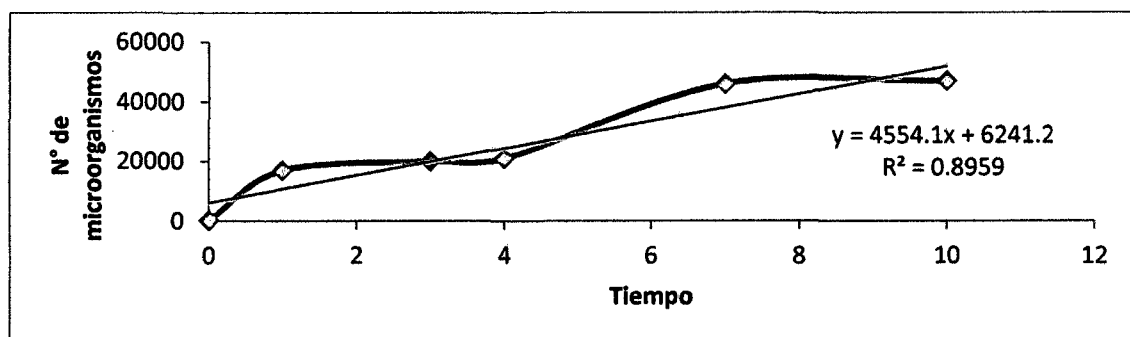


Figura 11. Velocidad de crecimiento donde el coeficiente de correlación es  $R^2$ , para  $20^\circ\text{C}$  y orden (n) 0.

Para el día 4 a  $20^\circ\text{C}$ , la velocidad de crecimiento de microorganismos comienza a aumentar considerablemente a REP (recuento estándar en placa) estimado  $46 \times 10^3$  UFC/ml. MERAZ (2012) y MORALES (2011) mencionan que la ruptura de tejidos eleva la velocidad de respiración, producción de etileno y transpiración, lo que conduce a una degradación rápida de la calidad. Esta operación de corte es traumatizante ya que disminuye fuertemente las posibilidades de conservación además aumenta las áreas de tejido dañado disponible para la degradación microbiana, por otra parte, el corte expone los tejidos internos del producto permitiendo a los microorganismos alterantes superar las capas protectoras; y que los microorganismos normalmente inocuos actúen como agentes deteriorantes oportunistas.

MINSA/DIGESA (2001) mencionan que el límite del recuento de microorganismos aerobios mesófilos va desde  $10^4 - 10^6$  UFC/g. En el presente trabajo se observa que a 4, 12 y  $20^\circ\text{C}$  de 0-10 días el recuento microbiano está dentro del rango (ver Anexo L), lo que no representa un riesgo para la salud.

CASTILLO y YANYACHI (2002) mencionan que los recuentos superiores a  $10^6 - 10^7$  gérmenes por gramo suelen ser ya signo del inicio de descomposición. En el trabajo de investigación, microbiológicamente no se

observa ello pero sensorialmente a 20°C a partir del día 3 se observa signos de descomposición (ver fotografías del anexo N).

La velocidad de crecimiento de microorganismos se debe también al aumento del pH, por ejemplo al inicio la col tuvo un pH de 6,9 en el día 3 a 20°C la col tenía un pH de 7,46 en el día 10 a 4 y 12°C tuvo un pH de 7 y 7,21 respectivamente. MANZANOS (2010) menciona que en el caso de las hortalizas al tener un pH mayor a 5,6 el riesgo de crecimiento de microorganismos incluso patógeno es alto. Dentro de los patógenos en vegetales mínimamente procesados se tienen a *Escherichia coli* (pH óptimo 6,0-8,0), *Listeria monocytogenesse* desarrolla entre 4,4-9,4tal como indica SANTOS (2010).

MERAZ (2012) menciona que el sanitizante usado en productos mínimamente procesados ayuda a mantener la apariencia más fresca, como también tiene la capacidad de disminuir el pH, por lo que posiblemente la carga microbiana fue menor al realizar el trabajo de investigación. Los sanitizantes también son importantes porque aseguran la calidad e inocuidad de frutas y hortalizas ya que minimizan la contaminación de los productos con microorganismos patógenos que pueden afectar la salud del consumidor tal como afirma VALDEZ (2013); de ahí que en el trabajo de investigación se usó el Dimanim que es un amonio cuaternario de alto espectro y que actúa a diferentes pH siendo más activo a pH alcalino.

BAYER (2012) indica que el sanitizante Dimanim (Cloruro de alquildimetilbencil amonio) penetra en las membranas de los microorganismos gracias a las cadenas carbonadas (hidrófobas). A través del nitrógeno catiónico

(hidrófilo) interaccionan con los fosfatos de los fosfolípidos, causando la salida al exterior del material vital citoplasmático. Los compuestos de amonio inhiben también la cadena respiratoria e inactivan enzimas celulares esenciales para el crecimiento.

Para la evaluación microbiológica se hizo el recuento de aerobios mesófilos debido a que es un indicador de calidad. MANZANOS (2010) afirma que en productos mínimamente procesados, son los microorganismos aerobios mesófilos y psicotróficos los más evaluados; esto se debe a que los microorganismos revelan la calidad sanitaria del alimento, el grado de contaminación de la materia prima, las condiciones sanitarias durante el procesado mínimo y si las condiciones de temperatura y tiempo empleadas han sido las adecuadas.

PIAGENTINI (1999) menciona que los productos mínimamente procesados son portadores de una abundante microflora saprófita, susceptible de eliminar los microorganismos poco competitivos y de alterar rápidamente la calidad del producto, antes que desarrollen los microorganismos peligrosos. Los riesgos para la salud por esta clase de productos se deben pues a microorganismos que pueden desarrollarse a 4 °C y competir con la microflora saprófita. Por esta razón, *Listeria monocytogenes*, *Yersinia enterocolitica*, *Aeromonas hydrophila*, *Shigella*, *Clostridium botulinum* y *Escherichiacoli* 0157:H7 enteropatógena presentan un riesgo potencial en los productos listos para usar.

En la evaluación del atributo apariencia general se pudo observar que a 20°C en el día 1 la col fresca cortada comienza a perder luminosidad, y

en los cortes, presencia de amarronamiento aunque insignificante, a los 12°C en el día 4 y a 4°C en el día 10 pero de manera insignificante. Dicho resultado no coincide con DE LA VEGA (2011) quien menciona que la vida útil de estos productos, si bien es cierto es limitada a causa de varios factores, el principal factor es por los microorganismos.

MANZANOS (2012) refiere que el tiempo de vida útil percibido por el consumidor puede ser diferente al tiempo de vida útil que arrojan los resultados de los análisis microbiológicos y fisicoquímicos de los vegetales. Lo que percibe el consumidor acerca del alimento es lo que impulsa a comprarlo y esta percepción se presenta por el sentido de la vista antes que por otros sentidos.

ALLENDE *et al.*, (2009) indican que el agua líquida residual que está en contacto con los vegetales debido a la operación previa de lavado, afecta la microflora presente. Envasar un producto muy húmedo favorecería el desarrollo de microorganismos. Por lo tanto se debe eliminar el exceso de agua que se encuentra sobre el vegetal, permitiendo envasar un producto con mínima humedad residual. Esta operación se realiza habitualmente en una centrifuga, pero puede llegar a ser traumatizante si no se controla adecuadamente. Una centrifugación excesiva puede resultar en daño celular y causar una pérdida posterior de fluido celular del producto. Por ese motivo en la operación del centrifugado se tuvo presente la recomendación.



#### 4.4. Energía de Activación y Coeficiente pre Exponencial de la cinética de crecimiento microbiano en col mínimamente procesada.

En el Cuadro 12, se presenta los valores del coeficiente de correlación del crecimiento de microorganismos, para las órdenes de reacción 0, 1 y 2; teniéndose como coeficiente de correlación más alto  $R^2 = 0,9571$  para orden de reacción 1. Los valores del coeficiente de correlación fueron usados como criterio para elegir el modelo adecuado, los resultados concuerdan con los reportados por SALINAS *et al.*, (2007) y LABUSA y RIBOH (1982); en cuanto a que la mayoría de las reacciones de deterioro de producción microbiana siguen una cinética de primer orden.

**Cuadro 12.** Valores del coeficiente de correlación, para el crecimiento microbiológico.

Crecimiento m.o	$R^2$		
	n=0	n =1	n =2
	0,8697	<b>0,9571</b>	0,8594

Donde n y los superíndices 0, 1 y 2 representan los órdenes de reacción,  $R^2$  el coeficiente de correlación.

En el Cuadro 13, se observa los valores de K a las temperaturas de almacenamiento y con el orden de reacción más adecuado  $n=1$ .

**Cuadro 13.** Valor de la constante de velocidad de reacción para 4, 12 y 20°C  
n =1

Crecimiento m.o		
Temperatura	K	LnK
0,003610108	0,2716	-1,30342488
0,003508772	0,2976	-1,21200498
0,003412969	0,3579	-1,02750166

Donde n y el superíndice 2 representa el orden de reacción, K la velocidad de reacción

En la Figura 12 se aprecia que a mayor temperatura mayor será su velocidad de reacción.

SINGH y HELDMAN (2009) mencionan que el aumento de la velocidad de crecimiento con la temperatura se debe al incremento generalizado de la velocidad de las reacciones enzimáticas con la temperatura.

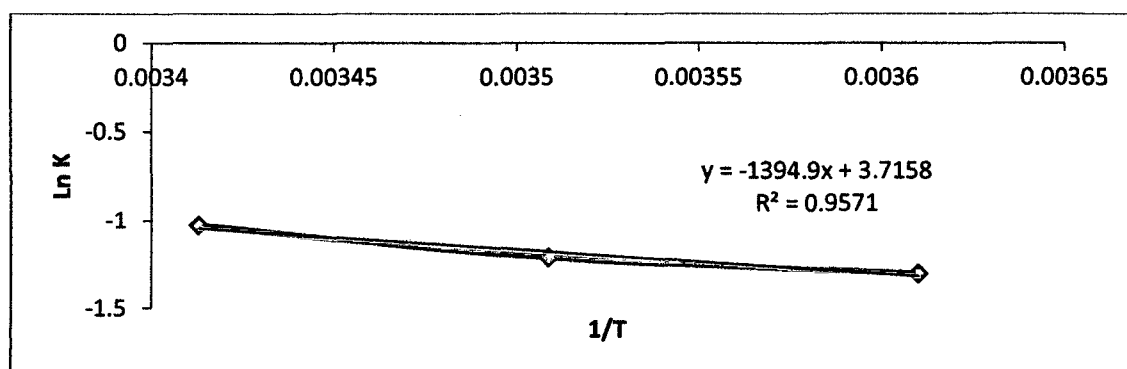


Figura 12. Velocidad de crecimiento donde el coeficiente de correlación es  $R^2$ , orden (n) 1.

FAYOS (2010) indica que los principales riesgos potenciales de los productos vegetales procesados en fresco son microbiológicos (*Salmonella* spp., *Shigella* spp., *E. coli* enterotoxigénico, virus o parásitos), químicos (residuos de pesticidas, melaminas o alérgenos) y físicos (presencia de cuerpos extraños como restos de madera, plásticos u otros). De allí la

necesidad de basar la seguridad en la prevención y control, desde el campo hasta la planta de procesamiento; tomando en consideración lo manifestado se averiguó con los agricultores respecto al manejo que le dan a sus cultivos como el tipo de pesticidas y el tipo de abono que usan, para así tener la seguridad que las muestras no habían sido contaminadas con pesticidas.

ARTÉS (2011) menciona que, aunque la desinfección por cloro ha sido prohibida en diversos países al generar residuos potencialmente tóxicos, sigue siendo necesaria en la industria, por lo que conviene estudiarlas técnicas de procesado más idóneas, incluyendo las alternativas. Sin embargo, en los últimos años se ha generalizado la recomendación de prescindir del uso del cloro, los principales motivos son el riesgo medio ambiental asociados al vertido del agua con gran contenido de contaminantes y al riesgo para la salud debido a la formación de compuestos cancerígenos (trihalometanos y cloramidas) formados por la reacción del cloro con la materia orgánica presente en el agua (GIL *et al.*, 2009). De allí que teniendo presente lo manifestado, en la investigación se usó como desinfectante un amonio cuaternario debido a que presenta algunas ventajas sobre otros desinfectantes, ya que no son corrosivos y son estables a altas temperaturas.

En el Cuadro 14, se observa los valores de  $E_A = 11,3461166$  KJ/mol,  $K_o = 46,00729634$  ( $S^{-1}$ ) y su  $R^2 = 0,9571$ .

Comparando los resultados obtenidos de la energía de activación en la evaluación microbiológica, se observa que el recuento de microorganismos aerobios mesófilos ( $E_a = 11,3461166$  KJ/mol) no es el que limita la vida útil de este producto. Estos resultados difieren de los encontrados

por PIAGENTINI *et al.*, (2004) quienes indican que el recuento de microorganismos aerobios mesófilos es el que limita la vida útil ya que tiene una  $E_a = 81 \text{ KJ/mol}$ . No obstante, si coincide con lo reportado por JACXSENS *et al.*, (2002) quienes menciona que es la calidad sensorial y no la microbiológica la que limita la vida útil. La diferencia de resultados como ya se mencionó se deba por la diferencia de sanitizantes usados en el trabajo de investigación.

En el Cuadro 14, se presenta los parámetros de la cinética de crecimiento microbiano de la col mínimamente procesada.

**Cuadro 14.** Parámetros de la cinética de crecimiento microbiano de la col (*Brassica olerácea L.*) mínimamente procesada

Crecimiento m.o	$K_0$ ( $\text{S}^{-1}$ )	$E_a$ ( $\text{KJ/mol}$ )	$R^2$
	46,00729634	11,3461166	0,9571

Donde  $K_0$ = factor pre exponencial,  $E_a$ = energía de activación y  $R^2$  el coeficiente de correlación

#### 4.5. De la evaluación estadística de los atributos sensoriales y contenido microbiológico

En el Anexo O se presentan los resultados de la evaluación estadística de los resultados de los atributos sensoriales estudiados, donde se puede observar que todos los atributos sensoriales estudiados presentan diferencia significativa con la temperatura y el tiempo de almacenamiento, corroborando con lo indicado por FENNEMA (2000) y LABUZA Y RIBH (1982).

En el Cuadro 15, se observa los resultados de la evaluación estadística del contenido microbiano de la col mínimamente procesada, almacenada a temperaturas de 4, 12 y 20°C.

De acuerdo al análisis estadístico realizado se puede observar que existe diferencias altamente significativa en cuanto a la temperatura y tiempo porque su P-Valor es 0,0000 y 0,0014 respectivamente es decir <5%, lo cual significa que a mayor tiempo y temperatura de almacenamiento mayor será el crecimiento microbiano, concordando con lo indicado por TOLEDO (2007)

**Cuadro 15.** Análisis de varianza para el crecimiento microbiano

<b>F.V.</b>	<b>S.C</b>	<b>G.L</b>	<b>C.M</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
A: Temperatura	7,42734E+13	2	3,71367E+13	51,78	<b>0,0000</b>
B: Tiempo	1,71105E+13	5	3,4221E+12	4,77	<b>0,0014</b>
Residual (corregido)	3,29888E+13	46	7,17147E+11		
<b>Total</b>	<b>1,24373E+14</b>	<b>53</b>			

## V. CONCLUSIONES

- Los datos cinéticos que permiten representar los cambios en la calidad de la col mínimamente procesada, para el atributo olor tuvo un comportamiento de orden ( $n=2$ ), con Energía de Activación  $E_a= 194,2899$  KJ/mol; para apariencia general, orden de reacción ( $n=1$ ), Energía de Activación  $E_a= 169,0818$  KJ/mol; para amarronamiento, orden de reacción ( $n=0$ ), Energía de Activación  $E_a= 235,3111$  KJ/mol; para marchitamiento, orden de reacción ( $n=2$ ), Energía de Activación  $E_a= 146,2682$  KJ/mol; para color, orden de reacción ( $n=1$ ), Energía de activación  $E_a= 88,7436$  KJ/mol. Para el crecimiento microbiano, orden de reacción ( $n=1$ ), Energía de Activación  $E_a= 11,843293$  KJ/mol.
- La velocidad de deterioro de los atributos sensoriales que limitan la vida útil de la col mínimamente procesada durante el almacenamiento tuvieron un Factor pre exponencial para el olor  $K_0=1,46E+34(s^{-1})$ , para apariencia general  $K_0= 7,33E+29S^{-1}$ , para amarronamiento  $K_0= 2,69E+42 s^{-1}$ , para marchitamiento  $K_0= 1,96E+25 s^{-1}$ , color  $K_0= 3,56E+15 s^{-1}$ .
- La constante de velocidad de crecimiento de microorganismos aerobios mesófilos a 4, 12 y 20°C es 0,2699; 359,82; 4551,4 ( $día^{-1}$ ) respectivamente. Y la velocidad de deterioro durante el almacenamiento tuvo un Factor pre exponencial  $K_0=45,54496137 s^{-1}$ .

## VI. RECOMENDACIONES

- Realizar la evaluación del color por la técnica del colorímetro para afianzar los datos de color que se obtuvieron en la evaluación sensorial tomando más datos en cuanto al tiempo por día, para más precisión.
- Evaluar el pH del producto por cada día de evaluación para determinar la vida útil del producto.
- Evaluar la influencia del tipo de empaque en el deterioro de la col mínimamente procesada.
- Evaluar el oxígeno disuelto en las muestras por día ya que es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios.

