

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LAS BETALAÍNAS EN
INGREDIENTES NATURALES PARA SU USO EN PRODUCTOS
ALIMENTICIOS ELABORADOS A PARTIR DE PITAYA ROJA (*Hylocereus sp.*)
Y EL EFECTO DE LA PRESENCIA DE AGENTES COPIGMENTANTES**

Tesis sometida a la consideración de la Comisión del Programa de Estudios de
Posgrado en Ciencia de Alimentos para optar por el grado y título de Maestría
Académica en Ciencia de Alimentos

MARÍA ANGÉLICA ESQUIVEL FONSECA

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2012

Dedicatoria

A Pablo, mi compañero de vida.

Agradecimientos

A Dios por permitirme terminar otro proyecto en mi vida.

A mi Familia por su apoyo siempre y en especial a Pablo por su paciencia, comprensión y motivación incondicional.

A mis profesores Patricia, Eric y Yorleny, por su apoyo y paciencia durante todo el tiempo de que trabajamos en este proyecto.

A Giovani y a Luis por toda su colaboración y motivación durante todo el desarrollo de la parte experimental del proyecto.

A Camacho y Alonso por su colaboración en el desarrollo de la parte experimental del proyecto.

A Caro por alentarme a concluir esta etapa y al personal de la escuela por todo su apoyo y colaboración durante todo el proceso.

A Carlos Toro por todo el apoyo en el trabajo, lo cual fue clave para la realización de este proyecto.

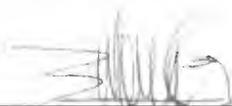
“Esta tesis fue aceptada por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencia de Alimentos de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría Académica en Ciencia de Alimentos.”



Dra. Marianela Cortés Muñoz
**Representante de la Decana
Sistema de Estudios de Posgrado**



Dra. Patricia Esquivel Rodríguez
Directora de Tesis



Dr. Eric Wong González
Asesor



M.G.A. Yorleny Araya Quesada
Asesora



M.Sc. Jacqueline Aiello Ramírez
**Representante de la Directora
Programa de Posgrado en Ciencia de Alimentos**



María Angélica Esquivel Fonseca
Candidata

Tabla de contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Tabla de contenidos	v
Resumen	viii
Lista de Cuadros	ix
Lista de Figuras	x
1. Justificación	1
2. Objetivos	5
2.1. Objetivo general	5
2.2. Objetivos específicos	5
3. Marco teórico	6
3.1. Colorantes artificiales	6
3.2. Colorantes naturales	7
3.3. Carotenoides	8
3.4. Clorofilas	8
3.5. Antocianinas	9
3.6. Betalainas	10
3.7. Estabilidad de las betalainas	11
a) Efecto del pH	12
b) Efecto de la temperatura	12
c) Efecto de la luz	13
d) Efecto del oxígeno	13
e) Efecto de la actividad del agua	14
f) Presencia de copigmentos	14
3.8. Fuentes de betalainas	15
Remolacha, <i>Beta vulgaris</i> L.	15

Tunas, (<i>Opuntia</i> sp.).....	16
Pitaya, <i>Hylocereus</i> sp.	17
3.9. Uso de extracto de pitaya como ingrediente que aporta color	19
4. Materiales y métodos.....	21
4.1. Localización del proyecto	21
4.2. Materia prima	21
4.3. Elaboración de ingredientes	21
4.3.1. Pulpa	21
4.3.2. Concentrado	22
4.3.3. Polvo.....	23
4.3.4. Pulpa de pitaya con adición de copigmentos	23
4.4. Evaluación del efecto del tiempo de almacenamiento sobre la estabilidad de las betalaínas en pulpa de pitaya pasteurizada.	24
4.4.1. Diseño experimental	24
4.4.2. Análisis estadístico	25
4.5. Evaluación del efecto del tiempo de almacenamiento y la temperatura sobre la estabilidad de las betalaínas en concentrado y polvo de pitaya	25
4.5.1. Diseño experimental	25
4.5.2. Análisis estadístico	26
4.6. Evaluación del efecto de la adición de ácido ferúlico y ácido cafeico sobre la estabilidad de las betalaínas en pulpa de pitaya pasteurizada durante un almacenamiento de 11 días.....	26
4.6.1. Diseño experimental	26
4.6.2. Análisis estadístico	27
4.7. Métodos de análisis.....	27
4.7.1. Determinación de color	27
4.7.2. Determinación del contenido total de betalaínas	28

