

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



**“EVALUACIÓN DE LA  $\gamma$ -CICLODEXTRINA COMO  
INHIBIDOR DEL PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO EN  
PASTA DE PALTA (*Persea americana* Miller)  
VARIEDAD FUERTE”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR  
ALEX RAFAEL LUQUE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**PUNO – PERÚ**

**2014**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**“EVALUACIÓN DE LA  $\alpha$ -CICLODEXTRINA COMO  
INHIBIDOR DEL PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO EN  
PASTA DE PALTA (*Persea americana* Miller) VARIEDAD  
FUERTE”**

**TESIS**


**PRESENTADA POR  
ALEX RAFAEL LUQUE**


**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR

**PRESIDENTE** :   
**Ph.D. JUAN MARCOS ARO ARO**

**PRIMER MIEMBRO** :   
**M.Sc. ROGER SEGURA PEÑA**

**SEGUNDO MIEMBRO** :   
**Ing. MARIENELA CALSIN CUTIMBO**

**DIRECTOR DE TESIS** :   
**M.Sc. FLORENTINO V. CHOQUEHUANCA  
CÁCERES**

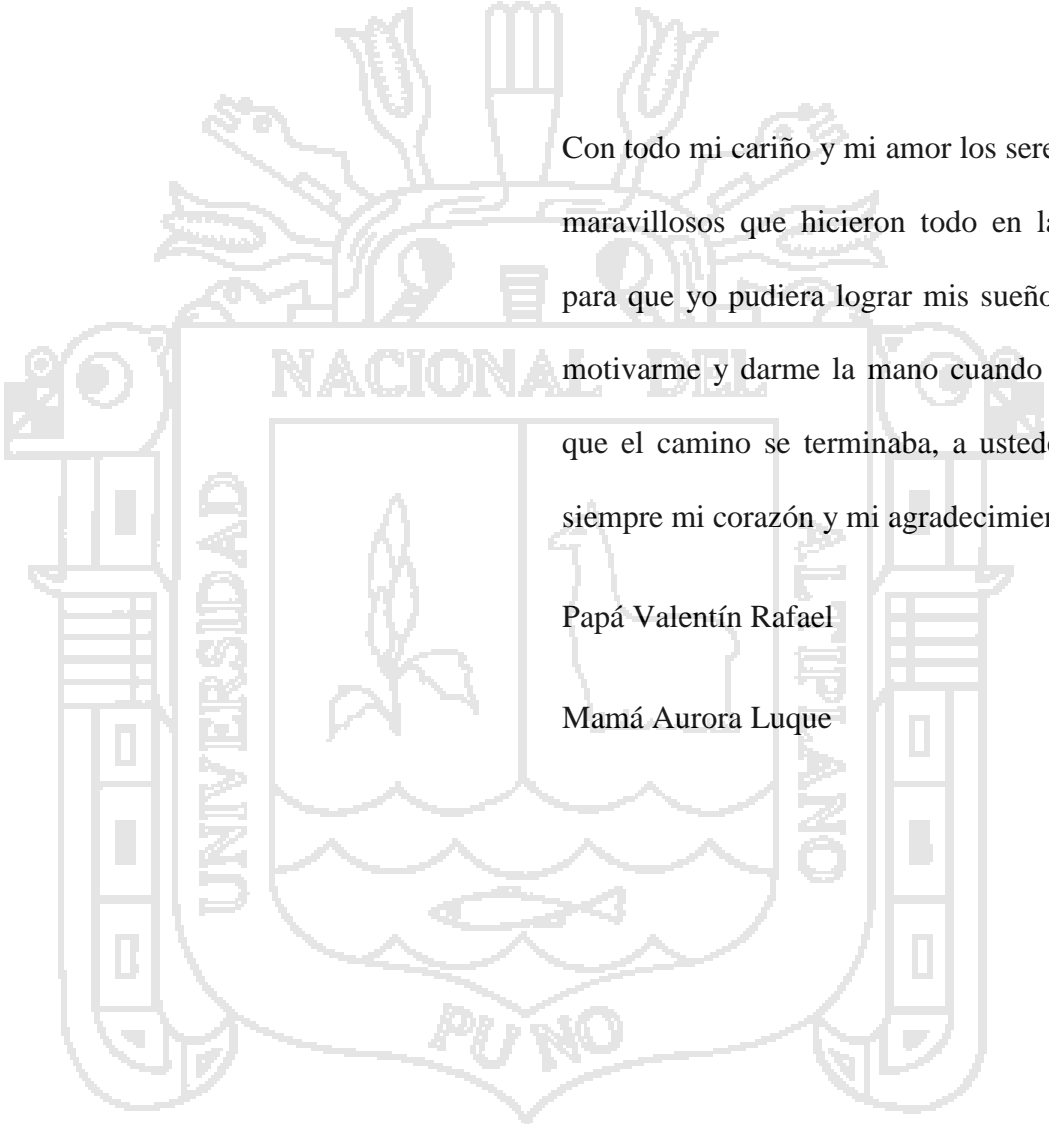
**ASESOR DE TESIS** :   
**Ing. SAÏRE ROENFI GUERRA LIMA**

**PUNO – PERÚ  
2014**

**Área: Ingeniería y tecnología**

**Tema: Desarrollo de procesos y productos agroindustriales sostenibles y eficientes**

## DEDICATORIA



Con todo mi cariño y mi amor los seres más maravillosos que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento:

Papá Valentín Rafael

Mamá Aurora Luque

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano, Escuela profesional de Ingeniería Agroindustrial, por haberme formado profesionalmente, a través de los conocimientos impartidos por sus docentes.

Agradezco también la confianza y el apoyo brindado por parte de mi madre y mi padre, que sin duda alguna en el trayecto de mi vida me han demostrado su amor, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos.

A mis hermanos Jose Carlos y Gabriela, por su ayuda a afrontar los retos que se me han presentado a lo largo de mi vida.

Al Ing. Víctor Choquehuanca Cáceres por toda la colaboración brindada, durante la elaboración de este proyecto.

Al Ing. Roenfi Guerra Lima por su apoyo para el desarrollo de este trabajo de investigación.

A mis mejores amigos a Sergio, Keli, Lisbet, Josué y Edwin por la gran calidad humana que me han demostrado con su amistad.

Y para culminar a mis más grandes escritores, Neil Strauss, Mario Luna y Paulo Coelho, por escribir fabulosas obras como: Porque sus obras fueron de gran motivación durante gran parte de mi vida universitaria y hasta el momento.

Bueno estoy seguro que a alguien le gustaría terminar estos agradecimientos así.

Gracias totales.....!

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ÍNDICE DE SIGLAS	
RESUMEN	
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	3
2.1. PALTA .....	3
2.1.1. Generalidades.....	3
2.1.2. Clasificación taxonómica.....	4
2.1.3. Composición química de la palta.....	4
2.1.4. Variedades .....	5
2.1.5. Índice de madurez.....	7
2.1.6. Producción mundial de la palta.....	8
2.1.6.1. Producción mundial.....	8
2.1.6.2. Producción Nacional.....	10
2.2. PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO.....	10
2.2.1. Enzimas responsables.....	11
2.2.2. Substratos de la reacción.....	13
2.2.3. Mecanismos y productos de reacción .....	14
2.2.4. Control del pardeamiento enzimático .....	17
2.2.4.1. Métodos físicos .....	17

2.2.4.2. Métodos químicos.....	20
2.3. CICLODEXTRINAS EN LA INHIBICIÓN DEL PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO .....	22
2.3.1. ANTECEDENTES SOBRE EL EFECTO INHIBITORIO DEL PARDEAMIENTO COLOR COMO INDICADOR DE LAS REACCIONES DE PARDEAMIENTO.....	23
2.4. EL ÁCIDO ASCÓRBICO Y BISULFITO DE SODIO EN LA INHIBICION DEL PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO .....	24
2.4.1. SULFITOS .....	24
2.4.2. ÁCIDO ASCÓRBICO.....	25
2.5. COLOR COMO INDICADOR DE LAS REACCIONES DE PARDEAMIENTO .....	25
3. MATERIALES Y MÉTODOS .....	27
3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN .....	27
3.2. MATERIAL DE EXPERIMENTACION .....	27
3.2.1. Materia prima.....	27
3.2.2. Insumos .....	27
3.3. MATERIALES Y EQUIPOS.....	28
3.3.1. Materiales .....	28
3.3.2. Equipos de laboratorio.....	28
3.3.3. Software.....	29
3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL .....	29
3.4.1. Descripción del diagrama experimental para el estudio del efecto inhibitorio de la -ciclodextrina.....	29
3.4.1.1. Metodología para la elaboración de la pasta de palta.....	30

3.4.2.	Descripción del diagrama experimental para la comparación de la $\alpha$ -ciclodextrina con el ácido ascórbico y bisulfito de sodio.....	33
3.4.2.1.	Metodología para la elaboración de la pasta de palta.....	33
3.5.	MÉTODOS DE ANÁLISIS .....	36
3.5.1.	Determinación de los índices de madurez .....	36
3.5.1.1.	Determinación de porcentaje de materia seca y aceite ...	36
3.5.2.	Medición de la estabilidad del color .....	36
3.5.2.1.	Adquisición de las imágenes .....	37
3.5.2.2.	Determinación del color RGB .....	38
3.5.2.3.	Cinética de los cambios de color .....	38
3.6.	UNIDADES DE ANÁLISIS Y OBSERVACIONES .....	39
3.6.1.	ESTUDIOS DEL EFECTO INHIBITORIO DE LA $\alpha$ -CICLODEXTRINA .....	39
3.6.1.1.	Variables independientes .....	39
3.6.1.2.	Variables dependientes .....	39
3.6.2.	COMPARACIÓN DEL EFECTO INHIBITORIO DE LA $\alpha$ -CICLODEXTRINA CON OTROS INHIBIDORES .....	40
3.6.2.1.	Variables independientes .....	40
3.6.2.2.	Variables dependientes .....	40
3.7.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	40
3.7.1.	Diseño para el efecto inhibitorio de la $\alpha$ -ciclodextrina .....	40
3.7.2.	Diseño para la comparación del efecto inhibitorio de la $\alpha$ -ciclodextrina con el ácido ascórbico y bisulfito de sodio .....	42
4.	RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	45

4.1. DETERMINACIÓN DE LOS ÍNDICES DE MADUREZ DE LA MATERIA PRIMA .....	45
4.2. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD INHIBITORIA DE LA - CICLODEXTRINA.....	45
4.2.1. Estudio de los cambios en la luminancia (L*).....	48
4.2.2. Estudio de los cambios del parámetro a*.....	53
4.2.3. Estudios de los cambios del parámetro b*.....	58
4.2.4. Estudios de los cambios de la variación total del color (VTC) ....	63
4.2.5. Cinética de los cambios de color .....	68
4.3. COMPARACIÓN DEL EFECTO INHIBITORIO DE LA - CICLODEXTRINA CON EL ÁCIDO ASCÓRBICO Y BISULFITO DE SODIO.....	70
4.3.1. Estudio de los cambios en la luminancia (L*).....	72
4.3.2. Estudio de los cambios del parámetro a*.....	77
4.3.3. Estudios de los cambios del parámetro b*.....	82
4.3.4. Estudios de los cambios de la variación total del color (VTC) ....	87
4.3.5. Cinética de los cambios de color .....	91
5. CONCLUSIONES.....	93
6. RECOMENDACIONES .....	94
7. BIBLIOGRAFÍA.....	95
ANEXOS.....	104



## ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1	Composición química promedio de la palta .....	5
Tabla 2	Producción mundial de la palta.....	9
Tabla 3	Aditivos de interés para el procesamiento de frutas mínimamente procesados.....	21
Tabla 4	Formato de recolección de datos .....	42
Tabla 5	Formato de recolección de datos .....	44
Tabla 6	Contenido de materia seca y aceite de palta var. Fuerte.....	45
Tabla 7	Valores iniciales y finales de los parámetros L*, a*, b* y VTC para los tratamientos T1, T2, T3, T4 y T5 .....	47
Tabla 8	Análisis de varianza (ANOVA) para luminancia (L*).....	50
	Prueba de comparación múltiple de Duncan para la luminancia (L*) según concentración de alfa-ciclodextrina, $\alpha=0.05$ .....	50
Tabla 9	Prueba de comparación múltiple de Duncan para la luminancia (L*) según el tiempo, $\alpha=0.05$ .....	51
Tabla 10	Análisis de varianza (ANOVA) de efectos simples para la interacción concentración-tiempo. ....	52
Tabla 11	Análisis de varianza (ANOVA) para parámetro de color a*.....	55
	Prueba de comparación múltiple de Duncan para el parámetro a* según concentración de alfa-ciclodextrina, $\alpha=0.05$ .....	55
Tabla 12	Prueba de comparación múltiple de Duncan para el parámetro a* según el tiempo, $\alpha=0.05$ .....	56

Tabla 15	Análisis de varianza (ANOVA) de efectos simples para la interacción concentración-tiempo .....	57
Tabla 16	Análisis de varianza (ANOVA) para parámetro de color b* .....	60
Tabla 17	Prueba de comparación múltiple de Duncan para el parámetro b* según concentración de alfa-ciclodextrina, $\alpha=0.05$ .....	60
Tabla 18	Prueba de comparación múltiple de Duncan para el parámetro b* según el tiempo, $\alpha=0.05$ .....	61
Tabla 19	Análisis de varianza (ANOVA) de efectos simples para la interacción concentración-tiempo .....	62
Tabla 20	Análisis de varianza (ANOVA) para la variación total del color (VTC) .	65
Tabla 21	Prueba de comparación múltiple de Duncan para la variación total del color (VTC) según concentración de alfa-ciclodextrina, $\alpha=0.05$ .....	65
Tabla 22	Prueba de comparación múltiple de Duncan para la variación total del color (VTC) según el tiempo, $\alpha=0.05$ .....	66
Tabla 23	Análisis de varianza (ANOVA) de efectos simples para la interacción concentración-tiempo .....	67
Tabla 24	Parámetros del modelo cinético de orden cero utilizada en el ajuste de los datos de L*, a* y b* .....	69
Tabla 25	Valores iniciales y finales de los parámetros L*, a*, b* y VTC para los tratamientos Ta, Tb y Tc .....	71
Tabla 26	Análisis de varianza (ANOVA) para luminancia (L*).....	74
Tabla 27	Prueba de comparación múltiple de Duncan para la luminancia (L*) según los inhibidores, $\alpha=0.05$ .....	74

Tabla 28	Prueba de comparación múltiple de Duncan para la luminancia (L*) según el tiempo, $\alpha=0.05$ .....	75
Tabla 29	Análisis de varianza (ANOVA) de efectos simples para la interacción inhibidor-tiempo.....	76
Tabla 30	Análisis de varianza (ANOVA) para parámetro de color a*.....	79
Tabla 31	Prueba de comparación múltiple de Duncan para el parámetro a* según los inhibidores, $\alpha=0.05$ .....	79
Tabla 32	Prueba de comparación múltiple de Duncan para el parámetro a* según el tiempo, $\alpha=0.05$ .....	80
Tabla 33	Análisis de varianza (ANOVA) de efectos simples para la interacción inhibidor-tiempo.....	81
Tabla 34	Análisis de varianza (ANOVA) para parámetro de color b*.....	84
Tabla 35	Prueba de comparación múltiple de Duncan para el parámetro b* según los inhibidores, $\alpha=0.05$ .....	84
Tabla 36	Prueba de comparación múltiple de Duncan para el parámetro b* según el tiempo, $\alpha=0.05$ .....	85
Tabla 37	Análisis de varianza (ANOVA) de efectos simples para la interacción inhibidor-tiempo.....	86
Tabla 38	Análisis de varianza (ANOVA) para la variación total del color (VTC) .	89
Tabla 39	Prueba de comparación múltiple de Duncan para la variación total del color (VTC) los inhibidores, $\alpha=0.05$ .....	89
Tabla 40	Prueba de comparación múltiple de Duncan para la variación total del color (VTC) según el tiempo, $\alpha=0.05$ .....	90

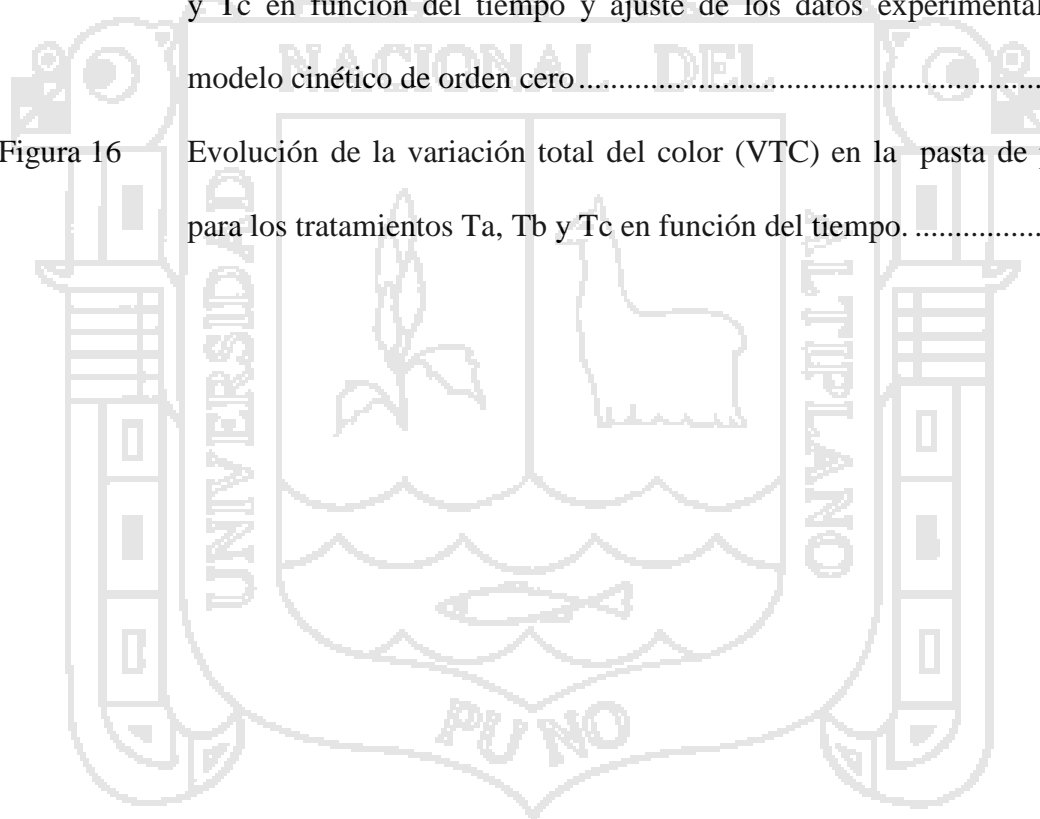
Tabla 41	Análisis de varianza (ANOVA) de efectos simples para la interacción inhibidor-tiempo .....	91
Tabla 42	Parámetros del modelo cinético de orden cero utilizada en el ajuste de los datos de $L^*$ , $a^*$ y $b^*$ .....	92



## ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1	Reacciones catalizadas por la polifenoloxidasas.....	15
Figura 2	Polímeros formados en el pardeamiento enzimático .....	16
Figura 3	Representación esquemática de la formación de un complejo de inclusión .....	22
Figura 4	Diagrama experimental para el estudio del efecto inhibitorio de la - ciclodextrina. ....	30
Figura 5	Diagrama de flujos para la elaboración de la pasta de palta.....	31
Figura 6	Diagrama del esquema experimental para la comparación del efecto inhibitorio de la -Ciclodextrina, ácido ascórbico y bisulfito de sodio ...	33
Figura 7	Diagrama de flujos para la elaboración de la pasta de palta.....	34
Figura 8	Determinación del color RGB .....	38
Figura 9	Evolución de la Luminosidad (L*) en la pasta de palta para los tratamientos T1, T2, T3, T4 y T5 en función del tiempo y ajuste de los datos experimentales al modelo cinético de orden cero. ....	49
Figura 10	Evolución del parámetro de color a* en pasta de palta para los tratamientos T1, T2, T3, T4 y T5 en función del tiempo y ajuste de los datos experimentales al modelo cinético de orden cero. ....	54
Figura 11	Evolución del parámetro de color b* en pasta de palta para los tratamientos T1, T2, T3, T4 y T5 en función del tiempo y ajuste de los datos experimentales al modelo cinético de orden cero .....	59

Figura 12	Evolución de la variación total del color (VTC) en pasta de palta a para los tratamientos T1, T2, T3, T4 y T5 en función del tiempo.....	64
Figura 13	Evolución de la Luminosidad ( $L^*$ ) de la pasta de palta para los tratamientos Ta, Tb y Tc en función del tiempo y ajuste de los datos experimentales al modelo cinético de orden cero.....	73
Figura 14	Evolución del parámetro $a^*$ en la pasta de palta para los tratamientos Ta, Tb y Tc en función del tiempo y ajuste de los datos experimentales al modelo cinético de orden cero.....	78
Figura 15	Evolución del parámetro $b^*$ en la pasta de para los tratamientos Ta, Tb y Tc en función del tiempo y ajuste de los datos experimentales al modelo cinético de orden cero.....	83
Figura 16	Evolución de la variación total del color (VTC) en la pasta de palta, para los tratamientos Ta, Tb y Tc en función del tiempo.....	88



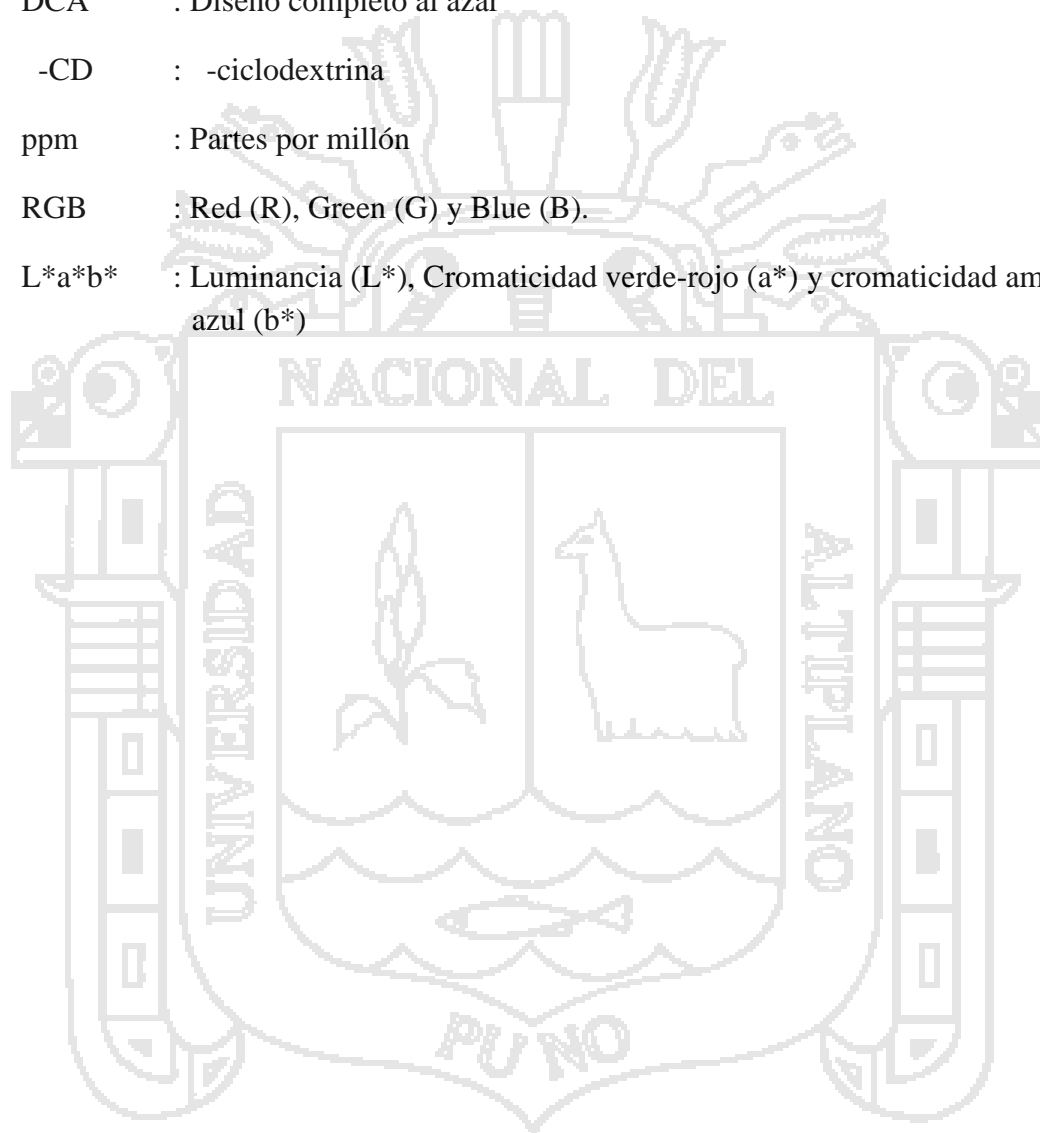
## ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXOS I Valores medios de los parámetros $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ y VTC obtenidos de la evaluación del efecto inhibitorio del pardeamiento enzimático de la - ciclodextrina, en la pasta de palta. ....	105
ANEXO II Valores medios de los parámetros $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ y VTC obtenidos de la comparación del efecto inhibitorio del pardeamiento enzimático de la -ciclodextrina , ácido ascórbico y bisulfito de sodio, en la pasta de palta.....	106



## ÍNDICE DE SIGLAS

PPO	: Polifenoxidasas
VTC	: Variación total del color
ANOVA	: Análisis de varianza
DCA	: Diseño completo al azar
-CD	: -ciclodextrina
ppm	: Partes por millón
RGB	: Red (R), Green (G) y Blue (B).
L*a*b*	: Luminancia (L*), Cromaticidad verde-rojo (a*) y cromaticidad amarillo-azul (b*)





## RESUMEN

Para la evaluación del efecto inhibitorio del pardeamiento enzimático de la  $\alpha$ -ciclodextrina en la pasta de palta, se consideraron cinco concentraciones en estudio: 100, 200, 300, 400 y 500 ppm. También se comparó el efecto inhibitorio de la  $\alpha$ -ciclodextrina a 400 ppm con el ácido ascórbico al 0.2% y bisulfito de sodio a 300 ppm. Se evaluó la estabilidad de color de las muestras de pasta de palta, mediante análisis de imágenes. El método consistió en la toma de imágenes de las muestras, con una cámara digital, en intervalos de 30 min durante de 420 min. A dichas imágenes se le extrajeron los valores RGB con el software ImageJ, y después fueron convertidos a parámetros  $L^*a^*b^*$ . Los valores finales (tiempo=420) de VTC para cada tratamiento fueron de  $24.915 \pm 0.292$ ,  $19.066 \pm 0.569$ ,  $13.937 \pm 0.554$ ,  $6.533 \pm 0.251$  y  $6.038 \pm 0.698$ , para los tratamientos con 100, 200, 300, 400 y 500 ppm de  $\alpha$ -ciclodextrina respectivamente. Los tratamientos con 400 y 500 ppm de  $\alpha$ -ciclodextrina tuvieron mayor capacidad inhibitoria del pardeamiento que los tratamientos con 100, 200 y 300 ppm de  $\alpha$ -ciclodextrina, pues presentaron leves cambios en parámetros  $L^*a^*b^*$  y VTC al final del tratamiento, mostrando colores más claros y con mayor presencia del verde y amarillo, que el Testigo y el resto de tratamientos. De la comparación del efecto inhibitorio del pardeamiento enzimático de la  $\alpha$ -ciclodextrina con el ácido ascórbico y bisulfito de sodio, se obtuvieron los resultados finales (tiempo=420 min) de VTC: 13.646, 5.909 y 5.827 para los tratamientos con ácido ascórbico,  $\alpha$ -ciclodextrina y bisulfito de sodio respectivamente. El tratamiento con bisulfito de sodio tuvo mejor efecto inhibitorio del pardeamiento enzimático en la pasta de palta, a comparación de los tratamientos con ácido ascórbico y  $\alpha$ -ciclodextrina en el mismo orden, presentando leves cambios de los parámetros  $L^*a^*b^*$  y VTC al final del tratamiento, con colores más claros y con mayor presencia del verde y amarillo, que el resto de tratamientos y el Testigo.