## ABSTRACT

The research was carried out in the laboratories of Sensory Analysis and Microbiology UNAS. The objectives were to determine the kinetic data representing changes in the quality of minimally processed cabbage (reaction order (n) reaction rate constant (k) and activation energy (Ea)). Furthermore the speed of deterioration of the sensory attributes during storage and growth rate constants of mesophilic and deterioration rate. To this end, the sample was disinfected cut cabbage (Dimanim 0.26mL /L) and stored at refrigeration at 4, 12 and 20 °C, the sensory and microbiological tests performed (according to the method described by ICMSF) to 0, 1, 3, 4, 7 and 10 days. And its rate of decline had a pre exponential factor  $K_0=45.54496137S^{-1}$ . After assessment, sensory and microbiological samples were suitable for consumption at 4 °C until day 10, at 12 °C until day 4 and 20°C until 1, so the browning and odor was considered as the attribute fault Unlike other authors, probably because in the present research was not used as chlorine sanitizer or modified atmospheres. The results were for the attribute odor behavior order (n=2), with activation energy  $E_a=194.2899KJ/mol$ ; general appearance, order (n=1),  $E_a=169.0818KJ/mol$ ; browning, order (n=0),  $E_a=235.3111KJ/mol$ ; wilting order (n=2),  $E_a=146.2682KJ/mol$ ; color, order (n=1),  $E_a=88.7436KJ/mol$ . For microbial growth, order (n=1),  $E_a=11.843293KJ/mol$ . The rate of deterioration of the



sensory attributes that limit the useful life had a pre-exponential factor for the odor  $K_0=1.46E+34(S^{-1})$ , general appearance  $K_0=7.33E+29S^{-1}$ , browning  $K_0=2,69E+42S^{-1}$ ,  $K_0=1.96$  wilting  $E+25S^{-1}$ , color  $K_0= 3.56E+15S^{-1}$ . The steady growth rate of microorganisms at 4, 12 and 20° C is 0.2699; 359.82; 4551.4(day<sup>-1</sup>) respectively.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUILAR, J. 2012. Métodos de conservación de alimentos. Primera edición, C.P. 54080, estado de México.
- ALLENDE, A.; LUO, Y.; MACEVOY, J.; ARTÉS, F.; WANG, C. 2009. Microbianos y los cambios en la calidad de las hojas de espinaca bebe mínimamente procesada almacenadas bajo oxígeno atmosférico y las condiciones de atmósfera modificada.
- ALONSO, N.; POVEDA, J. 2008. Estudio comparativo en técnicas de recuento rápido en el mercado y placas petrifilm 3M para el análisis de alimento.
- ALVARADO, J. 1996. Principios de ingeniería aplicados a los alimentos. Secretaría general de la OEA. Programa nacional de desarrollo científico y tecnológico. Universidad técnica de Ambato. Ecuador.
- ARTES, F.; GOMEZ, P. 2011. Innovaciones en el mantenimiento de la calidad y seguridad alimentaria de los productos hortícolas mínimamente procesados.
- AVALOS, K.; SGROPPO, C.; CHAVES, A. 2012. Efecto de un tratamiento térmico sobre la calidad de pimientos cherry cortados refrigerados.
- BAYER, 2012. Plan de sanidad ambiental. Ficha técnica de producto Dimanin.
- CASTILLO, M.; YANYACHI, M. 2002. Evaluación de la calidad higiénico sanitaria en fórmulas de nutrición.

- CASTILLO, P.; MIRANDA, L. 1995. Cinética de la degradación de la vitamina C en el jugo concentrado y congelado de maracuyá.
- CASTRO, E. 2008. Cálculo de procesos térmicos de alimentos en el siglo XXI.
- DE LA VEGA, C. 2011. Evaluación de los factores que influyen en la durabilidad de la lechuga (*Lactuca sativa L.*) como producto de IV gama
- ESPARZA, J.; NAVARRO, A.; KENDALL, P.; FORTIS, M.; PRECIADO, P.; MEZA, A. 2013. Aceptabilidad de lechuga de hoja fresca troceada, tratada con ácido ascórbico mediante hidrogenofriamiento.
- FAYOS, A. 2010. Situación actual del procesamiento de frutas y hortalizas en IV gama.
- FAO, 2006. Fichas técnicas productos frescos y procesados. Repollo (*Brassica oleracea*).
- FENNEMA, O. 2000. Química de los alimentos. Tercera edición. Editorial Acribia S.A. Zaragoza. Impreso en España.
- FERNANDEZ, J. 2008. Cinética del deterioro de los alimentos.
- FÓRTIZ, J.; RODRIGUEZ, A. 2010. Efecto del envasado en películas plásticas en la calidad de nopal verdura mínimamente procesado. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, S.C. Vol. 11, núm. 2.
- GAMBOA, L. 2008. Tiempo de vida útil de panquecas elaboradas a base de harina de trigo (*Triticuma estivum L.*) y zanahoria (*Daucus carota*).
- GARCIA, A. 2008. Aplicación de la técnica de IV gama para la elaboración de ensaladas.

- GIL, M.; ALLENDE, A.; LÓPEZ, F.; SELMA, M. 2009. Horticultura internacional. Poscosecha N°69 Revista de Industria, Distribución y Socioeconomía Hortícola. Pág. 38.
- GÓMEZ, P.; ARTÉS, F.; AGUAYO, E.; ESCALONA, V. 2007. Problemática de los Alimentos Vegetales mínimamente procesados en fresco.
- GONZALES, A. 2001. Cinética química. Editorial síntesis S.A. impreso en España proyecto editorial.
- GÚBELI, I. 2012. Efecto del uso de agentes antipardeantes y atmósfera modificada sobre el pardeamiento enzimático en cascos de manzana 'royal gala'.
- HERNANDEZ, R.; FERNANDEZ, C.; BAPTISTA, L. 2001. Metodología de la investigación. Edit. Mc GRAW-HILL interamericana de editores, S.A México. p 503.
- INDECOPI, 2001. NTO-ISO9001-2000. Sistema de gestión de calidad. Lima, Perú.
- INDECOPI, 2012. Desinfectantes Nacionales con Autorización Sanitaria Vigente.
- ICMSF, 2001. Comisión Internacional sobre especificaciones Microbiológicas de Alimentos. Microorganismos en los alimentos. Técnica de análisis microbiológico. 2da. Ed. Editions for food of the international association of microbiological societies. USA university of Toronto press.
- JACXSENS, L; DEVLIEGHERE, F; DEBEVERE, J. 2002. Temperature dependence of shelf life as affected by microbial proliferation and sensory quality of equilibrium modified atmosphere packaged fresh produce.

- JARAMILO, J.; DIAZ, C. 2006. El Cultivo de las Crucíferas Brócoli, Coliflor, Repollo, Col China. Manual técnico 20. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - CORPOICA. Centro de investigación La Selva Rionegro, Antioquia, Colombia.
- LABUZA, T.; RIBOH, D. 1982. Theory and application of Arrhenius kinetics to prediction of nutrient losses in food. *Food technology*. 36(10):66.
- LABUZA, T. (1995). Metodología para la determinación de vida útil en alimentos. Universidad Católica de Valparaíso. Escuela de Ingeniería en alimentos. 132 p.
- LABUZA, T. 2000a. Accelerated shelf life testing of foods *technology*. 39 (9): 57.
- LEON, A.; FREZZA, D.; CHIESA, A. (2007) evolución del color en lechuga (*lactuca sativa L.*) mantecosa mínimamente procesada: efecto del troceado y la inmersión en cloruro de calcio.
- MANZANOS, A. 2010. Determinación del hielo líquido, en las operaciones de enfriado tras el shock térmico y el tratamiento con antipardeantes.
- MAUREIRA, Y. 2012. Aplicación de sanitizantes en brotes de alfalfa (*medicagosativa L.*) conservados bajo atmósfera modificada.
- MERAZ, N. 2012. Atmosferas modificadas en modalidad de microperforado, enterobacterias y residuos de plaguicidas en nopal verdura (*Opuntia ficus indica L.*)
- MERY, L. 2011. Evaluación de distintas técnicas de postcosecha para prolongar la vida útil de peras mínimamente procesadas.

- MINSA/DIGESA-V.01. Norma sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano.
- MORALES, C. 2011. Determinación de indicadores de calidad por apariencia para vegetales frescos precortados.
- MURCIA, J.; DÍAZ, I.; ALMODOVAR, M., MARTÍN, V.; 2011. Hortalizas II. Hortalizas de hojas, tallos e inflorescencias.
- PARZANESE, M. 2012. Vegetales mínimamente procesados. Tecnologías para la industria alimentaria. Ficha N°11.
- PÉREZ, E.; MORENO, M. 2012. Incidencia de enfermedades fitopatógenas del cultivo de repollo (*Brassica oleracea* L) en la Cooperativa Tomatoya Jinotega.
- PETRUCCI, R.; HARWOOD, W.; HERRING, F. 2003. Química General. 8ªed. Capítulo 15. Ed. Prentice Hall.
- PIAGENTINI, A.; GÜEMES, M. 2002. Shelf life of fresh-cut spinach as affected by chemical treatment and type of packaging film
- PIAGENTINI, A.; PIROVANI, M.; GÜEMES, M. 2004. Cinética de deterioro de la calidad de repollo fresco cortado.
- PIAGENTINI, A. (1999). Conservación de vegetales listos para usar por la tecnología de factores combinados.
- PIROVANI, M; GÜEMES, D; PIAGENTINI, A; DI PENTIMA, J. 1997. Storage quality of minimally processed cabbage in plastic films. J. Food Quality.
- PISABARRO, A. 2009. Microbiología general. Cultivo de microorganismos. 8ª edición.

- QUEVEDO, K.; VILLEGAS, M.; GONZÁLES, H., RODRIGUEZ, A. 2005. Calidad de nopal verdura mínimamente procesado. Efecto de temperatura e inhibidores del oscurecimiento.
- REYES, M. 2007. Efecto de la variedad y del procesamiento sobre la vida útil de frutillas mínimamente procesadas.
- RICCI, M.;KAHAN, A. 2005. Estudios biológicos y poblacionales de *Brevicoryne Brassicae* L. y *Myzuspersicae* Sulz. (Hemiptera: Aphididae) sobre Crucíferas Cultivadas.
- RODRIGUEZ GOMEZ, JUAN MIGUEL. 2002. Consecuencias higiénicas de la alteración de los alimentos. Departamento de nutrición, bromatología y tecnología de los alimentos. Facultad de Veterinaria. Universidad Complutense de Madrid.
- RODRÍGUEZ, S., MONTAÑEZ, J.; MANCILLA, M.; QÜESTA, A. 2002. Choclos en granos mínimamente procesados. Efecto de diferentes películas plásticas en su conservación.
- ROTONDO, R., FERRATTO, J., FIRPO, I. 2008. Manual para el cultivo de hortalizas. Cátedra de cultivos intensivos. Área horticultura de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Rosario.
- RUIZ, G., QÜESTA, A., RODRIGUEZ, S. 2010. Efecto de luz uv-c sobre las propiedades antioxidantes y calidad sensorial de repollo mínimamente procesado.
- SALINAS, R.; GONZÁLES, G., PIROVANI, M., ULÍN, F. 2007. Modelación del deterioro de productos vegetales frescos cortados.

- SANTOS, E. 2010. Determinación de la vida de útil de un producto de cuarta grama: ensalada de verduras envasada en atmósfera modificada.
- SINGH, P.; HELMAN, D. 2009. Introducción a la ingeniería de los alimentos.
- TOLEDO, R. 2007. Fundamentals of food processing ineering. Thirdedition. Springer science. New york.
- TORALES, A.; CHAVEZ, A.; RODRIGUEZ, S. 2010.Cambios en la calidad de rúcula mínimamente procesada. Efecto de distintos envases.
- UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA.2000. Programa de hortalizas. Rangos aproximados de temperaturas mensuales óptimas para las hortalizas.
- VALDEZ, J. 2013. Higiene y saneamiento en la industria alimentaria. Lima. UNALM.
- VEGA, D.; MONGE, J.; TRUJILLO, L.; SANTOS, B.; RÍOS, D. 2012. Variedades de col verde y morada. Información técnica.
- YENDI, M.; LÓPEZ, C.; ROSAS, M. 2009. Estudio de la cinética de rehidratación de zanahoria (*Daucus Carota*) deshidratadas.



**ANEXO**

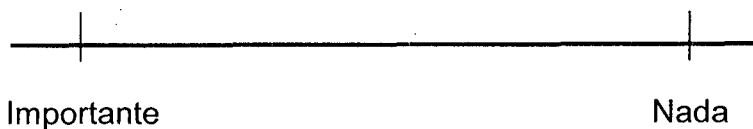
**Anexo A.** Planilla para la evaluación sensorial de la col mínimamente procesada.

Nombre:

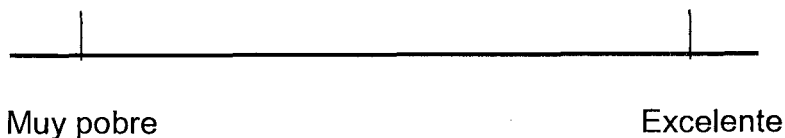
Fecha:

Por favor, evalúe las muestras que se le presentan con respecto a los atributos mencionados a continuación. Coloque una línea vertical sobre la escala para indicar su calificación, y el número correspondiente a la muestra evaluada. Abra una bolsa por vez y evalúe el atributo *off-odor* inmediatamente, luego continúe con la evaluación de los demás atributos (línea horizontal de la escala deberá tener una longitud real de 10cm)

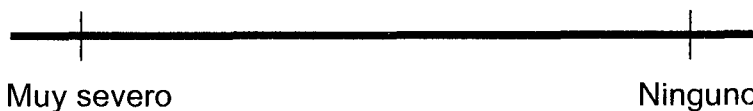
**Off-odor**



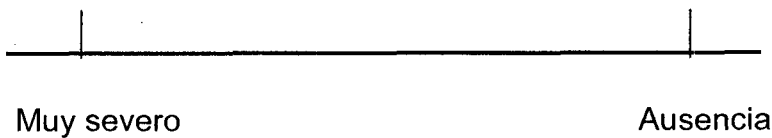
**Apariencia general**



**Marchitamiento**



**Amarronamiento**



**Color**



## ANEXO B

**B.1.** Resultados de la evaluación sensorial de la col (*Brassica oleracea* L.) fresca cortada a 4°C durante su almacenamiento.

Tiempo	Olor	Apariencia general	Marchitamiento	Amarronamiento	Color
0	1	9	1	1	1
1	1	9	1	1	1
3	1	9	1	1	1
4	1	9	1	1	1
7	1,023	8,886	1,0145	1,0175	1
10	1,017	8,0565	1,085	1,07	2,135

**B.2.** Resultados de la evaluación sensorial de la col (*Brassica oleracea* L.) fresca cortada a 12°C durante su almacenamiento.

Tiempo	Olor	Apariencia general	Marchitamiento	Amarronamiento	Color
0	1	9	1	1	1
1	1	8,894	1	1	1
3	1	8,894	1	1,006	1
4	1	9	1	1,0135	1
7	1,159	4,7075	4,45	1,1945	4,984
10	7,6045	4,959	4,808	1,219	6,035

**B.3.** Resultados de la evaluación sensorial de la col (*Brassica oleracea* L.) fresca cortada a 20°C durante su almacenamiento.

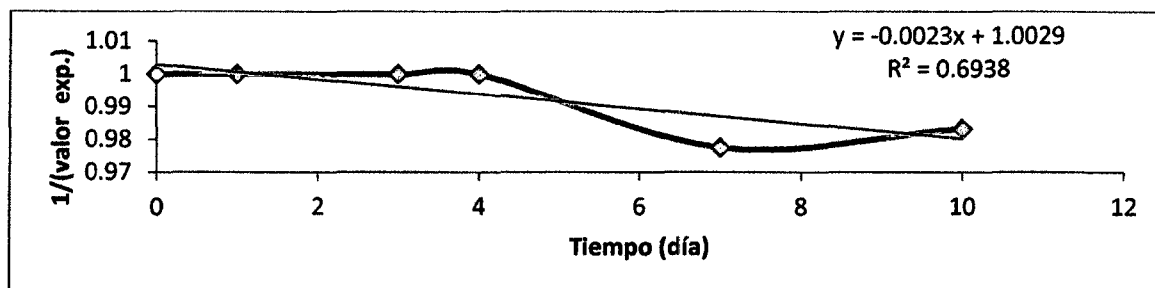
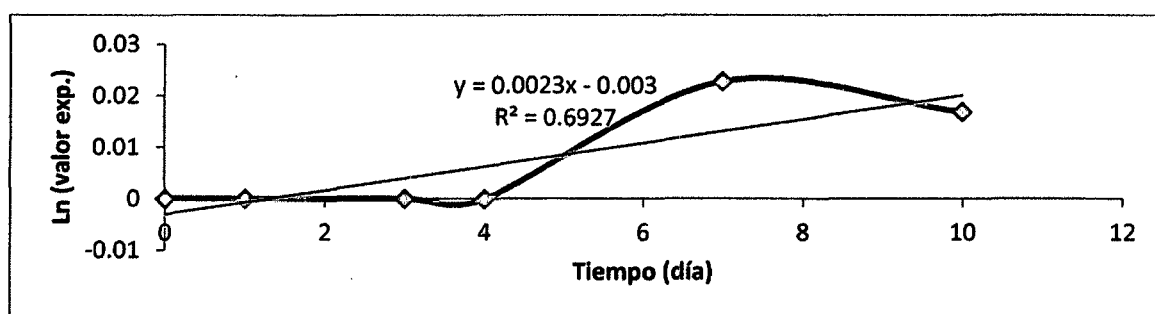
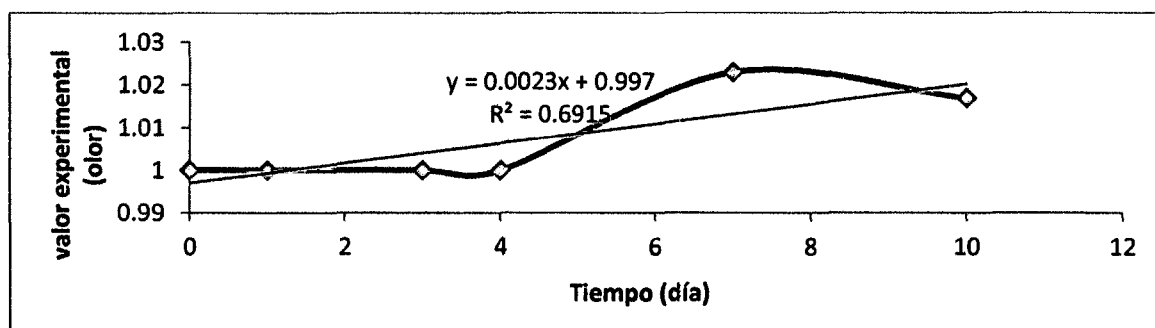
Tiempo	Olor	Apariencia general	Marchitamiento	Amarronamiento	Color
0	1	9	1	1	1
1	1,689	6,032	4,14925	3,043	3,3075
3	8,736	2,462	7,831	7,732	6,7815
4	9	1	9	9	9

## ANEXO C

## C.1. Cinética de deterioro del atributo sensorial olor de la col mínimamente procesada almacenada a 4°C.

Tiempo	Olor		
	n=0	n=1	n=2
0	1	0	1
1	1	0	1
3	1	0	1
4	1	0	1
7	1,023	0,022739487	0,977517107
10	1,017	0,016857117	0,983284169

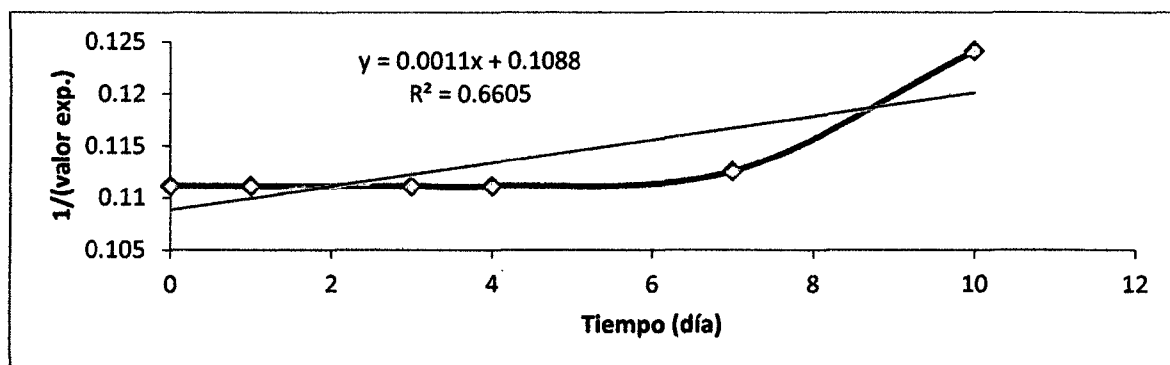
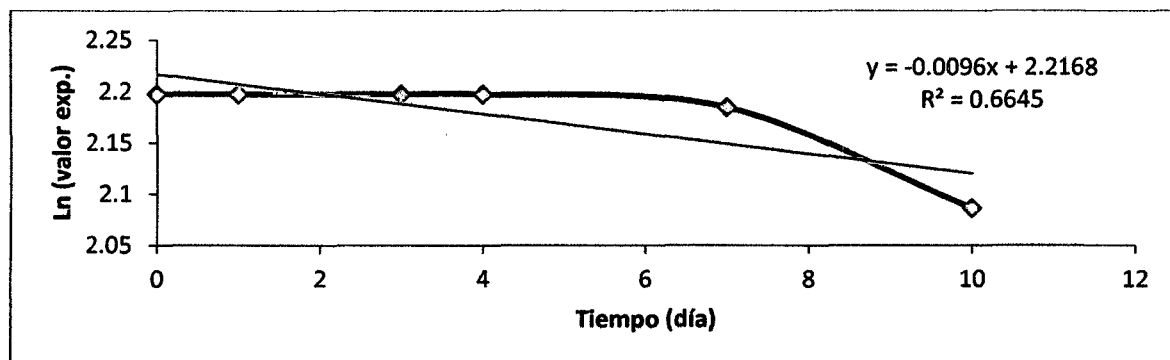
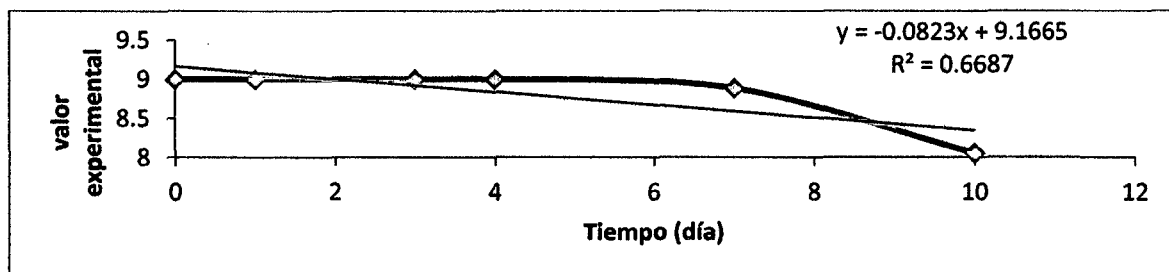
## C.2. Gráficas del orden de reacción (n) a 0, 1 y 2 respectivamente del atributo sensorial olor de la col durante su almacenamiento a 4°C.