5. Resultados y discusión	29
5.1. Estabilidad de las betalaínas en la pulpa de pitaya pasteurizada y almacenada a baja temperatura	29
5.2. Estabilidad de las betalaínas en concentrado de pitaya almacenado durante 148 días a 5°C, 25°C y 37°C	39
5.3. Resultados obtenidos en el estudio de almacenamiento de polvo de pitaya durante 304 días de almacenamiento a 5°C, 25°C y 37°C.....	50
5.4. Estabilidad de la pulpa de pitaya con adición de ácidos orgánicos almacenada durante 11 días a 25°C.....	63
6. Conclusiones	72
7. Recomendaciones	74
8. Bibliografía.....	75
Apéndice A.....	84
Resultados obtenidos para el análisis de la estabilidad de la pulpa de pitaya almacenada a 5°C durante 198 días.....	84
Resultados obtenidos para el análisis de la estabilidad del concentrado de pitaya almacenado a 5 °C, 25 °C y 37 °C 148 días.....	97
Resultados obtenidos para el análisis de la estabilidad del polvo de pitaya almacenado a 5 °C, 25 °C y 37 °C 304 días	126
Resultados obtenidos para el análisis de la estabilidad de la pulpa de pitaya con la adición de agentes copigmentantes	158

Resumen

Se evaluó la estabilidad de las betalaínas en pulpa pasteurizada de pitaya roja (*Hylocereus sp.*), almacenada a 5°C durante un periodo de 198 días, mediante la evaluación del contenido total de betalaínas, el espectro de absorción y el color de la pulpa en el tiempo. Después de 198 días de almacenamiento el contenido total de betalaínas de la pulpa disminuyó de 318 ± 55 mg/L a 249 ± 56 mg/L. Durante el tiempo de almacenamiento evaluado el espectro de absorción no sufrió variación y el cambio global de color (ΔE) con respecto al tiempo 0 días, después de 198 días de almacenamiento fue menor a 10.

Se evaluó la estabilidad de las betalaínas durante 148 días de almacenamiento a temperaturas de 5 °C, 25 °C y 37 °C en concentrado de pitaya (65°Brix). Se analizó la concentración de betalaínas, el espectro de absorción y el color de las muestras en el tiempo. Se obtuvo un 81%, 20% y 7% de contenido residual de betalaínas para las temperaturas de 5°C, 25°C y 37°C respectivamente al final del almacenamiento. En el espectro de absorción se presentó una disminución en la absorción a 538 nm, y se observó un traslado a 425 nm de la máxima absorción para el día 148 de almacenamiento a 37°C. Se observó un cambio de una tonalidad morada a una café para las temperaturas de 25°C y 37°C. El cambio global de color (ΔE) para la temperatura de 5°C fue menor a 10.

Se evaluó la estabilidad de las betalaínas en polvo de pitaya roja, almacenadas durante 304 días a temperaturas de 5°C, 25 °C y 37°C mediante la evaluación de la concentración de betalaínas, el espectro de absorción y el color del polvo antes y después de ser hidratado. Después de 304 días de almacenamiento se encontró que la concentración de betalaínas presente en el polvo no se vio afectada por el tiempo ni por la temperatura de almacenamiento, ni se presentaron cambios en el espectro de absorción. En las variables analizadas de color para el polvo de pitaya algunas de ellas presentaron diferencias en el tiempo tanto antes como después de hidratar, pero en ambos casos el cambio global de color (ΔE) en el tiempo con respecto al color obtenido en el tiempo 0 días fue menor a 10, para todas las temperaturas analizadas.

Se evaluó la estabilidad de las betalaínas en la pulpa de pitaya durante 11 días de almacenamiento a 25°C en presencia de ácido cafeico y ácido ferúlico. Se analizó el contenido total de betalaínas, el espectro de absorción y el color de las muestras. Se obtuvo una disminución en la concentración total de betalaínas en el tiempo la cual no se vio afectada por la presencia de ácidos orgánicos. En los espectros de absorción obtenidos no se evidenció ningún efecto copigmentante debido a la presencia de los ácidos orgánicos en las muestras y no se logró un efecto positivo sobre la estabilidad de las betalainas en presencia de los ácidos sobre las variables de color evaluadas.