## I. INTRODUCCIÓN

La palta es uno de los frutos que se encuentra con una tendencia creciente en su producción debido al incremento de la demanda en el mercado mundial. Es una fruta apreciada por su consistencia suave similar a la de la mantequilla, su exquisito sabor, su alto valor nutritivo y por sus amplias posibilidades de uso no solo en la culinaria sino también en procesos agroindustriales.

La palta, presenta una variada posibilidad de usos como productos industrializados entre otros: pulpas como base para productos untables, tanto frescas como refrigeradas o congeladas, mitades congeladas. Como es bien sabida la palta tiene problemas para su conservación entero o como pulpa y además se presentan dificultades en el desarrollo de nuevos productos de palta, debido al pardeamiento enzimático que es producido principalmente por la acción de la polifenoloxidasas (PPO).

El método más utilizado para evitar el pardeamiento enzimático en alimentos es el uso de sulfitos. Sin embargo, debido a sus efectos adversos sobre la salud, la FDA ha prohibido su uso para la conservación de frutas y vegetales frescos.

Actualmente se utilizan diferentes sustancias de origen natural para la inhibición del pardeamiento enzimático entre ellas la  $\alpha$ -ciclodextrina. Existen algunos estudios en los cuales se ha demostrado que es capaz de inhibir la actividad de la PPO, al formar complejos de inclusión con los sustratos de la enzima, evitando así su oxidación.

El presente estudio se realizó con la finalidad de evaluar el efecto inhibitorio del pardeamiento enzimático de la  $\alpha$ -ciclodextrina en la pasta de palta. Así como también comparar su efecto inhibitorio con otros insumos convencionales como: ácido ascórbico y bisulfito de sodio. Para ello se midió la estabilidad del color de la pasta de palta

mediante análisis de imágenes tomadas en cámara digital. Los datos obtenidos se evaluaron mediante parámetros  $L^*a^*b^*$ , y VTC que es la escala más usada para medir el cambio de color de los productos alimenticios.

Para tal fin se plantearon los siguientes objetivos específicos:

1. Determinar la capacidad inhibitoria del pardeamiento enzimático de la  $\alpha$ -ciclodextrina, a diferentes concentraciones, en la pasta de palta (*Persea americana* Miller) variedad Fuerte, con respecto al tiempo.
2. Comparar el efecto inhibitorio de la  $\alpha$ -ciclodextrina con otras sustancias como bisulfito de sodio y ácido ascórbico; en la inhibición del pardeamiento enzimático en pasta de palta (*Persea americana* Miller) variedad Fuerte.



## II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. LA PALTA

#### 2.1.1. GENERALIDADES

La palta (*Persea americana* Miller.), es una fruta apreciada en el mercado mundial por su consistencia suave similar a la de la mantequilla, su exquisito sabor, su alto valor nutritivo y por sus amplias posibilidades de uso no solo en la culinaria sino también en procesos agroindustriales (Olaeta, 2003).

El fruto es una baya de formas: periforme y redonda, y de colores diversos. Tiene una pulpa consistente con un contenido variable de fibra de acuerdo con la variedad a la que pertenece. Además, es rico en calorías, minerales y vitaminas. Se le consume en forma fresca en las ensaladas de las comidas. En la industria, se le utiliza para la fabricación de puré y en la extracción de su aceite. Como puré sirve para cubrir las hojuelas de papas, panecillos y galletas. El aceite obtenido es empleado en la fabricación de cosméticos, jabones, cremas de belleza y aceites para masajes. En el Perú la industrialización de los derivados de la palta se encuentra en una etapa inicial que no permite elaborar productos con valor agregado, aceite de palta (aguacate) extra virgen, puré de palta, palta trozada, cremas y otros productos de belleza que gracias a su alto contenido de vitaminas A, C y E, se ha convertido en materia prima para fórmulas cosméticas. Entre las posibles alternativas de procesamiento se consideran, entre otros: el refrigerado, congelado, deshidratado y enlatado (Alza y Vásquez, 1996).

### 2.1.2. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

- Reino: Plantae
- Subreino: Tracheobionta
- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliophyta
- Orden: Laurales
- Familia: Lauraceae
- Género: Persea
- Especie: Americana

(Cornejo, 2010).

### 2.1.3. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA PALTA

La porción comestible de la palta está constituida principalmente por grasas, proteínas, carbohidratos y minerales, en concentraciones que varían dependiendo de la raza, variedad, localización y del estado fisiológico del fruto. La importancia alimenticia de la palta se debe a que posee hasta 1.8 % de proteínas y un alto contenido de lípidos, en donde los ácidos grasos predominantes son el oleico, linoleico y palmítico. La relación de ácidos grasos insaturados a saturados es alta (entre 6 y 8) por lo que comparado con otros frutos es de fácil digestión y rápida asimilación (Hernández *et al.*, 1979). En su valor nutritivo se considera su alto contenido en vitaminas tales como la tiamina, riboflavina, niacina, piridoxina y ácido pantoténico así como la presencia de minerales de interés nutricional como el fósforo, hierro y potasio (Fira, 1990).

La palta es apreciada principalmente por la gran cantidad de grasa que contiene su pulpa; el contenido de ella puede variar entre 6% y 30% de acuerdo al cultivo considerado. El contenido de proteínas de la pulpa también es significativo. Además, la pulpa contiene ciertas vitaminas liposolubles poco frecuentes en otros frutos; es bastante rica en vitaminas A y B, pobre en vitamina C y medianamente rica en vitaminas en D y E (Hernández *et al.*, 1979).

**Tabla 1.** Composición química promedio de la palta

COMPOSICIÓN	Contenido (%)
Agua	79.2
Grasa	12.5
Fibra dietaría	6.7
Fibra cruda	5.8
Glúcidos	5.6
Proteínas	1.7
Cenizas	1.0

Fuente: INS-Perú (2009).

#### 2.1.4. VARIEDADES

Según Agustí (2010). Las variedades más importantes de palta, en lugares subtropicales y templados, por orden de maduración, son:

- **Ettinger:** Híbrido de raza Guatemalteca por mexicana y pertenece al grupofloral B. Árbol erecto, vigoroso y de buena producción. Fruto periforme, de piel fina,

lisa y de color brillante; su mantenimiento en el árbol no supera los dos meses.

En el mediterráneo madura a partir de octubre (Agustí, 2010).

- **Bacon:** Híbrido de raza Mexicana por guatemalteca, perteneciente al grupo floral B. Árbol vigoroso, alto, de porte erecto y resistente al frío. Fruto ovalado, verde, de piel fina y de corta duración en el árbol; pesa entre 175 g y 350 g, su semilla es de tamaño medio y su calidad gustativa es mediocre. Madura en octubre-noviembre (Agustí, 2010).
- **Fuerte:** Es un híbrido de raza mexicana por guatemalteca, perteneciente al grupo floral B. Árbol vigoroso, de porte ancho y extendido, muy sensible a las bajas temperaturas, especialmente durante el cuajado. Fruto periforme, de piel lisa, de grosor moderado y verde; peso entre 175 y 400 g, semilla de tamaño medio, calidad gustativa excelente y buen comportamiento post-cosecha. Madura en diciembre-enero (Agustí, 2010).
- **Hass:** palta de raza guatemalteca, proviene de la propagación de una semilla, pertenece al grupo floral A. Es la variedad más cultivada en el mundo; en España representa más del 60% de la superficie. Árbol de porte moderadamente extendido, muy sensible a las bajas temperaturas y al color, es muy productivo pero con tendencia a la alternancia. Fruto ovoide, de piel muy rugosa y color café, de 180-250 g de peso, semilla de tamaño pequeño medio y de gran calidad; su conservación en el árbol (mayor a 3 meses) y comportamiento post-cosecha son excelentes. Empieza a madurar a principios de febrero (Agustí, 2010).

### 2.1.5. ÍNDICE DE MADUREZ:

El proceso de maduración de la palta está marcado por una variedad de cambios bioquímicos que incluyen incrementos en la producción de etileno y en la respiración, ablandamiento y desarrollo de componentes de sabor (Seymor y Tucker, 1993). A diferencia de la mayoría de frutales, la palta no alcanza la madurez de consumo en el árbol, sino después de que se cosecha. Este fenómeno parece estar explicado por la presencia de una sustancia que actúa como regulador de la maduración y que se traslada desde el pedúnculo una vez que se independiza el fruto del árbol (Tingwa y Young, 1975). El progresivo reblandecimiento del fruto y el desarrollo de un sabor aceptable, son indicadores de la madurez (Hobson, 1979). Antes de que esto ocurra, se observan ligeros cambios en la consistencia del fruto debidos a la pérdida de agua (Barmore, 1977). Una vez que se alcanza la madurez fisiológica, la tasa de reblandecimiento post-cosecha se torna progresivamente menor conforme se acerca a la madurez de consumo (Zauberman y Shiffmann-Nadel, 1972).

La madurez del fruto está basada en el metabolismo de lípidos, con una rápida acumulación de aceite y de materia seca (Kikuta y Erickson, 1968); el mayor incremento es del ácido insaturado oléico, que es el principal constituyente. Este incremento de aceite va acompañado de una baja en la concentración de azúcares que revela la importancia de los azúcares solubles en los procesos de respiración asociados con la fisiología poscosecha y madurez de fruto (Liu *et al.*, 1999).

El contenido de materia seca es un parámetro que se ha determinado como indicador del nivel de madurez fisiológica del fruto de la palta y se han establecido valores mínimos como estándar legal para cada variedad (Lee *et al.*, 1983).



Frutos de palta cosechados con niveles de materia seca por debajo del mínimo recomendado, maduran de manera irregular y no desarrollan completamente sus atributos de calidad; por otra parte, frutos cosechados con niveles de materia seca altos, experimentan una rápida maduración y reducen su vida de anaquel.

Morris y O'Brien (1980), citados por Lee (1981), establecieron la estrecha relación que existe entre el contenido de aceite y el peso seco del fruto. El aumento en el porcentaje de peso seco durante la maduración es debido principalmente al incremento en el porcentaje de aceite.

El porcentaje de materia seca tiene un alto grado de correlación con el contenido de aceite y se usa como índice de madurez en California y en la mayoría de las áreas productoras de palta; el mínimo requerido de materia seca varía de 19 a 25 %, dependiendo del cultivo (19,0% para "Fuerte"; 20,8% "Hass" y 24,2% "Gwen").

Existe una correlación inversa en la variación de aceite y humedad de la palta, durante el desarrollo del fruto; es así, que a medida que aumenta el nivel de aceite el nivel de humedad disminuye (Schwartz y Von Elbe 1983; Lee, 1981).

## **2.1.6. PRODUCCIÓN MUNDIAL DE LA PALTA**

### **2.1.6.1. PRODUCCIÓN MUNDIAL**

En la actualidad se produce palta en las regiones tropicales y subtropicales de todo el mundo, con una producción que supera los 3 millones de toneladas al año, sobre una superficie mayor a las 400,000 hectáreas de cultivo, según las estadísticas de la FAO (Agustí, 2010).

**Tabla 2.** Producción mundial de la palta (en miles de toneladas)

País	1961-1964	1971-1974	1981-1984	1991-1994	2001-2004
México	120.7	254.6	453.2	753.5	980.5
Indonesia	31.3	39.9	56.9	95.2	226.5
EE.UU	47.0	67.1	209.3	180.4	195.2
Brasil	94.2	151.0	141.9	107.9	168.5
Colombia	12.2	13.2	19.9	73.5	149.6
República dominicana	109.8	125.5	134.7	141.7	137.1
Chile	9.4	13.1	28.5	46.8	127.5
España	0.4	1.6	17.4	47.8	113.1
Perú	21.7	102.4	80.9	81.9	94.4
Etiopia	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
China continental	n.d.	n.d.	n.d.	17.0	78.6
Israel	1.3	11.7	40.6	56.1	75.5
Sudáfrica	4.7	10.9	23.0	44.4	67.3
Venezuela	53.9	42.6	45.6	49.3	49.6
El salvador	17.7	25.6	33.1	40.0	40.0
Filipinas	13.7	18.3	23.2	36.3	38.3
Australia	0.5	0.8	4.4	12.8	34.8
Otros países	136.1	154.4	171.2	184.5	207.3
Total	741.1	1121.2	1610.4	2099.2	3022.0

Fuente: FAO, (2005).

### 2.1.6.2. PRODUCCIÓN NACIONAL

Los principales departamentos productores de palta, según el Ministerio de Agricultura año 2002 fueron: Junín (54,7%), Lima (26,3%), Ancash (9,8%) e Ica (9,2%), Moquegua (15,5%). En el Perú, la época de cosecha en la costa se inicia en abril y mayo con las variedades antillanas (criollas, villacampa, etc.) y termina en noviembre con las variedades guatemaltecas como la Hass, Nabal, etc.; en el periodo intermedio se cosechan los híbridos como fuerte, collinred, etc. en la región de selva alta la cosecha se realiza entre los meses de agosto y febrero; las variedades más importantes son las antillanas o criollas aunque también existen otras plantas con las variedades Hass, Fuerte, Nabal, etc. (Alza y Vásquez, 2002).

### 2.2. PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO

La alteración del color de los productos hortofrutícolas está fundamentalmente relacionada con el pardeamiento enzimático (Nicolas *et al.*, 1994), siendo éste uno de los principales factores que limitan la vida útil de los productos. El pardeamiento enzimático de la fruta se debe bien a procesos fisiológicos que tiene lugar durante la maduración, bien a procesos asociados a la recolección, o bien a tratamientos tecnológicos de posrecolección. El proceso de pardeamiento se desencadena cuando, tras la operación de corte se produce una pérdida de la integridad celular en las superficies de las frutas. Esto provoca una destrucción de la compartimentación de enzimas y substratos, con lo que se catalizan las reacciones y se produce la formación de metabolitos secundarios no deseados (Burns, 1995). Para que el fenómeno de pardeamiento enzimático tenga lugar se requiere de la presencia de cuatro diferentes compuestos: el oxígeno molecular, substratos apropiados, la polifenoloxidasa (PPO) y la presencia de cobre en el centro activo de la enzima. Estos factores determinan la

velocidad de pardeamiento, que puede tener lugar muy rápidamente, incluso en 30 min (Laurila *et al.*, 1998). Esta velocidad dependerá de factores tales como la concentración y actividad de la enzima, la cantidad y naturaleza de los compuestos fenólicos, pH, temperatura, actividad del agua y de la cantidad de oxígeno disponible en el entorno del tejido vegetal (Nicolas *et al.*, 1994).

Las especies cultivadas comercialmente importantes, como peras y manzanas, así como sus productos tales como zumos o néctares son muy sensibles al pardeamiento enzimático debido a su alta concentración en polifenoles y polifenoloxidasas. En vinos y uva, el oscurecimiento también es causa significativa de pérdida de calidad. Otras frutas particularmente sensibles a la oxidación enzimática son los albaricoques, melocotones, paltas, plátanos, lichis o mangos, y también hortalizas como champiñones y patatas. Aparentemente, ciertas frutas como los cítricos o la piña contienen relativamente pocos substratos fenólicos, no contienen polifenoloxidasas o su actividad es tan baja que se acepta que, el pardeamiento enzimático no causa problemas de coloraciones (Robards *et al.*, 1999). Estos problemas también se consideran ausentes en otros frutos como el melocotón variedad Sunbeam, que contienen las enzimas, pero no los substratos de reacción (Cheftel y Cheftel, 1976).

### **2.2.1. ENZIMAS RESPONSABLES**

Según Bello (2000) Las enzimas implicadas en el pardeamiento se conocen con el nombre de polifenoloxidasas, también denominadas polifenolasas o simplemente fenolasas. Generalmente se admite que todos los términos incluyen las enzimas que tienen capacidad de oxidar los compuestos fenólicos a orto-quinonas. Su nombre sistemático corresponde al de orto-difenol (*o*-difenol) oxígeno oxirreductasa. Se trata de

metaloenzimas que contienen un 0.2% de cobre como grupo prostético. El sistema presenta una doble actividad capaz de catalizar dos tipos de reacciones:

- paso de monofenoles a orto-difenoles mediante una actividad creolasa, que implica una hidroxilación.
- La conversión de orto-difenoles a orto-quinonas, a través de una actividad catecolasa, que implica una oxidación.

La polifenoloxidasas se localiza siempre en orgánulos celulares, concretamente en cloroplastos y mitocondrias. Se puede hallar de dos formas distintas, bien unida a membranas, como a la membrana tilacoidal de los cloroplastos, o bien en forma soluble. Es de destacar el hecho de que la proporción de fracción soluble de PPO aumenta durante la maduración del fruto. El nivel de actividad de la PPO depende del tipo de tejido. Aunque se asume que esta afirmación es cierta, existe cierta controversia al respecto ya que en manzana algunos autores han encontrado que la actividad enzimática era mayor en la piel que en el mesocarpio y otros estudios constatan lo contrario (Nicolas *et al.*, 1994). Cabe indicar que la intensidad del oscurecimiento de la manzana está en función de la actividad de la fenolasa así como la concentración de los polifenoles que sirven de sustrato (Badui, 1990).

La polifenoloxidasas provocan el oscurecimiento y el encafecimiento o pardeamiento, estos cambios se pueden explicar debido a que cuando el tejido vegetal es cortado, golpeado o aplastado existe una disrupción a nivel celular y una exposición de los sustratos de tipo fenólico al oxígeno del aire, siendo convertidos por vía enzimática en melaninas, que son compuestos oscuros de color marrón y caracterizan a este tipo de oscurecimiento (Fennema, 2000).

### 2.2.2. SUBSTRATOS DE LA REACCIÓN

Los principales sustratos para que pueda tener lugar el inicio de esta alteración son todos aquellos compuestos que corresponden a estructuras de monofenoles, ortodifenoles y polifenoles, con mayor o menor reactividad en función de dicha estructura. En general, los monofenoles suelen originar procesos más lentos porque necesitan de una primera hidroxilación enzimática y sus reacciones resultan más selectivas que en el caso de los difenoles. Se ha podido observar que muchos de los sistemas enzimáticos que intervienen en esta alteración son muy específicos de los compuestos ortofenólicos.

Bello (2000) menciona que los principales compuestos fenólicos de los alimentos de origen vegetal son:

- El orto-difenol y sus derivados, aunque no sus compuestos metilados: el pirocatecol, pero no el guayacol; el ácido cafeico, pero no el ácido ferulico; el ácido protocatequico.
- Compuestos derivados del aminoácido L-tirosina: la dopa o 3,4-dihidroxi-fenilalanina, existente en la patata, y la dopamina o 3,4-dihidroxifeniletilamina, que es el sustrato principal del pardeamiento de los plátanos.
- Los ácidos orgánicos que incluyen en sus estructuras anillos aromáticos: el ácido gálico, que puede tomar parte de algunos taninos hidrosolubles, y el ácido clorogénico presente en los granos de cafés, manzanas, patatas, etc., que son vestigios de cationes de hierro puede dar lugar a pigmentos negro azulados.
- Los compuestos flavonoides, que pueden encontrarse bajo las formas más diversas:

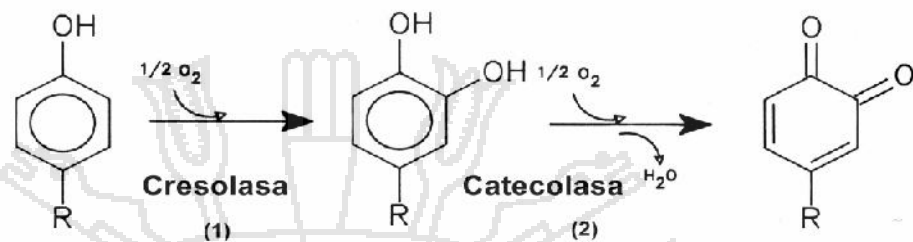
- Antocianósidos y antocianidoles, que presentan coloraciones muy sensibles a las variaciones del pH o a la pérdida hidrolítica del grupo glucídico de los primeros.
- El compuesto incoloro leucocianidol, que por el calor en medio ácido se oxida y deshidrata desarrollando coloraciones de tonos rosas o rojos, como ocurre en coles, habichuelas, manzanas, peras, etc.
- Los flavonoles, como el quercetol.
- Las flavononas, como el naringenol, cuyo glucósido con glucosa y ramnosa es la narangina, responsable del amargor de algunos frutos cítricos.
  - Las ligninas, que son polímeros fenólicos responsables de las estructuras rígidas de muchos vegetales.
  - Los taninos, unos derivados pirogálicos y otros condensados catéquicos, que reaccionan con proteínas y que bajo sus formas oxidadas aportadas por lúpulo, participan en la turbidez de la cerveza, o pueden formar compuestos pigmentados pardos, como ocurre en las castañas cuando se elabora el “marrón glacé”, que es el resultado de una reacción entre los taninos pirogálicos y los vestigios de hierro.

### 2.2.3. MECANISMOS Y PRODUCTOS DE REACCIÓN

El pardeamiento enzimático es una transformación que conlleva dos etapas, una catalizada por enzimas y otra posterior no enzimática. La primera fase enzimática se traduce en una conversión de monofenoles en quinonas. Esta transformación tiene lugar en dos pasos: hidroxilación de monofenoles en *o*-difenoles, y oxidación de estos *o*-difenoles a *o*-quinonas, que corresponden a las dos actividades consecutivas

realizadas por la polifenoloxidasas. Se necesita aquí oxígeno molecular, indispensable para que actúe la enzima (Walker, 1977).

**Figura 1.** Reacciones catalizadas por la polifenoloxidasas.



Fuente: Walker, (1977)

El primer producto de la oxidación enzimática son las orto-quinonas (*o*-quinonas). Estas moléculas tienen diferentes propiedades espectrales y su color depende básicamente del pH y del fenol que lo origina (Nicolas *et al.*, 1994). Las reacciones que se suceden a partir de las *o*-quinonas son similares sin reparar en si la quinona se formó enzimáticamente o por oxidación no enzimática. La única diferencia real entre estas dos posibles vías es cinética, pues enzimáticamente el pardeamiento siempre ocurre a mayor velocidad (Robards *et al.*, 1999).

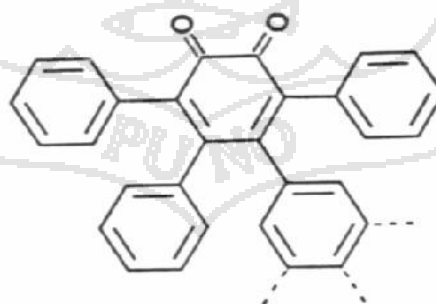
La segunda fase del pardeamiento, que no es de carácter enzimático, presenta mayor complejidad, pues las *o*-quinonas producidas en la primera fase son inestables en disolución acuosa e increíblemente reactivas. El conjunto de reacciones que componen el pardeamiento de vegetales desembocará en la formación de pigmentos llamados melaninas. Pero este mecanismo de reacción de pardeamiento en sus fases no enzimáticas aún no ha sido elucidado. De todos modos, las reacciones que se suceden de oxidación y polimerización se han clasificado según si involucran o no a compuestos



fenólicos de nuevo. Las reacciones en cadena posteriores en las que sí se implican los compuestos fenólicos dependen de los potenciales de oxidación de las diferentes parejas de fenol/quinona presentes. Este tipo de reacciones nos puede llevar tanto a condensaciones de gran peso molecular (polímeros) como a la regeneración del fenol originario o de una *o*-quinona diferente a la primaria por una oxidación en cadena. Las *o*-quinonas son tan reactivas que al reaccionar con otro fenol pueden dar lugar a dímeros del fenol de partida. Estos dímeros están sujetos a una reoxidación bien enzimáticamente, bien con otra quinona, dando pues lugar a oligómeros con colores de intensidad diferente. Estas reacciones pueden ser extraordinariamente rápidas (Amiot *et al.*, 1995).

Las quinonas reaccionan con el agua y dan trihidroxibencenos; éstos reaccionan posteriormente con otras quinonas para formar hidroxiquinonas, que en realidad son la base de una condensación oxidativa, donde todavía se consume oxígeno, que conduce a polímeros del tipo que presenta la Figura 2.

**Figura 2.** Melanina formada en el pardeamiento enzimático.



Fuente: Cheftel y Cheftel (1976)

Además de reaccionar consigo mismas para formar melaninas y polímeros, las *o*-quinonas se pueden transformar combinándose con compuestos no fenólicos como:

aniones inorgánicos, grupos tiol, grupos amino de aminoácidos, proteínas y agentes reductores.

Estas reacciones pueden ocurrir por oxidación no enzimática debido a que en el medio existen compuestos cuyo potencial redox es inferior al de las quinonas (NADH<sub>2</sub>, ácido ascórbico, glutatión reducido, cisteína y antocianos entre otros) (Cheftel y Cheftel, 1976). Hablamos entonces de oxidaciones acopladas. Es el caso de la oxidación de vitamina C que implica pérdida de valor nutritivo. La reacción entre las quinonas, producidas en la primera etapa enzimática del pardeamiento, y esta vitamina soluble concluye con la regeneración del fenol y la formación de ácido dihidroascórbico. También las quinonas son capaces de combinarse por adición con grupos amino de aminoácidos y péptidos, por ejemplo con serina, prolina y cisteína, bien libres o bien ligadas a largas proteínas, resultando compuestos no tan oscuros como las melaninas (Nicolas *et al.*, 1994).

## **2.2.4. CONTROL DEL PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO**

### **2.2.4.1. MÉTODOS FÍSICOS**

#### **Tratamientos térmicos**

El tratamiento térmico es generalmente considerado como el método más efectivo para la inactivación de la PPO y, consecuentemente para la inhibición del pardeamiento (McEvily *et al.*, 1992). Las técnicas convencionales actuales para prevenir el pardeamiento incluyen los métodos de autoclave y escaldado con temperaturas de 75 -95°C por tiempos de 1 a 10min, dependiendo de los requerimientos de los productos y procesos. Estos procesos convencionales están

inherentemente relacionados a importantes pérdidas de peso y calidad nutricional del producto (Konanayakam y Sastry, 1988).