**C.3. Cinética de deterioro del atributo sensorial apariencia general de la col (*Brassica olerácea L.*) fresca cortada a 4°C durante su almacenamiento.**

Tiempo	Apariencia general		
	n=0	n=1	n=2
0	9	2,197224577	0,111111111
1	9	2,197224577	0,111111111
3	9	2,197224577	0,111111111
4	9	2,197224577	0,111111111
7	8,886	2,184477005	0,112536574
10	8,0565	2,086479219	0,124123379

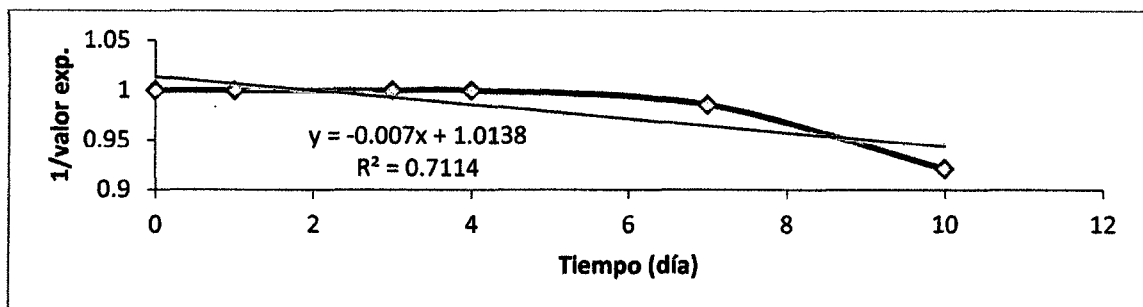
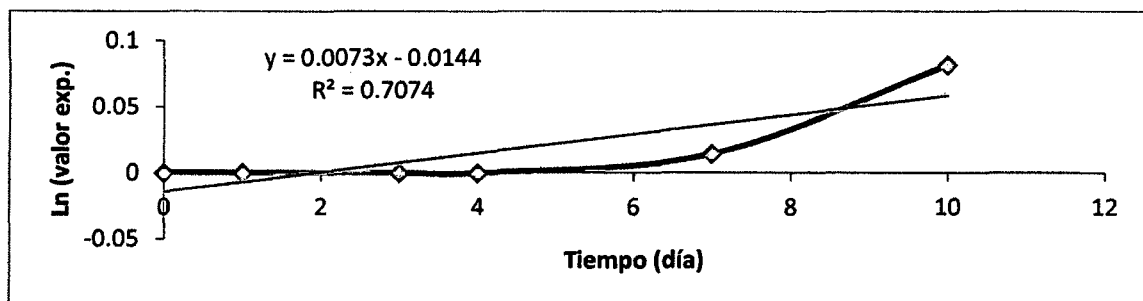
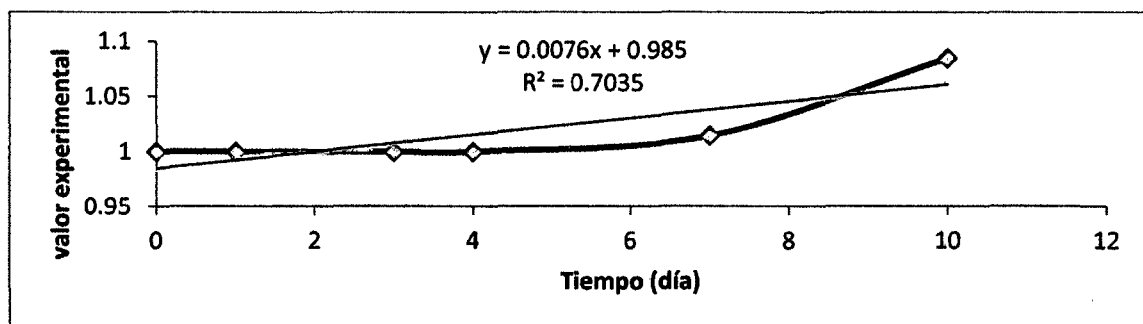
**C.4 Gráficas del orden de reacción(n) a 0, 1 y 2 respectivamente del atributo sensorial apariencia general de la col (*Brassica olerácea L.*) fresca cortada a 4°C durante su almacenamiento.**



**C.5. Cinética de deterioro del atributo sensorial marchitamiento de la col (*Brassica oleracea* L.) fresca cortada a 4°C durante su almacenamiento.**

Tiempo	Marchitamiento		
	n=0	n=1	n=2
0	1	0	1
1	1	0	1
3	1	0	1
4	1	0	1
7	1,0145	0,01439588	0,985707245
10	1,085	0,081579987	0,921658986

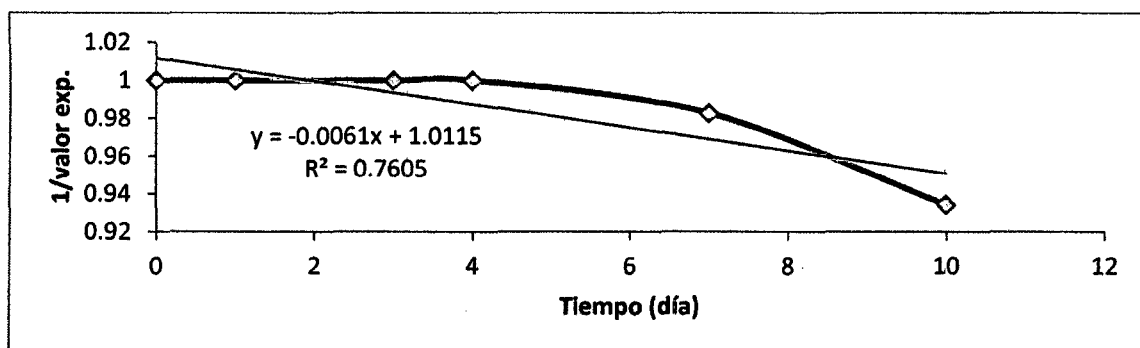
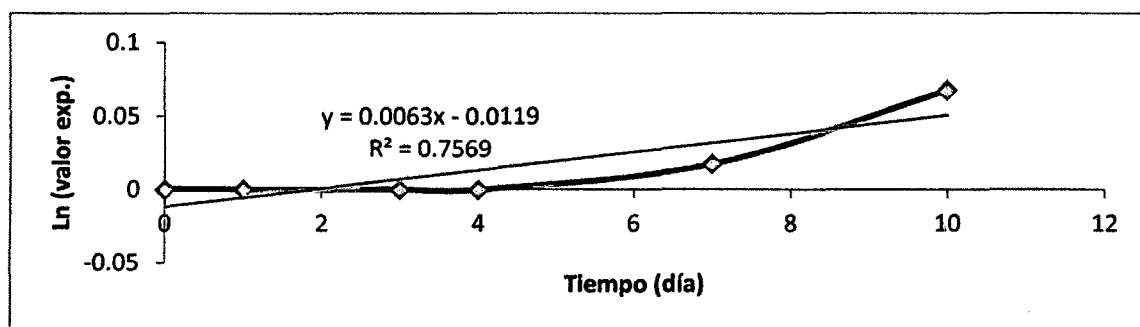
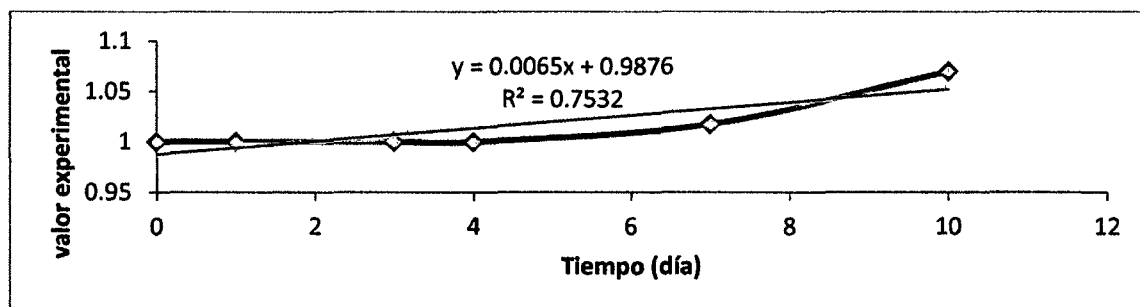
**C.6 Gráficas del orden de reacción (n) a 0, 1 y 2 respectivamente del atributo marchitamiento de la col (*Brassica oleracea* L.) fresca cortada a 4°C durante su almacenamiento.**



**C.7 Cinética de deterioro del atributo sensorial amarroramiento de la col (*Brassica lerácea* L.) fresca cortada a 4°C durante su almacenamiento.**

Tiempo	Amarroramiento		
	n=0	n=1	n=2
0	1	0	1
1	1	0	1
3	1	0	1
4	1	0	1
7	1,0175	0,017348638	0,982800983
10	1,07	0,067658648	0,934579439

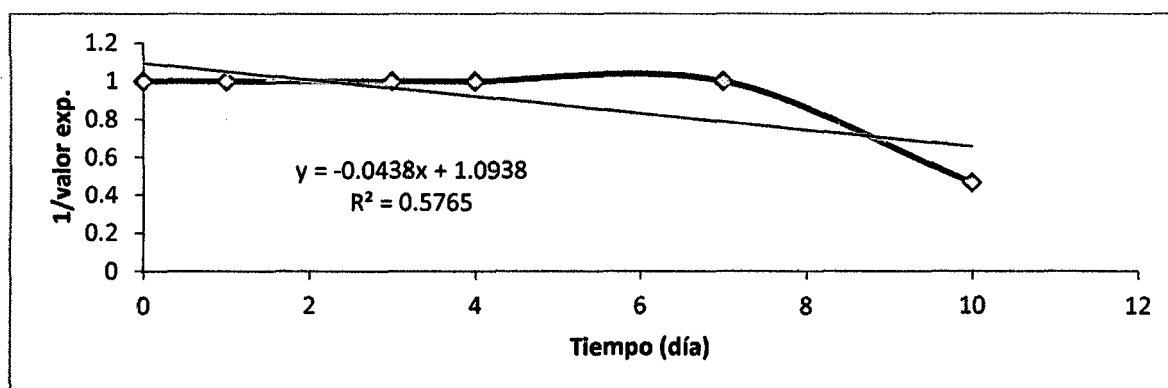
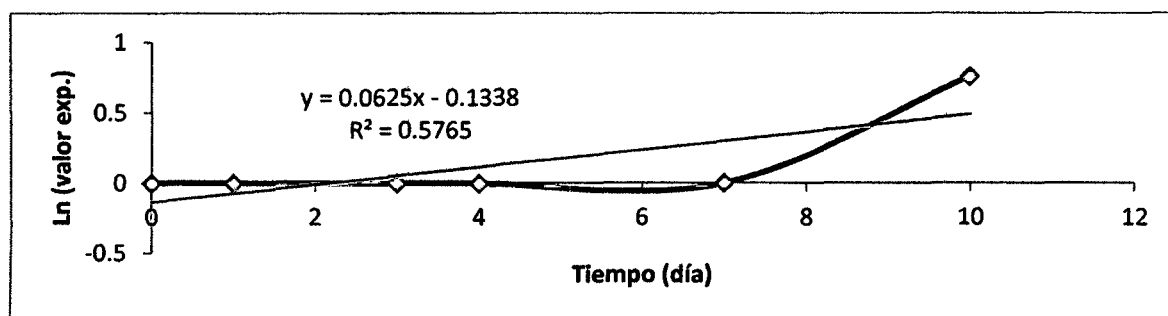
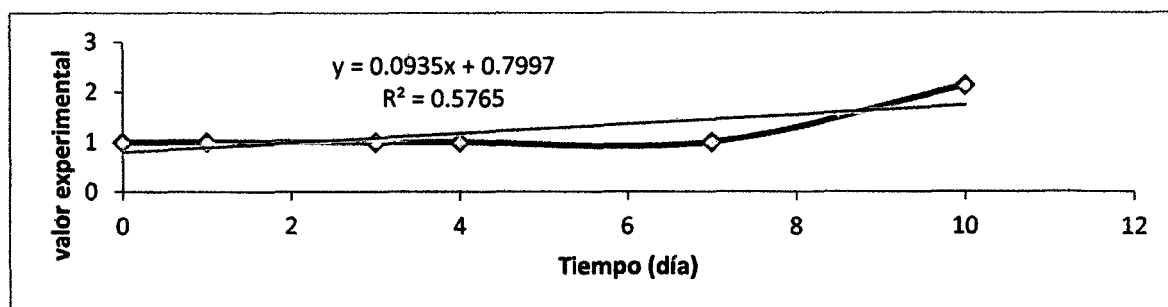
**C.8 Gráficas del orden de reacción(n) a 0, 1 y 2 respectivamente del atributo amarroramiento de la col (*Brassica olerácea* L.) fresca cortada a 4°C durante su almacenamiento.**



**C.9** Cinética de deterioro del atributo sensorial color de la col (*Brassica oleracea* L.) fresca cortada a 4°C durante su almacenamiento.

Tiempo	Color		
	n=0	n=1	n=2
0	1	0	1
1	1	0	1
3	1	0	1
4	1	0	1
7	1	0	1
10	2,135	0,758466647	0,468384075

**C.10** Gráficas del orden de reacción (n) a 0, 1 y 2 respectivamente del atributo color de la col (*Brassica oleracea* L.) fresca cortada a 4°C durante su almacenamiento.

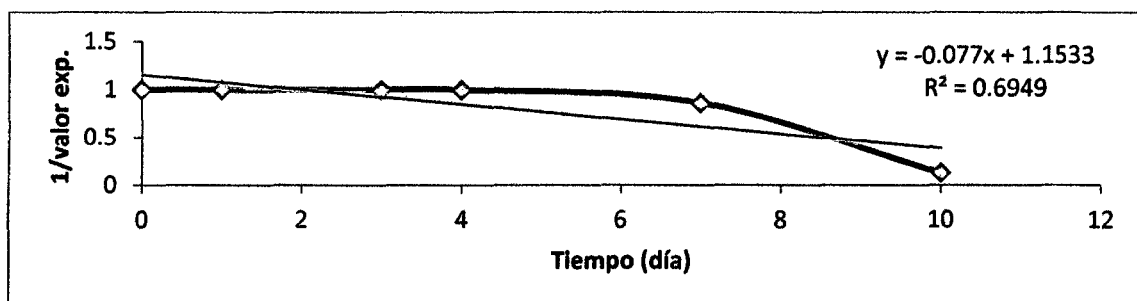
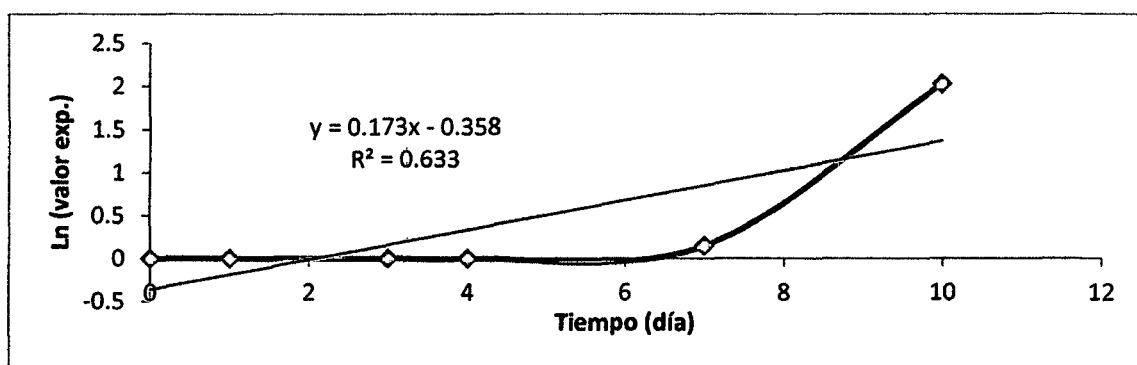
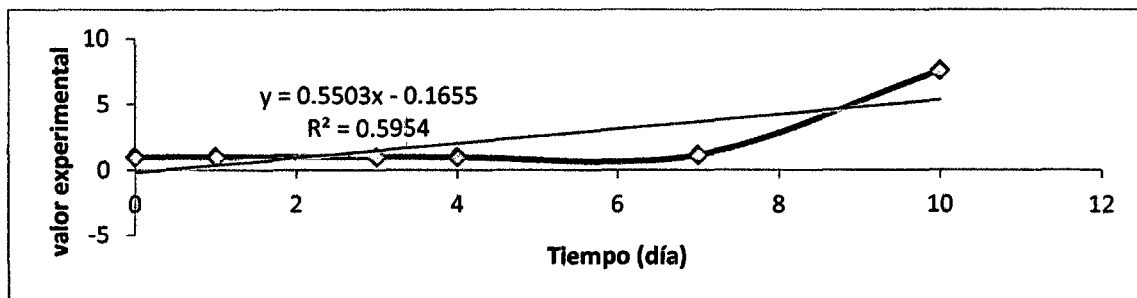




**ANEXOD.** Cinética de deterioro del atributo sensorial olor de la col (*Brassica oleracea* L.) fresca cortada a 12°C durante su almacenamiento.