Lista de Cuadros

Cuadro 1. Concentración de betalaínas presente en la pulpa de pitaya refrigerada según tiempo de almacenamiento.	29
Cuadro 2. Diferencia total de color (ΔE) con respecto al tiempo 0 días, obtenida en la medición de color de la pulpa de pitaya almacenada a 5°C, según tiempo de almacenamiento.	38
Cuadro 3. Cantidad de betalaínas presente en el concentrado de pitaya para 148 días de almacenamiento según temperatura.	40
Cuadro 4. Diferencia total de color (ΔE) para la medición de color del concentrado de pitaya según el tiempo de almacenamiento a 5°C, 25°C y 37°C.	49
Cuadro 5. Concentración de betalaínas presente en el polvo de pitaya almacenado a 5°C, 25°C y 37°C según tiempo de almacenamiento.	51
Cuadro 6. Valores de ΔE obtenidos en la medición de color para el polvo de pitaya sin hidratar durante el tiempo de almacenamiento a 5°C, 25°C y 37°C.	57
Cuadro 7. Valores de ΔE obtenidos en la medición de color para el polvo de pitaya hidratado durante el tiempo de almacenamiento a 5°C, 25°C y 37°C	62
Cuadro 8. Valores de ΔE obtenidos en la medición de color para la pulpa de pitaya sin adición de ácido orgánico, con ácido cafeico y con ácido ferúlico durante el tiempo de almacenamiento	70

Lista de Figuras

Figura 1. Estructura básica de las betalaínas.	10
Figura 2. Estructura de la betacianina (A) y betaxantina (B).	11
Figura 3. Estructura molecular de la betanina (a) y filocactina (b).	19
Figura 4. Concentración de betalaínas presente en la pulpa de pitaya durante el tiempo de almacenamiento a 5°C.	30
Figura 5. Degradación de betalaínas por hidrólisis en presencia de agua (Han, 2004).	31
Figura 6. Espectros de absorción obtenidos para la pulpa de pitaya almacenada a 5°C, al inicio y al final del tiempo de almacenamiento.	33
Figura 7. Valores de a* presentes en la pulpa de pitaya durante el tiempo de almacenamiento a 5°C.	34
Figura 8. Valores de b* presentes en la pulpa de pitaya durante el tiempo de almacenamiento a 5°C.	34
Figura 9. Valores de croma (C*) presentes en la pulpa de pitaya durante el tiempo de almacenamiento a 5°C.	35
Figura 10. Valores de tonalidad (h°) presentes en la pulpa de pitaya durante el tiempo de almacenamiento a 5°C.	36
Figura 11. Gráfico de color CIELAB (X-rite, 2002)	36
Figura 12. Valores de luminosidad (L*) presentes en la pulpa de pitaya durante el tiempo de almacenamiento a 5°C.	37
Figura 13. Concentración de betalaínas presente en el concentrado de pitaya durante el tiempo de almacenamiento a 5°C, 25°C y 37°C.	39
Figura 14. Posibles degradaciones de la betanina debido al calor. Tomado de Herbach <i>et al.</i> , 2004.	42
Figura 15. Comparación de los espectros de absorción obtenidos para el concentrado de pitaya en el tiempo 0 y en el tiempo 148 días, según temperaturas de almacenamiento, 5°C, 25°C y 37°C, lote 1.	44
Figura 16. Valores de a* obtenidos para el concentrado de pitaya durante el tiempo de almacenamiento a 5°C, 25°C y 37°C.	45

Figura 17. Valores de b^* obtenidos para el concentrado de pitaya durante el tiempo de almacenamiento a 5°C, 25°C y 37°C.	46
Figura 18. Valores de luminosidad obtenidos para el concentrado de pitaya durante el tiempo de almacenamiento a 5°C, 25°C y 37°C.	47
Figura 19. Valores de croma obtenidos para el concentrado de pitaya durante el tiempo de almacenamiento a 5°C, 25°C y 37°C.	48
Figura 20. Valores de ángulo de tono (hue) obtenidos para el concentrado de pitaya durante el tiempo de almacenamiento a 5°C, 25°C y 37°C.	48
Figura 21. Color del concentrado de pitaya después de 148 de almacenamiento según temperatura.	50
Figura 22. Comparación de los espectros de absorción del polvo de pitaya en el tiempo 0 y en el tiempo 304 días, para temperaturas de almacenamiento de 5°C, 25°C y 37°C, lote 2.	52
Figura 23. Valores de a^* obtenidos para el polvo de pitaya sin hidratar durante el tiempo de almacenamiento a 5°C, 25°C y 37°C.	53
Figura 24. Valores de b^* obtenidos para el polvo de pitaya sin hidratar durante el tiempo de almacenamiento a 5°C, 25°C y 37°C.	54
Figura 25. Valores de luminosidad obtenidos para el polvo de pitaya sin hidratar durante el tiempo de almacenamiento a 5°C, 25°C y 37°C.	55
Figura 26. Valores de croma obtenidos para el polvo de pitaya sin hidratar durante el tiempo de almacenamiento a 5°C, 25°C y 37°C.	56
Figura 27. Valores de tonalidad "hue" obtenidos para el polvo de pitaya sin hidratar durante el tiempo de almacenamiento a 5°C, 25°C y 37°C.	56
Figura 28. Apariencia de polvo de pitaya en el tiempo 0 y después de 304 días de almacenamiento a 37°C.	57
Figura 29. Valores de a^* obtenidos para el polvo de pitaya hidratado durante el tiempo de almacenamiento a 5°C, 25°C y 37°C.	58
Figura 30. Valores de b^* obtenidos para el polvo de pitaya hidratado durante el tiempo de almacenamiento a 5°C, 25°C y 37°C.	59