### **Aplicación de tecnologías no térmicas**

En un contexto en el que el consumidor demanda productos más naturales, mínimamente procesados y exentos de agentes químicos potencialmente perjudiciales para él y el medio ambiente, los métodos no -térmicos tienen su actuación.

– **Reducción de la disponibilidad de oxígeno:** El modo más satisfactorio de inhibir el pardeamiento enzimático es eliminando por completo el oxígeno. Esto puede obtenerse por desoxigenación a vacío, borboteo de nitrógeno o apelando a la acción combinada de la glucosa oxidasa y la catalasa (Cheftel y Cheftel, 1976).

– **Atmósferas modificadas:** El confinamiento en atmósferas modificadas resulta ser la tecnología idónea del envasado de los productos vegetales mínimamente procesados. Ésta es una técnica aplicada a alimentos metabólicamente activos, los cuales son reclusos en una atmósfera esencialmente empobrecida en O<sub>2</sub>, entre el 2 y el 8%, y enriquecida en CO<sub>2</sub> entre el 5 y 15% con respecto al aire respirable (Gorny *et al.*, 1998).

Al disminuir la concentración de O<sub>2</sub> se inhiben o reducen las reacciones enzimáticas del pardeamiento, y al aumentar la concentración de CO<sub>2</sub> se inhibe la síntesis de metabolitos fenólicos (Mateos *et al.*, 1993)

– **Recubrimientos comestibles:** Otro posible método de envasado para evitar el pardeamiento en frutas mínimamente procesadas es la aplicación de películas o recubrimientos, que son considerados como ingredientes o aditivos

alimentarios dependiendo de la actividad que desempeñen. Su función primordial es la de estabilizar y extender la vida útil de frutas MP (Guilbert *et al.*, 1996).

Los diferentes tipos de recubrimientos comestibles poseen en su mayoría la función de crear una micro atmósfera controlada que restringe el intercambio de gases. Esto conlleva la limitación de entrada al O<sub>2</sub>, una disminución de la tasa de respiración, retraso en la producción de etileno, reducción en las pérdidas de humedad y de compuestos volátiles deseables (Baldwin *et al.*, 1995).

Además, una ventaja adicional de los recubrimientos comestibles es que pueden utilizarse como soporte para determinados agentes antioxidantes y acidulantes y también de fungicidas y bactericidas que pueden coadyuvar en la prevención del pardeamiento y del crecimiento de microorganismos, respectivamente (Torres y Karel, 1985).

– **Altas presiones:** Se trata de una técnica prometedora ya que inactiva microorganismos y enzimas dejando las propiedades nutritivas y la calidad del alimento prácticamente intactas (Weemaes *et al.*, 1998). Provoca una inactivación enzimática irreversible, y por lo tanto, es una alternativa a la elevación de temperatura. Pero debe tenerse en cuenta que el pH (potencial de hidrogeno), la adición de solutos, azúcares u otros compuestos y la temperatura a la que se procesa condicionan los parámetros del tratamiento con altas presiones (Hendrickx *et al.*, 1998). A partir de ahora podemos hablar ya, al igual que de la termosensibilidad o termoestabilidad de las enzimas, de su estabilidad frente a altas presión.

– **Pulsos eléctricos:** El uso de campos eléctricos pulsantes es una reciente tecnología que se ha planteado para la inactivación de microorganismos y de

enzimas, donde se da un aumento mínimo de temperatura con lo cual es conservada la calidad nutricional de los productos. Los productos alimenticios se comportan como conductores eléctricos por su alta concentración de iones y su capacidad para transportar cargas eléctricas. El mecanismo de inactivación se basa en la electroporación de la membrana celular, es decir, en la rotura eléctrica de la membrana. La aplicación de campos eléctricos pulsantes genera estrés y desestabiliza la membrana celular, y en algunos casos el daño en la membrana celular es irreversible. Esta lesión altera los procesos de transporte de iones y cambia la conformación de la estructura de las enzimas con esta técnica se han conseguido diferentes porcentajes de inactivación (30 al 99%) de enzimas responsables de importantes alteraciones en alimentos tales como tripsina, lactato deshidrogenasa, galactosidasas, plasminas, proteasas, fosfatasa alcalina, lipasas, glucosa oxidasa, -amilasa, peroxidasa, polifenoloxidasas, pectinmetilesterasa y papaína (Dovenspeck, 1960).

#### 2.2.4.2. MÉTODOS QUÍMICOS:

La metodología más extendida para evitar el pardeamiento, y una de las de mayor utilidad en este trabajo, consiste en la utilización de agentes químicos que actúan como inhibidores, interaccionando directamente sobre las enzimas, los substratos o los productos de las reacciones enzimáticas. La existencia de compuestos químicos que poseen propiedades antipardeantes ha llevado al desarrollo y aplicación de métodos adecuados para la disminución del pardeamiento en frutas mínimamente procesadas. Su aplicación está reglamentada por los organismos correspondientes (FAO/OMS; Codex Alimentarius, FDA, etc.) y su dosificación o aplicación están restringidos total o parcialmente en algunos de ellos, por consideraciones toxicológicas y/o impactos organolépticos en sabor, aroma, color y textura (Pérez *et al.*, 2003).

**Tabla 3.** Aditivos de interés para el procesamiento de frutas mínimamente procesadas

Compuesto	Clasificación	Función	Mecanismo de Acción
4-hexilresorcinol (4-HR)	E-586	Agente de retención de color y antioxidante	Inhibición directa de la enzima
Ácido ascórbico (AA) y su sal (NaA)	E-300	Antioxidante	Reduce o-quinonas a difenoles incoloros de baja reactividad
Ácido isoascórbico (ácido eritórbito) (ER) y su sal (NaE)	E-315		
Etilendiami-notetraacético (EDTA)	E-386	Antioxidante, conservante sinérgico y secuestrante.	Quelante del centro activo Cu ++
Propionato cálcico	E-282	Conservador	Antimicrobiano de superficie (antimohos)
Cloruro de calcio	E-509	Agente de firmeza regulador de acidez	Formación de pectatos de Calcio insolubles
Lactato de calcio (LC)	E-327		
Ácido cítrico (AC)	E-330	Antioxidante, regulador de acidez y secuestrante	Acidulante del medio y secuestrador de iones metálicos (Cu++)
Ácido Oxálico (AO)	-----	Secuestrante y regulador de acidez	
L-cisteína, L-cistina (Acis)	E-284	Antioxidantes sulfhidrilos	Reduce o-quinonas a difenoles de baja coloración
Acido tartárico	E-334	Antioxidante sinérgico, regulador de acidez y secuestrante	Acidulante del medio
Sorbato de potasio (KS)	E-202	Conservante	Antimicrobianos (fungicidas)
Benzoato de sodio	E-211		

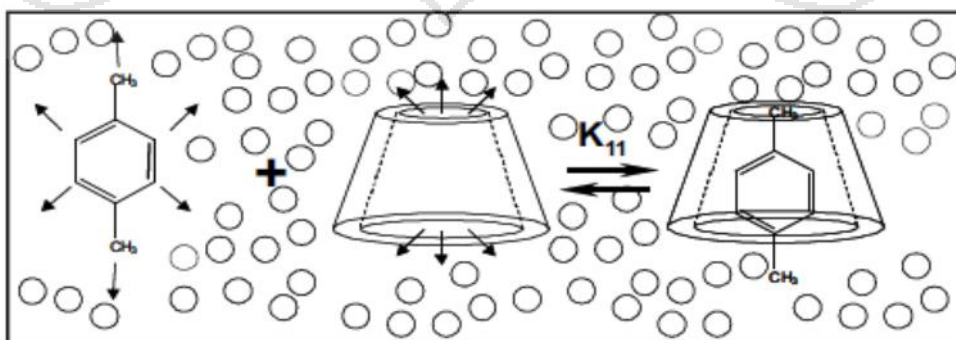
Fuente: Pérez *et al.*, (2003)

### 2.3. CICLODEXTRINAS EN LA INHIBICIÓN DEL PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO

Las ciclodextrinas son un conjunto de moléculas cíclicas naturales, constituidas por 6, 7 u 8 unidades de  $\alpha$ -D-glucosa, que tienen la capacidad de albergar moléculas orgánicas en su interior (formación de un complejo de inclusión). Por ello, existen algunos estudios en los cuales se ha demostrado que son capaces de inhibir la actividad de la PPO, al formar complejos de inclusión con los sustratos de la enzima, evitando así su oxidación (Alvares *et al.*, 2005).

Según, Alvares *et al.*, (2005). Las ciclodextrinas poseen una conformación tridimensional en forma de cono truncado, en la que todos los hidroxilo primarios (unidos al carbono 6) de las unidades de glucosa están situados en uno de los bordes del cono (parte estrecha del mismo) y todos los hidroxilo secundarios (unidos a los carbonos 2 y 3) en el otro (parte ancha). El interior de la cavidad posee un carácter hidrofóbico debido a la presencia de los hidrógenos 3 y 5 de las glucosas que se encuentran orientados hacia la parte interna de la misma. Esta doble característica, por un lado tener un exterior hidrofílico y por el otro una cavidad hidrofóbica, hace que tengan la capacidad de albergar moléculas orgánicas en su interior, formando complejos de inclusión.

**Figura 3.** Representación de la formación de un complejo de inclusión.



Fuente: Alvares *et al.*, (2005).

Durante la formación de los complejos de inclusión se modifican las propiedades fisicoquímicas de las moléculas huésped, hecho que ha sido aprovechado en la industria de alimentos con la finalidad de modificar diversas propiedades, organolépticas o nutricionales de los alimentos. Así, las ciclodextrinas se han utilizado para evitar la pérdida de compuestos volátiles como aromas; elaboración de alimentos bajos en colesterol; reducir el pardeamiento enzimático de jugo de manzana, entre otras aplicaciones (Szejtli, 1998).

Diversos autores han demostrado que en presencia de  $\alpha$ -ciclodextrina, los sustratos de la PPO forman complejos de inclusión. Al estar el sustrato en el interior de la cavidad de la ciclodextrina, la PPO no es capaz de oxidarlo, con lo cual se observa una inhibición de la actividad de esta enzima, al disminuir la concentración de sustrato disponible (Alvares *et al.*, 2005)

### **2.3.1. ANTECEDENTES SOBRE EL EFECTO INHIBITORIO DEL PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO DE LAS CICLODEXTRINAS**

Según Fayad *et al.*, (1997), el efecto inhibitorio de la  $\alpha$ -ciclodextrina sobre el pardeamiento enzimático ha sido atribuido a que forma complejos de inclusión con el sustrato de la polifenoloxidasas, y en consecuencia disminuye la concentración de sustrato libre que puede ser oxidado por la enzima. Al estar el sustrato en el interior de la cavidad de la ciclodextrina, la polifenoloxidasas no es capaz de oxidarlo, con lo cual se observa una inhibición de la actividad de esta enzima, al disminuir la concentración de sustrato disponible.

No existen estudios realizados acerca del efecto inhibitorio de las ciclo dextrinas sobre el pardeamiento enzimático de la palta; pero si existen investigaciones de aplicadas a otros frutos, Así en un estudio para la inhibición de pardeamiento



enzimático en zumo de manzana (Hicks *et al.*, 1996) “Muestran que, 1% de - ciclodextrina y 0,5% de fosfato adicionados al zumo de manzana inhiben completamente el oscurecimiento por 1 día (a temperatura ambiente) y por 2 a 3 semanas a 4 °C”.

Estudios otros estudios para el control del oscurecimiento enzimático durante la elaboración de néctar de pera (Dávila *et al.*, 2003) demuestran que la inhibición del pardeamiento enzimático puede realizarse de manera efectiva empleando una concentración de -Ciclodextrina de 100ppm, sin afectaciones en el sabor y buen grado de aceptación.

En otro estudio realizado para ver el efecto de las ciclodextrinas en la inhibición de la polifenoloxidasas de manzana, usando como inhibidores a la  $\beta$ -ciclodextrina y al 4-hexilresorcinol” demuestran que inhiben en diferente grado la actividad de la polifenoloxidasas de manzana (Alvares *et al.*, 2005).

## **2.4. EL ÁCIDO ASCÓRBICO Y BISULFITO DE SODIO EN LA INHIBICIÓN DEL PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO**

### **2.4.1. SULFITOS**

Los sulfitos también inhiben ciertas reacciones catalizadas por enzimas, fundamentalmente el pardeamiento enzimático, que son importantes en la conservación de los alimentos. Cabe indicar que estos compuestos tienen la capacidad de reaccionar con los grupos cetonas y aldehído de los alimentos, por lo que la concentración residual que puede actuar para inhibir la fenolasa, se puede reducir considerablemente (Badui, 1990).

A menudo se aplican antes de la desecación. Este tratamiento evita el pardeamiento e induce el blanqueo oxidativo de los pigmentos de antocianina. Las propiedades resultantes son las deseadas en productos tales como los que se utilizan en la elaboración de vino blanco y marrasquino. Los niveles de dióxido de azufre hallados en frutas inmediatamente después de la desecación a veces se aproximan a 2000 ppm; sin embargo, en la mayoría de los alimentos se encuentran en concentraciones mucho más bajas ya que concentraciones superiores a 500 ppm dan lugar a sabores desagradables y también porque los sulfitos tienden a volatilizarse y/o reaccionar durante la fase de almacenamiento y cocinado (Fennema, 2000).

Según el CODEX Alimentarius (2013). La concentración máxima de sulfitos en pasta de palta no debe superar las 300 ppm.

#### **2.4.2. ÁCIDO ASCÓRBICO**

El uso de ácidos que reducen los pH del producto, denominados acidulantes, encuentran una amplia aplicación en el control del pardeamiento enzimático (primo, 1997).

En estudios realizados por Rojas *et al.*, (2011), para la inactivación enzimática para la conservación de puré refrigerado de palta concluyen que, para obtener una mejor inactivación de enzimática la concentración más óptima de ácido ascórbico es de 0.16 a 0.24%.

#### **2.5. COLOR COMO INDICADOR DE LAS REACCIONES DE PARDEAMIENTO**

El sabor, la textura, olor y el color son atributos que los consumidores tienen presente para evaluar la calidad de los alimentos al momento de adquirirlos. El cambio

en el color en frutas y hortalizas está relacionado con reacciones entre sus componentes como clorofilas, carotenoides, antocianinas, o por reacciones enzimáticas. Las reacciones de pardeamiento enzimático permiten el estudio de la evolución en el tiempo del cambio de color de un tejido vegetal por acción de la Polifenoloxidasas. De aquí, se deriva el cálculo de ciertos parámetros como  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  o la variación total del color (VTC), los cuales son útiles en la investigación del control del pardeamiento en frutas, al evaluar diferentes clases de antioxidantes (Pérez, 2007).

El espacio de color tridimensional, CIEL\*a\*b está definido por tres coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ .  $L^*$  es el eje vertical y representa la medida de la luminosidad de un color, variando desde cero para un negro hasta 100 para un blanco (los colores fluorescentes pueden dar un valor de  $L^*$  mayor que 100).  $a^*$  es uno de los dos ejes horizontales y representa una medida del contenido de rojo o de verde de un color. Si un color tiene rojo,  $a^*$  será positiva, mientras que si  $a^*$  es negativa entonces el color tendrá cierta cantidad de verde,  $b^*$  es el otro eje horizontal, perpendicular al eje  $a^*$ . Valores positivos de  $b^*$  indican contenido de amarillo, mientras valores negativos de  $b^*$  indican contenido de azul (MacDougall, 2002).

También se utiliza la variación total del color (VTC). La variación total del color es siempre positiva y es estrictamente la medida de la diferencia total de color entre el estándar y la muestra (Molto 2007).

$$V = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

El trabajo de investigación se ejecutó en el laboratorio de ingeniería, sección adquisición de imágenes de la escuela profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional del Altiplano-Puno ubicado a una altitud de 3824 m.s.n.m.

#### 3.2. MATERIAL EXPERIMENTAL

##### 3.2.1. Materia prima

Se utilizó paltas de variedad fuerte, obtenidas del mercado Plaza Vea de Puno. Esta variedad tiene una característica específica, que la hace apropiado para el trabajo de investigación. Las paltas utilizadas fueron de textura de 6.3 Kg/cm<sup>2</sup> y de un peso entre 350-400 gr, ancho de 7-8 cm y largo de 13-14 cm de forma periforme, de textura firme y exocarpo liso de color verde, el mesocarpo presento una forma consistente de coloración amarilla-verdoso y textura suave

##### 3.2.2. Insumos

Se utilizaron los siguientes inhibidores del pardeamiento enzimático:

- -ciclodextrina (Cyclomaltohexaose al 98%). Solubidad: 145g/L, Fusión: 278 °C, Batch K40565926De. Merck Peruana.
- Ácido ascórbico (Ácido L-ascórbico al 99%). Solubilidad: 33g/100ml, Fusión: 192°C. INSUQUIMICA.
- Bisulfito de sodio (Metabisulfito de Sodio 96%). Solubilidad: 650g/L, Fusión: 170°C .INSUQUIMICA.

### 3.3. MATERIALES Y EQUIPOS

#### 3.3.1. Materiales

- Recipientes de plástico para lavado (cap. 3 Lt.)
- Cuchillo mango de madera (Marca Facusa).
- Tabla de corte de plástico (35cm x 20cm).
- Rodillo de madera ( $\varnothing=8\text{cm}$  y 25cm de largo).
- Tela negra sintética-fina
- Bolsa de plástico transparente.

#### 3.3.2. Equipos de laboratorio

- Cámara fotográfica digital D700 4F-S DX con objetivo micro Nikkor 40 mm marca Nikon.
- Computadora Intel (R) Core i7-2600 CPU 3.40 GHz.
- Calibre digital de (150 mm) marca Stanley
- Balanza analítica digital marca AND FR-300 cap. De 0.0001 a 310 gr.
- pH-metro INOLAB pH 730
- refractómetro ATAGO HSR-500
- Texturómetro SUNDOO GY-1 Fruit scleromete cap 15x105 Pa.

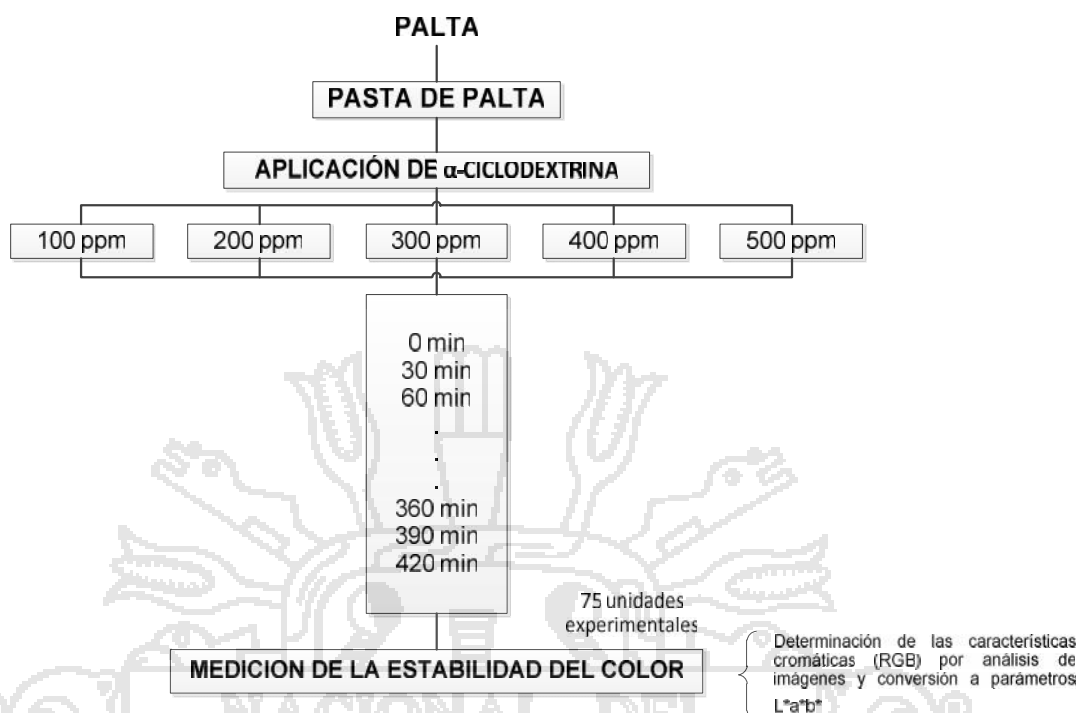
### 3.3.3. Software

- Camera control Pro 2 versión 2.8.001
- ImageJ
- Sigma Plot 12.0 (Exact Graphs and Data Analysis)
- IBM SPSS Statistics 20

## 3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

### 3.4.1. DESCRIPCIÓN DEL DIAGRAMA EXPERIMENTAL PARA EL ESTUDIO DEL EFECTO INHIBITORIO DE LA $\alpha$ -CICLODEXTRINA.

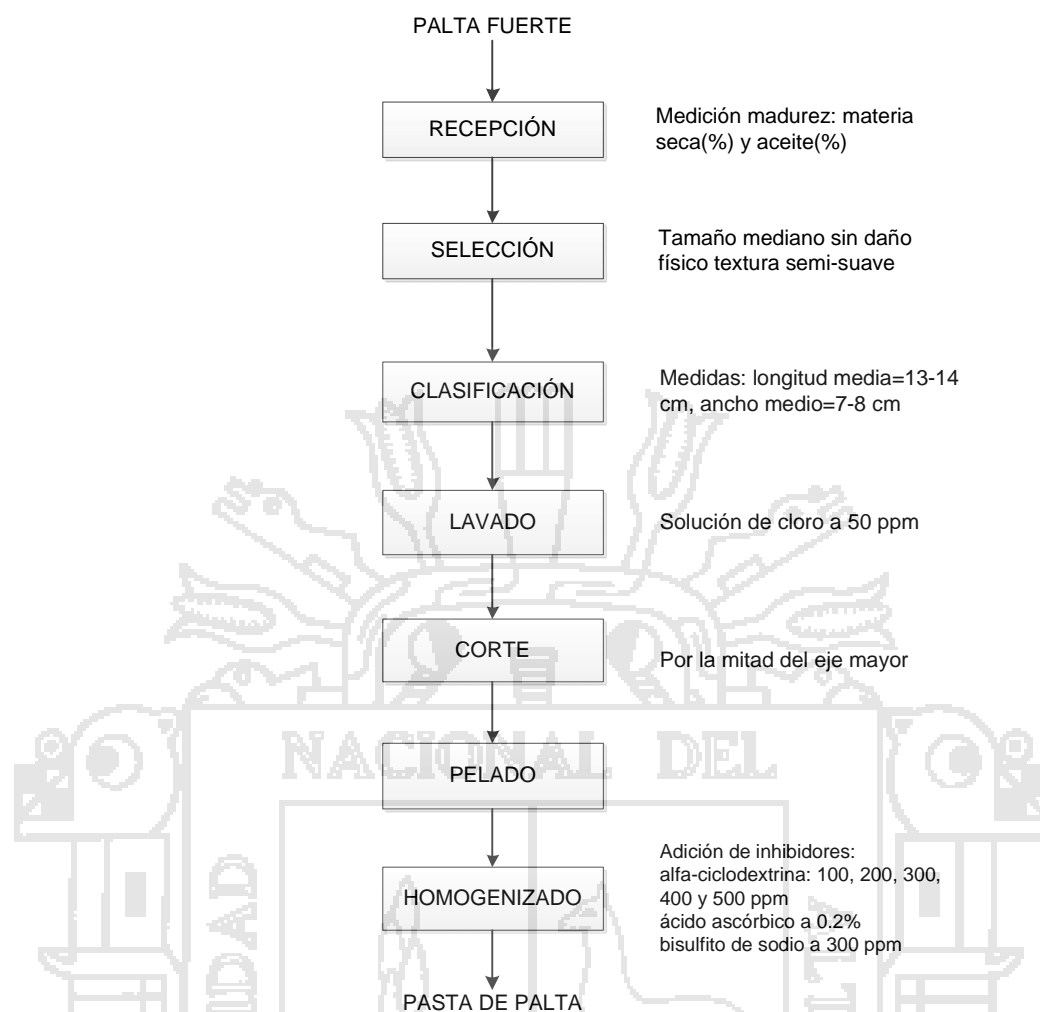
En la Figura 4. Se muestra el diagrama experimental para el estudio del efecto inhibitorio de la  $\alpha$ -ciclodextrina. El experimento comenzó con la elaboración de la pasta de palta; a este producto ya homogenizado se le aplicó cinco concentraciones de  $\alpha$ -ciclodextrina: 100, 200, 300, 400 y 500 ppm. Se manejaron dos variables: la concentración de la  $\alpha$ -ciclodextrina (5 niveles) y el tiempo de evaluación (15 niveles). A estas 75 unidades experimentales se les hizo la edición de la estabilidad de color aplicando el método de análisis de imágenes, de esta manera se determinó sus características cromáticas (RGB), que después fueron transformadas a parámetros de color  $L^*a^*b^*$ .



**Figura 4.** Diagrama experimental para el estudio del efecto inhibitorio de la  $\alpha$ -cilodextrina.

### 3.4.1.1. Metodología para la elaboración de la pasta de palta.

La elaboración de la pasta de palta tanto para el estudio del efecto inhibitorio de la  $\alpha$ -cilodextrina se realizó según el diagrama de flujo mostrado en la en la Figura 5.



**Figura 5.** Diagrama de flujos para la elaboración de la pasta de palta.

### **Descripción del diagrama de flujos para la elaboración de la pasta de palta.**

#### **Recepción de la materia prima.**

En esta etapa se realizó la recepción de las paltas variedad fuerte y se midió sus características fisicoquímicas así como son: sólidos solubles, porcentaje de materia seca, acidez.

#### **Selección y clasificación**

En esta etapa se seleccionó y clasifíco las paltas sin daño físico y de textura de 6.3 Kg/cm<sup>2</sup>, semi-suave, con medidas longitud media de 13-14 cm de largo y 7-8 cm de ancho.



**Lavado**

En esta etapa se eliminaron todas las impurezas que existían en la superficie de la palta, utilizando para ellos una solución de cloro a 50 ppm, y luego se hizo el enjuague con abundante agua.

**Corte**

En esta etapa se cortó la palta por la mitad del eje mayor y se procedió a retirar la semilla

**Pelado**

Se procedió a retirar la cascara y a eliminar el material más dura y áspera de la pulpa.

**Homogenizado**

La pulpa libre de todo elemento extraño se envaso en una bolsa plástica y se procedió a disminuir el tamaño de la pulpa con un rodillo de madera, dando una mejor apariencia a la pulpa hasta obtener una pasta bien homogénea y fina, en esta etapa se adiciono las concentraciones de  $\alpha$ -ciclodextrina : 100, 200, 300, 400 y 500 ppm.