Tiempo	Olor		
	n=0	n=1	n=2
0	1	0	1
1	1	0	1
3	1	0	1
4	1	0	1
7	1,159	0,147557564	0,86281277
10	7,6045	2,028740177	0,131501085

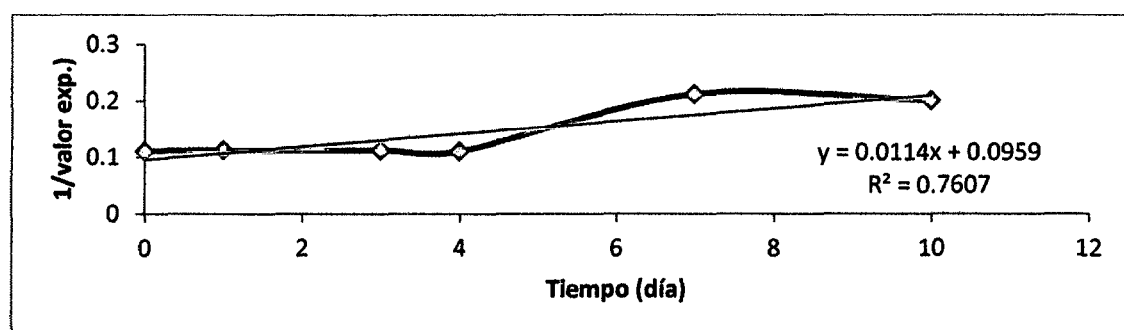
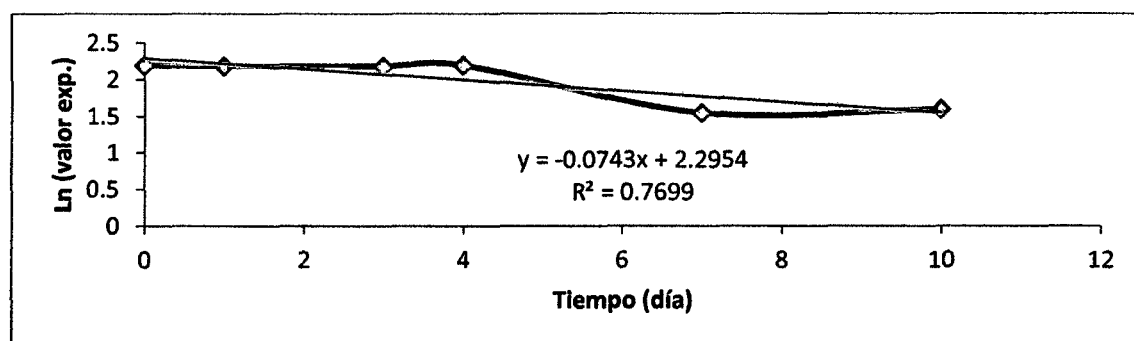
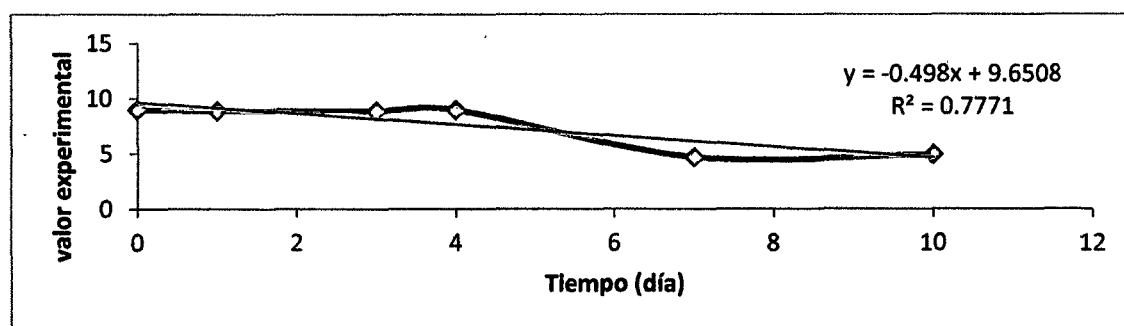
**D.2** Gráficas del orden de reacción(n) a 0, 1 y 2 respectivamente del atributo sensorial olor de la col (*Brassica oleracea* L.) fresca cortada a 12°C durante su almacenamiento.



**D.3 Cinética de deterioro del atributo sensorial apariencia general de la col (*Brassica oleracea* L.) fresca cortada a 12°C durante su almacenamiento.**

Tiempo	Apariencia general		
	n=0	n=1	n=2
0	9	2,197224577	0,111111111
1	8,894	2,185376892	0,11243535
3	8,894	2,185376892	0,11243535
4	9	2,197224577	0,111111111
7	4,7075	1,549156982	0,212426978
10	4,959	1,601204108	0,201653559

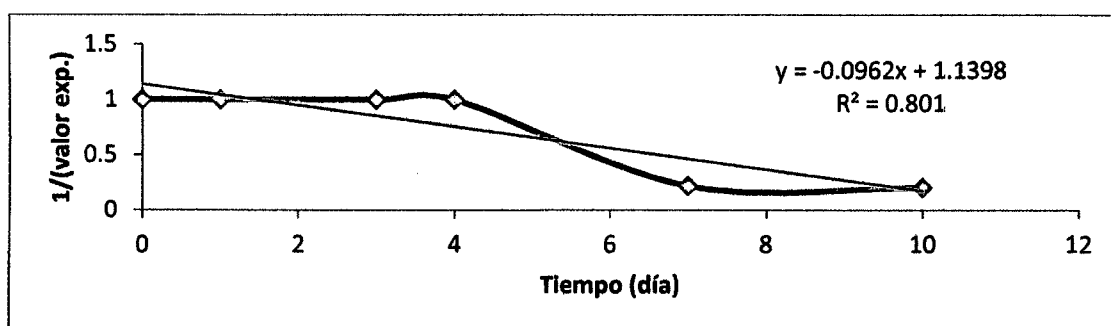
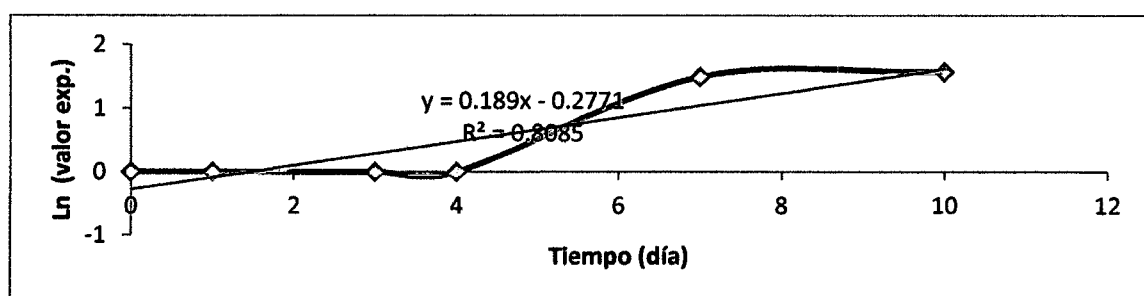
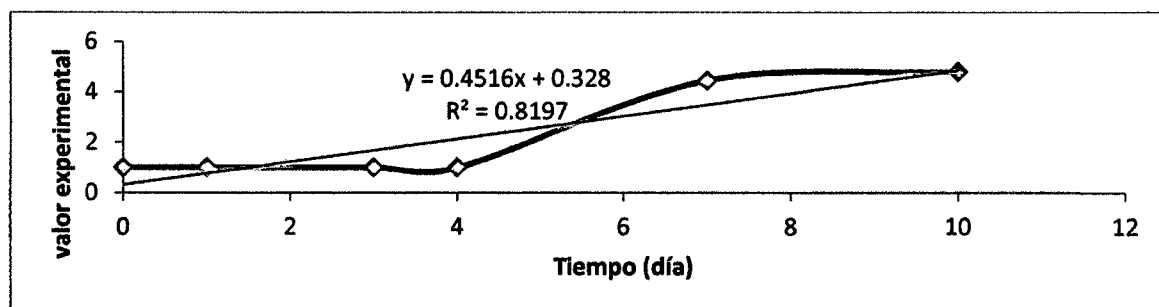
**D.4 Gráficas del orden de reacción(n) a 0, 1 y 2 respectivamente del atributo sensorial apariencia general de la col (*Brassica oleracea* L.) fresca cortada a 12°C durante su almacenamiento.**



**D.5 Cinética de deterioro del atributo sensorial marchitamiento de la col (*Brassica oleracea* L.) fresca cortada a 12°C durante su almacenamiento.**

Tiempo	Marchitamiento		
	n=0	n=1	n=2
0	1	0	1
1	1	0	1
3	1	0	1
4	1	0	1
7	4,45	1,492904096	0,224719101
10	4,808	1,570281197	0,207986689

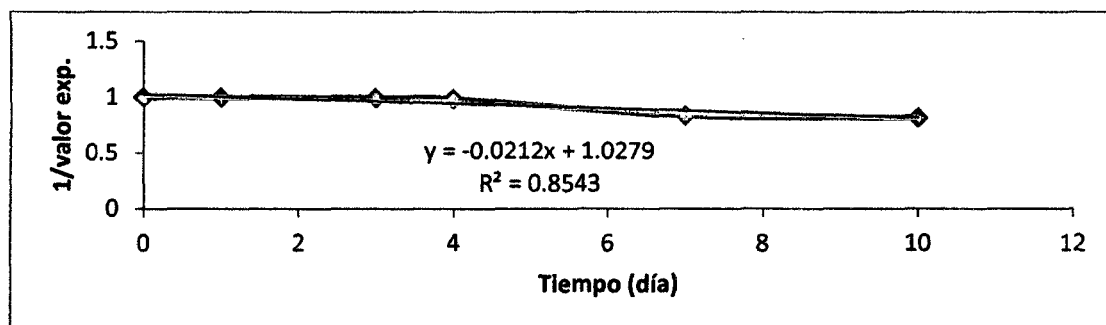
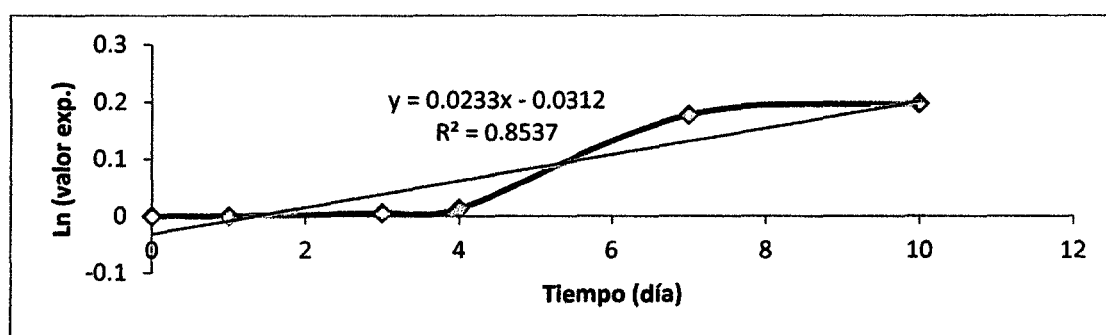
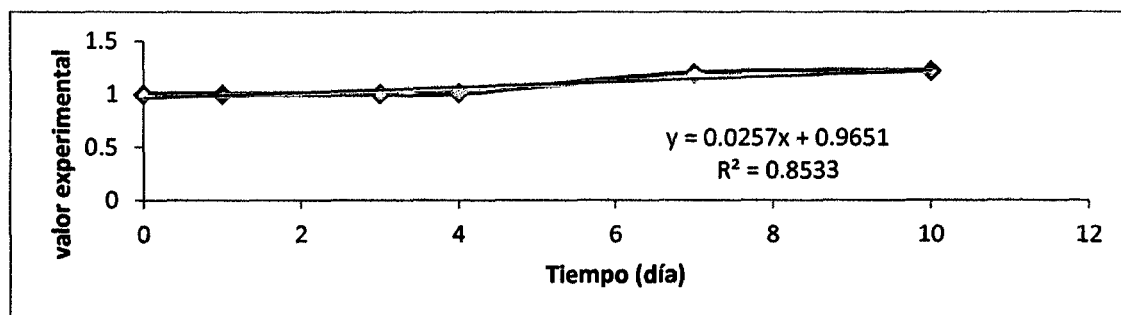
**D.6 Gráficas del orden de reacción (n) a 0, 1 y 2 respectivamente del atributo marchitamiento de la col (*Brassica oleracea* L.) fresca cortada a 12°C durante su almacenamiento.**



**D.7 Cinética de deterioro del atributo sensorial amarroramiento de la col (*Brassica olerácea* L.) fresca cortada a 12°C durante su almacenamiento.**

Tiempo	Amarroramiento		
	n=0	n=1	n=2
0	1	0	1
1	1	0	1
3	1,006	0,005982072	0,994035785
4	1,0135	0,013409687	0,986679822
7	1,1945	0,177727688	0,837170364
10	1,219	0,19803085	0,820344545

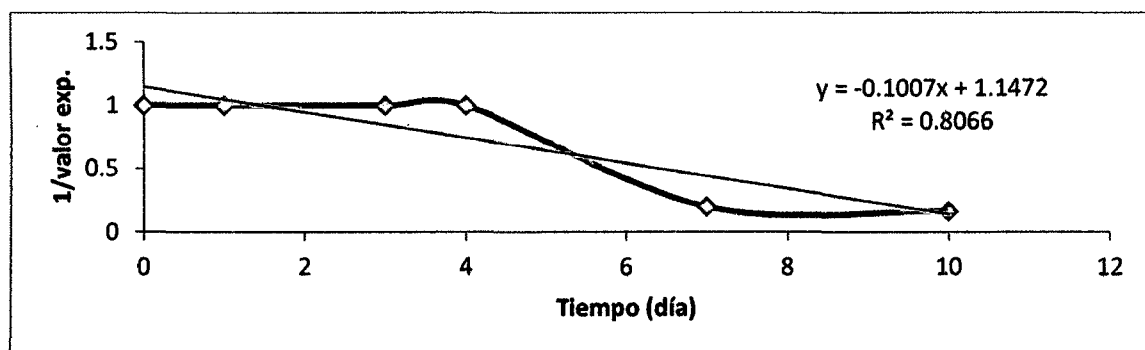
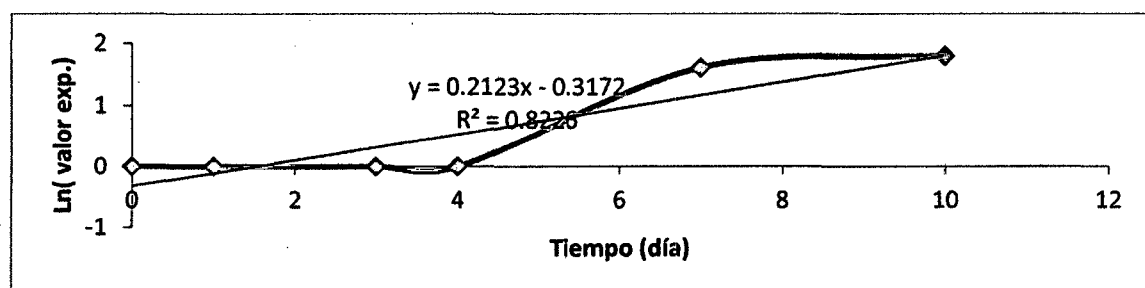
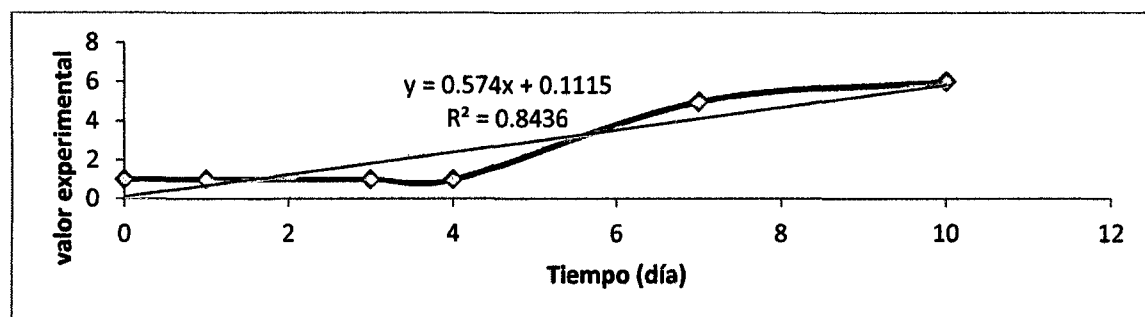
**D.8 Gráficas del orden de reacción(n) a 0, 1 y 2 respectivamente del atributo amarroramiento de la col (*Brassica olerácea* L.) fresca cortada a 12°C durante su almacenamiento.**



**D.9** Cinética de deterioro del atributo sensorial color de la col (*Brassica oleracea* L.) fresca cortada a 12°C durante su almacenamiento.

Tiempo	Color		
	n=0	n=1	n=2
0	1	0	1
1	1	0	1
3	1	0	1
4	1	0	1
7	4,984	1,606232781	0,200642055
10	6,035	1,797575855	0,165700083

**D.10** Gráficas del orden de reacción(n) a 0, 1 y 2 respectivamente del atributo color de la col (*Brassica oleracea* L.) fresca cortada a 12°C durante su almacenamiento.