### **3.4.2. DESCRIPCIÓN DEL DIAGRAMA EXPERIMENTAL PARA LA COMPARACIÓN DE LA $\alpha$ -CICLODEXTRINA CON EL ÁCIDO ASCÓRBICO Y BISULFITO DE SODIO**

En la Figura 6 se presenta el diagrama experimental para la comparación de efecto inhibitorio de la  $\alpha$ -ciclodextrina con el ácido ascórbico y bisulfito de sodio. El experimento comenzó con la elaboración de la pasta de palta; a este producto ya homogenizado se le aplico los inhibidores: ácido ascórbico 0.2%,  $\alpha$ -ciclodextrina 400 ppm y bisulfito de sodio 300 ppm. Se manejaron dos variables: Los inhibidores aplicados (3 niveles) y el tiempo de evaluación (15 niveles). A estas 45 unidades experimentales se les hizo la medición de la estabilidad de color por el método de

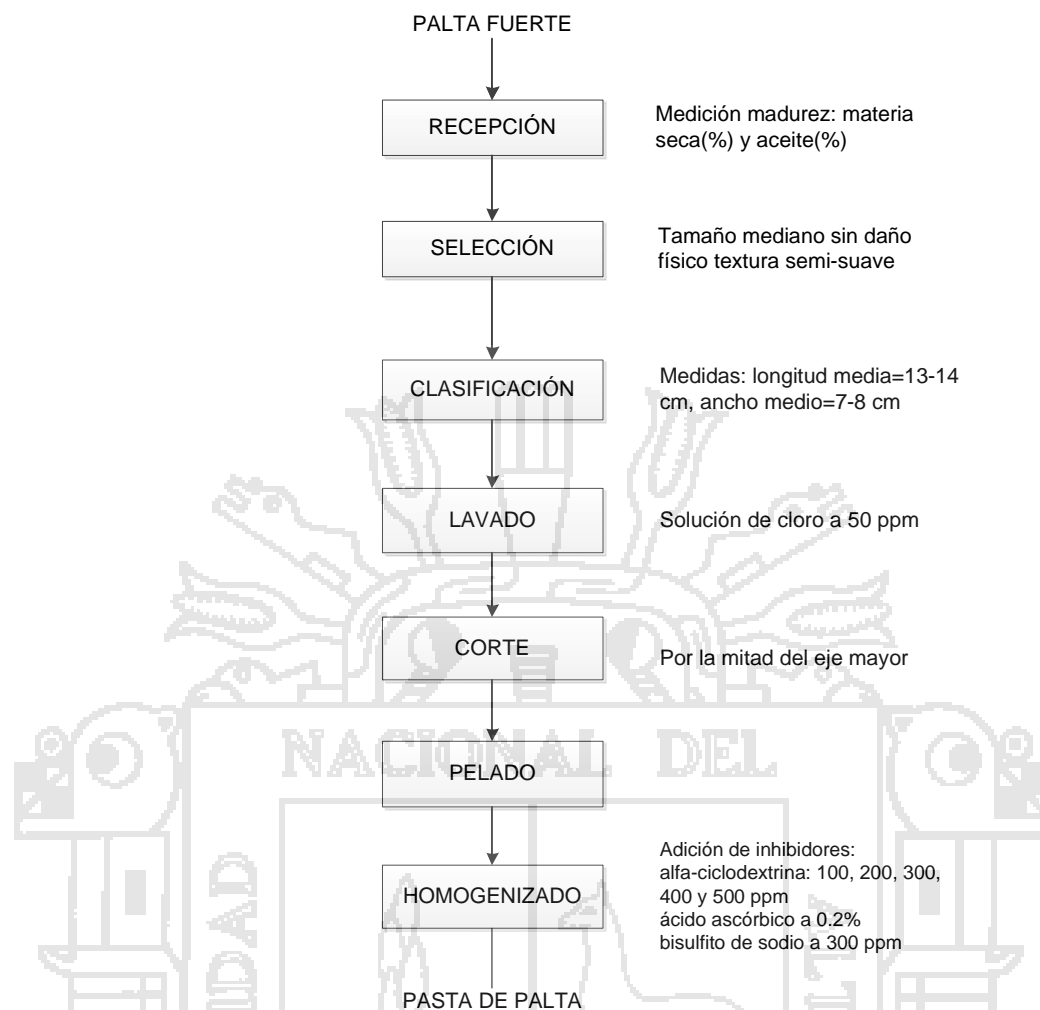
análisis de imágenes, determinando sus características cromáticas (RGB), que después fueron transformarlas a parámetros  $L^*a^*b^*$ , para su análisis posterior.



**Figura 6.** Diagrama del esquema experimental para la comparación del efecto inhibitorio de la  $\alpha$ -ciclodextrina, ácido ascórbico y bisulfito de sodio.

#### 3.4.2.1. Metodología para la elaboración de la pasta de palta.

La elaboración de la pasta de palta tanto para el estudio del efecto inhibitorio de la  $\alpha$ -ciclodextrina y su comparación con el ácido ascórbico y bisulfito de sodio se realizó según el diagrama de flujos mostrado en la en la Figura 7.



**Figura 7.** Diagrama de flujos para la elaboración de la pasta de palta.

### **Descripción del diagrama de flujos para la elaboración de la pasta de palta.**

#### **Recepción de la materia prima**

En esta etapa se realizó la recepción de las paltas variedad fuerte y se midió sus características fisicoquímicas así como son: sólidos solubles, porcentaje de materia seca, acidez.

#### **Selección y clasificación**

En esta etapa se seleccionó y clasifíco las paltas sin daño físico y de textura de 6.3 Kg/cm<sup>2</sup>, semi-suave, con medidas longitud media de 13-14 cm de largo y 7-8 cm de ancho.

### **Lavado**

En esta etapa se eliminaron todas las impurezas que existían en la superficie de la palta, utilizando para ellos una solución de cloro a 100 ppm, y luego se hizo el enjuague con abundante agua.

### **Corte**

En esta etapa se cortó la palta por la mitad del eje mayor y se procedió a retirar la semilla

### **Pelado**

Se procedió a retirar la cascara y a eliminar el material más dura y áspera de la pulpa

### **Homogenizado**

La pulpa libre de todo elemento extraño se envaso en una bolsa plástica y se procedió a disminuir el tamaño de la pulpa con un rodillo de madera, dando una mejor apariencia a la pulpa hasta obtener una pasta bien homogénea y fina, en esta etapa se adicionaron las sustancias inhibidoras para los tratamientos, así como son: la - ciclodextrina 400 ppm, ácido ascórbico 0.2% y bisulfito de sodio 300 ppm.

## **3.5. MÉTODOS DE ANÁLISIS**

### **3.5.1. DETERMINACIÓN DE LOS ÍNDICES DE MADUREZ (MÉTODO EMPLEADO POR CHÁVEZ, 2010).**

#### **3.5.1.1. Determinación de porcentaje de materia seca y aceite:**

1. Se procedió a hacer dos cortes longitudinales, quedando el fruto dividido en 4 partes. Luego se sacó la semilla y la cutícula de todas las rebanadas.
2. Se taró una placa Petri en la balanza analítica y se rotuló la muestra.
3. En la placa Petri se la pulpa de palta hasta completar 10 gr.

4. Luego se colocó la muestra en una estufa a 40 C° por aproximadamente 48 horas, hasta llegar a un peso constante.
5. Teniendo entonces, los datos de peso inicial (húmedo) y final (seco), se logró establecer el porcentaje de materia seca de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\%M = \frac{P - T}{P - T} \times 100 \quad (2)$$

Dónde:

%MS: Porcentaje de materia seca.

PS: Peso seco (peso final) (g).

PF: Peso fresco (peso inicial) (g).

T: Peso placa petri (g)

Al haber obtenido el porcentaje de materia seca, se logró calcular el porcentaje de aceite de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$A = 1.125 \times \%M - 14.022 \quad (3)$$

### 3.5.2. MEDICIÓN DE LA ESTABILIDAD DEL COLOR

La medición de la estabilidad del color y sus cambios se realizó a través de análisis de imágenes tomadas con una cámara digital D700. A las imágenes tomadas primeramente se procedió a la extracción de sus parámetros RGB: (R) rojo, (G) verde, (B) azul; utilizando el software ImageJ. (Vilca, 2013) y después se convirtieron a parámetros L\*a\*b\*, siguiendo la metodología de, León *et al.*, (2006).

### 3.5.2.1. Adquisición de las imágenes

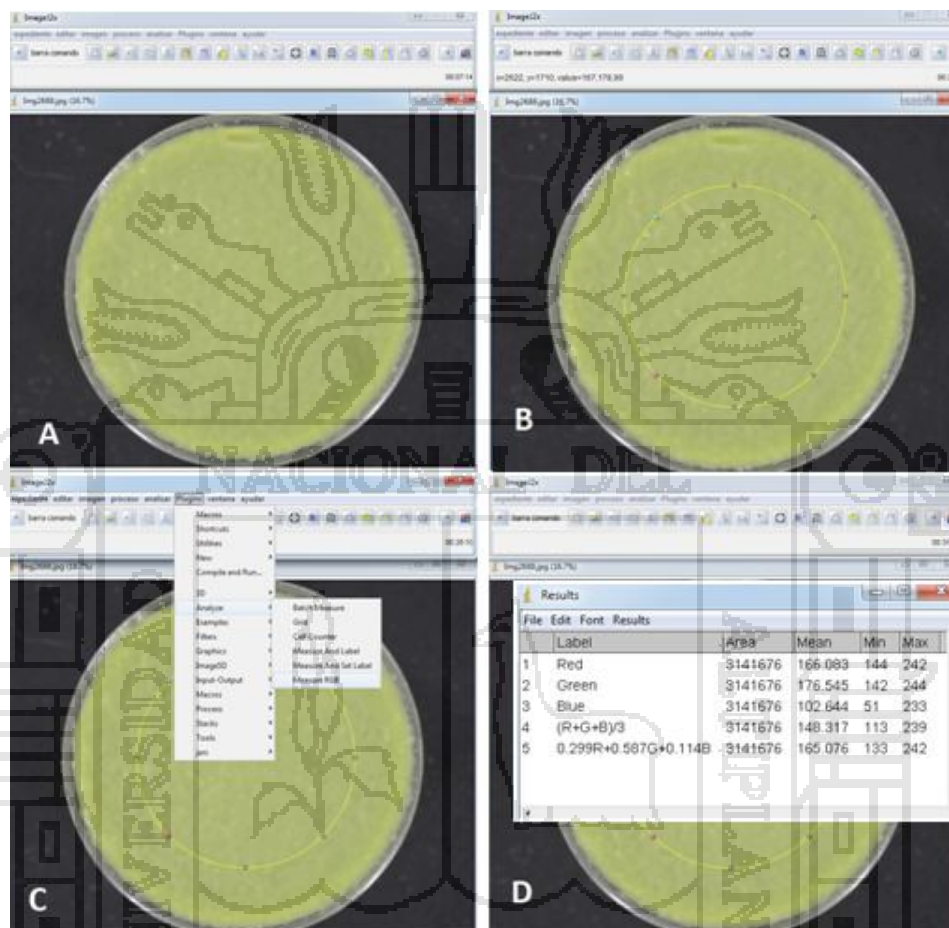
La obtención de la imagen digital de las muestras de pasta de palta se realizó en intervalos de 30 min y durante un tiempo de 420 min, se realizó mediante un montaje de visión computacional y captura similar al desarrollado por León *et al.*, (2006). El sistema consiste en una caja de color negro con sistemas de iluminación en cada arista de la caja y con soporte para la cámara digital, ubicada verticalmente a 20 cm de la superficie de las muestras. El manejo de la cámara se realizó a través del software camera control Pro 2, conectado al puerto USB de la computadora, las imágenes fueron capturadas a su máxima resolución (4928x3262 píxeles). A continuación se presentan los ajustes realizados en la cámara fotográfica:

Ajustes de disparo:

- Flash: apagado obligatorio
- Velocidad ISO: ISO-100
- Diafragma: f/22
- Modo de medición: matricial
- Modo de enfoque: AF-S
- Tamaño/calidad: buena
- Distancia focal: 40 mm

### 3.5.2.2. Determinación del color RGB

Las medidas de color RGB: (R) rojo, (G) verde y (B) azul fueron extraídas de las imágenes utilizando el software ImageJ. (Vilca, 2013). Como se observa en la Figura 8.



**Figura 8.** Determinación del color RGB: (a) imagen a analizar, (b) área seleccionada, (c) análisis de medias RGB, (d) resultados.

### 3.5.2.3. Cinética de los cambios de color

Para los estudios de la cinética del pardeamiento enzimático se usó el modelo cinético de orden cero que fue utilizado por Gutiérrez et al., (2007) para la Evaluación cromática de puré de palta. Este modelo ha sido usado para evaluar la degradación del color en alimentos y se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$C = C_0 + k_0 t \quad (4)$$

Donde C es el valor del parámetro de color medido,  $C_0$  es el C inicial, el tiempo de evaluación del tratamiento y k es la velocidad de cambio de los parámetros de color medidos ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ).

### 3.6. UNIDADES DE ANÁLISIS Y OBSERVACIONES

#### 3.6.1. ESTUDIOS DEL EFECTO INHIBITORIO DE LA $\beta$ -CICLODEXTRINA

##### 3.6.1.1. Variables independientes

###### Concentración de $\beta$ -ciclodextrina

- $\beta$ -ciclodextrina 100 ppm (T1)
- $\beta$ -ciclodextrina 200 ppm (T2)
- $\beta$ -ciclodextrina 300 ppm (T3)
- $\beta$ -ciclodextrina 400 ppm (T4)
- $\beta$ -ciclodextrina 500 ppm (T5)

###### Tiempo de evaluación

- 0, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 360, 390, 420 min para (T1), (T2), (T3), (T4) y (T5)

##### 3.6.1.2. Variables dependientes

- Características de color : Luminancia ( $L^*$ ), Cromaticidad verde-rojo ( $a^*$ ), Cromaticidad amarillo-azul ( $b^*$ ) y Variación total del color (VTC)



### 3.6.2. COMPARACIÓN DE EFECTO INHIBITORIO DE LA - CICLODEXTRINA CON OTROS INHIBIDORES

#### 3.6.2.1. Variables independientes

##### Inhibidores

- Ácido ascórbico 0.2% (Ta)
- -ciclodextrina 400 ppm (Tb)
- Bisulfito de sodio 300 ppm (Tc)

##### Tiempo de evaluación

- 0, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 360, 390, 420 min para (Ta), (Tb) y (Tc)

#### 3.6.2.2. Variables dependientes

- Características de color : Luminancia ( $L^*$ ), Cromaticidad verde-rojo ( $a^*$ ), Cromaticidad amarillo-azul ( $b^*$ ) y Variación total del color (VTC)

### 3.7. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.7.1. Diseño para el efecto inhibitorio de la -ciclodextrina

Para procesar los datos obtenidos durante la investigación se aplicó el análisis de varianza (ANOVA), con un 95.0% de significancia y el test de Duncan (P 0.05) para determinar las posibles diferencias entre los tratamientos de -ciclodextrina . Se trabajó con el programa IBM SPSS Statistics 20.

Los factores de estudio fueron la concentración de  $\alpha$ -ciclodextrina y el tiempo de evaluación. Se utilizó un experimento factorial bajo el diseño completo al azar (DCA) con 3 repeticiones, ajustado al siguiente modelo lineal aditivo:

$$Y_{ij} = u + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

$i$ =niveles del factor A

$j$ =niveles del factor B

$k$ =número de repeticiones

$Y_{ijk}$ =Variable de respuesta de la  $k$ -ésima observación ( $L \times a \times b$  y VTC)

$u$ =media de la población a la cual pertenecen las observaciones

$\alpha_i$ =efecto del  $i$ -ésimo nivel del factor A

$\beta_j$ =efecto del  $j$ -ésimo nivel del factor B

$(\alpha\beta)_{ij}$ =efecto de la interacción de  $i$ -ésimo nivel del factor A con el  $j$ -ésimo nivel del factor B

$\varepsilon_{ijk}$ =efecto del error experimental

**Tabla 4.** Formato de recolección de datos

Concentración n - ciclodextrina	T1			T2			T3			T4			T5		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Tiempo (min)															
0															
30															
60															
90															
120															
150															
180															
210															
240															
270															
300															
330															
360															
390															
420															

Dónde:

T1, T2, T3, T4 y T5= tratamientos de  $\alpha$ -ciclodextrina

0, 30, 60,.....390, 420=Tiempo en minutos.

1, 2 y 3= número repeticiones

### 3.7.2. Diseño para la comparación del efecto inhibitorio de la $\alpha$ -ciclodextrina con el ácido ascórbico y bisulfito de sodio.

Para procesar los datos obtenidos durante la investigación se aplicó el análisis de varianza (ANOVA), con un 95.0% de significancia y el test de Duncan (P 0.05) para determinar las posibles diferencias entre los tratamientos inhibidores  $\alpha$ -ciclodextrina, ácido ascórbico y bisulfito de sodio. Se trabajó con el programa IBM SPSS Statistics 20.

Los factores de estudio fueron los inhibidores y el tiempo de evaluación. Se utilizó un experimento factorial bajo el diseño completo al azar (DCA) con 3 repeticiones, ajustado al siguiente modelo lineal aditivo:

$$Y_{ij} = u + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

$i$ =niveles del factor A

$j$ =niveles del factor B

$k$ =número de repeticiones

$Y_{ijk}$ =Variable de respuesta de la  $k$ -ésima observación ( $L*a*b^*$  y VTC)

$u$ =media de la población a la cual pertenecen las observaciones

$\alpha_i$ =efecto del  $i$ -ésimo nivel del factor A

$\beta_j$ =efecto del  $j$ -ésimo nivel del factor B

$(\alpha\beta)_{ij}$ =efecto de la interacción de  $i$ -ésimo nivel del factor A con el  $j$ -ésimo nivel del factor B

$\varepsilon_{ijk}$ =efecto del error experimental

Para la recolección de datos se utilizó el formato mostrado en la tabla 6, donde se registraron todos los datos experimentales para cada variable de respuesta.

**Tabla 5.** Formato de recolección de datos

Inhibidor	Ta			Tb			Tc		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Tiempo (min)									
0									
30									
60									
90									
120									
150									
180									
210									
240									
270									
300									
330									
360									
390									
420									

Dónde:

Ta: Tratamiento ácido ascórbico

Tb: Tratamiento -ciclodextrina

Tc: Tratamiento Bisulfito de Sodio

0, 30, 60,.....390, 420=Tiempo en minutos.

1, 2 y 3= número repeticiones

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1. DETERMINACIÓN DE LOS ÍNDICES DE MADUREZ DE LA MATERIA

#### PRIMA

**Tabla 6.** Contenido de materia seca y aceite de palta var. Fuerte

Pruebas	Valores
Materia seca (%)	29.342 ± 0.672
Aceite (%)	18.615 ± 0.213

El contenido de aceite determinado concuerda con el rango establecido (17 a 20% de aceite) por Slater *et al.* (1975), como característica de la palta variedad fuerte. Este contenido de aceite es representativo de la madurez de la fruta, ya que la tendencia es que aumente a medida que madura la palta. Lee (1981), argumenta que el porcentaje de materia seca tiene un alto grado de correlación con el contenido de aceite de palta; el mínimo requerido de materia seca varía de 19 a 25 %, dependiendo del cultivo (19,0% para "Fuerte"; 20,8% "Hass" y 24,2% "Gwen"). Según los resultados obtenidos (Tabla 3), vemos que para la materia seca y el aceite se obtuvieron valores superiores al dado por la bibliografía lo cual indica que se usó una palta madura, la cual alcanzó sus valores máximos; siendo esto conveniente para la elaboración de la pasta, ya que se logró una pasta uniforme y homogénea.

### 4.2. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD INHIBITORIA DE LA - CICLODEXTRINA

En la Tabla 7 se muestran los valores iniciales (tiempo=0 min) y finales (tiempo=420 min) de los parámetros L\*, a\* y b\*; además de la variación total del color

(VTC) en el tiempo final de evaluación (tiempo = 420 min) para el Testigo, T1, T2, T3, T4 y T5. Durante el experimento se observó, que el testigo y todos los tratamientos presentaron cambios de los parámetros  $L^*a^*b^*$  (ver anexo I), siendo estos cambios más significativos para el tratamiento a para el Testigo seguida de T1, T2 y T3 en el mismo orden, presentando valores de VTC finales (tiempo = 420 min) de  $30.866 \pm 1.007$ ,  $24.915 \pm 0.292$ ,  $19.066 \pm 0.569$ ,  $13.937 \pm 0.554$  respectivamente. En cambio los tratamientos a T4 y T5 solo sufrieron cambios leves y similares, presentando valores VTC finales (tiempo=420 min) de  $6.533 \pm 0.251$  y  $6.038 \pm 0.698$  respectivamente. En general todos los tratamientos sufrieron menos cambios que el testigo que tuvo un valor VTC al final del tratamiento demostrando de esta manera el efecto inhibitorio de la  $\alpha$ -ciclodextrina en diferente grado y en relación directa a la concentración empleada. Al respecto Alvares *et al.*, (2005), dice que esta inhibición por parte de la  $\alpha$ -ciclodextrina se explica debido a que, los sustratos de la PPO (compuestos fenólicos) forman complejos de inclusión y que al estar el sustrato en el interior de la cavidad de la ciclodextrina, la PPO no es capaz de oxidarlo, con lo cual se observa una inhibición de la actividad de esta enzima, al disminuir la concentración de sustrato disponible.

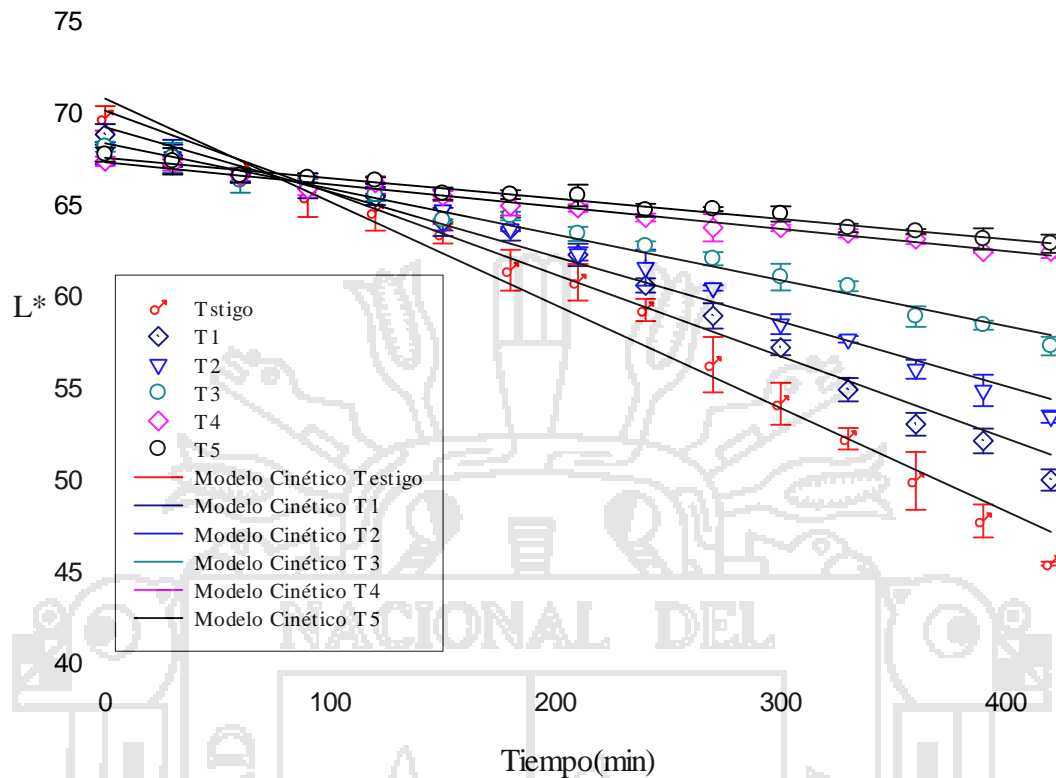
**Tabla 7.** Valores iniciales y finales de los parámetros L\*, a\*, b\* y VTC, para el Testigo, T1, T2, T3, T4 y T5

Concentración	Tiempo inicial = 0 min			Tiempo final = 420 min			Imagen	VTC
	L*	a*	b*	L*	a*	b*		
<b>Testigo</b>	69.654±0.668	-12.697±0.204	34.433±0.274	45.382±0.101	-2.636±0.517	18.242±0.571		30.866±1.007
<b>T1</b>	68.776±0.561	-12.729±0.002	34.428±0.153	49.943±0.580	-3.710±0.152	20.883±0.926		24.915±0.292
<b>T2</b>	67.748±0.584	-12.729±0.117	34.553±0.050	53.390±0.335	-4.365±0.241	25.218±0.579		19.066±0.569
<b>T3</b>	68.110±0.272	-12.771±0.041	34.577±0.051	57.240±0.503	-7.482±0.185	27.656±0.226		13.937±0.554
<b>T4</b>	67.310±0.251	-12.769±0.032	34.506±0.010	62.399±0.358	-10.443±0.102	30.882±0.184		6.533±0.251
<b>T5</b>	67.676±0.387	-12.757±0.030	34.479±0.038	62.820±0.495	-10.783±0.060	31.515±0.086		6.038±0.698



#### 4.2.1. Estudio de los cambios en la luminancia ( $L^*$ )

La Figura 9 ilustra la evolución de la luminancia ( $L^*$ ) para los diversos tratamientos de  $\alpha$ -ciclodextrina en la pasta de palta, en función del tiempo (ver anexo I). Se puede observar que existe una caída acusada en los valores de  $L^*$ , para todos los tratamientos a medida que se incrementa el tiempo, pasando de valores iniciales ( $t=0$  min)  $69.654 \pm 0.668$ ,  $67.676 \pm 0.561$ ,  $67.748 \pm 0.584$ ,  $68.110 \pm 0.272$ ,  $70.310 \pm 0.251$  y  $68.776 \pm 0.387$  a valores finales ( $t=420$  min)  $45.382 \pm 0.101$ ,  $49.943 \pm 0.580$ ,  $53.390 \pm 0.335$ ,  $57.240 \pm 0.503$ ,  $62.399 \pm 0.358$  y  $62.820 \pm 0.495$  para el Testigo, T1, T2, T3, T4 y T5 respectivamente, esto resultó ser de carácter significativo para el Testigo seguido T1, T2 y T3. En cambio los tratamientos T4 y T5 presentaron cambios leves en la luminancia ( $L^*$ ). Dado que la coordenada  $L^*$  cuantifica la luminosidad, el descenso de este parámetro puede tomarse como un indicador del grado de oscurecimiento de las muestras, y por tanto, como una medida del avance del pardeamiento (Labuza *et al.*, 1990). Por otro en un estudio de inhibición del pardeamiento enzimático en zumo de manzana en ausencia y presencia de ciclodextrinas (López *et al.*, 2006), determinaron que a medida de que se incrementaba la concentración de  $\alpha$ -ciclodextrina se obtenía menor descenso de la luminosidad ( $L^*$ ), nuestros resultados concuerdan en lo dicho por este autor, pues el incremento de la concentración de la  $\alpha$ -ciclodextrina tuvo efecto sinérgico sobre el pardeamiento enzimático de la pasta de palta.



**Figura 9.** Evolución de la Luminosidad ( $L^*$ ) en la pasta de palta para el Testigo, T1, T2, T3, T4 y T5 en función del tiempo y ajuste de los datos experimentales al modelo cinético de orden cero.

En la Tabla 8 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para la luminancia ( $L^*$ ) el cual nos indica que existe diferencias altamente significativas ( $P < 0.01$ ) para el factor concentración, factor tiempo y la interacción. Como la interacción es significativa, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para los efectos simples para obtener conclusiones.

**Tabla 8.** Análisis de varianza (ANOVA) para luminancia (L\*).

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc.	Sig.
Concentración(A)	5	1301.04069	260.20813	770.00780	**
Tiempo(B)	14	4343.36229	310.24016	918.06255	**
AxB	70	1300.72961	18.58185	54.98740	**
Error exp.	180	60.82725	0.33792		
TOTAL	269	7005.95984			

Para el factor concentración se realizó la prueba de comparación de Duncan (ver Tabla 9). Donde se distingue que los valores de L\* son diferentes para todos los tratamientos, incluyendo al testigo. Se aprecia también que el testigo presentó el valor más bajo de L\* ; pero es seguida a su vez por los tratamientos T1, T2, T3, T4 Y T5 en ese mismo orden, indicando así, que el oscurecimiento de las muestras de pasta de palta va disminuyendo a medida que se va incrementando la concentración de  $\alpha$ -ciclodextrina.

**Tabla 9.** Prueba de comparación múltiple de Duncan para la luminancia (L\*) según concentración de  $\alpha$ -ciclodextrina,  $\alpha=0.05$ 

Concentración	Media	
Testigo	58.920 $\pm$ 7.631	a
T1	60.696 $\pm$ 6.076	b
T2	61.763 $\pm$ 4.791	c
T3	63.060 $\pm$ 3.369	d
T4	64.724 $\pm$ 1.632	e
T5	65.167 $\pm$ 1.504	f

n=45

Para el factor tiempo se realizó la prueba de comparación de Duncan (ver Tabla 10). Se distinguen que todos los resultados son diferentes para todos los tiempos, observándose una disminución de L\* en tiempo.

**Tabla 10.** Prueba de comparación múltiple de Duncan para la luminancia ( $L^*$ ) según el tiempo,  $\alpha=0.05$

Tiempo(min)	Media	
0	68.212 $\pm$ 0.863	a
30	67.401 $\pm$ 0.182	b
60	66.525 $\pm$ 0.166	c
90	65.962 $\pm$ 0.363	d
120	65.579 $\pm$ 0.621	e
150	64.515 $\pm$ 0.854	f
180	63.889 $\pm$ 1.432	g
210	63.127 $\pm$ 1.760	h
240	62.141 $\pm$ 2.123	i
270	60.987 $\pm$ 3.148	j
300	59.803 $\pm$ 3.986	k
330	58.708 $\pm$ 4.652	l
360	57.376 $\pm$ 5.461	m
390	56.409 $\pm$ 6.018	n
420	55.196 $\pm$ 6.948	o

n=18

La Tabla 11 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para los efectos simples para la interacción concentración-tiempo. Se observa lo siguiente:

En el tiempo 0 min: Se encontró diferencia altamente significativa entre los diferentes niveles de  $\alpha$ -ciclodextrina aplicados a las muestras, es decir hay diferencia significativa entre los niveles de  $\alpha$ -ciclodextrina con el tiempo.

En los tiempos de 30, 60 y 90 min no se encontró diferencia estadística entre los diferentes niveles de  $\alpha$ -ciclodextrina, es decir no hay diferencia significativa entre los niveles de  $\alpha$ -ciclodextrina con el tiempo.

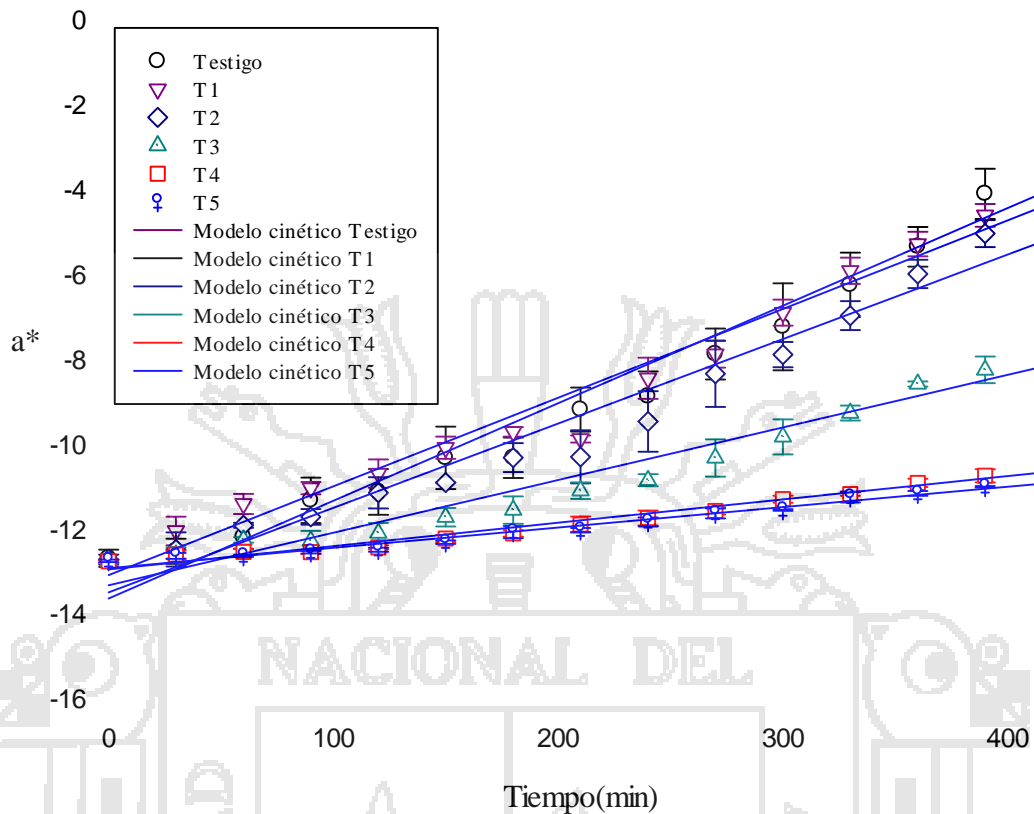
En los tiempos 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390 y 420 min, se encontró diferencias altamente significativas entre los diferentes niveles de  $\alpha$ -ciclodextrina, es decir hay diferencia significativa entre los niveles de  $\alpha$ -ciclodextrina con el tiempo.

**Tabla 11.** Análisis de varianza (ANOVA) de efectos simples para la interacción concentración tiempo.

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	Sig.
Efecto simple del tratamiento (A) a 0 min	5	11.17	2.230	6.610	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 30 min	5	0.500	0.100	0.290	ns
Efecto simple del tratamiento (A) a 60 min	5	0.410	0.080	0.240	ns
Efecto simple del tratamiento (A) a 90 min	5	1.970	0.390	1.170	ns
Efecto simple del tratamiento (A) a 120 min	5	5.790	1.160	3.430	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 150 min	5	10.930	2.190	6.470	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 180 min	5	30.740	6.150	18.200	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 210 min	5	46.480	9.300	27.510	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 240 min	5	67.600	13.520	40.010	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 270 min	5	148.630	29.730	87.960	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 300 min	5	238.350	47.670	141.070	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 330 min	5	324.560	64.910	192.090	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 360 min	5	447.280	89.460	264.720	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 390 min	5	543.290	108.660	321.540	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 420 min	5	724.060	144.810	428.530	**
Efecto simple del tiempo (B) en el Testigo	14	2445.690	174.190	516.950	**
Efecto simple del tiempo (B) en T1	14	1550.560	110.750	327.740	**
Efecto simple del tiempo (B) en T2	14	964.200	67.870	203.800	**
Efecto simple del tiempo (B) en T3	14	476.690	34.050	100.760	**
Efecto simple del tiempo (B) en T4	14	111.920	7.990	23.660	**
Efecto simple del tiempo (B) en T5	14	95.030	6.790	20.090	**

#### 4.2.2. Estudio de los cambios del parámetro $a^*$

En Figura 10 se observa como  $a^*$  tiende a aumentar con el tiempo para el Testigo y para todos los tratamientos (ver anexo I), partiendo de valores iniciales ( $t=0$  min) -  $12.697 \pm 0.204$ ,  $-12.729 \pm 0.002$ ,  $-12.729 \pm 0.117$ ,  $-12.771 \pm 0.041$ ,  $-12.769 \pm 0.032$  y  $-12.757 \pm 0.030$  hasta alcanzar el valores finales ( $t=420$  min) de  $-2.636 \pm 0.517$ ,  $-3.710 \pm 0.152$ ,  $-4.365 \pm 0.241$ ,  $-7.482 \pm 0.185$ ,  $-10.443 \pm 0.102$ ,  $-10.783 \pm 0.060$  para el Testigo, T1, T2, T3, T4 y T5 respectivamente. Estos cambios fueron significativos para el Testigo pero fueron seguidos por T1, T2 y T3. Para los tratamientos a T4 y T5 se ve solo un leve aumento de  $a^*$ . Como puede verse, el aumento concentraciones de  $\alpha$ -ciclodextrina provocaron significativamente valores más bajos de  $a^*$ . Estos hallazgos concuerdan con los presentados por Hicks *et al.*, (1996), que mide los cambios de rojo – verde ( $a^*$ ) en el jugo de manzana en ausencia y presencia de ciclodextrinas. Debido a que el color predominante en pasta es el color verde se utilizó el valor de  $a^*$  como parámetro fundamental para la descripción de la alteración en la estabilidad del color en la pasta de palta, pues de acuerdo a Castañer *et al.*, (1996) la coordenada  $a^*$  es adecuada para evaluar el pardeamiento enzimático, por evaluar el cambio de color verde-rojo. Al respecto de estos cambios en  $a^*$ , en estudios realizados por López-Malo *et al.* (1999) en pasta de palta, reportan la dependencia de la pérdida del componente de color verde debida al tiempo y la actividad de la PPO. Los resultados obtenidos corroboran las afirmaciones de estos autores, pues todos los tratamientos sufrieron cambios e incrementos en el parámetro  $a^*$ , y que además presentan valores negativos, es decir, se aprecian cambios en la coloración verde de este parámetro.



**Figura 10.** Evolución del parámetro de color  $a^*$  en pasta de palta para el Testigo, T1, T2, T3, T4 y T5 en función del tiempo y ajuste de los datos experimentales al modelo cinético de orden cero.

En la Tabla 12 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para el parámetro  $a^*$  el cual nos indica que existe diferencias altamente significativas ( $P < 0.01$ ) para el factor concentración, factor tiempo y la interacción. Como la interacción es significativa, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para los efectos simples, para obtener conclusiones.

**Tabla 12.** Análisis de varianza (ANOVA) para parámetro de color a\*

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc.	Sig.
Concentración(A)	5	486.80158	97.36031	905.94580	**
Tiempo(B)	14	975.43261	69.67375	648.32008	**
AxB	70	258.61642	3.69452	34.37781	**
Error exp.	180	19.34426	0.10746		
TOTAL	269	1740.19489			

Para el factor concentración se realizó la prueba de comparación de Duncan (ver Tabla 13). Donde se distingue el tratamiento T1 y el Testigo presentan valores similares de a\*, es decir que los efectos del tratamiento son similares con el testigo, que presenta menos coloración verdosa. Se distingue también que los tratamientos T4 Y T5 presentan valores similares de a\*, es decir que los efectos de estos tratamientos son similares, siendo estos tratamientos los que presentan mayor coloración verdosa, por presentar valores menores de a\*.

**Tabla 13.** Prueba de comparación múltiple de Duncan para el parámetro a\* según concentración de  $\alpha$ -ciclodextrina,  $\alpha=0.05$ 

Concentración	Media	
Testigo	-8.806 $\pm$ 3.150	a
T1	-8.695 $\pm$ 2.848	ab
T2	-9.311 $\pm$ 2.731	c
T3	-10.737 $\pm$ 1.702	d
T4	-11.806 $\pm$ 0.747	e
T5	-11.918 $\pm$ 0.655	ef

n=45

Para el factor tiempo se realizó la prueba de comparación de Duncan (ver Tabla 14). Se distinguen que todos los resultados son diferentes para todos los tiempos,



observándose un incremento  $a^*$  en el tiempo, que se refleja en una disminución del componente verde en las muestras de pasta de palta.

**Tabla 14.** Prueba de comparación múltiple de Duncan para el parámetro  $a^*$  según el tiempo,  $\alpha=0.05$

Tiempo(min)	Media
0	-12.742 ± 0.029 a
30	-12.490 ± 0.222 b
60	-12.164 ± 0.448 c
90	-11.914 ± 0.646 d
120	-11.669 ± 0.768 e
150	-11.269 ± 0.963 f
180	-11.019 ± 1.026 g
210	-10.736 ± 1.137 h
240	-10.209 ± 1.471 i
270	-9.612 ± 1.793 j
300	-9.124 ± 2.057 k
330	-8.477 ± 2.424 l
360	-7.887 ± 2.727 m
390	-7.297 ± 3.133 n
420	-6.569 ± 3.524 o

n=18

La Tabla 15 presenta el análisis de varianza (ANOVA) para los efectos simples para la interacción concentración-tiempo. Se observa lo siguiente:

En los tiempos 0 y 30 min: No se encontró diferencia estadística entre los diferentes niveles de  $\beta$ -ciclodextrina aplicados a las muestras, es decir no hay diferencia significativa entre los niveles de  $\beta$ -ciclodextrina con el tiempo.

En los tiempos 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390 y 420 min, se encontró diferencias altamente significativas entre los diferentes niveles de  $\beta$ -

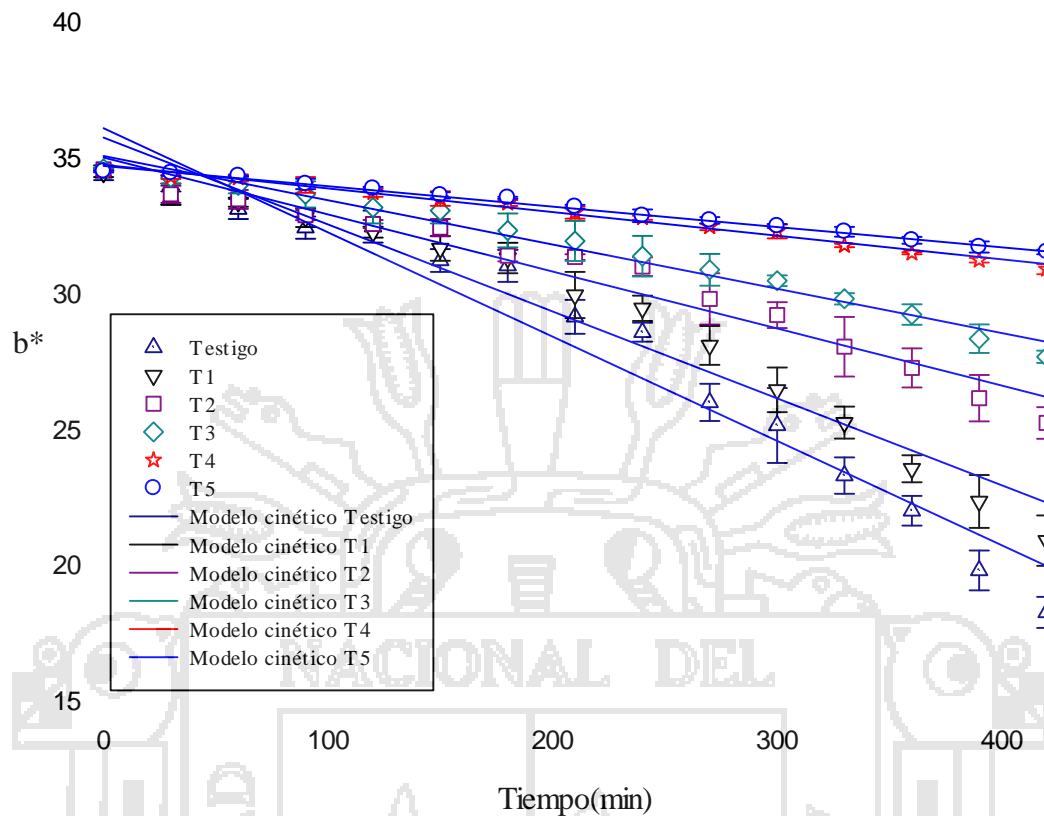
ciclodextrina , es decir hay diferencia significativa entre los niveles de  $\alpha$ -ciclodextrina con el tiempo.

**Tabla 15.** Análisis de varianza (ANOVA) de efectos simples para la interacción concentración tiempo.

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	Sig.
Efecto simple del tratamiento (A) a 0 min	5	0.01	0.00	0.02	ns
Efecto simple del tratamiento (A) a 30 min	5	0.740	0.150	1.380	ns
Efecto simple del tratamiento (A) a 60 min	5	3.020	0.600	5.610	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 90 min	5	6.260	1.250	11.650	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 120 min	5	8.850	1.770	16.470	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 150 min	5	13.900	2.780	25.850	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 180 min	5	15.800	3.160	29.400	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 210 min	5	19.390	3.880	36.080	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 240 min	5	32.470	6.490	60.440	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 270 min	5	48.220	9.640	89.730	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 300 min	5	63.470	12.690	118.120	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 330 min	5	88.160	17.630	164.070	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 360 min	5	111.560	22.310	207.620	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 390 min	5	147.280	29.460	274.080	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 420 min	5	186.300	37.260	346.710	**
Efecto simple del tiempo (B) en el Testigo	14	416.860	29.780	277.060	**
Efecto simple del tiempo (B) T1	14	340.730	24.340	226.460	**
Efecto simple del tiempo (B) T2	14	313.360	22.380	208.280	**
Efecto simple del tiempo (B) T3	14	121.630	8.690	80.840	**
Efecto simple del tiempo (B) T4	14	23.460	1.680	15.590	**
Efecto simple del tiempo (B) T5	14	18.010	1.290	11.970	**

#### 4.2.3. Estudios de los cambios del parámetro $b^*$

La Figura 11 muestra la evolución del parámetro  $b^*$  través del tiempo (ver anexo I). Se puede observar una disminución de este parámetro para el Testigo y para todos los tratamientos, yendo de valores iniciales (tiempo=0 min) de  $34.433 \pm 0.274$ ,  $34.428 \pm 0.002$ ,  $34.553 \pm 0.117$ ,  $34.577 \pm 0.041$ ,  $34.506 \pm 0.032$  y  $34.479 \pm 0.030$  a valores finales (tiempo=420 min) de  $18.242 \pm 0.571$ ,  $20.883 \pm 0.152$ ,  $25.218 \pm 0.241$ ,  $27.656 \pm 0.185$ ,  $30.882 \pm 0.102$  y  $31.515 \pm 0.060$  para el Testigo, T1, T2, T3, T4 y T5 respectivamente. Esta disminución fue significativa para el Testigo seguida de T1, T2 y T3. En cambio los tratamientos T4 y T5 sufrieron cambios leves. Como puede verse, el aumento concentraciones de  $\alpha$ -ciclodextrina provocó un incremento acentuado de  $b^*$ , que mide el cromatismo azul-amarillo (Pérez *et al.*, 2003), Estos hallazgos concuerdan con los presentados por López *et al.*, (2006) para la inhibición del pardeamiento en jugo de manzana. Por otro lado en estudios realizados por Erica *et al.*, (2009) en el color de pasta de palta, muestran también una disminución de este parámetro a medida que el tiempo aumenta, con valores de  $b^*$  positivos e indicando la presencia de componente de color amarillo. Nuestros resultados reafirman lo dicho por estos autores ya que todos los tratamientos muestran valores de  $b^*$  positivos que tienden a disminuir con el tiempo y dependen sinérgicamente de la concentración de  $\alpha$ -ciclodextrina aplicada.



**Figura 11.** Evolución del parámetro de color  $b^*$  en pasta de palta para el Testigo, T1, T2, T3, T4 y T5 en función del tiempo y ajuste de los datos experimentales al modelo cinético de orden cero.

En la Tabla 16 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para el parámetro  $b^*$  el cual nos indica que existe diferencias altamente significativas ( $P < 0.01$ ) para el factor concentración, factor tiempo y la interacción. Como la interacción es significativa, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para los efectos simples, para obtener conclusiones.

**Tabla 16.** Análisis de varianza (ANOVA) para parámetro de color b\*

F. de F.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc.	Sig.
Concentración(A)	5	962.78	192.55524	880.84342	**
Tiempo(B)	14	1999.30	142.80585	653.26500	**
AxB	70	636.96	9.09944	41.62539	**
Error exp.	180	39.349	0.21860		
TOTAL	269	3638.40			

Para el factor concentración se realizó la prueba de comparación de Duncan (ver Tabla 17). Donde se distingue que los efectos de los tratamientos son diferentes. El Testigo presentó menos coloración amarilla, por presentar el mínimo valor del parámetro b\* seguida de los demás tratamientos.

**Tabla 17.** Prueba de comparación múltiple de Duncan para el parámetro b\* según concentración de  $\alpha$ -ciclodextrina,  $\alpha=0.05$ 

Concentración	Media
Testigo	28.013 $\pm$ 5.286 a
T1	29.016 $\pm$ 4.392 b
T2	30.584 $\pm$ 2.878 c
T3	31.635 $\pm$ 2.204 d
T4	32.886 $\pm$ 1.181 e
T5	33.119 $\pm$ 1.004 f

Para el factor tiempo se realizó la prueba de comparación de Duncan (ver Tabla 18). Se distinguen dos grupos con resultados similares que son 30 y 60; 90 y 120. Se observa que en el tiempo 30 y 60 presentan un valor inferior de b\* que en el tiempo 0, que significa que en estos tiempos las muestras de pasta de palta, presentan menos coloración amarilla que en el tiempo 0. En los tiempos 90 y 120 se aprecia menores

valores de  $b^*$ , que tiempos inferiores a éstos; pero a su vez están seguidos de valores de  $b^*$  mucho menores que a tiempos superiores a 120. Se distingue también como el componente amarillo de las muestras de pasta de palta va disminuyendo a medida que el tiempo aumenta.

**Tabla 18.** Prueba de comparación múltiple de Duncan para el parámetro  $b^*$  según el tiempo,  $\alpha=0.05$

Tiempo(min)	Media	
0	34.496 ± 0.061	a
30	33.957 ± 0.405	b
60	33.738 ± 0.507	bc
90	33.285 ± 0.685	d
120	32.990 ± 0.681	de
150	32.564 ± 0.987	f
180	32.136 ± 1.082	g
210	31.409 ± 1.627	h
240	30.994 ± 1.737	i
270	29.969 ± 2.601	j
300	29.325 ± 3.028	k
330	28.391 ± 3.592	l
360	27.565 ± 4.115	m
390	26.580 ± 4.797	n
420	25.732 ± 5.358	o

n=18

La Tabla 19 presenta el análisis de varianza (ANOVA) para los efectos simples para la interacción concentración-tiempo. Se observa lo siguiente:

En los tiempos 0 y 30 min: No se encontró diferencia estadística entre los diferentes niveles de  $\alpha$ -ciclodextrina aplicados a las muestras, es decir no hay diferencia significativa entre los niveles de  $\alpha$ -ciclodextrina con el tiempo.

En los tiempos 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390 y 420 min, se encontró diferencias altamente significativas entre los diferentes niveles de  $\alpha$ -ciclodextrina, es decir hay diferencia significativa entre los niveles de  $\alpha$ -ciclodextrina con el tiempo.

**Tabla 19.** Análisis de varianza (ANOVA) de efectos simples para la interacción concentración tiempo

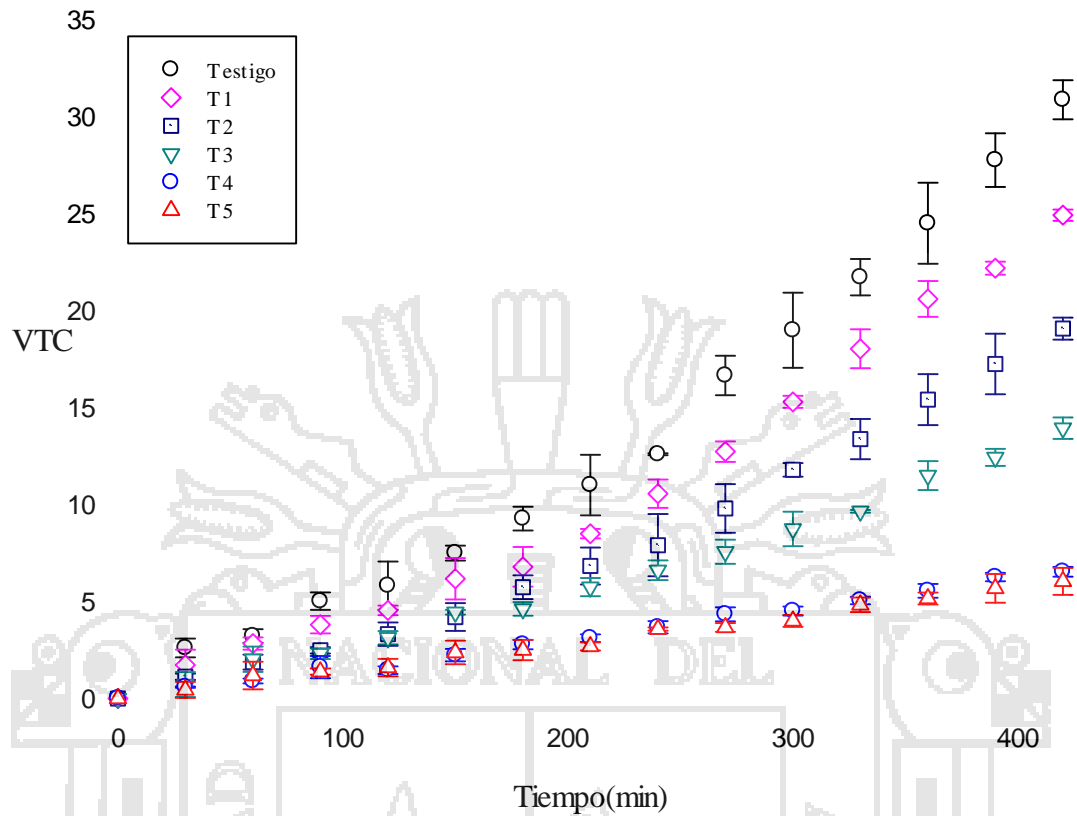
F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	Sig.
Efecto simple del tratamiento (A) a 0 min	5	0,06	0.010	0.050	Ns
Efecto simple del tratamiento (A) a 30 min	5	2.460	0.490	2.250	Ns
Efecto simple del tratamiento (A) a 60 min	5	3.860	0.770	3.530	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 90 min	5	7.040	1.410	6.440	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 120 min	5	6.960	1.390	6.370	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 150 min	5	14.610	2.920	13.360	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 180 min	5	17.570	3.510	16.070	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 210 min	5	39.730	7.920	36.350	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 240 min	5	45.270	9.050	41.420	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 270 min	5	101.510	20.300	92.870	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 300 min	5	137.500	27.500	125.800	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 330 min	5	193.490	38.700	177.020	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 360 min	5	253.950	50.790	232.340	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 390 min	5	345.140	69.030	315.770	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 420 min	5	430.590	86.120	393.950	**
Efecto simple del tiempo (B) en el Testigo	14	1173.530	83.820	383.450	**
Efecto simple del tiempo (B) a T1	14	810.010	57.860	264.670	**
Efecto simple del tiempo (B) a T2	14	347.800	24.840	113.640	**
Efecto simple del tiempo (B) a T3	14	204.020	14.570	66.660	**
Efecto simple del tiempo (B) a T4	14	58.580	4.180	19.140	**
Efecto simple del tiempo (B) a T5	14	42.300	3.020	13.820	**

#### 4.2.4. Estudios de los cambios de la variación total del color (VTC)

La Figura 12. Muestra la evolución de la VTC con respecto al tiempo (Ver anexo I). Se observa que el Testigo y todos los tratamientos sufrieron cambios de VTC en función del tiempo. Los valores finales de VTC al final del experimento (tiempo=420 min) fueron  $30.866 \pm 1.007$ ,  $24.915 \pm 0.292$ ,  $19.066 \pm 0.569$ ,  $13.937 \pm 0.554$ ,  $6.533 \pm 0.251$  y  $6.038 \pm 0.698$  para el Testigo, T1, T2, T3, T4 Y T5 respectivamente. Estos cambios fueron significativos para el Testigo seguido de T1, T2 y T3. Para los tratamientos T4 y T5 se evidencia un leve cambio de color en la pasta de palta y de forma similar.