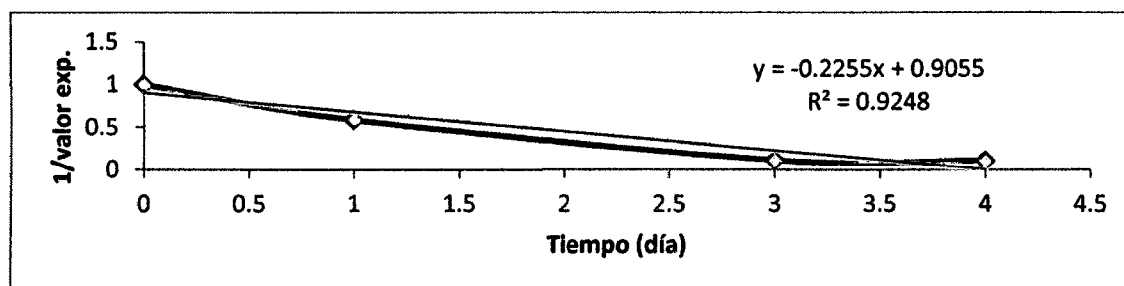
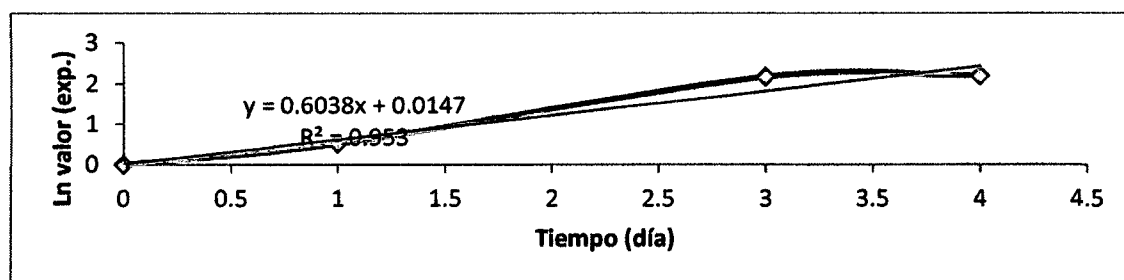
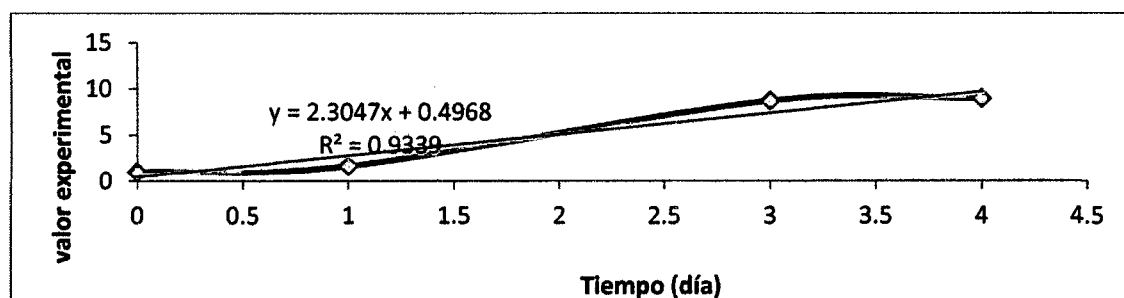


**ANEXO E.** Resultados de la evaluación sensorial de la col (*Brassica oleracea* L.) fresca cortada a 20°C durante su almacenamiento.

**E.1** Cinética de deterioro del atributo sensorial olor de la col (*Brassica oleracea* L.) fresca cortada a 20°C durante su almacenamiento.

Tiempo	Olor		
	n=0	n=1	n=2
0	1	0	1
1	1,689	0,524136638	0,592066311
3	8,736	2,167452419	0,114468864
4	9	2,197224577	0,111111111

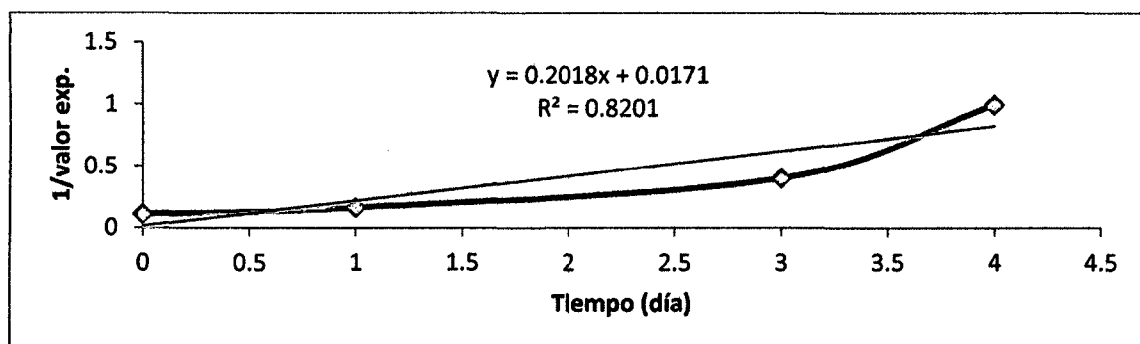
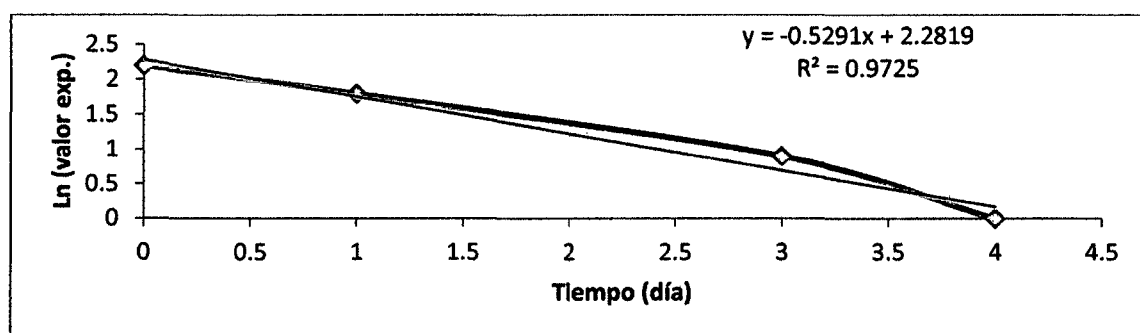
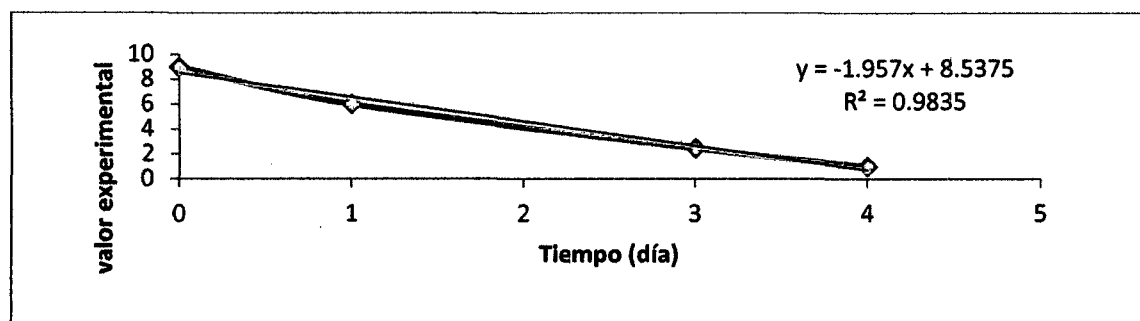
**E.2** Gráficas del orden de reacción (n) a 0, 1 y 2 respectivamente del atributo sensorial olor de la col (*Brassica oleracea* L.) fresca cortada a 20°C durante su almacenamiento.



**E.3** Cinética de deterioro del atributo sensorial apariencia general de la col (*Brassica oleracea* L.) fresca cortada a 20°C durante su almacenamiento.

Tiempo	Apariencia general		
	n=0	n=1	n=2
0	9	2,197224577	0,1111111111
1	6,032	1,797078631	0,165782493
3	2,462	0,900974028	0,406173842
4	1	0	1

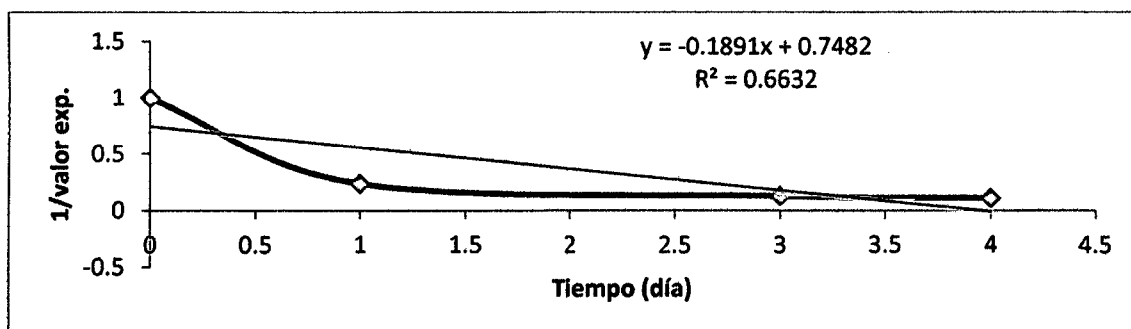
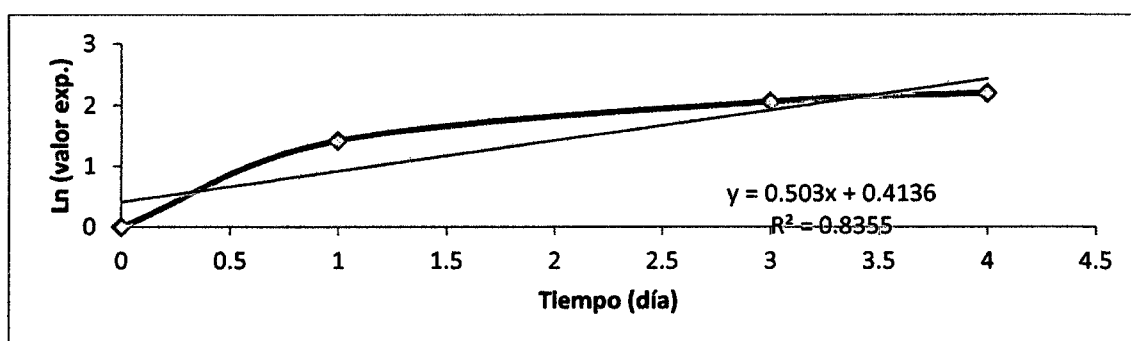
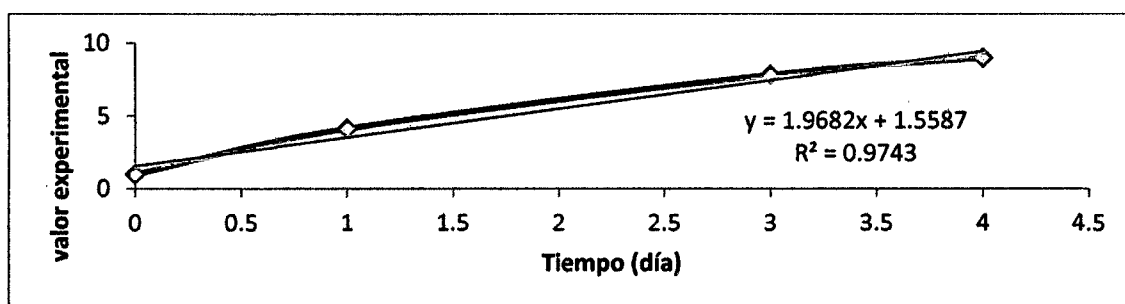
**E.4** Gráficas del orden de reacción(n) a 0, 1 y 2 respectivamente del atributo sensorial apariencia general de la col (*Brassica oleracea* L.) fresca cortada a 20°C durante su almacenamiento.



**E.5** Cinética de deterioro del atributo sensorial marchitamiento de la col (*Brassica oleracea* L.) fresca cortada a 20°C durante su almacenamiento.

Tiempo	Marchitamiento		
	n=0	n=1	n=2
0	1	0	1
1	4,14925	1,422927595	0,241007411
3	7,831	2,058090216	0,127697612
4	9	2,197224577	0,111111111

**E.6** Gráficas del orden de reacción (n) a 0, 1 y 2 respectivamente del atributo marchitamiento de la col (*Brassica oleracea* L.) fresca cortada a 20°C durante su almacenamiento.

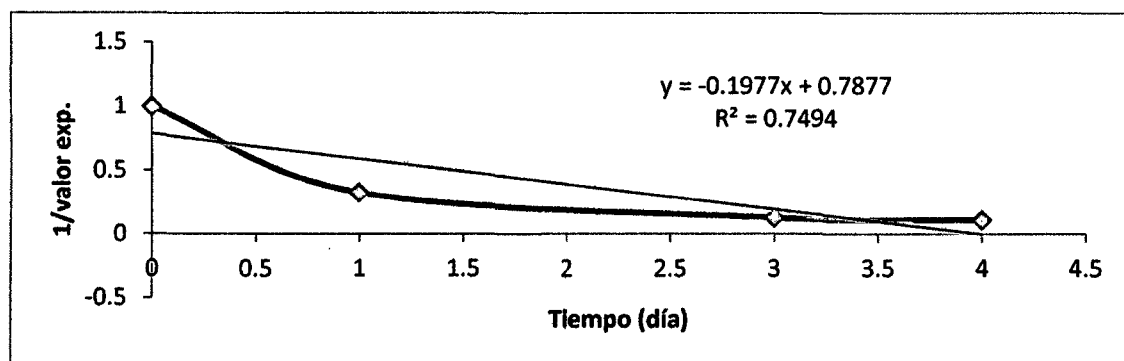
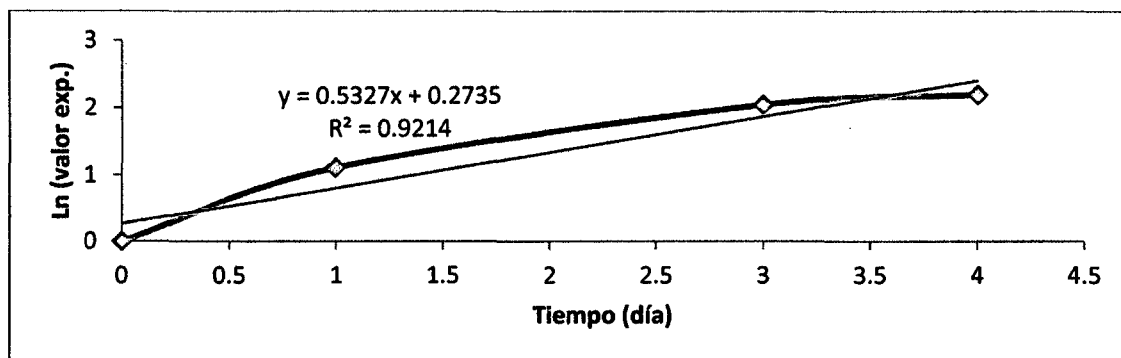
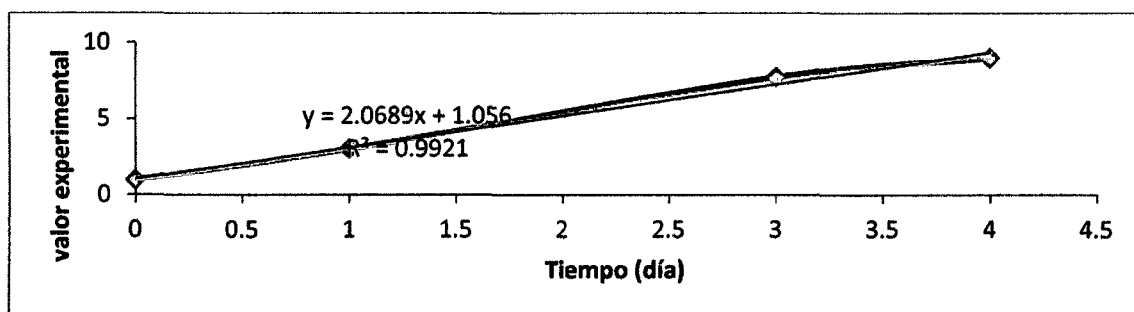




**E.7** Cinética de deterioro del atributo sensorial amarronamiento de la col (*Brassica oleracea* L.) fresca cortada a 20°C durante su almacenamiento.

Tiempo	Amarronamiento		
	n=0	n=1	n=2
0	1	0	1
1	3,043	1,112843871	0,328623069
3	7,732	2,045367561	0,129332644
4	9	2,197224577	0,111111111

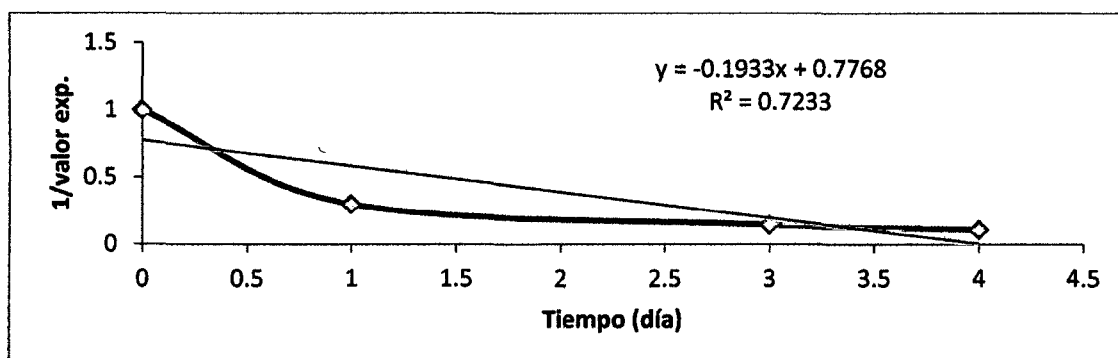
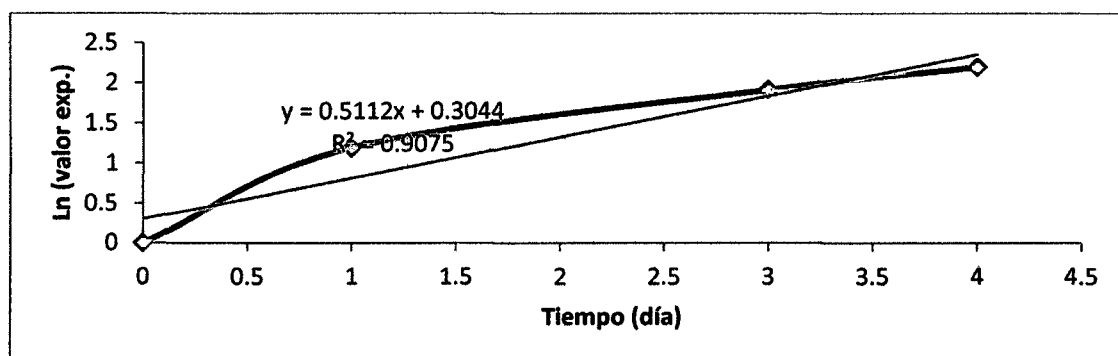
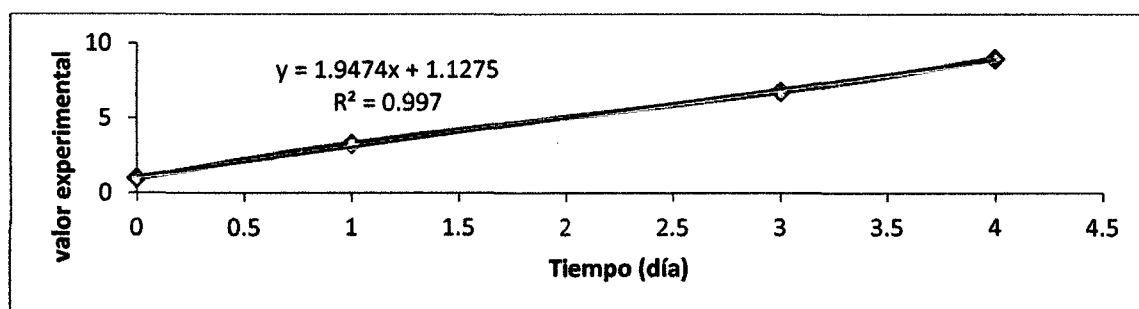
**E.8** Gráficas del orden de reacción(n) a 0, 1 y 2 respectivamente del atributo amarronamiento de la col (*Brassica oleracea* L.) fresca cortada a 20°C durante su almacenamiento.