Uno de los mejores parámetros para describir la variación del color es la variación total del color (VTC) ya que refleja el cambio total en todos los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  (Hutchings, 1994). Como se muestra en la Figura 9 la variación total del color aumenta significativamente con el tiempo de exposición, para el Testigo y los tratamientos. Dado que VTC es  $>1$ , en la mayoría de los casos, los cambios ocurridos fueron perceptibles visualmente (Moreno *et al.*, 2000). Fennema, (2000) indica que estos cambios de color se explican debido a que cuando el tejido vegetal es cortado, golpeado o aplastado existe una disrupción a nivel celular y una exposición de los sustratos de tipo fenolico al oxígeno del aire, siendo convertidos por vía enzimática (PPO) en melaninas, que son compuestos oscuros de color marrón y caracterizan a este tipo de oscurecimiento. Los resultados obtenidos en esta investigación, reafirman lo dicho por estos autores, ya que todos los tratamientos sufrieron cambios de VTC en el tiempo, dando como resultados coloraciones oscuras, asociadas probablemente a la actividad de la PPO.





**Figura 12.** Evolución de la variación total del color (VTC) en pasta de palta para el Testigo, T1, T2, T3, T4 y T5 en función del tiempo.

En la Tabla 20 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para la variación total del color (VTC) el cual nos indica que existen diferencias significativas ( $P < 0.01$ ) para el factor concentración, factor tiempo y la interacción. Como la interacción es significativa, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para los efectos simples, para obtener conclusiones.

**Tabla 20.** Análisis de varianza (ANOVA) para la variación total del color (VTC)

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc.	Sig.
Concentración(A)	5	3676.79968	735.35993	1488.59240	**
Tiempo(B)	14	7241.53223	517.25230	1047.07615	**
AxB	70	2149.96658	30.71380	62.17409	**
Error	180	88.91943	0.49399		
TOTAL	269	13157.21790			

Para el factor concentración se realizó la prueba de comparación de Duncan (ver Tabla 21). Donde se distingue que los efectos de los tratamientos T4 y T5 son similares y los que menos cambios sufrieron en relación al resto de tratamientos. Para el resto de tratamientos se distingue que presentan efectos diferentes siendo el tratamiento a T1 el que presentó la mayor variación del color; pero después del testigo.

**Tabla 21.** Prueba de comparación múltiple de Duncan para la variación total del color (VTC) según concentración de  $\alpha$ -ciclodextrina,  $\alpha=0.05$ 

Concentración	Media
Testigo	13.165 $\pm$ 9.748 a
T1	10.576 $\pm$ 7.990 b
T2	8.008 $\pm$ 6.160 c
T3	6.225 $\pm$ 4.337 d
T4	3.238 $\pm$ 2.098 e
T5	3.004 $\pm$ 1.896 ef

n=45

Para el factor tiempo se realizó la prueba de comparación de Duncan (ver tabla 22). Se distinguen que todos los resultados de VTC son diferentes para todos los tiempos, observándose un incremento de este parámetro con el tiempo.

**Tabla 22.** Prueba de comparación múltiple de Duncan para la variación total del color (VTC) según el tiempo,  $\alpha=0.05$

Tiempo(min)	Media
0	0.000 ± 0.000 a
30	1.199 ± 0.830 b
60	2.004 ± 0.903 c
90	2.768 ± 1.390 d
120	3.308 ± 1.685 e
150	4.484 ± 2.075 f
180	5.280 ± 2.565 g
210	6.308 ± 3.188 h
240	7.482 ± 3.640 i
270	9.123 ± 5.005 j
300	10.549 ± 5.965 k
330	12.105 ± 6.897 l
360	13.782 ± 7.891 m
390	15.256 ± 8.819 n
420	16.892 ± 9.982 o

n=18

La Tabla 23 presenta el análisis de varianza (ANOVA) para los efectos simples para la interacción concentración-tiempo. Se observa lo siguiente:

En el tiempo 0 min: No se encontró diferencia estadística entre los diferentes niveles de  $\alpha$ -ciclodextrina aplicados a las muestras, es decir no hay diferencia significativa entre los niveles de  $\alpha$ -ciclodextrina con el tiempo.

En los tiempos 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390 y 420 min, se encontró diferencias altamente significativas entre los diferentes niveles de  $\alpha$ -ciclodextrina, es decir hay diferencia significativa entre los niveles de  $\alpha$ -ciclodextrina con el tiempo.

**Tabla 23.** Análisis de varianza (ANOVA) de efectos simples para la interacción concentración tiempo

<b>F. de V.</b>	<b>G.L.</b>	<b>S.C.</b>	<b>C.M.</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Efecto simple del tratamiento (A) a 0 min	5	0.000	0.000	0.000	Ns
Efecto simple del tratamiento (A) a 30 min	5	10.370	2.070	4.180	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 60 min	5	12.230	2.450	4.950	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 90 min	5	29.000	5.800	11.740	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 120 min	5	42.570	8.510	17.240	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 150 min	5	64.570	12.910	26.140	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 180 min	5	98.660	19.730	39.950	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 210 min	5	152.430	30.490	61.710	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 240 min	5	198.780	39.760	80.480	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 270 min	5	375.730	75.150	152.120	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 300 min	5	533.640	106.730	216.050	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 330 min	5	713.560	142.710	288.890	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 360 min	5	934.030	186.810	378.150	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 390 min	5	1166.590	233.320	472.310	**
Efecto simple del tratamiento (A) a 420 min	5	1494.640	298.930	605.120	**
Efecto simple del tiempo (B) en el Testigo	14	3990.710	285.050	577.030	**
Efecto simple del tiempo (B) en T1	14	2681.020	191.500	387.660	**
Efecto simple del tiempo (B) en T2	14	1593.740	113.840	230.440	**
Efecto simple del tiempo (B) en T3	14	790.060	56.430	114.240	**
Efecto simple del tiempo (B) en T4	14	184.940	13.210	26.740	**
Efecto simple del tiempo (B) en T5	14	151.040	10.790	21.840	**

#### 4.2.5. Cinética de los cambios de color

En la Tabla 24 se presentan los valores cinéticos para los parámetros de evaluación del color y sus debidas combinaciones. Los cambios de color producidos en la pasta de palta se ajustan a una cinética color de orden cero al presentar un mejor ajuste de los datos.  $k_0$  expresa la velocidad con que cambian los valores de cada parámetro de color estudiado, a medida que la concentración de  $\alpha$ -ciclodextrina aumenta. Se puede observar diferentes valores para  $k_0$ , que incrementan a medida que la concentración de  $\alpha$ -ciclodextrina aumenta, presentando valores de  $k_0$  altos a concentraciones menores y valores bajos a concentraciones mayores. De esta forma el Testigo revela los valores más altos para los parámetros de color analizados y sus respectivas combinaciones, esto se traduce en un cambio significativo para las condiciones cromáticas de la pasta de palta sometida a este tratamiento. Para los tratamientos T4 y T5 se observan valores de  $k_0$  relativamente bajos en el mismo orden.






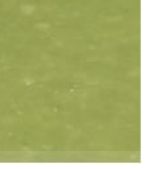


**Tabla 24.** Parámetros del modelo cinético de orden cero utilizada en el ajuste de los datos de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$

Parámetro de color	Concentración	parámetros del modelo cinético de orden cero		
		$C_0$	$K$	$R^2$
$L^*$	Testigo	70.7247	-0.0562	0.9767
	T1	70.0658	-0.0446	0.9706
	T2	69.1749	-0.0353	0.9766
	T3	68.2997	-0.0249	0.9870
	T4	67.2600	-0.0121	0.9847
	T5	67.5024	-0.0111	0.9837
$a^*$	Testigo	-13.6433	0.0230	0.9623
	T1	-13.0928	0.0209	0.9732
	T2	-13.5000	0.0199	0.9602
	T3	-13.3338	0.0124	0.9508
	T4	-12.9596	0.0055	0.9723
	T5	-12.9314	0.0048	0.9776
$b^*$	Testigo	36.0762	-0.0384	0.9498
	T1	35.7264	-0.0320	0.9530
	T2	34.9962	-0.0210	0.9597
	T3	35.0519	-0.0163	0.9812
	T4	34.7233	-0.0087	0.9877
	T5	34.6851	-0.0075	0.9928

#### 4.3. COMPARACIÓN DEL EFECTO INHIBITORIO DE LA - CICLODEXTRINA CON EL ÁCIDO ASCÓRBICO Y BISULFITO DE SODIO

En la Tabla 25 se muestran los valores iniciales (tiempo=0 min) y finales (tiempo=420 min) de los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ; además de la variación total del color (VTC) en el tiempo final de evaluación (tiempo=420 min) para el Testigo y los tratamientos con ácido ascórbico 0.2% (Ta),  $\alpha$ -ciclodextrina 400 ppm (Tb) y bisulfito de sodio 300 ppm (Tc). Se observa cambios en los valores de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  para todos los tratamientos incluyendo el Testigo (ver anexo II), siendo significativo para el Testigo que presentó un valor de VTC final de  $30.775 \pm 0.461$ , seguida de Ta con un valor de VTC final de  $13.647 \pm 0.39$ . El valor VTC para Ta es inferior al del testigo, indicando que existe inhibición del pardeamiento enzimático por el tratamiento. Esta inhibición se asocia a la capacidad reductora del ácido ascórbico que convierte las quinonas en su respectivo fenol (Badui, 1990). Los tratamientos Tb y Tc presentaron cambios menores de los parámetros  $L^*a^*b^*$  en relación al tratamientos Ta y el testigo (ver anexo II), presentando valores de VTC al final del experimento de  $5.909 \pm 0.292$  y  $5.827 \pm 0.151$  para el tratamiento Tb y Tc, respectivamente. Se puede apreciar que el tratamiento Tc presentó menos cambios de los valores de  $L^*a^*b^*$  que el tratamiento Tb, por ende el bisulfito de sodio presentó tener mayor capacidad inhibitoria del pardeamiento enzimático, a esa concentración, que la  $\alpha$ -ciclodextrina, esto se explica debido al hecho de que el bisulfito de sodio no sólo inhibe la PPO directamente, sino que también se combina con o-quinona, previniendo la formación de melanina (Hile-Joon, 1995). Mientras que las ciclodextrinas solo actúan sobre el sustrato de reacción de la PPO que forman complejos de inclusión con la ciclodextrina, disminuyendo la concentración de sustrato libre que pueda ser oxidado por la enzima (Fayad *et al.*, 1997).

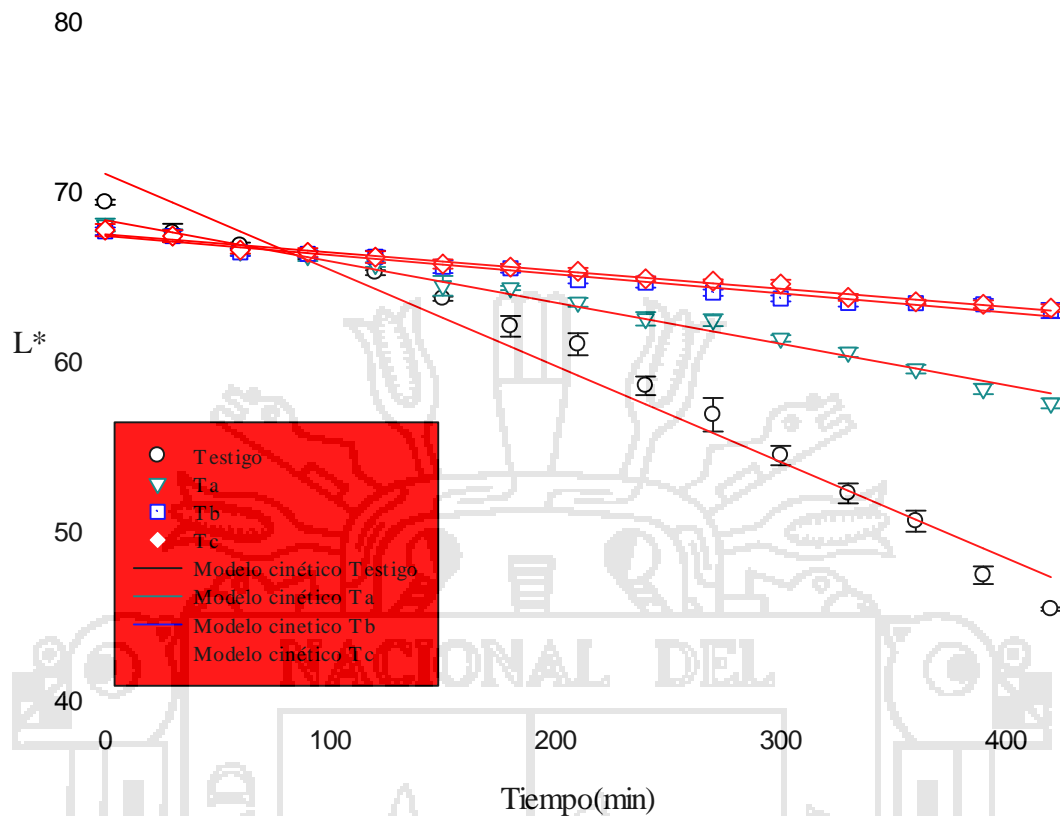
**Tabla 25.** Valores iniciales y finales de los parámetros L\*, a\*, b\* y VTC, para el Testigo, Ta, Tb y Tc

Tratamiento	Tiempo inicial = 0 min			Tiempo final = 420 min			VTC		
	L*	a*	b*	Imagen	L*	a*		b*	Imagen
<b>Testigo</b>	69.354±0.149	-12.730±0.197	34.387±0.227		45.382±0.102	-2.569±0.415	17.993±0.648		30.775±0.461
<b>Ta</b>	68.010±0.276	-12.771±0.041	34.577±0.052		57.507±0.293	-7.482±0.186	27.656±0.226		13.647±0.391
<b>Tb</b>	67.643±0.231	-12.769±0.032	34.506±0.010		62.972±0.447	-10.783±0.060	31.481±0.232		5.909±0.292
<b>Tc</b>	67.710±0.358	-12.757±0.030	34.479±0.039		63.120±0.225	-10.783±0.060	5.827±0.151		5.827±0.151



#### 4.3.1. Estudio de los cambios en la luminancia ( $L^*$ )

La Figura 13 ilustra la evolución de la luminancia ( $L^*$ ) para el Testigo, Ta, Tb y Tc en función del tiempo (vea anexo II). Se puede observar una caída en los valores de  $L^*$  para el Testigo y los tratamientos a medida que se incrementa el tiempo, pasando de valores iniciales (tiempo=0 min) de  $69.354 \pm 0.149$ ,  $68.009 \pm 0.376$ ,  $67.643 \pm 0.231$  y  $67.709 \pm 0.357$  a valores finales (tiempo=420min) de  $45.382 \pm 0.102$ ,  $57.507 \pm 0.293$ ,  $62.972 \pm 0.447$  y  $63.120 \pm 0.224$  para el Testigo, Ta, Tb y Tc respectivamente, resultando de ser de carácter significativo para el Testigo. En cambio el tratamiento Tc presento solo una leve disminución de  $L^*$ , pero a su vez fue seguida de Tb y Ta. Dado que la coordenada  $L^*$  cuantifica la luminosidad, el descenso de este parámetro puede tomarse como un indicador del grado de oscurecimiento de las muestras, y por tanto, como una medida del avance del pardeamiento (Labuza *et al.*, 1990). Como se puede ver el tratamiento con bisulfito de sodio presento menos cambios en  $L^*$ , seguido de los tratamientos con  $\alpha$ -ciclodextrina y ácidos ascórbico. Al respecto en estudios realizados por Gomez (2001) para la inhibición del pardeamiento enzimático en pasta de palta, reportan que el ácido ascórbico presenta mayor capacidad inhibitoria que el bisulfito de sodio. Nuestros resultados difieren en lo dicho por este autor pues el sucedió lo contrario, el bisulfito de sodio presento la mejor capacidad inhibitoria al presentar leves cambios del parámetro  $L^*$  en el tiempo. Estos resultados podrían deberse posiblemente a las concentraciones aplicadas de dichos inhibidores. Por otro lado en estudios realizados por Quevedo *et al.*, (2009) para la cuantificación del pardeamiento enzimático en pasta de palta, asocian el efecto inhibitorio del bisulfito de sodio a la concentración aplicada.



**Figura 13.** Evolución de la Luminosidad ( $L^*$ ) en la pasta de palta para el Testigo, Ta, Tb y Tc en función del tiempo y ajuste de los datos experimentales al modelo cinético de orden cero.

En la Tabla 26 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para la luminancia ( $L^*$ ) el cual nos indica que existe diferencias significativas ( $P < 0.01$ ) para el factor inhibidor, factor tiempo y la interacción. Como la interacción es significativa, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para los efectos simples para obtener conclusiones.

**Tabla 26.** Análisis de varianza (ANOVA) para luminancia (L\*).

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc.	Sig.
Inhibidor(A)	3	1072.63751	357.54583	2934.93738	**
Tiempo(B)	14	2018.68505	144.19179	1183.60733	**
AxB	42	1109.11106	26.40740	216.76684	**
Error exp.	120	14.61888	0.12182		
TOTAL	179	4215.05250			

Para el factor inhibidor se realizó la prueba de comparación de Duncan (ver Tabla 27). Donde se distingue que los efectos de los inhibidores son diferentes para todos los tratamientos obteniéndose mejores resultados para el tratamientos Tc que obtuvo poca variación de L\*. Se distingue también que todos los tratamientos aplicados presentaron menor disminución de L\* que el testigo, que sufrió una disminución acusada de L\*.

**Tabla 27.** Prueba de comparación múltiple de Duncan para La luminancia (L\*) según los inhibidores,  $\alpha=0.05$ 

Tratamientos	Media	
Testigo	59.143 ± 7.701	a
Ta	63.201 ± 3.279	b
Tb	65.008 ± 1.532	c
Tc	65.229 ± 4.149	d

n=45

Para el factor tiempo se realizó la prueba de comparación de Duncan (ver Tabla 28). Se distingue solo un grupo con resultados similares que es 60 y 90. Se observa que en los tiempos 60 y 90 se presenta un valor inferior de L\* que en tiempos inferiores a 60. Se distingue también L\* de las muestras de pasta de palta va disminuyendo a medida que el tiempo aumenta.

**Tabla 28.** Prueba de comparación múltiple de Duncan para la luminancia ( $L^*$ ) según el tiempo,  $\alpha=0.05$

Tiempo(min)	Media
0	68.179 $\pm$ 0.735 a
30	67.413 $\pm$ 0.085 b
60	66.549 $\pm$ 0.172 c
90	66.281 $\pm$ 0.051 cd
120	65.788 $\pm$ 0.384 e
150	64.841 $\pm$ 0.774 f
180	64.333 $\pm$ 1.419 g
210	63.622 $\pm$ 1.567 h
240	62.621 $\pm$ 2.516 i
270	61.989 $\pm$ 3.082 j
300	60.999 $\pm$ 3.926 k
330	59.968 $\pm$ 4.756 l
360	59.245 $\pm$ 5.380 m
390	58.103 $\pm$ 6.670 n
420	57.246 $\pm$ 7.351 o

n=12

La Tabla 29 presenta el análisis de varianza (ANOVA) para los efectos simples para la interacción inhibidor-tiempo. Se observa lo siguiente:

En el tiempo 0 min: Se encontró diferencia altamente significativa entre los inhibidores aplicados a las muestras de pasta de palta, es decir hay diferencia significativa entre los inhibidores con el tiempo.

En los tiempos de 30, 60 y 90 min no se encontró diferencia estadística entre los inhibidores, es decir no hay diferencia significativa entre los inhibidores con el tiempo.

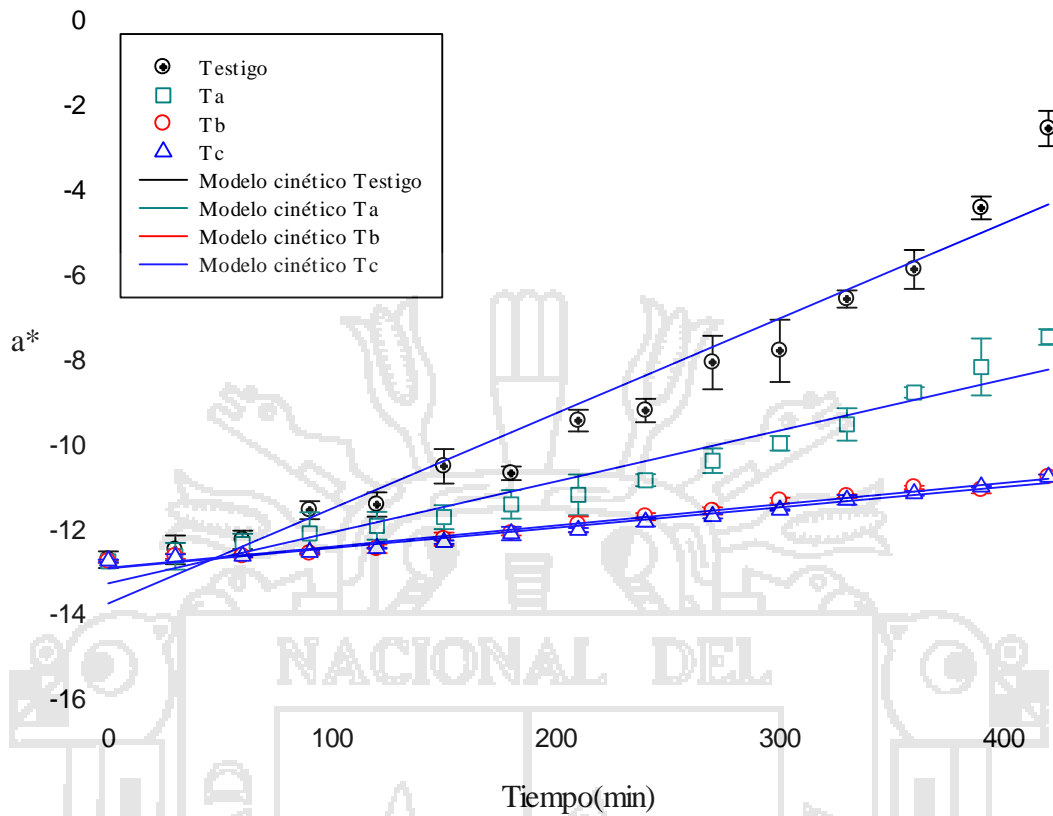
En los tiempos 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390 y 420 min, se encontró diferencias altamente significativas entre los inhibidores, es decir hay diferencia significativa entre los inhibidores con el tiempo.

**Tabla 29.** Análisis de varianza (ANOVA) de efectos simples para la interacción concentración tiempo.

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	Sig.
Efecto simple del inhibidor (A) a 0 min	3	5.75	1.920	15.730	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 30 min	3	0.080	0.030	0.220	ns
Efecto simple del inhibidor (A) a 60 min	3	0.270	0.090	0.730	ns
Efecto simple del inhibidor (A) a 90 min	3	0.080	0.030	0.220	ns
Efecto simple del inhibidor (A) a 120 min	3	1.780	0.590	4.880	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 150 min	3	8.430	2.810	23.050	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 180 min	3	23.840	7.950	65.240	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 210 min	3	33.090	11.030	90.540	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 240 min	3	76.740	25.580	209.980	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 270 min	3	114.930	38.310	314.480	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 300 min	3	188.980	62.990	517.090	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 330 min	3	260.740	86.910	713.430	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 360 min	3	332.510	110.840	909.820	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 390 min	3	510.200	170.070	1396.000	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 420 min	3	624.320	208.110	1708.260	**
Efecto simple del tiempo (B) en el testigo	14	2490.680	177.910	1460.350	**
Efecto simple del tiempo (B) en Ta	14	451.560	32.250	264.760	**
Efecto simple del tiempo (B) en Tb	14	98.530	7.040	57.770	**
Efecto simple del tiempo (B) en Tc	14	87.030	6.220	51.030	**

#### 4.3.2. Estudio de los cambios del parámetro $a^*$

En Figura 14 se observa como  $a^*$  tiende a aumentar con el tiempo para el Testigo y los tratamientos, partiendo de valores iniciales ( $t=0$  min)  $-12.730\pm 0.197$ ,  $-12.770\pm 0.041$ ,  $-12.768\pm 0.032$ , y  $-12.756\pm 0.030$  hasta alcanzar los valores finales ( $t=420$  min) de  $-2.569\pm 0.415$ ,  $-7.481\pm 0.185$ ,  $-10.783\pm 0.060$ , y  $-10.781\pm 0.050$  para el Testigo, Ta, Tb y Tc respectivamente, siendo significativo para el Testigo. El tratamiento Tc presento un leve aumento de este parámetro, pero a su vez fue seguida por Tb y Ta en el mismo orden. Dado que el color predominante en pasta es el color verde, se utilizó el valor de  $a^*$  como parámetro fundamental para la descripción de la alteración en la estabilidad del color en la pasta de palta, pues de acuerdo a Castañer *et al.*, (1996) la coordenada  $a^*$  es adecuada para evaluar el pardeamiento enzimático, por evaluar el cambio de color verde-rojo. Al respecto de estos cambios en  $a^*$ , en estudios realizados por López-Malo *et al.* (1999) en pasta de palta, reportan la dependencia de la pérdida del componente de color verde debida al tiempo y la actividad de la PPO. En otro estudio realizado para la evaluación cromática en puré de aguacate (Martínez *et al.*, 2007), reportan el aumento significativo de este parámetro con el tiempo. Los resultados obtenidos corroboran las afirmaciones de estos autores, pues todos los tratamientos sufrieron cambios e incrementos en el parámetro  $a^*$ , y que además presentan valores negativos, es decir, se aprecian cambios en la coloración verde de este parámetro.



**Figura 14.** Evolución del parámetro  $a^*$  en la pasta de palta para el Testigo, Ta, Tb y Tc en función del tiempo y ajuste de los datos experimentales al modelo cinético de orden cero.

En la Tabla 30 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para el parámetro  $a^*$  el cual nos indica que existe diferencias significativas ( $P < 0.01$ ) para el factor inhibidor, factor tiempo y la interacción. Como la interacción es significativa, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para los efectos simples para obtener conclusiones.

**Tabla 30.** Análisis de varianza (ANOVA) para el parámetro a\*

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc.	Sig.
Inhibidor (A)	3	245.36395	81.78798	1229.99774	**
Tiempo (B)	14	385.40857	27.52918	414.00744	**
AxB	42	170.61019	4.06214	61.09005	**
Error exp.	120	7.97933	0.06649		
TOTAL	179	809.36204			

Para el factor inhibidor se realizó la prueba de comparación de Duncan (ver Tabla 31). Donde se distingue que los tratamientos Tb y Tc tienen valores de a\* similares, siendo también estos tratamientos los que menos sufrieron cambios de a\*. Se distingue también que el tratamiento Ta, presenta valores de a\* diferentes mayores que el resto de tratamientos; pero a su vez menor que el testigo, pues presenta en mayor valor de a\* en relación a los tratamientos.

**Tabla 31.** Prueba de comparación múltiple de Duncan para el parámetro a\* según los inhibidores,  $\alpha=0.05$ 

Tratamiento	Media	
Testigo	-9.050 ± 3.101	a
Ta	-10.761 ± 1.657	b
Tb	-11.876 ± 0.676	c
Tc	-11.929 ± 0.650	cd

n=45

Para el factor tiempo se realizó la prueba de comparación de Duncan (ver Tabla 32). Se distinguen tres grupos con resultados similares que son: 0, 30, 60 y 90; 120 y 150; 180 y 210. En los tiempos 0, 30, 60 y 90 se pueden ver los valores más bajos de a\* y con menos coloración verdosa. En el tiempos 120 y 150 se aprecian valores de a\* superiores a los del primer grupo. En los tiempos 180 y 210 los valores a\* son mayores



a los del primer y segundo grupo. En los tiempo A partir del tiempo 240 los resultados son diferentes entre sí y se observa un incremento de  $a^*$  a medida que llega al tiempo final 420, que se refleja en una disminución del componente verde en las muestras de pasta de palta.

**Tabla 32.** Prueba de comparación múltiple de Duncan para  $a^*$  según el tiempo,  $\alpha=0.05$

Tiempo(min)	Media	
0	$-12.756 \pm 0.019$	a
30	$-12.617 \pm 0.080$	ab
60	$-12.478 \pm 0.197$	bc
90	$-12.202 \pm 0.477$	bcd
120	$-12.074 \pm 0.498$	e
150	$-11.705 \pm 0.827$	ef
180	$-11.586 \pm 0.676$	g
210	$-11.147 \pm 1.187$	gh
240	$-10.906 \pm 1.209$	i
270	$-10.442 \pm 1.680$	j
300	$-10.172 \pm 1.723$	k
330	$-9.671 \pm 2.213$	l
360	$-9.218 \pm 2.473$	m
390	$-8.681 \pm 3.132$	n
420	$-7.904 \pm 3.882$	o

n=12

La Tabla 33 presenta el análisis de varianza (ANOVA) para los efectos simples para la interacción inhibidor-tiempo. Se observa lo siguiente:

En los tiempos 0, 30 y 60 min: No se encontró diferencia estadística entre los inhibidores aplicados a las muestras de pasta de palta, es decir no hay diferencia significativa entre los inhibidores con el tiempo.

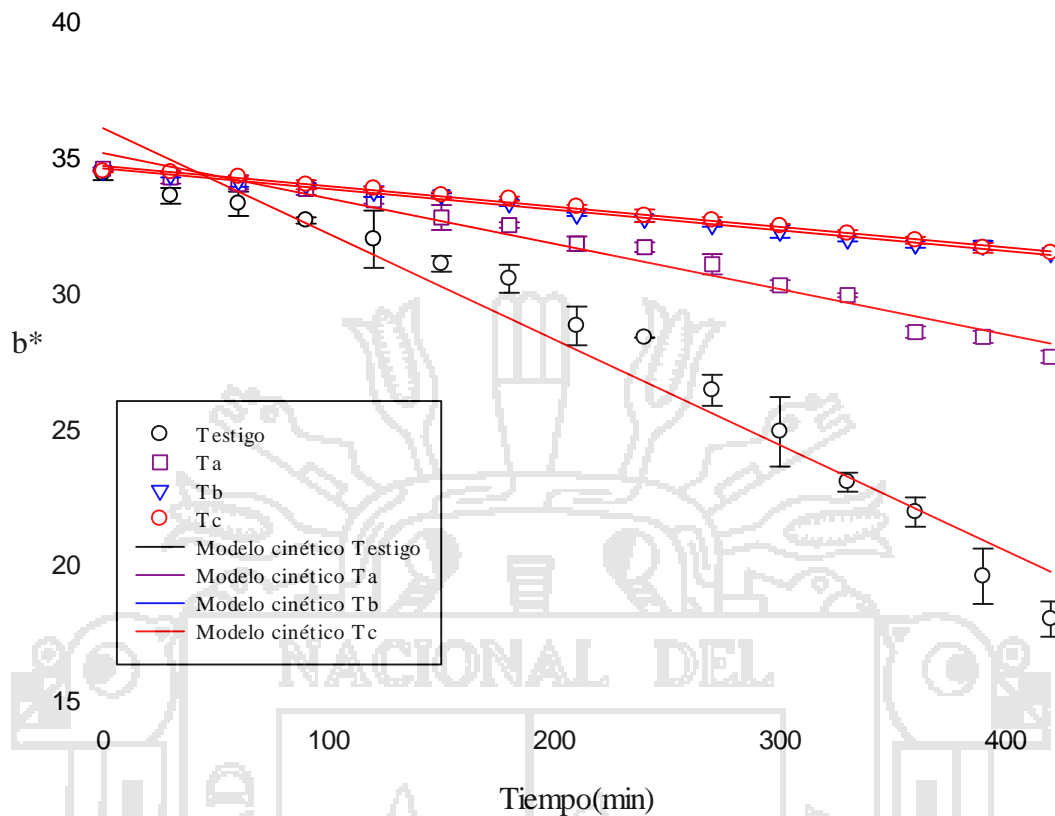
En los tiempos 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390 y 420 min, se encontró diferencias altamente significativas entre los inhibidores, es decir hay diferencia significativa entre los inhibidores con el tiempo.

**Tabla 33.** Análisis de varianza (ANOVA) de efectos simples para la interacción concentración tiempo.

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	Sig.
Efecto simple del inhibidor (A) a 0 min	3	0.000	0.000	0.020	ns
Efecto simple del inhibidor (A) a 30 min	3	0.060	0.020	0.290	ns
Efecto simple del inhibidor (A) a 60 min	3	0.350	0.120	1.750	ns
Efecto simple del inhibidor (A) a 90 min	3	2.050	0.680	10.280	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 120 min	3	2.230	0.740	11.170	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 150 min	3	6.150	2.050	30.820	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 180 min	3	4.110	1.370	20.600	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 210 min	3	12.680	4.230	63.550	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 240 min	3	13.160	4.390	65.960	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 270 min	3	25.390	8.460	127.280	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 300 min	3	26.730	8.910	134.010	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 330 min	3	44.090	14.700	221.010	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 360 min	3	55.050	18.350	275.980	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 390 min	3	88.270	29.420	442.480	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 420 min	3	135.660	45.220	680.060	**
Efecto simple del tiempo (B) en el testigo	14	403.830	28.850	433.800	**
Efecto simple del tiempo (B) en Ta	14	115.270	8.230	123.820	**
Efecto simple del tiempo (B) en Tb	14	19.190	1.370	20.610	**
Efecto simple del tiempo (B) en Tc	14	17.730	1.270	19.040	**

#### 4.3.3. Estudios de los cambios del parámetro $b^*$

La Figura 15 muestra la evolución del parámetro  $b^*$  través del tiempo (ver anexo II). Se puede observar una disminución de este parámetro para el Testigo y los tratamientos que van de valores iniciales (tiempo=0 min) de  $34.387 \pm 0.227$ ,  $34.576 \pm 0.051$ ,  $34.506 \pm 0.010$  y  $34.478 \pm 0.038$  a valores finales (tiempo= 420 min) de  $17.993 \pm 0.648$ ,  $27.655 \pm 0.226$ ,  $31.481 \pm 0.076$  y  $31.481 \pm 0.180$  para el Testigo, Ta, Tb y Tc respectivamente, siendo significativo para el Testigo. El tratamiento Tc presento solo una leve disminución en  $b^*$  pero seguida por Tb y Ta en el mismo orden. De acuerdo a Pérez *et al.*, (2003). El parámetro  $b^*$  indica la proporción de componente amarillo-azul en el color medido (amarillos para valores positivos y azul para valores negativos). En otro estudio para la evaluación de la estabilidad cromática en puré de palta se observó una disminución de  $b^*$  en el tiempo (Martínez *et al.*, 2007). Por otro lado en estudios realizados por Erica *et al.*, (2009) en el color de pasta de palta, muestran también una disminución de este parámetro a medida que el tiempo aumenta, con valores de  $b^*$  positivos e indicando la presencia de componente de color amarillo. Los resultados de  $b^*$  corroboran lo dichos por estos autores, ya que todos los tratamientos muestran valores de  $b^*$  positivos que tienden a disminuir con el tiempo, es decir la coloración amarilla para las muestras de pasta de palta va disminuyendo a medida que el tiempo aumenta.



**Figura 15.** Evolución del parámetro  $b^*$  en la pasta de palta para el Tratamiento, Ta, Tb y Tc en función del tiempo y ajuste de los datos experimentales al modelo cinético de orden cero.

En la tabla 34 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para el parámetro  $b^*$  el cual nos indica que existe diferencias significativas ( $P < 0.01$ ) para el factor inhibidor, factor tiempo y la interacción. Como la interacción es significativa, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para los efectos simples para obtener conclusiones.

**Tabla 34.** Análisis de varianza (ANOVA) para el parámetro b\*

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc.	Sig.
Inhibidor(A)	3	800.48149	266.82716	2166.57432	**
Tiempo(B)	14	968.46988	69.17642	561.69638	**
AxB	42	531.29113	12.64978	102.71333	**
Error exp.	120	14.77874	0.12315		
TOTAL	179	2315.02127			

Para el factor inhibidor se realizó la prueba de comparación de Duncan (ver Tabla 35). Donde se distingue que los tratamientos Tb y Tc tienen valores de b\* similares, siendo también estos tratamientos los que menos sufrieron cambios de b\*. Se distingue también que el tratamiento Ta, presenta valores de b\* diferentes e inferiores que el resto de tratamientos; pero superiores al testigo.

**Tabla 35.** Prueba de comparación múltiple de Duncan para el parámetro b\* según los inhibidores,  $\alpha=0.05$ 

Tratamiento	Media	
Testigo	27.902 ± 5.337	a
Ta	31.653 ± 2.271	b
Tb	33.005 ± 1.018	c
Tc	33.107 ± 1.012	cd

n=45

Para el factor tiempo se realizó la prueba de comparación de Duncan (ver Tabla 36). Se distinguen dos grupos con resultados similares que son 30 y 60; 210 y 240. Se ve que en el tiempo 30 y 60 presentan un valor inferior de b\* que en el tiempo 0, que significa que en estos tiempos las muestras de pasta de palta, presentan menos coloración amarilla que en el tiempo 0. En los tiempos 210 y 240 presentan casi la misma coloración amarilla. En los tiempos a partir de 90 hasta 420 los resultados fueron

diferentes y se distingue también como el componente amarillo de las muestras de pasta de palta va disminuyendo a medida que el tiempo aumenta.

**Tabla 36.** Prueba de comparación múltiple de Duncan para el parámetro b\* según el tiempo,  $\alpha=0.05$

Tiempo(min)	Media	
0	34.487 ± 0.078	a
30	34.161 ± 0.394	b
60	33.926 ± 0.439	bc
90	33.622 ± 0.634	d
120	33.247 ± 0.862	e
150	32.769 ± 1.194	f
180	32.456 ± 1.355	g
210	31.674 ± 2.010	h
240	31.412 ± 2.100	hi
270	30.669 ± 2.922	j
300	29.981 ± 3.532	k
330	29.284 ± 4.288	l
360	28.562 ± 4.685	m
390	27.845 ± 5.734	n
420	27.153 ± 6.367	o

n=12

La Tabla 37 presenta el análisis de varianza (ANOVA) para los efectos simples para la interacción inhibidor-tiempo. Se observa lo siguiente:

En el tiempo 0 min: No se encontró diferencia estadística entre los inhibidores, es decir no hay diferencia significativa entre los inhibidores con el tiempo.

En el tiempo 30 min, se encontró diferencias significativas entre los inhibidores, es decir hay diferencia significativa entre los inhibidores con el tiempo

En los tiempos, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390 y 420 min, se encontró diferencias altamente significativas entre los inhibidores, es decir hay diferencia significativa entre los inhibidores con el tiempo.

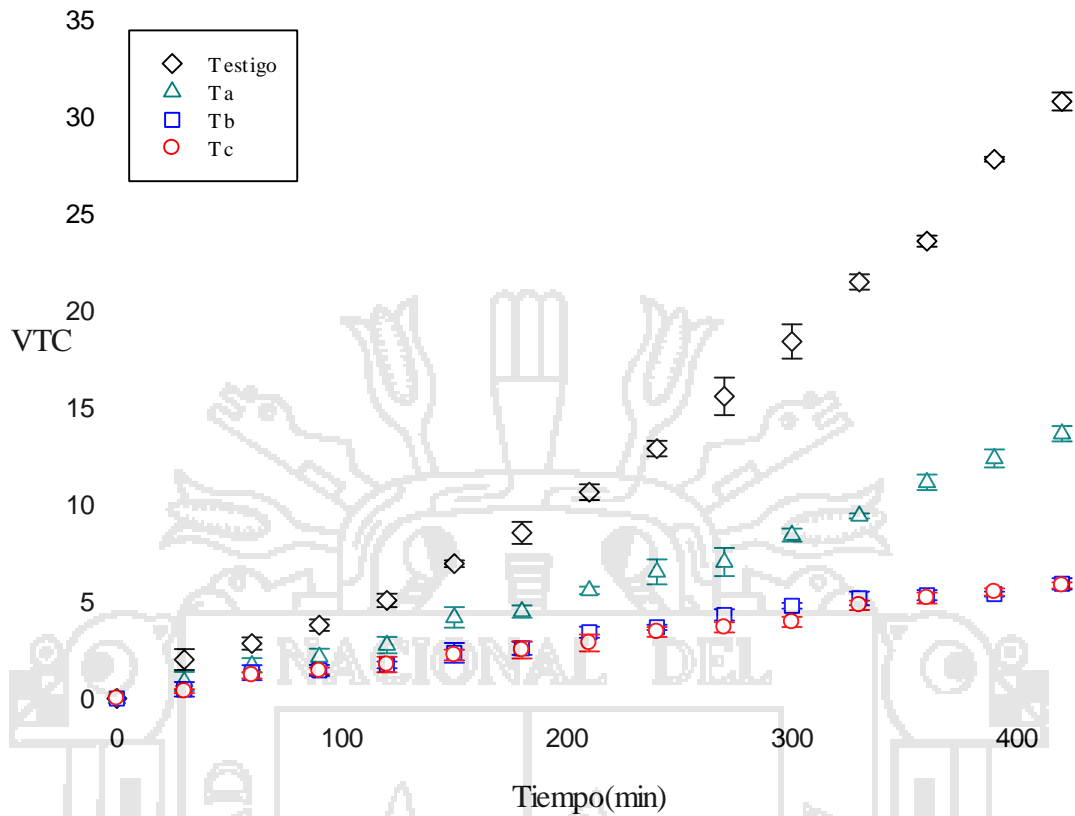
**Tabla 37.** Análisis de varianza (ANOVA) de efectos simples para la interacción concentración tiempo.

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	Sig.
Efecto simple del inhibidor (A) a 0 min	3	0.060	0.020	0.150	ns
Efecto simple del inhibidor (A) a 30 min	3	1.390	0.460	3.770	*
Efecto simple del inhibidor (A) a 60 min	3	1.730	0.580	4.690	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 90 min	3	3.620	1.210	9.810	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 120 min	3	6.680	2.230	18.090	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 150 min	3	12.830	4.280	34.730	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 180 min	3	16.530	5.510	44.730	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 210 min	3	36.370	12.120	98.450	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 240 min	3	39.670	13.220	107.370	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 270 min	3	76.850	25.620	208.010	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 300 min	3	112.260	37.420	303.830	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 330 min	3	165.510	55.170	447.970	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 360 min	3	197.510	65.840	534.590	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 390 min	3	295.880	98.630	800.840	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 420 min	3	364.860	121.620	987.540	**
Efecto simple del tiempo (B) en el testigo	14	1196.520	85.470	693.960	**
Efecto simple del tiempo (B) en Ta	14	216.650	15.470	125.650	**
Efecto simple del tiempo (B) en Tb	14	43.560	3.110	25.260	**
Efecto simple del tiempo (B) en Tc	14	43.040	3.070	24.960	**

#### 4.3.4. Estudios de los cambios de la variación total del color (VTC)

La Figura 16. Muestra la evolución de la VTC con respecto al tiempo (Ver anexo II). Se observa que el Testigo y los tratamientos sufrieron cambios de VTC en el tiempo. Los valores finales de VTC al final del experimento (tiempo=420 min) fueron  $57.507 \pm 0.293$ ,  $13.647 \pm 0.391$ ,  $5.827 \pm 0.151$  y  $5.909 \pm 0.292$  para el Testigo, Ta, Tb y Tc respectivamente. Estos cambios fueron significativos para el Testigo. Tc presento solo leve cambio pero fue seguida por Tb y Ta en el mismo orden. Uno de los mejores parámetros para describir la variación del color es la variación total del color (VTC) ya que refleja el cambio total en todos los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  (Hutchings, 1994). Como se muestra en la Figura 13 la variación total del color aumenta significativamente con el tiempo de exposición, para el Testigo y los tratamientos. Dado que VTC es  $>1$ , en la mayoría de los casos, los cambios ocurridos fueron perceptibles visualmente (Moreno *et al.*, 2000). Fennema, (2000) indica que estos cambios de color se explican debido a que cuando el tejido vegetal es cortado, golpeado o aplastado existe una disrupción a nivel celular y una exposición de los sustratos de tipo fenolico al oxigeno del aire, siendo convertidos por vía enzimática (PPO) en melaninas, que son compuestos oscuros de color marrón y caracterizan a este tipo de oscurecimiento. Los resultados obtenidos en esta investigación, reafirman lo dicho por estos autores, ya que todos los tratamientos sufrieron cambios de VTC en el tiempo, dando como resultados coloraciones oscuras, asociadas probablemente a la actividad de la PPO.





**Figura 16.** Evolución de la variación total del color (VTC) en la pasta de palta, para el Testigo, Ta, Tb y Tc en función del tiempo.

En la tabla 38 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para el parámetro para la variación total del color (VTC), nos indica que existe diferencias significativas (P 0.01) para el factor inhibidor, factor tiempo y la interacción. Como la interacción es significativa, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para los efectos simples para obtener conclusiones.

**Tabla 38.** Análisis de varianza (ANOVA) para la variación total del color (VTC)

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc.	Sig.
Inhibidor(A)	3	2768.60838	922.86945	6459.99288	**
Tiempo(B)	14	3332.87332	238.06238	1666.41258	**
AxB	42	1805.02279	42.97673	300.83278	**
Error exp.	120	17.14310	0.14285		
TOTAL	179	7923.64759			

Para el factor inhibidor se realizó la prueba de comparación de Duncan (ver Tabla 39). Donde se ve que los tratamientos presentan valores diferentes de VTC. Se distingue que el tratamiento Tc presenta los mínimos valores de VTC, lo que indica el leve cambio del color que sufrieron las muestras de pasta de palta. El tratamiento Ta es el que más cambios de color presentó; pero estos cambios fueron inferiores a los del Testigo.

**Tabla 39.** Prueba de comparación múltiple de Duncan para VTC según los inhibidores,  $\alpha=0.05$ 

Tratamiento	Media
Testigo	12.684 ± 9.844 a
Ta	6.016 ± 4.279 b
Tb	3.189 ± 1.926 c
Tc	2.977 ± 1.847 d

n=45

Para el factor tiempo se realizó la prueba de comparación de Duncan (ver Tabla 40). Se distinguen que todos los resultados de VTC son diferentes para todos los tiempos, observándose un incremento de este parámetro con el tiempo.

**Tabla 40.** Prueba de comparación múltiple de Duncan para para VTC según el tiempo,  $\alpha=0.05$

Tiempo(min)	Media	
0	0.000 ± 0.000	a
30	0.930 ± 0.747	b
60	1.764 ± 0.740	c
90	2.197 ± 1.107	d
120	2.819 ± 1.565	e
150	3.929 ± 2.201	f
180	4.524 ± 2.826	g
210	5.619 ± 3.541	h
240	6.626 ± 4.400	i
270	7.644 ± 5.486	j
300	8.884 ± 6.637	k
330	10.210 ± 7.794	l
360	11.305 ± 8.639	m
390	12.758 ± 10.546	n
420	14.039 ± 11.744	o

n=12

La tabla 41 presenta el análisis de varianza (ANOVA) para los efectos simples para la interacción Inhibidor-tiempo. Se observa lo siguiente:

En el tiempo 0 min: No se encontró diferencia estadística entre los diferentes los inhibidores aplicados a las muestras, es decir no hay diferencia significativa entre los inhibidores con el tiempo.

En los tiempos 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390 y 420 min, se encontró diferencias altamente significativas entre los inhibidores, es decir hay diferencia significativa entre los inhibidores con el tiempo.

**Tabla 41.** Análisis de varianza (ANOVA) de efectos simples para la interacción inhibidores-tiempo

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	Sig.
Efecto simple del inhibidor (A) a 0 min	3	0.000	0.000	0.000	ns
Efecto simple del inhibidor (A) a 30 min	3	5.030	1.680	11.730	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 60 min	3	4.930	1.640	11.510	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 90 min	3	11.030	3.680	25.740	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 120 min	3	22.030	7.340	51.710	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 150 min	3	43.600	14.530	101.720	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 180 min	3	71.870	23.960	167.690	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 210 min	3	112.860	37.620	263.350	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 240 min	3	174.230	58.080	406.540	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 270 min	3	270.820	90.270	631.900	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 300 min	3	396.440	132.150	925.010	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 330 min	3	546.770	182.260	1275.790	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 360 min	3	671.730	223.910	1567.340	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 390 min	3	1000.960	333.650	2334.540	**
Efecto simple del inhibidor (A) a 420 min	3	1241.320	413.770	2896.380	**
Efecto simple del tiempo (B) en el testigo	14	4069.870	290.710	2034.910	**
Efecto simple del tiempo (B) en Ta	14	768.930	54.920	384.460	**
Efecto simple del tiempo (B) en Tb	14	155.800	11.130	77.900	**
Efecto simple del tiempo (B) en Tc	14	143.290	10.240	71.650	**

#### 4.3.5. Cinética de los cambios de color

En la Tabla 42 se presentan los valores cinéticos para los parámetros de evaluación del color. Los cambios de color producidos en la pasta de palta se ajustan a una cinética de color de orden cero, donde  $k_0$  expresa la velocidad con que cambian los valores de cada parámetro de color estudiado. Se puede observar diferentes valores para  $k_0$  en los cuales el tratamiento Tc revela los valores más bajos para los parámetros de color analizados, seguida de los tratamientos Tb y Tc. También se ve que los valores  $k_0$

de los tratamientos son inferiores al testigo, indicando que las reacciones de pardeamiento enzimático ocurren más lentamente que en el testigo, pero en diferentes grados y en relación directa al inhibidor aplicado.

**Tabla 42.** Parámetros del modelo cinético de orden cero utilizada en el ajuste de los datos de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$

Parámetro de color	Concentración	parámetros del modelo cinético de orden cero		
		$C_0$	$K$	$R^2$
$L^*$	Testigo	71.0327	-0.0566	0.9731
	Ta	68.3030	-0.0243	0.9882
	Tb	67.3730	-0.0113	0.9733
	Tc	67.4668	-0.0107	0.9862
$a^*$	Testigo	-13.7623	0.0224	0.9426
	Ta	-13.2863	0.0120	0.9482
	Tb	-12.9237	0.0050	0.9811
	Tc	-12.9359	0.0048	0.9803
$b^*$	Testigo	36.0739	-0.0389	0.9568
	Ta	35.1590	-0.0167	0.9724
	Tb	34.5932	-0.0076	0.9931
	Tc	34.6859	-0.0075	0.9935

## V. CONCLUSIONES

1. El tratamiento con 400 ppm de  $\alpha$ -ciclodextrina demostró tener mayor capacidad inhibitoria del pardeamiento enzimático en la pasta que el resto de tratamientos, de forma eficiente pues presentaron leves cambios en parámetros  $L^*a^*b^*$  y VTC al final del tratamiento (tiempo=420 min), mostrando colores más claros y con mayor presencia del verde y amarillo, que el resto de tratamientos. Con el modelo cinético de orden cero se determinó que las muestras de pasta de palta con tratamientos inferiores a 400 ppm de  $\alpha$ -ciclodextrina son más susceptibles a sufrir el pardeamiento enzimático.
2. El tratamiento con bisulfito de sodio a 300 ppm tuvo mejor efecto inhibitorio del pardeamiento enzimático en la pasta de palta, que los tratamientos con ácido ascórbico 0.2% y  $\alpha$ -ciclodextrina a 400 ppm, en el mismo orden. Presentando una leve variación de los parámetros  $L^*a^*b^*$  y VTC al final del tratamiento (tiempo=420 min), mostrando colores más claros y con mayor presencia del verde y amarillo, que el resto de tratamientos. El desarrollo del pardeamiento enzimático, según el modelo cinético de orden cero, el pardeamiento enzimático fue más rápido para los tratamientos con ácido ascórbico 0.2% y  $\alpha$ -ciclodextrina a 300 ppm, que para el tratamiento con bisulfito de sodio a 300 ppm, que se desarrolló de manera más lenta.

## VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda hacer un estudio del efecto inhibitorio del pardeamiento enzimático de la  $\alpha$ -ciclodextrina en trozos de palta.
2. Se recomienda hacer estudios del efecto combinado de la  $\alpha$ -ciclodextrina con el ácido ascórbico y bisulfito de sodio en la inhibición del pardeamiento enzimático.