**E.9** Cinética de deterioro del atributo sensorial color de la col (*Brassica oleracea* L.) fresca cortada a 20°C durante su almacenamiento.

Tiempo	Color		
	n=0	n=1	n=2
0	1	0	1
1	3,3075	1,196192617	0,302343159
3	6,7815	1,914198316	0,147460001
4	9	2,197224577	0,111111111

**E.10** Gráficas del orden de reacción(n) a 0, 1 y 2 respectivamente del atributo color de la col (*Brassica oleracea* L.) fresca cortada a 20°C durante su almacenamiento.

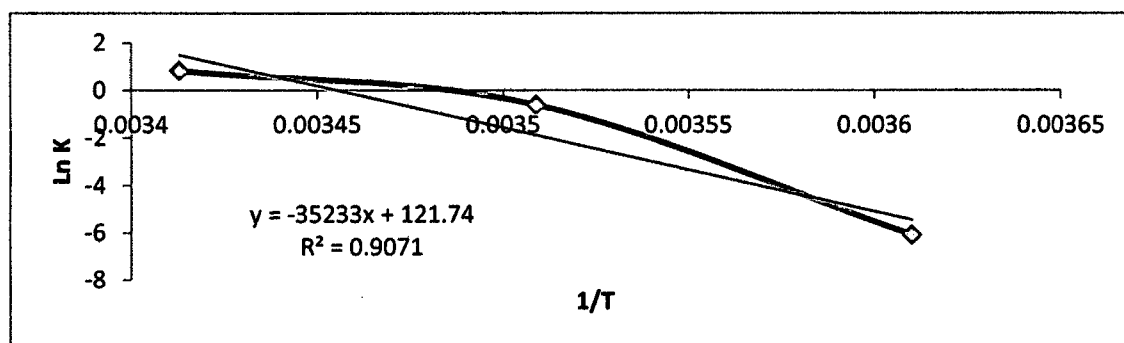


## ANEXO F

F.1. Valores de la constante de velocidad de reacción del atributo olor a 4°C, 12°C y 20°C. (Arrhenius), a órdenes de reacción 0,1 y 2.

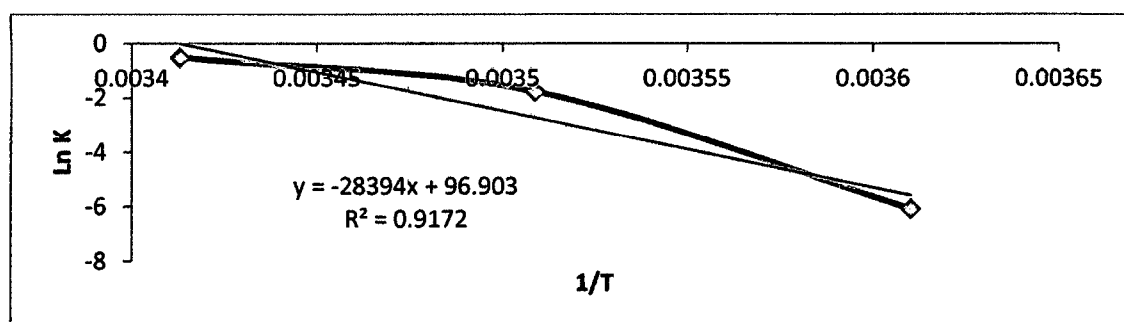
n=0			
olor			
Temperatura	1/T	K	LnK
277	0,003610108	0,0023	-6,07484616
285	0,003508772	0,5503	-0,59729169
293	0,003412969	2,3047	0,83495052

Gráfica de la influencia de la temperatura sobre la velocidad de reacción



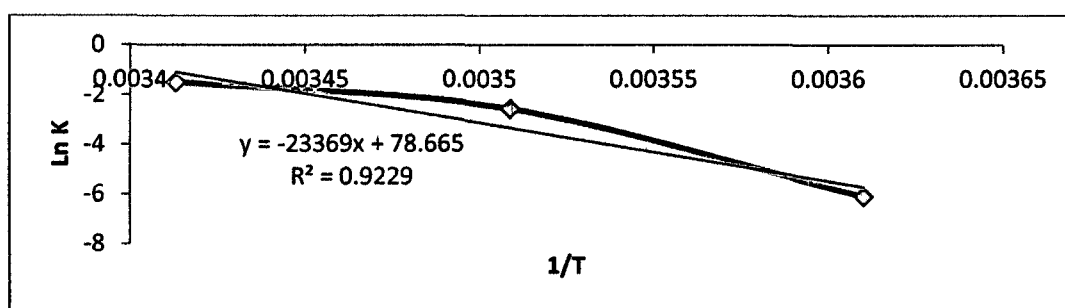
n=1			
olor			
1/T	K	LnK	
0,003610108	0,0023	-6,07484616	
0,003508772	0,173	-1,75446368	
0,003412969	0,6038	-0,50451226	

Gráfica de la influencia de la temperatura sobre la velocidad de reacción



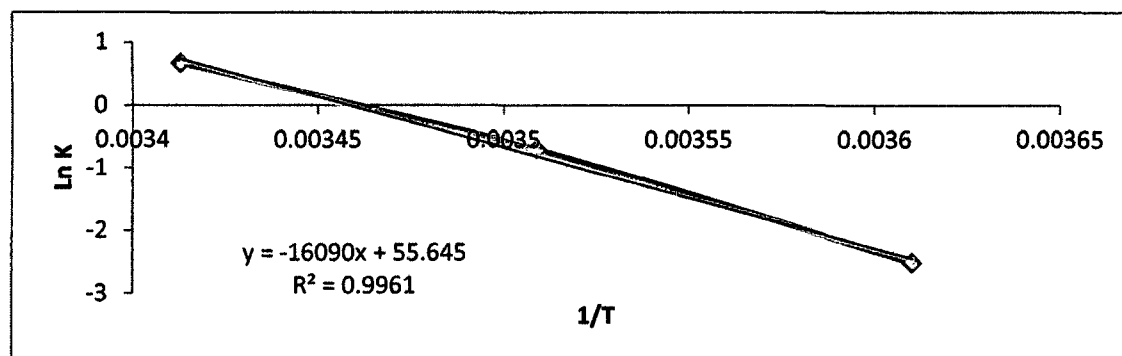
n=2		
olor		
1/T	K	LnK
0,003610108	0,0023	-6,07484616
0,003508772	0,077	-2,56394986
0,003412969	0,2255	-1,48943512

Gráfica de la influencia de la temperatura sobre la velocidad de reacción



**ANEXO G.** Valores de la constante de velocidad de reacción del atributo apariencia general a 4°C, 12°C y 20°C. (Arrhenius), a órdenes de reacción 0,1 y 2.

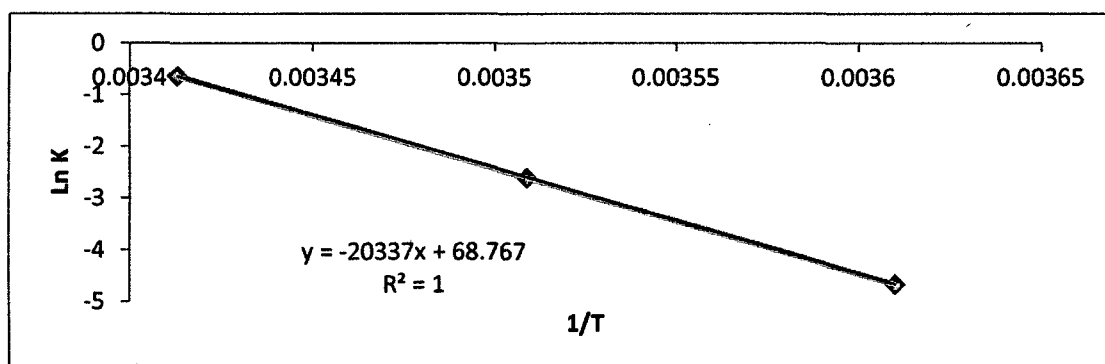
n=0			
Apariencia general			
Temperatura	1/T	K	LnK
277	0,003610108	0,0823	-2,49738417
285	0,003508772	0,498	-0,6971552
293	0,003412969	1,957	0,67141269



n=1

**Apariencia general**

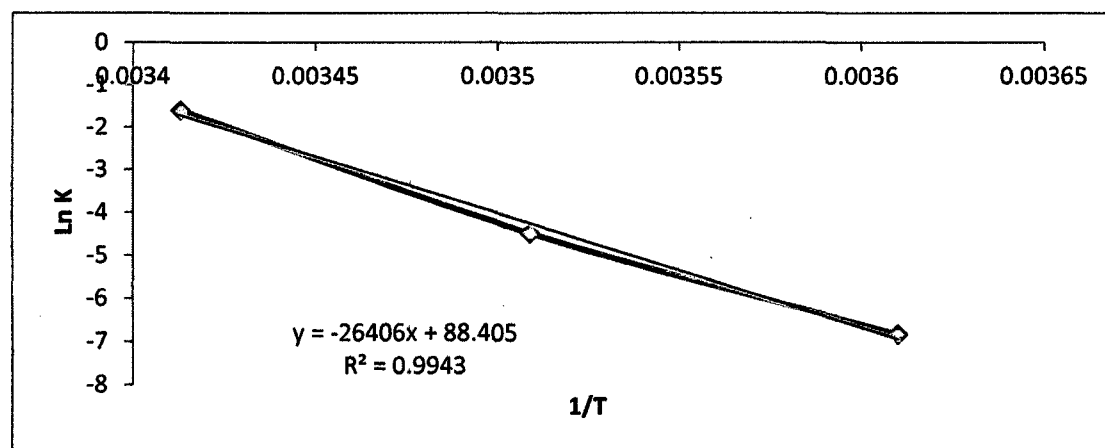
1/T	K	LnK
0,003610108	0,0096	-4,64599218
0,003508772	0,0743	-2,59964433
0,003412969	0,5291	-0,63657783



n=2

**Apariencia general**

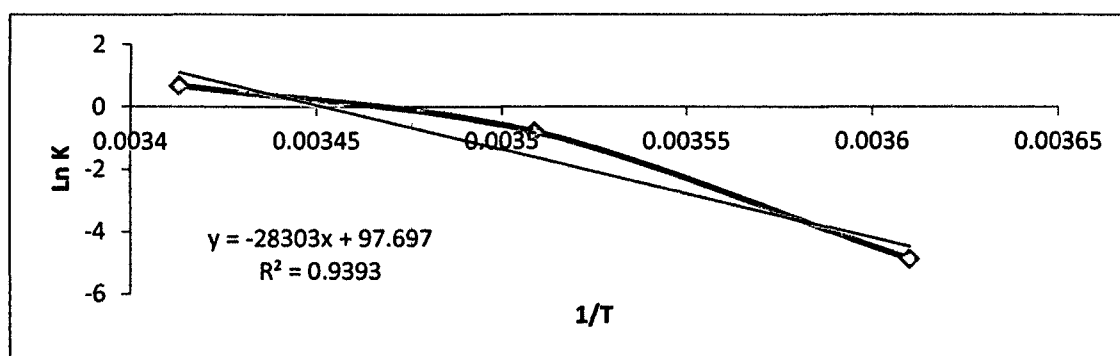
1/T	K	LnK
0,003610108	0,0011	-6,8124451
0,003508772	0,0114	-4,47414192
0,003412969	0,2018	-1,60047817



**ANEXO H.** Valores de la constante de velocidad de reacción del atributo amarronamiento a 4°C, 12°C y 20°C. (Arrhenius), a órdenes de reacción 0,1 y 2.

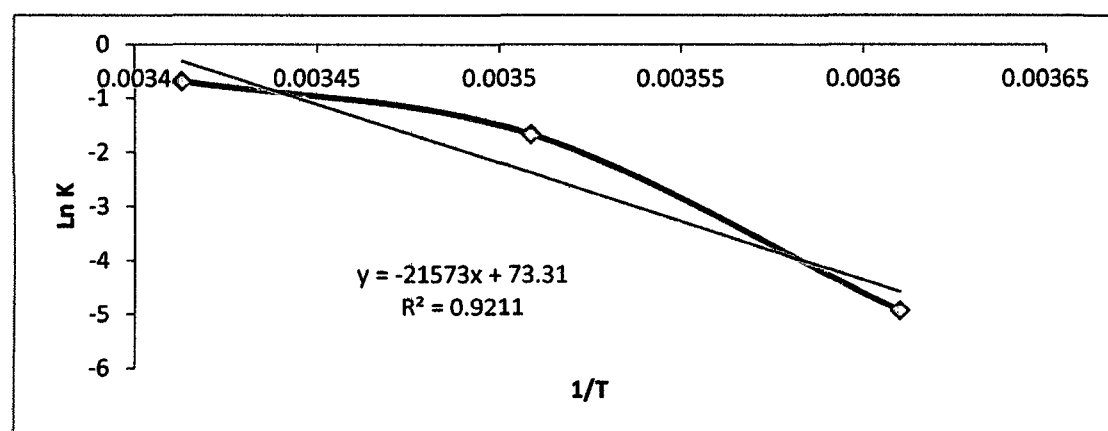
n=0

Amarronamiento			
Temperatura	1/T	K	LnK
277	0,003610108	0,0076	-4,87960703
285	0,003508772	0,4516	-0,79495845
293	0,003412969	1,9682	0,67711942



n=1

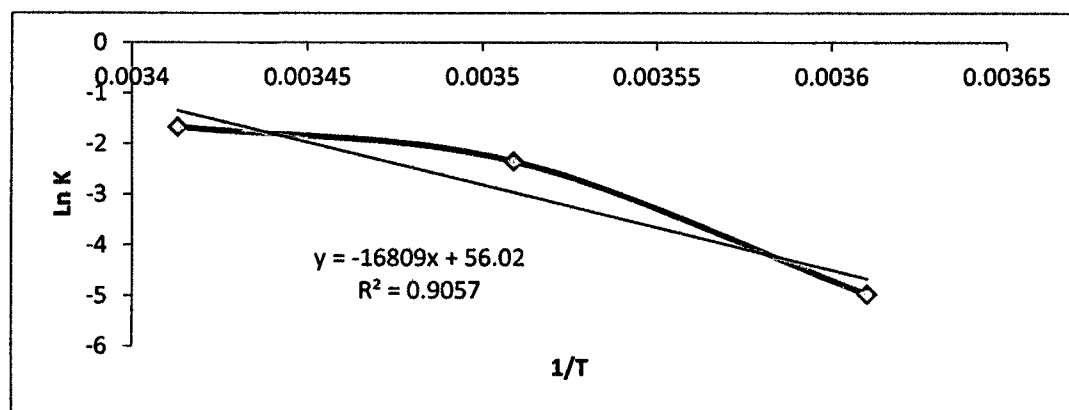
Amarronamiento		
1/T	K	LnK
0,003610108	0,0073	-4,91988093
0,003508772	0,189	-1,66600826
0,003412969	0,503	-0,68716511



n=2

**Amarronamiento**

1/T	K	LnK
0,003610108	0,007	-4,96184513
0,003508772	0,0962	-2,34132592
0,003412969	0,1891	-1,6654793

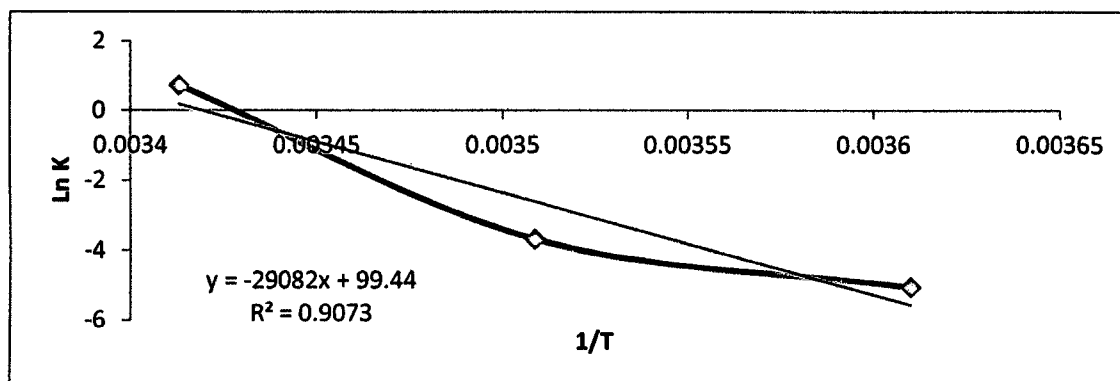


**ANEXO I.** Valores de la constante de velocidad de reacción del atributo marchitamiento a 4°C, 12°C y 20°C. (Arrhenius), a órdenes de reacción 0,1 y 2.

n=0

**Marchitamiento**

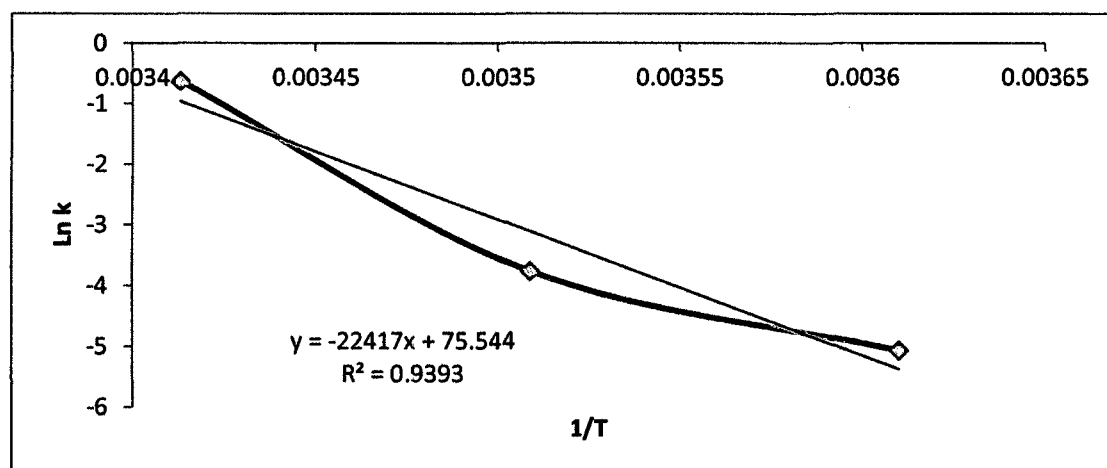
Temperatura	1/T	K	LnK
277	0,003610108	0,0065	-5,0359531
285	0,003508772	0,0257	-3,66126429
293	0,003412969	2,0689	0,72701707



n=1

**Marchitamiento**

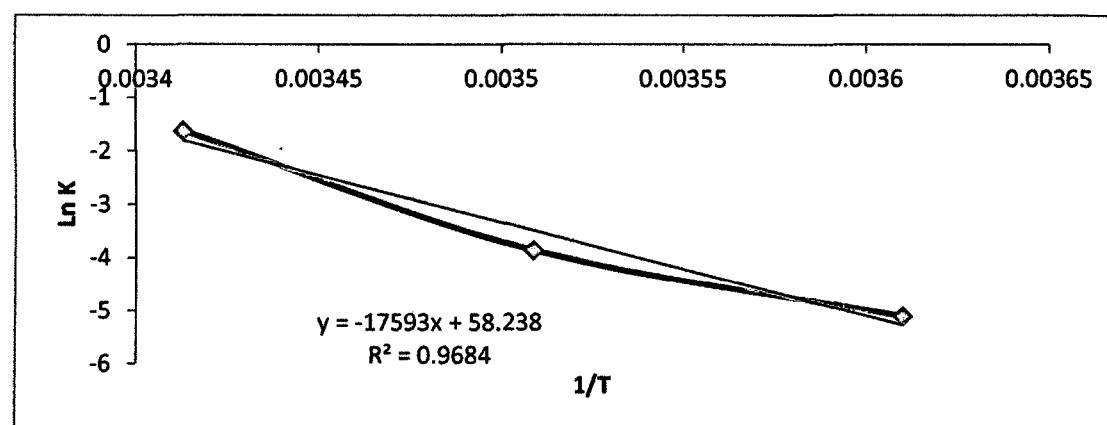
1/T	K	LnK
0,003610108	0,0063	-5,06720565
0,003508772	0,0233	-3,75930192
0,003412969	0,5327	-0,62979687



n=2

**Marchitamiento**

1/T	K	LnK
0,003610108	0,0061	-5,09946651
0,003508772	0,0212	-3,8537541
0,003412969	0,1977	-1,62100455