## VII.BIBLIOGRAFÍA

- Agustí, M. (2010). *Fruticultura*. Madrid, España: Editorial Mundi-Prensa.
- Alcázar, J. (2002). *Diccionario técnico de industrias alimentarias* (2da.). Cusco, Perú: Cibercopy Impresiones.
- Alvarez, E., Laura, A., Rodrigo, J., Salazar, K., Escobedo, R., Mercado, G., Moyers, E. & Vázquez, A. (2005, junio). *Efecto de las ciclodextrinas en la inhibición de la polifenoloxidasas de manzana, como herramienta en la conservación de manzana fresca cortada*. Trabajo presentado en el simposium de nuevas tecnologías de conservación y envasado de frutas y hortalizas, La Habana, Cuba.
- Alza & Vázquez, V. (2002). *Agroexportación: análisis y perspectivas; producción no tradicional, rentabilidad, mercado y zonas de producción* (proyecto de producción de medios de comunicación y transferencia) Lima, Perú: Instituto Nacional de Investigación Agraria.
- Amiot, M.J., Tacchini, M., Aubert, S. & Nicolas, J. (1992). phenolic composition and browning susceptibility of various apple cultivars at maturity. *Journal of Food Science*, 57, 958-962.
- Amiot, M.J., Tacchini, M., Aubert, S. & Oleszek, W. (1995) Influence of cultivar, maturity stage, and storage conditions on phenolic composition and enzymatic browning of pear fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43, 1132-1137.



- Ashie, I. N. A., Simpson, B. K. & Smith, J. P (1996). Mechanisms for controlling enzymatic reactions in foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 36, 1-30.
- Badui, S. (1990). *Química de los alimentos*. México: Editorial Alhambra Mexicana.
- Baldwin, E. A., Nisperos -Carriedo, M. O., Baker, R. A. (1995). Use of edible coatings to preserve quality of lightly processed products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 35, 509- 524.
- Barmore, C.R. (1977). Avocado fruit maturity. In: Sauls, J.W., Phillips, R.L., Jackson, L.K (eds.) "The Avocado". Proc. of the First International Tropical Fruit Short Course. Fla.Univ. Press, Gainesville. 103-109.
- Bello, G.J. (2000). *Ciencia bromatológica*. Madrid, España: Ediciones Diaz de Santos.
- Bruns, J. K. (1995) Lightly processed fruits and vegetables: Introduction To The Colloquium. *Hortscience*, 30, 14-17.
- Caro, P.N. (1998). Estudios de madurez en frutos de palto (*Persea americana* Miller) var. Hass en distintas localidades de Chile. Disponible en: <http://www.avocadosource.com>.
- Castaner, M., Gil, M. I. & Artés, F., Tomas-Barberan, F. A. (1996) Inhibition of browning of harvested head lettuce. *Journal of Food Science*, 61(2): 314-316.
- Chávez, S.P. (2010). *Efecto de la potencia y el tiempo de escaldado en horno microondas sobre la actividad de la polifenoloxidasas, características fisicoquímicas y sensoriales del puré refrigerado de palta (Persea americana Miller) var. Fuerte*. Memoria para optar al Título de Ingeniero agroindustrial, Universidad Nacional De Trujillo, Trujillo, Perú.

- Cheftel, J. C. & Cheftel, H. (1976). *Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos*. España: Editorial Acribia.
- Clark, C.J., McGlone, V.A., Requejo, C., White, A. & Woolf, A.B. (2003). Dry matter determination in 'Hass' avocado by NIR spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology* 29, 301-308.
- Codex Alimentarius (2007). *Frutas y hortalizas frescas*. En (1ra Ed.). Roma. Italia: FAO Y OMS.
- CODEX Alimentarius (2013). *Base de datos en línea de la Norma General del Codex para los Aditivos Alimentarios (GSFA)*. Disponible en: <http://www.codexalimentarius.net/gsaonline/index.html>
- Cornejo, M.V. (2010). *deshidratación de rebanadas de aguacate variedad hass por el método osmo-vac (osmótico-vacio) y evaluación de la calidad del producto*. Tesis para optar el título de magister en Ciencias de Alimentos. Escuela Nacional De Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, México.
- Corrales, J. (1991). *Experiencias y problemática de la industrialización del aguacate: poscosecha y comercialización*. Ponencia presentada en el Seminario Internacional del Aguacate, México.
- Dávila, M. R., Gómez, F. V., Navarro, C. A., Lazcano, H. M., Ávila, S. R. & Gonzales S. F. (2007). Evaluación de  $\alpha$ -ciclodextrina como controlador del oscurecimiento enzimático en pera D'Anjou (Pyrus Communis Var. D'Anjou) durante la elaboración de néctar. *Revista Industria Alimentaria*, 1, 22-24.
- Dovenspeck, H. (1960). Verfahren und vorrichtung zur gewinnug der einzelnen phasen nus dispersen systemen. *German Patent*, 1, 237-541.

- Èrica, D., Lopes, R., Fernades, D, & Higashi, C.N. (2009). Evaluation of the coloration, phenols content and peroxidase activity in guacamole conserved by the cold. *Agronomía Trop*, 59(3), 331-342.
- FAO. (2005). *Segmentación de los productos y perspectivas de mercado en los mercados del aguacate de la ce y los estados unidos*. Disponible en: <http://www.fao.org>
- Fayad, N., Marchal, L., Billaud, C. & And Nicolas, J. (1997). Comparison of cyclodextrin effect on polyphenol oxidation catalyzed by purified polyphenol oxidase from different sources. *J. Agric. Food Chem.*
- Fennema, O.R., (2000). *Química de los alimentos*. (2da ed.). España: Editorial Acribia.
- Fira (1990). El futuro de la industria del aguacate. *Panorama Mundial. Boletín Informativo*, 22, 2-3.
- Francis, F. J., & Clydesdale, F. H. (1975). *Food colotimetry: theory and applications*. Wesport, CT: Avi Publishing.
- Gomez, V. (2001). *Inhibition of surface browning cut avocado*. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Caracas: Facultad de Ciencias Universidad Central de Venezuela.
- Gorny, J. R., Hess-Pierce, B. & Kader, A. A. (1998). Effects of fruit ripeness and storage temperature on the deterioration rate of fresh-cut peach and nectarine slices. *HortScience*, 33, 110-113.
- Guilbert, S., Gontard, N. & Gorris, L. G. M. (1996). Prolongation of the shelf-life of perishable food products using biodegradable films and coatings. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 29, 10-17.

- Gutiérrez, P., Patricia, M. & Salamanca, G. (2007). *Evaluación de la estabilidad cromática en puré de aguacate*. Tolima: Facultad de Ciencias, Departamento de Química, Universidad del Tolima.
- Hendrickx, M., Ludikhuyze, L., de Broeck, I. V. & Weemaes, C. (1998). Effects of high pressure on enzymes related to food quality. *Trends in Food Science and Technology*, 9, 197-203.
- Hernandez, M. Chavez, A. & Bourges, H. (1979). *Valor nutritivo de los alimentos mexicanos*, México :Instituto Nacional de la Nutrición.
- Hernández, M. (2006). Ciclodextrinas: propiedades y usos en farmacia. *Revista salud pública y nutrición*, 11, 15-20.
- Hicks, K. B., Haines, R. M., Tong, C. B. S., Sapers, G. M., El-Atawy, Y., Irwin, P. L., et al. (1996). Inhibition of enzymatic browning in fresh fruit and vegetable juices by soluble and insoluble forms of betacyclodextrin alone or in combination with phosphates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44, 2591-2594.
- Hicks, K.B., Haines, R.M., Long, C. B. S, Sapers, G. M., El-Atawy, Y., Irwin,Pl., & Seib, P.A. (1996). Inhibition of enzymatic browning in fresh fruit and vegetable juices by soluble and insoluble forms of -cyclodextrin alone or in combination with phosphates. *Journal Of Agricultural And Food Chemistry*, 44, 2591-2594.
- Hobson, G.E. (1979). What factors are involved in the onset of ripening in climateric fruit? *Current advances in Plant Science* 37, 1-11.
- Hutchings, J. B. (1994). *Food colour and appearance*. London: Blackie Academic and Profesional.

- Instituto Nacional de Salud. (2009). *Tablas peruanas de composición química de alimentos* (8ª Ed.). Lima, Perú: Autor.
- Kikuta, Y. & Erickson, L.C. (1968). Seasonal changes of avocado lipids during fruit development and storage. *Calif. Avocado Soc. Yearb.* 52, 102-108 p.
- Konanayakam, M.; Sastry, S. K. (1988). Kinetics of shrinkage of mushrooms during blanching. *Journal of Food Science*, 53, 1406-1411.
- Labuza, T. P. & Massaro, S. A. (1990) Browning and amino acid loss in model total parenteral nutrition solutions. *Journal of Food Science*, 55(3): 821-826.
- Laurila, E., Kervinen, R. & Ahvenainen, R. (1998). Inhibición enzimática de frutas y vegetales mínimamente procesados. *Postharvest News And Information*, 9, 53-66.
- Lee, S. K.; Young, R. E.; Schiffman, P. M. and Coggins Jr, C. W. 1983. Maturity studies of avocado fruit based on picking dates and dry weight. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108, 390-394.
- Leon, K., Mery, D., Pedreschi, F. & Leon, J. (2006). Color measurement in L\* a\* b\* units from RGB digital images. *Food Research International*, 39, 1084-1091.
- Liu, X., Robinson, P.W., Madore, M.A., Witney, G.W. & Arpaia, M.L. (1999). 'Hass' avocado carbohydrate fluctuations. II. Fruit growth and ripening. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 124, 676-681.
- López, J., Nuñez, E., Sanches, A., & Garcia, F. (200). Kinetic model of apple juice enzymatic browning in the presence of cyclodextrins: The use of maltosyl- $\beta$ -cyclodextrin as secondary antioxidant. *Food Chemistry* 101 (2007), 1164–1171.

- López-Malo, A., Palou, E., Barbosa, G., Welti, J. & Swanson, B. (1998). Polyphenoloxidase activity and color changes during of high hydrostatic pressure treated avocado puree. *Food Research International*, 31, 549-56.
- Mac Dougall, D.B. (2002). *Colour measurement of food: principles and practice*. Boca Raton: Colour in food.CRC Press.
- Martínez, G., Gómez, M. (2007). Cyclodextrinas: Complejos de inclusión con polímeros. *Revista iberoamericana de polímeros*, 8, 300-312.
- Mateos, M., Ke, D., Cantwell, M. & Kader, A. A. (1993). Phenolic metabolism and ethanolic fermentation of intact and cut lettuce exposed to CO<sub>2</sub> enriched atmospheres. *Postharvest Biology and Technology*, 3, 225-233.
- McEvily, A. J., Iyengar, R. & Otwell, W. S. (1992). Inhibition of enzymatic browning in foods and beverages. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 32, 253-273.
- Mercado, J., López, M., Martínez, G. & Alcántara, M. (1999). *Tecnología anti oscurecimiento en una formulación de pasta de aguacate (Guacamole)*. México, Instituto De Ciencias Agrícolas, Universidad De Guanajuato.
- Molto, E. 2007. Medida Practica del color: Memorias del Curso: Propiedades Ópticas. Medellín, Colombia.
- Moreno, J., Chiralt, A., Escriche, I., Serra, J. A. (2000) Effect of blanching/osmotic dehydration combined methods on quality and stability of minimally processed strawberries. *Food Research International*, 33(7), 609-616.
- Nicolas, J. J., Richard-Forget, F. C., Goupy, P. M., Amiot, M. J. & Aubert, S. Y. (1994). reacciones enzimáticas en manzana y productos de manzana. *Critical Reviews In Food Science And Nutrition*, 34, 109-157.

- Olaeta, J.A. (2003). *Industrialización del aguacate: Estado actual y perspectivas futuras*. Actas V Congreso Mundial del Aguacate. 749-754.
- Pérez, L., González-Martínez, C., Chafér, M. & Chiralt, A. (2003). Calidad de frutas mínimamente procesadas II: Control y prevención del pardeamiento enzimático. *Alimentación, equipos y tecnología*, 181, 113-119.
- Pérez, M.B. (2007). *Frutas y Hortalizas Cortadas en Fresco: definición, calidad, y tecnologías*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Primo, Y.E. (1997). *Química De Los Alimentos*. Barcelona, España: Editorial Reverté.
- Quevedo, R., Ronceros, B., Garcia, K., Lopez, P. & Pedreschi, F. (2011). Enzymatic browning in sliced and pureed avocado: A fractal kinetic study. *Journal of Food Engineering* 105 (2011), 210–215.
- Robards, K., Prenzler, P. D., Tucker, G., Swatsitand, P. & Glover, G. (1999). Los Compuestos fenolicos y su papel en los procesos de oxidacion en frutas. *Food Chemistry*, 66, 401-436.
- Rojas, J., Arística, F., Caldas, P., Chávez, A., Izaziga, N., Laguna, B. & Lazaro, M. (2011). Influencia de la concentración de sal y ácido ascórbico en el sabor e inactivación enzimática para la conservación de puré refrigerado de palta (*Persea americana Mill*). *Agroindustrial Science*, 1, 22-29.
- Samson, J.A. (1991). *Fruticultura tropical*. México: Editorial Limusa.
- Sandoval, A., Forero, F. & García, J. (2010). *Postcosecha y transformación de aguacate: agroindustria rural innovadora*. Tolima, Colombia: Centro de Investigación Natima.
- Schwartz, S.J. & J.H. Von Elbe. (1983). Kinetics of chlorophyll degradation to pyropheophytin in vegetables, *J. Food Science*, 48, 1303-1306.

- Seymor, G.B. y Tucker, G.A. (1993). *Avocado. Biochemistry of fruit ripening.* , London Chapman and Hall.
- Shin, S. & Bhowmik, S. R. (1995) Thermal kinetics of colour changes in pea puree. *Journal of Food Engineering*, 24(1): 77-86.
- Soler, R. (1983). *Fruticultura moderna*. Buenos Aires, Argentina: Editorial Albatros.
- Szejtli, J. (1988). *Cyclodextrin Technology*. Dordrecht, the Netherlands, Kluwer Academic Publishers.
- Tingwa, P.O. y Young, R.E. (1975). Studies on the inhibition of ripening in attached avocado (*Persea americana* Mill.) fruits. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 100, 447-449.
- Torres, J. A. & Karel, M. (1985). Microbial stabilisation of intermediate moisture food surfaces III Effects of surface pH control on microbial stability of an intermediate moisture cheese analogue. *Journal of Food Processing and Preservation*, 9, 107-119.
- Vilca, R.A. (2013). *Evaluación del proceso de cocción des tres variedades de papa*. Memoria para optar al Título de Ingeniero agroindustrial, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Walker, J. R. L. (1977). Enzymatic browning in foods: its chemistry and control. *Food Technology*, 19, 21.
- Weemaes, C., Ludikhuyze, L., de Broeck, I.V. & Hendrickx, M. (1998). High pressure inactivation of polyphenoloxidases. *Journal of Food Science*, 63, 873-877.
- Zauberman, G. & Schiffman-Nadel, M.(1972). Respiration of whole fruit and seed of avocado at various stages of development. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 97, 313-315.







ANEXO I

Valores medios de los parámetros L\*, a\*, b\* y VTC obtenidos de la evaluación del efecto inhibitorio del pardeamiento enzimático de la -ciclodextrina, en la pasta de palta.

TIEMPO(min)	Parámetro	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420
Tres días	L*	69.654±0.668	67.252±0.143	66.793±0.178	66.384±1.107	64.588±1.007	61.377±0.107	60.719±0.993	59.207±0.606	56.229±1.509	54.100±1.146	52.196±0.584	49.895±1.575	47.709±0.897	45.382±0.101	
	a*	-12.697±0.204	-12.532±0.295	-12.194±0.275	-11.331±0.554	-11.131±0.541	-10.328±0.476	-9.192±0.519	-8.882±0.589	-7.883±0.599	-7.240±1.024	-6.254±0.759	-5.355±0.446	-4.107±0.590	-2.636±0.517	
	b*	34.433±0.274	33.498±0.248	33.097±0.369	32.412±0.411	32.448±0.590	31.013±0.595	29.127±0.626	28.562±0.349	25.973±0.684	25.127±1.380	23.281±0.670	21.985±0.549	19.790±0.734	18.242±0.571	
	VTC	0.000±0.000	2.603±0.484	3.220±0.348	5.017±0.452	5.814±1.244	9.273±0.611	11.002±1.559	12.589±0.049	16.650±1.018	18.983±1.933	21.715±0.939	24.498±2.090	27.754±1.382	30.866±1.007	
100	L*	68.776±0.561	67.617±0.603	66.547±0.402	65.820±0.544	65.371±0.437	63.616±0.636	62.216±0.611	60.547±0.389	58.886±0.686	57.152±0.408	54.868±0.638	52.981±0.623	52.075±0.675	49.943±0.580	
	a*	-12.729±0.002	-12.053±0.336	-11.416±0.237	-11.044±0.142	-10.702±0.334	-9.715±0.112	-9.885±0.083	-8.455±0.486	-7.886±0.315	-6.908±0.308	-5.292±0.288	-4.615±0.268	-3.710±0.152	-2.883±0.926	
	b*	34.428±0.153	33.646±0.386	33.348±0.167	32.780±0.345	32.244±0.201	31.293±0.559	29.930±0.850	29.439±0.464	28.074±0.715	26.437±0.819	25.230±0.590	23.532±0.498	22.329±0.972	20.883±0.926	
	VTC	0.000±0.000	1.727±0.789	2.829±0.314	3.801±0.451	4.538±0.250	6.168±1.067	8.494±0.240	10.354±0.732	12.726±0.528	15.288±0.310	18.027±1.006	20.594±0.922	22.183±0.339	24.915±0.292	
200	L*	67.748±0.584	67.551±0.928	66.524±0.297	66.240±0.413	65.689±0.221	64.652±1.105	63.619±0.114	62.200±0.360	61.520±0.983	60.410±0.145	58.437±0.542	55.977±0.517	54.824±0.857	53.390±0.335	
	a*	-12.729±0.117	-12.489±0.400	-11.921±0.089	-11.721±0.187	-11.154±0.369	-10.913±0.003	-10.326±0.341	-10.306±0.626	-9.474±0.713	-8.350±0.780	-7.896±0.298	-5.995±0.335	-5.044±0.318	-4.365±0.241	
	b*	34.553±0.050	33.638±0.316	33.452±0.350	32.872±0.186	32.543±0.149	31.380±0.207	31.330±0.101	30.976±0.345	29.786±0.943	29.191±0.477	28.026±1.099	27.247±0.719	26.131±0.851	25.218±0.579	
	VTC	0.000±0.000	1.122±0.156	1.876±0.385	2.482±0.163	3.313±0.601	4.198±0.713	6.830±0.953	7.900±1.607	9.794±1.256	11.787±0.350	13.370±1.033	15.406±1.314	17.240±1.560	19.066±0.569	
300	L*	68.110±0.272	67.510±0.808	66.272±0.075	66.094±0.257	65.475±0.325	64.096±0.067	64.331±0.237	63.356±0.388	62.686±0.260	62.001±0.361	61.000±0.721	60.506±0.270	58.382±0.247	57.240±0.503	
	a*	-12.771±0.041	-12.616±0.183	-12.263±0.064	-12.287±0.236	-12.098±0.234	-11.727±0.218	-11.560±0.323	-11.102±0.195	-10.857±0.142	-10.332±0.488	-9.835±0.411	-9.271±0.175	-8.589±0.089	-8.255±0.312	
	b*	34.577±0.051	34.262±0.230	33.972±0.295	33.637±0.482	33.154±0.584	33.041±0.477	32.306±0.624	31.921±0.736	31.338±0.748	30.858±0.586	30.456±0.199	29.791±0.207	29.210±0.379	28.321±0.526	
	VTC	0.000±0.000	0.717±0.642	2.020±0.652	2.306±0.276	3.129±0.348	4.444±0.125	4.611±0.351	5.737±0.469	6.608±0.519	7.564±0.622	8.740±0.888	9.643±0.071	11.492±0.745	12.426±0.456	
400	L*	67.310±0.251	67.166±0.348	66.497±0.338	65.813±0.356	65.146±0.356	64.894±0.531	64.765±0.193	64.247±0.215	63.692±0.740	63.686±0.170	63.385±0.230	63.059±0.258	62.389±0.066	62.399±0.358	
	a*	-12.769±0.032	-12.612±0.094	-12.548±0.067	-12.552±0.043	-12.440±0.049	-12.233±0.085	-12.109±0.076	-11.901±0.190	-11.747±0.176	-11.580±0.086	-11.303±0.084	-11.182±0.040	-10.920±0.097	-10.443±0.102	
	b*	34.506±0.010	34.280±0.074	34.243±0.130	33.986±0.290	33.701±0.155	33.482±0.268	33.315±0.109	32.968±0.222	32.777±0.073	32.444±0.121	32.270±0.252	31.756±0.063	31.469±0.035	30.882±0.184	
	VTC	0.000±0.000	0.584±0.036	0.898±0.122	1.617±0.574	1.458±0.196	2.232±0.233	2.778±0.242	3.106±0.195	3.669±0.317	4.341±0.361	4.506±0.232	5.049±0.199	5.549±0.356	6.257±0.220	
500	L*	67.676±0.387	67.312±0.723	66.516±0.366	66.401±0.252	66.258±0.180	65.546±0.333	65.497±0.240	65.446±0.589	64.644±0.354	64.703±0.109	64.442±0.416	63.681±0.230	63.489±0.126	63.076±0.581	
	a*	-12.757±0.030	-12.641±0.070	-12.642±0.024	-12.550±0.031	-12.494±0.047	-12.316±0.040	-12.079±0.143	-12.031±0.046	-11.840±0.105	-11.641±0.117	-11.560±0.018	-11.254±0.129	-11.168±0.057	-11.011±0.019	
	b*	34.479±0.038	34.420±0.094	34.314±0.019	34.022±0.190	33.850±0.064	33.601±0.116	33.512±0.034	33.183±0.070	32.850±0.232	32.679±0.122	32.471±0.074	32.260±0.179	31.947±0.125	31.515±0.086	
	VTC	0.000±0.000	0.439±0.417	1.181±0.709	1.382±0.165	1.593±0.450	2.368±0.609	2.495±0.526	2.682±0.211	3.575±0.080	3.659±0.225	3.994±0.309	4.826±0.376	5.154±0.307	5.677±0.744	

**ANEXO II**

Valores medios de los parámetros L\*, a\*, b\* y VTC obtenidos de la comparación del efecto inhibitorio del pardoamiento enzimático de la  $\alpha$ -D-glucosidasa, en la pasta de palta, ácido ascórbico y bisulfito de sodio, en la pasta de palta.

TIEMPO(min)	Parámetro	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	
Testigo	L*	69.354±0.149	67.552±0.529	66.793±0.179	66.217±0.215	65.205±0.150	63.670±0.123	62.044±0.605	60.986±0.647	58.541±0.551	56.829±0.987	54.433±0.570	52.196±0.584	50.561±0.624	47.376±0.521	45.382±0.102	
	a*	-12.730±0.197	-12.498±0.338	-12.261±0.217	-11.564±0.213	-11.431±0.287	-10.529±0.406	-10.695±0.159	-9.452±0.254	-9.215±0.276	-8.083±0.632	-7.807±0.734	-6.587±0.204	-5.888±0.458	-4.440±0.268	-2.509±0.415	
	b*	34.387±0.227	33.582±0.287	33.290±0.451	32.676±0.115	31.983±1.052	31.076±0.290	30.526±0.516	28.790±0.711	28.362±0.005	26.423±0.571	24.893±1.279	23.037±0.351	21.956±0.537	19.572±1.018	17.993±0.648	
	VTC	0.000±0.000	2.002±0.538	2.827±0.317	3.780±0.295	5.054±0.346	6.949±0.173	8.535±0.564	10.634±0.407	12.878±0.400	15.575±0.967	18.403±0.887	21.473±0.395	23.576±0.288	27.797±0.121	30.775±0.461	
	L*	68.010±0.276	67.376±0.377	66.472±0.246	65.194±0.305	65.675±0.136	64.429±0.382	64.298±0.123	63.456±0.259	62.486±0.393	62.401±0.348	61.334±0.196	60.506±0.270	59.521±0.251	58.349±0.303	57.507±0.293	
Tratamientos	Ácido ascórbico 0.2%	a*	-12.771±0.041	-12.649±0.313	-12.363±0.243	-12.110±0.497	-11.932±0.328	-11.727±0.281	-11.427±0.337	-11.202±0.480	-10.857±0.143	-10.599±0.289	-9.985±0.172	-9.540±0.381	-8.789±0.124	-8.189±0.670	-7.482±0.186
	b*	34.377±0.052	34.262±0.231	34.012±0.180	33.837±0.219	33.421±0.125	32.788±0.459	32.506±0.101	31.821±0.264	31.692±0.178	31.064±0.374	30.289±0.191	29.925±0.076	28.567±0.212	28.387±0.221	27.656±0.226	
	VTC	0.000±0.000	0.877±0.491	1.703±0.337	2.142±0.423	2.749±0.427	4.177±0.527	4.478±0.319	5.569±0.191	6.529±0.642	7.034±0.724	8.417±0.336	9.406±0.128	11.142±0.401	12.372±0.467	13.647±0.391	
	L*	67.643±0.231	67.366±0.0317	66.397±0.205	66.313±0.203	66.146±0.357	65.553±0.374	65.461±0.256	64.765±0.194	64.613±0.292	64.025±0.189	63.686±0.170	63.422±0.217	63.409±0.117	63.345±0.308	62.972±0.447	
	a*	-12.769±0.032	-12.646±0.063	-12.648±0.033	-12.585±0.028	-12.473±0.103	-12.247±0.154	-12.109±0.052	-11.901±0.190	-11.714±0.084	-11.580±0.086	-11.336±0.065	-11.235±0.040	-11.028±0.036	-11.082±0.085	-10.783±0.060	
Alfa-ciclodextrina 400 ppm	b*	34.506±0.010	34.347±0.090	34.123±0.211	33.986±0.035	33.735±0.198	33.616±0.061	33.315±0.110	32.901±0.059	32.744±0.118	32.511±0.061	32.270±0.110	31.980±0.059	31.798±0.118	31.756±0.061	31.481±0.232	
	VTC	0.000±0.000	0.469±0.373	1.328±0.389	1.445±0.235	1.727±0.173	2.350±0.505	2.587±0.340	3.416±0.287	3.666±0.131	4.303±0.292	4.776±0.152	5.158±0.349	5.323±0.262	5.376±0.130	5.909±0.292	
	L*	67.710±0.358	67.356±0.350	66.586±0.207	66.401±0.253	66.124±0.340	65.713±0.276	65.530±0.190	65.279±0.206	64.844±0.141	64.703±0.110	64.542±0.243	63.748±0.200	63.489±0.127	63.345±0.227	63.120±0.225	
	a*	-12.757±0.030	-12.675±0.073	-12.642±0.025	-12.550±0.031	-12.446±0.012	-12.310±0.040	-12.113±0.158	-12.031±0.047	-11.840±0.106	-11.707±0.052	-11.560±0.018	-11.321±0.112	-11.168±0.058	-11.011±0.019	-10.783±0.060	
	b*	34.479±0.039	34.453±0.037	34.281±0.039	33.989±0.166	33.850±0.064	33.601±0.117	33.478±0.078	33.183±0.071	32.880±0.232	32.679±0.123	32.471±0.074	32.193±0.124	31.947±0.125	31.665±0.180	31.481±0.077	
VTC	0.000±0.000	0.373±0.105	1.196±0.166	1.421±0.172	1.746±0.399	2.239±0.278	2.497±0.440	2.859±0.437	3.429±0.251	3.664±0.259	3.940±0.259	4.803±0.244	5.179±0.281	5.489±0.184	5.827±0.151		