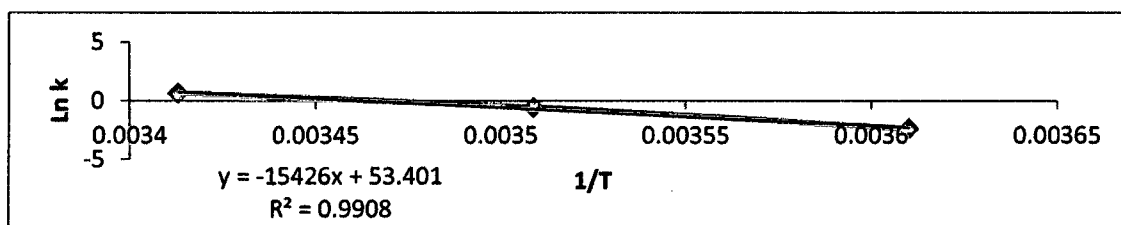




**ANEXO J. Valores de la constante de velocidad de reacción del atributo color a 4°C, 12°C y 20°C. (Arrhenius), a órdenes de reacción 0,1 y 2.**

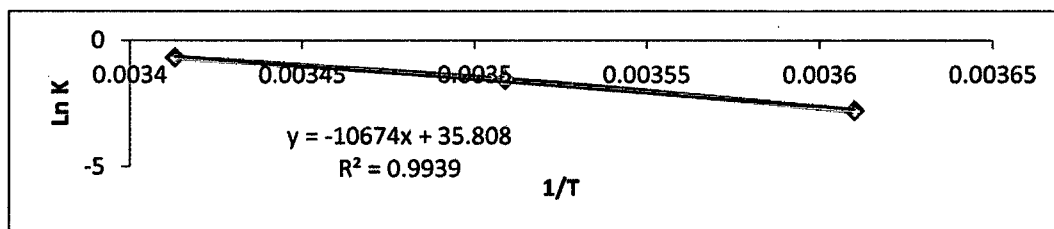
n=0

Color			
Temperatura	1/T	K	LnK
277	0,003610108	0,0935	-2,36979384
285	0,003508772	0,574	-0,55512588
293	0,003412969	1,9474	0,66649515



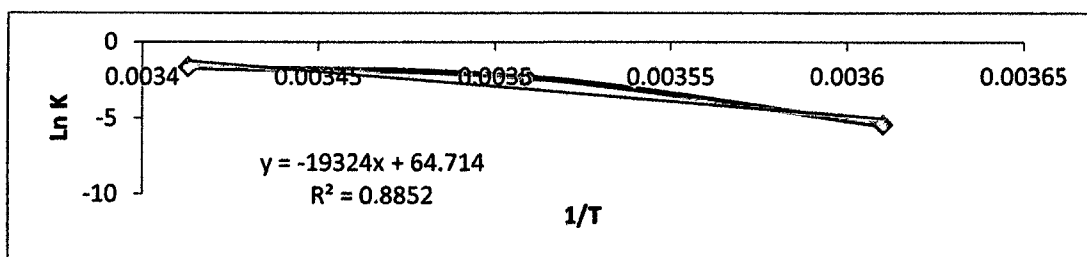
n=1

Color		
1/T	K	LnK
0,003610108	0,0625	-2,77258872
0,003508772	0,2123	-1,54975491
0,003412969	0,5112	-0,67099438



n=2

Color		
1/T	K	LnK
0,003610108	0,00438	-5,43070655
0,003508772	0,1007	-2,29560948
0,003412969	0,1933	-1,64351189



**ANEXOK.** Ejemplo de cómo determinar los valores de la energía de activación ( $E_a$ ) y el factor pre exponencial ( $K_0$ ) para el deterioro de la calidad de la col (*Brassica oleracea L.*) atributo sensorial olor, orden 2.

$$\ln(K) = -23369x + (78,665) \dots (1)$$

- $E_a$  (energía de activación):

$$E_a/R = 23369$$

$$E_a = 23369xR$$

$$E_a = (23369 \cdot K^{-1} \times 8,314 \text{ J/mol} \cdot K)$$

$$E_a = 194289.866 \text{ J/mol}$$

$$E_a = 194,289866 \text{ kJ/mol}$$

- $K_0$  (factor pre exponencial):

$$\ln K_0 = 78,66 \text{ s}^{-1}$$

$$K_0 = \exp(78,66) \text{ s}^{-1}$$

$$K_0 = 1,450787973 \times 10^{34} \text{ s}^{-1}$$

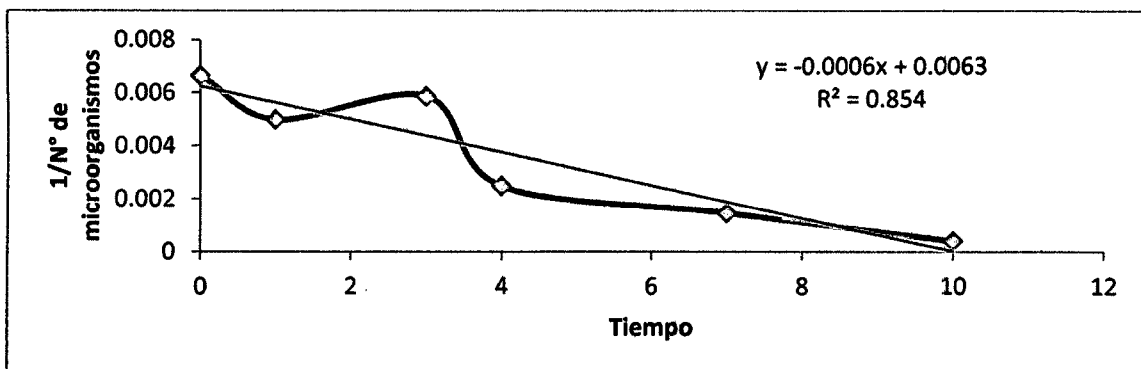
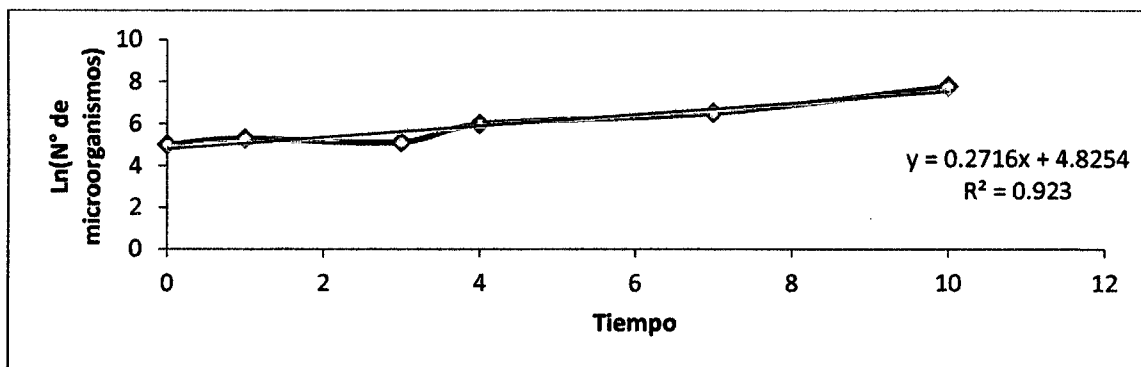
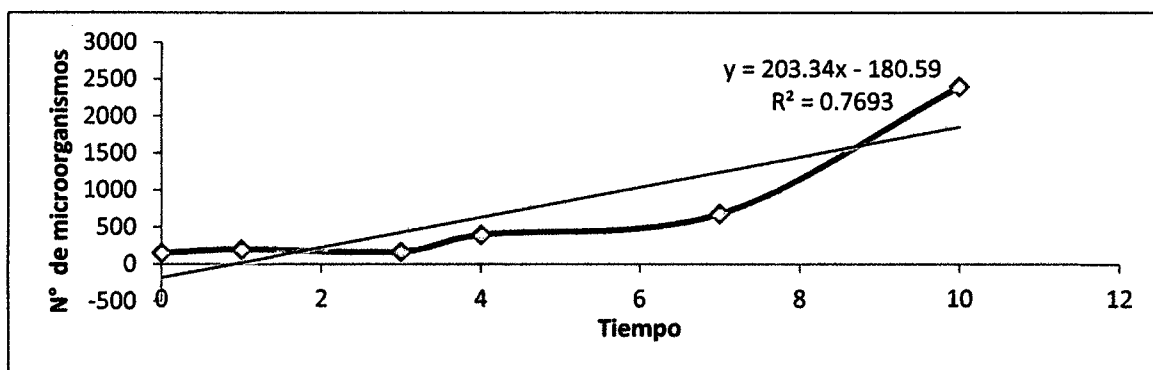
**ANEXO L.** Resultados de la evaluación microbiológica de la col mínimamente procesada almacenada a 4, 12 y 20°C.

Tiempo	4°C	12°C	20°C
0	150	150	150
1	200	350	17000
3	170	750	20000
4	400	1600	21000
7	680	1700	46000
10	2400	4000	47000

## ANEXO M

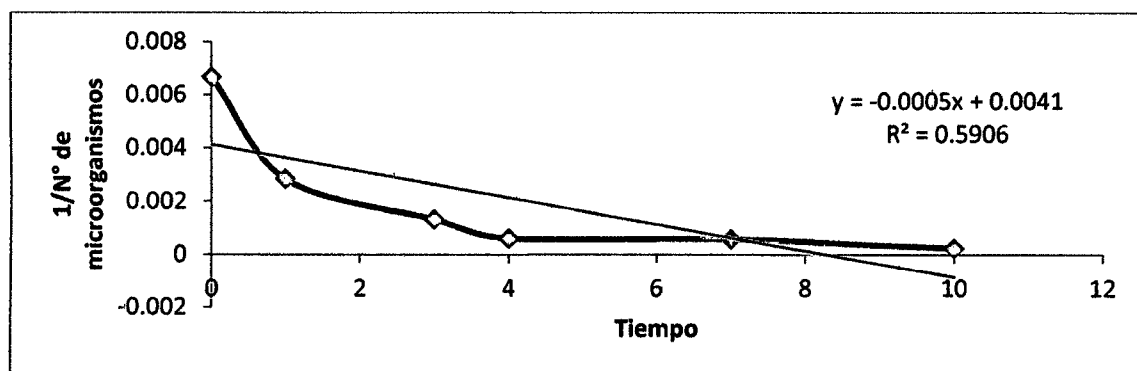
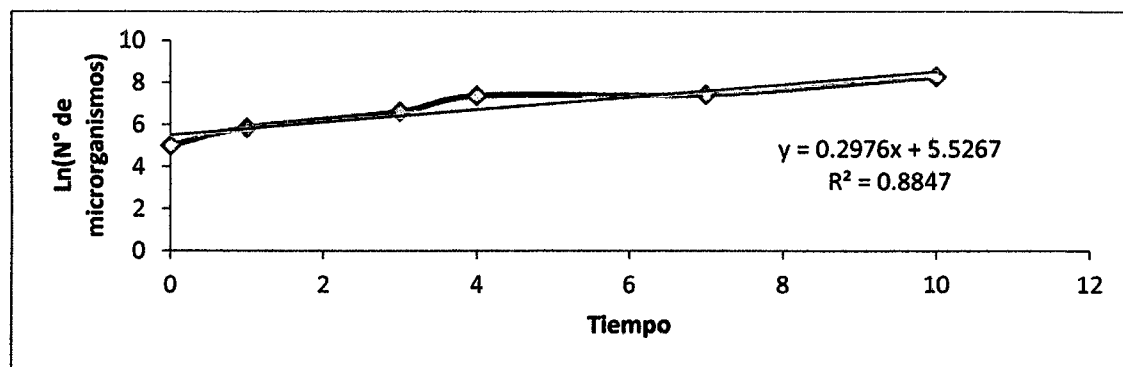
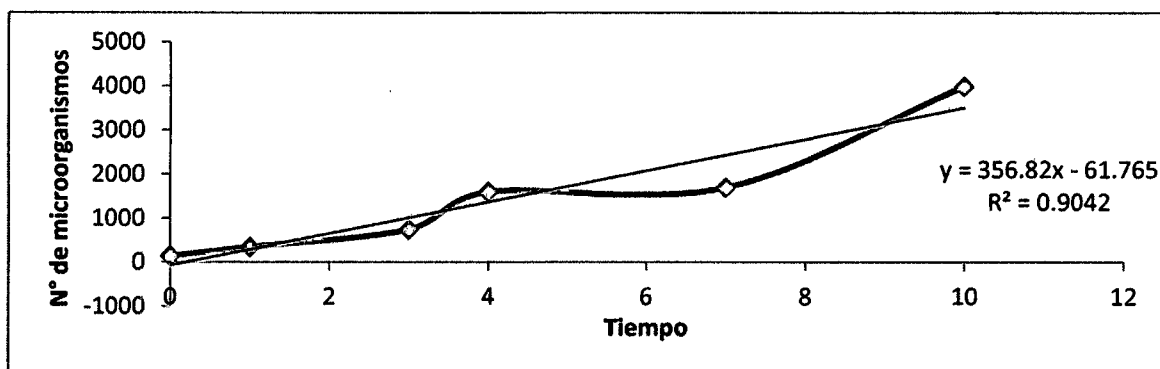
## M.1 Cinética de crecimiento microbiano en col mínimamente procesada almacenada a 4°C con órdenes 0,1 y 2.

Tiempo	4°C		
	n0	n1	n2
0	150	5,010635294	0,006666667
1	200	5,298317367	0,005
3	170	5,135798437	0,005882353
4	400	5,991464547	0,0025
7	680	6,522092798	0,001470588
10	2400	7,783224016	0,000416667



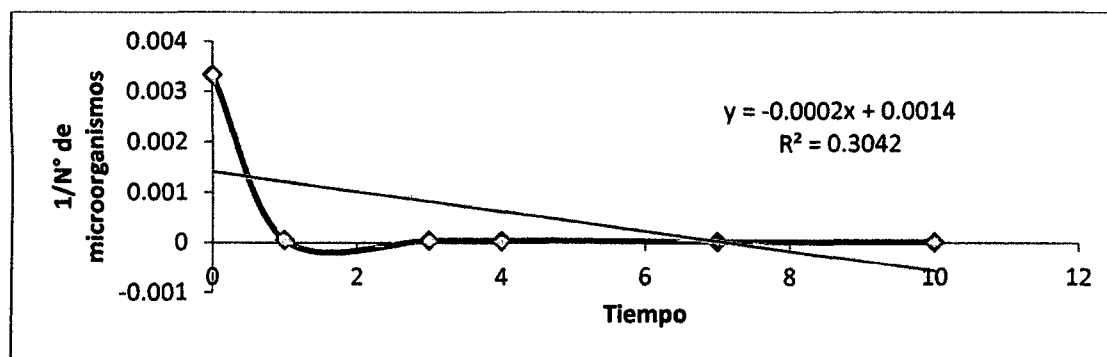
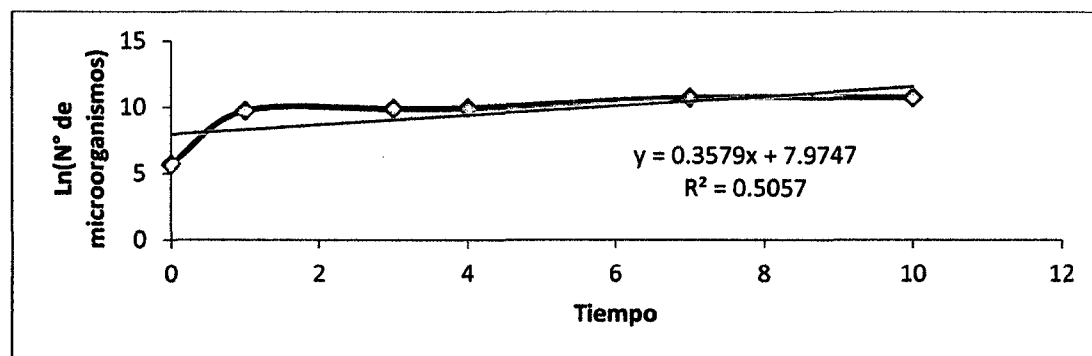
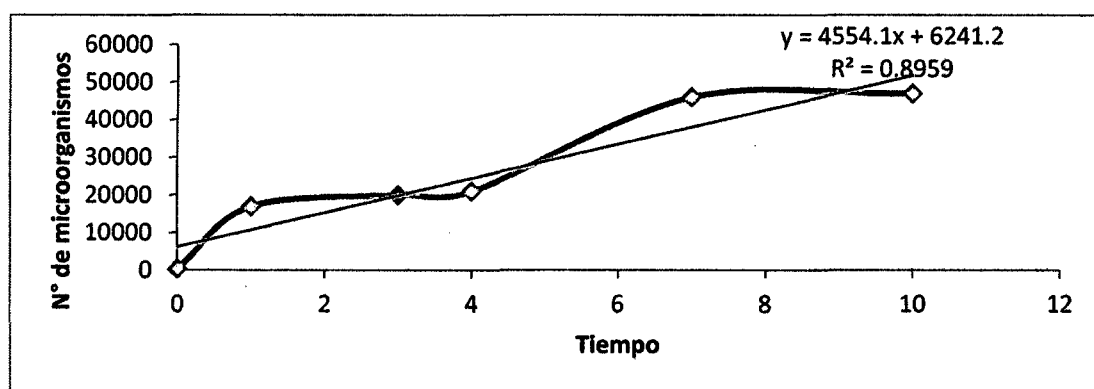
### M.2.Cinética de crecimiento microbiano en col mínimamente procesada almacenada a 12°C con órdenes 0,1 y 2.

Tiempo	12°C		
	n0	n1	n2
0	150	5,010635294	0,006666667
1	350	5,857933154	0,002857143
3	750	6,620073207	0,001333333
4	1600	7,377758908	0,000625
7	1700	7,43838353	0,000588235
10	4000	8,29404964	0,00025



### M.3. Cinética de crecimiento microbiano en col mínimamente procesada almacenada a 20°C con órdenes 0,1 y 2.

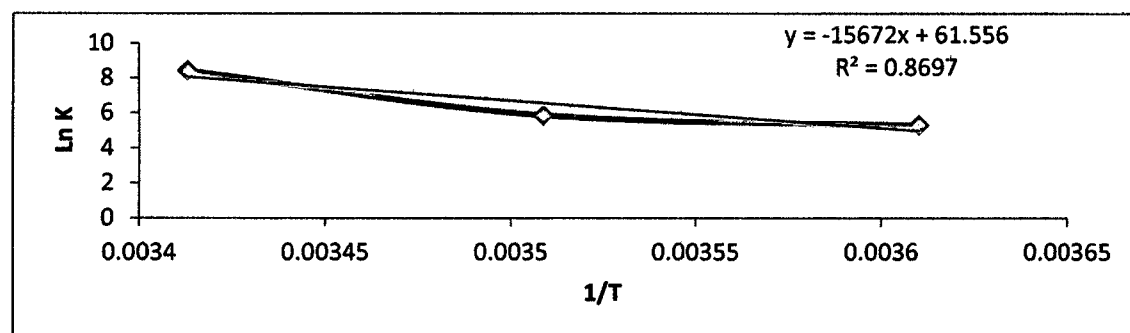
Tiempo	20°C		
	n0	n1	n2
0	300	5,703782475	0,003333333
1	17000	9,740968623	5,88235E-05
3	20000	9,903487553	0,00005
4	21000	9,952277717	4,7619E-05
7	46000	10,73639668	2,17391E-05
10	47000	10,75790288	2,12766E-05



**M.4** Valores de la constante de velocidad de reacción a 4°C, 12°C y 20°C. (Arrhenius), a órdenes de reacción 0,1 y 2.

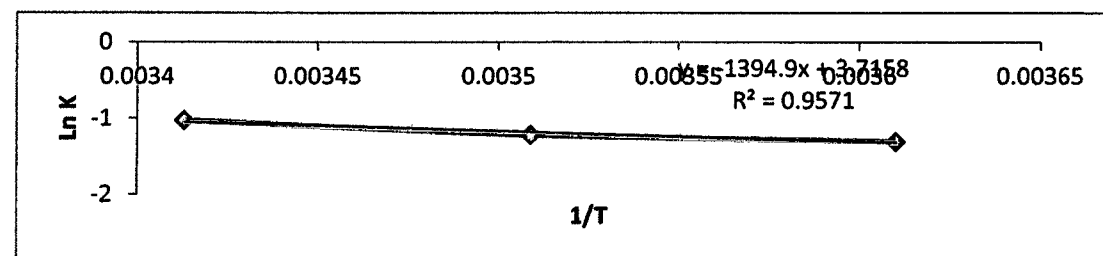
n=0

Crecimiento m.o		
Temperatura	K	LnK
0,003610108	203,34	5,31487945
0,003508772	356,82	5,87723145
0,003412969	4554,1	8,42378321



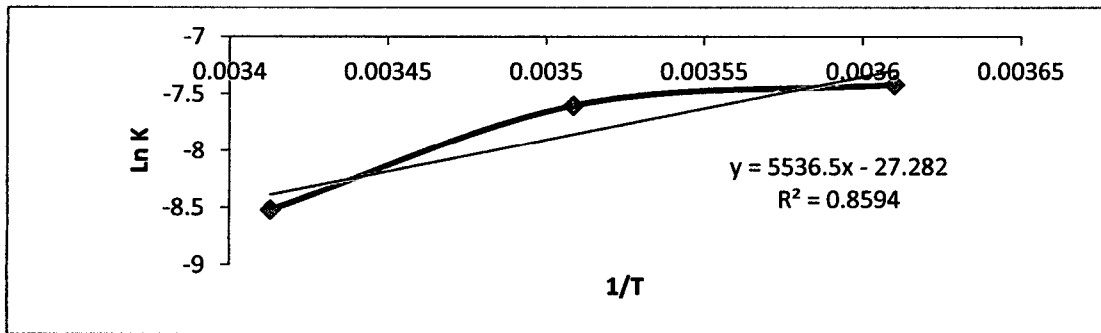
n=1

Crecimiento m.o		
Temperatura	K	LnK
0,003610108	0,2716	-1,30342488
0,003508772	0,2976	-1,21200498
0,003412969	0,3579	-1,02750166



n=2

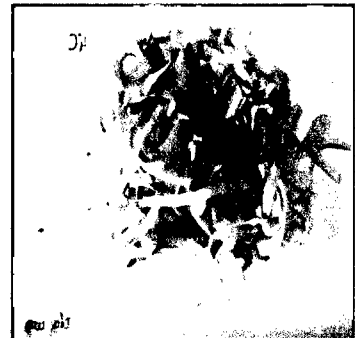
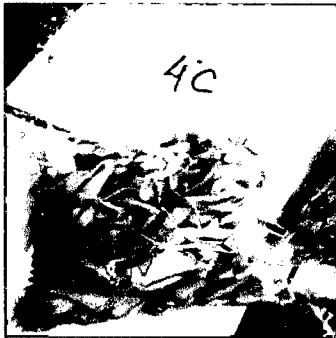
Crecimiento m.o		
Temperatura	K	LnK
0,003610108	6,00E-04	-7,4185809
0,003508772	5,00E-04	-7,60090246
0,003412969	2,00E-04	-8,51719319



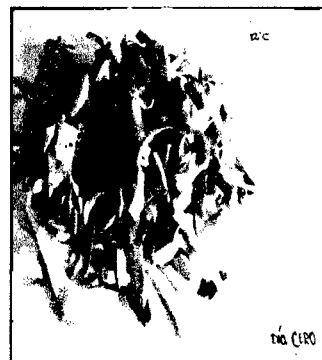
**ANEXO N. Vistas de los tratamientos estudiados en col mínimamente procesada**

**DÍA (0)**

**4°C**



**12°C**

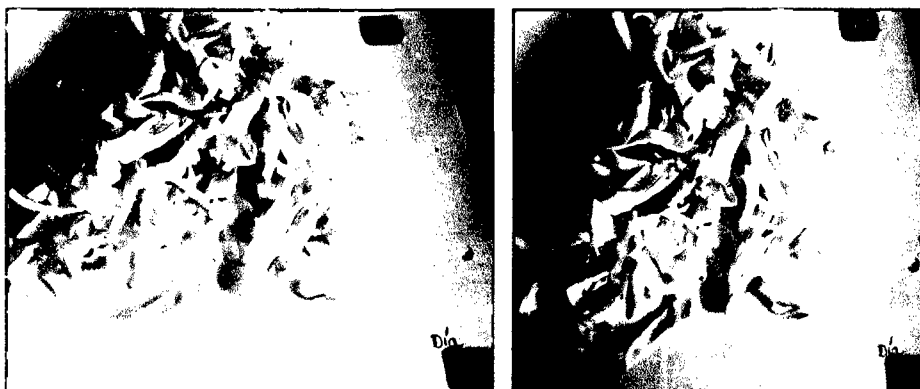


20°C

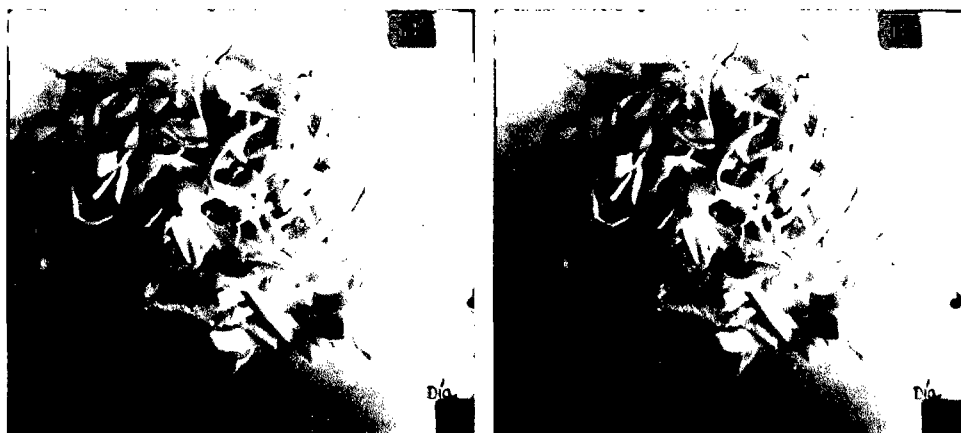


DÍA (1)

✓ 4°C



✓ 12°C





✓ 20°C



DÍA (3)

✓ 4°C



✓ 12°C



20°C



DÍA (4)

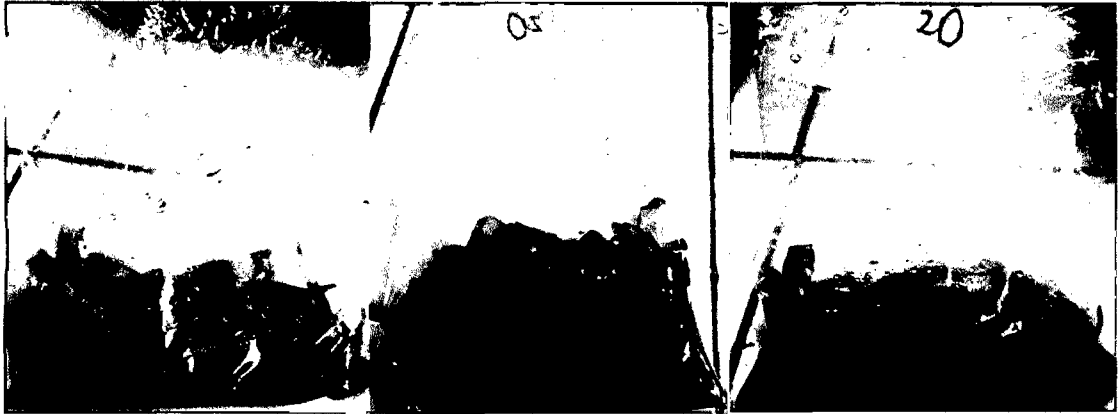
✓ 4°C



✓ 12°C



20°C



DÍA (7)

✓ 4°C



✓ 12°C



DÍA (10)

✓ 4°C



✓ 12°C

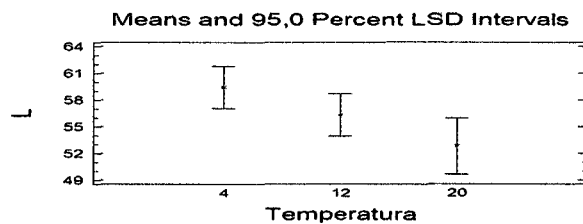


O. Evaluación estadística de la col (*Brassica oleracea L.*) mínimamente procesada evaluado en statgraphics).

Para el atributo color

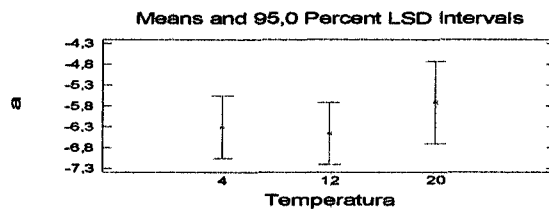
Parámetros para L\*

T°(C)	Media	desviación estándar	grupos homogéneos
4	59,4306	±4,39667	X
12	56,3067	±10,1772	X
20	54,8383	±8,40958	X



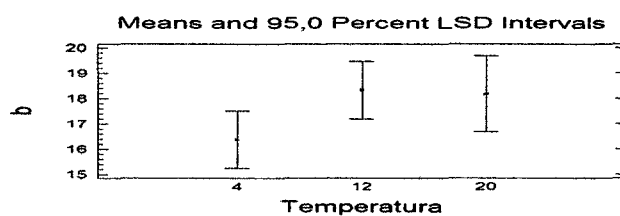
Parámetros para a\*

T°(C)	Media	desviación estándar	grupos homogéneos
4	-6,31111	±1,62289	X
12	-6,46611	±2,65199	X
20	-6,22	±2,83628	X



Parámetros para b\*

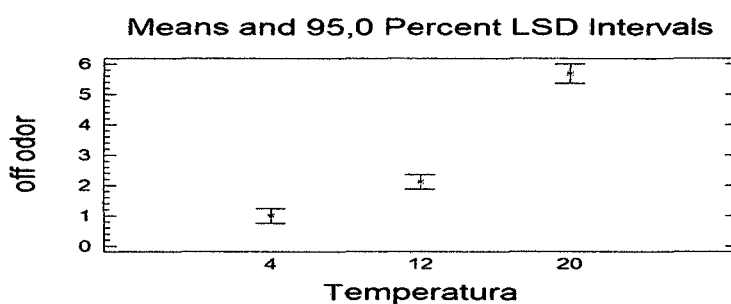
T°(C)	Media	desviación estándar	grupos homogéneos
4	16,3778	±2,87289	X
12	18,3294	±2,95206	X
20	18,1125	±4,27934	X



### Análisis de varianza para el atributo olor

Fuente	S.C	G.L	C.M	F	P
Principales variables					
A: Temperatura	974,611	2	487,306	133,97	0,0000
B: Tiempo	740,796	5	148,159	40,73	0,0000
Residual (corregido)	1134,89	312	3,63748		
Total	2702,63	319			

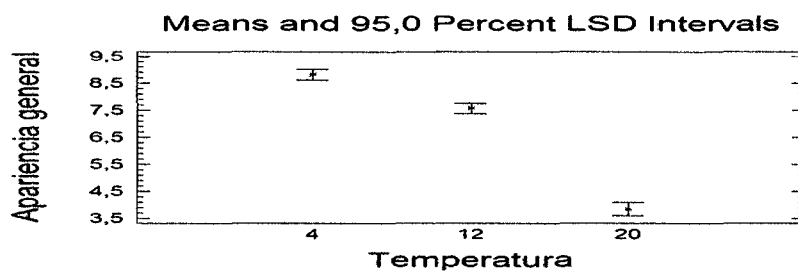
T°(C)	Media	desviación estándar	grupos homogéneos
4	1,00667	±0,00449338	X
12	2,12725	±2,47963	X
20	5,10625	±3,80501	X



### Análisis de varianza para el atributo apariencia general

Fuente	S.C	G.L	C.M	F	P
Principales variables					
A: Temperatura	1102,65	2	551,325	236,00	0,0000
B: Tiempo	549,777	5	109,955	47,07	0,0000
Residual (corregido)	728,876	312	2,33614		
Total	2139,48	319			

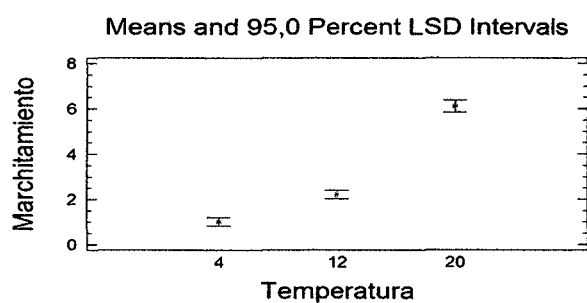
T°(C)	Media	desviación estándar	grupos homogéneos
4	8,82375	±0,380628	X
12	7,57575	±1,97361	X
20	4,6235	±3,17803	X



### Análisis de varianza para el atributo marchitamiento

Fuente	S.C	G.L	C.M	F	P
Principales variables					
A: Temperatura	1163,04	2	581,519	246,49	0,0000
B: Tiempo	446,414	5	89,2828	37,84	0,0000
Residual (corregido)	736,084	312	2,35924		

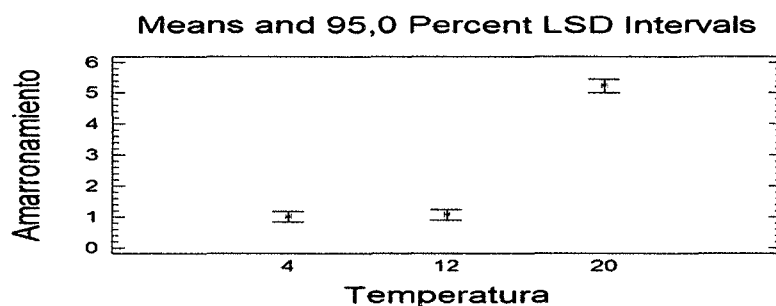
Total	2172,07	319			
T°(C)	Media	desviación estándar	grupos homogéneos		
4	1,01658	±0,077160	X		
12	2,20867	±1,7485	X		
20	5,49506	±3,21778	X		



### Análisis de varianza Para el atributo amarronamiento

Fuente	S.C	G.L	C.M	F	P
Principales variables					
A: Temperatura	937,111	2	468,555	246,10	0,0000
B: Tiempo	289,347	5	57,8693	30,77	0,0000
Residual (corregido)	586,864	312	1,88097		

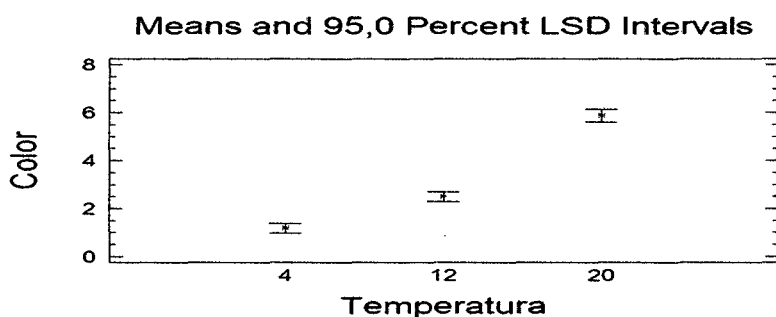
Total	1909,95	319			
T°(C)	Media	desviación estándar	grupos homogéneos		
4	1,01458	±0,07714072	X		
12	1,07217	±0,184487	X		
20	5,19375	±3,32149	X		



### Análisis de varianza para el atributo color

Fuente	S.C	G.L	C.M	F	P
Principales variables					
A: Temperatura	946,449	2	483,224	201,36	0,0000
B: Tiempo	621,147	5	124,229	51,77	0,0000
Residual (corregido)	748,757	312	2,39986		

Total	2078,75	319		
T°(C)	Media	desviación estándar	grupos homogéneos	
4	1,18917	±0,523478	X	
12	2,50317	±2,17191	X	
20	5,02225	±3,13403	X	



### Análisis de Varianza para el contenido de microorganismos

T°(C)	Media	desviación estándar	grupos homogéneos
4	2,0000	±14142,1	X
12	43333,3	±28491,5	X
20	2,51944E6	±1,71639E6	X