Figura 31. Valores de luminosidad obtenidos para el polvo de pitaya hidratado durante el tiempo de almacenamiento a 5°C, 25°C y 37°C.	60
Figura 32. Valores de croma obtenidos para el polvo de pitaya hidratado durante el tiempo de almacenamiento a 5°C, 25°C y 37°C.	60
Figura 33. Valores de tonalidad "hue" obtenidos para el polvo de pitaya hidratado durante 304 días de almacenamiento a 5°C, 25°C y 37°C	61
Figura 34. Polvo de pitaya rehidratado tiempo 0 días y tiempo 304 días almacenado a temperatura de 37 °C.	62
Figura 35. Concentración de betalaínas obtenida para la pulpa de pitaya con la adición de ácidos orgánicos, según tiempo de almacenamiento.	63
Figura 36. Comparación espectros de absorción obtenidos para la pulpa de pitaya con adición de ácidos orgánicos para el tiempo 0 días y 11 días.	65
Figura 37. Valores de a* obtenidos para la pulpa de pitaya sin adición de ácido orgánico, con ácido cafeico y con ácido ferúlico durante el tiempo de almacenamiento	67
Figura 38. Color presentado por las muestras de pulpa de pitaya con ácidos orgánicos en el tiempo 0 días y con 11 días de almacenamiento.	67
Figura 39. Valores de b* obtenidos para la pulpa de pitaya sin adición de ácido orgánico, con ácido cafeico y con ácido ferúlico durante el tiempo de almacenamiento	68
Figura 40. Valores de luminosidad obtenidos para la pulpa de pitaya sin adición de ácido orgánico, con ácido cafeico y con ácido ferúlico durante el tiempo de almacenamiento	68
Figura 41. Valores de croma obtenidos para la pulpa de pitaya sin adición de ácido orgánico, con ácido cafeico y con ácido ferúlico durante el tiempo de almacenamiento	69
Figura 42. Valores de tonalidad "hue" obtenidos para la pulpa de pitaya sin adición de ácido orgánico, con ácido cafeico y con ácido ferúlico durante el tiempo de almacenamiento	70

1. Justificación

Debido a la tendencia mundial de consumir productos cada vez más naturales, surge la necesidad de desarrollar un tipo de ingrediente 100% natural, que ayude a dar color a los productos procesados, pero que a su vez no genere ningún daño a la salud. El uso de colorantes artificiales en alimentos es una práctica muy común, pero muchos de estos compuestos, a pesar de que son necesarios para dar la apariencia ideal del producto, se han asociado con enfermedades, especialmente en niños, como son hiperactividad, asma, alergias, entre otras (Cormier & Harrison, 2007; Mike, 2007).

Los colorantes naturales son en su mayoría pigmentos que provienen de sustancias sintetizadas, acumuladas o excretadas por las células vegetales, éstos se encuentran en los alimentos de manera natural y desde hace tiempo han sido utilizados en la preparación de otros productos para dar color, pero la mayoría son inestables y se degradan con las condiciones ambientales, por lo que no todos se pueden utilizar como colorantes alimenticios (Velisek *et al.*, 2007).

La sustitución de los colorantes sintéticos por alternativas naturales representa un reto por la inestabilidad de estos últimos (Moßhammer *et al.*, 2007), pero a pesar de este problema se han realizado varios estudios para extraer mezclas de compuestos de frutas y vegetales que sirven como colorantes, debido a que son una opción más inocua para colorear los alimentos (Cai & Corke, 2000; Moßhammer *et al.*, 2006; Castellar *et al.*, 2008; Obón *et al.*, 2009).

Algunos colorantes naturales comúnmente utilizados son las antocianinas, las cuales son extraídas de diferentes plantas y usadas en un sinnúmero de productos, sin embargo, la poca estabilidad de éstas al calor y la luz han reducido sus aplicaciones como colorantes en los alimentos a nivel industrial (Amr & Al-Tamimi, 2007). Otros pigmentos naturales utilizados en la industria son los

carotenoides, las clorofilas y las betalaínas, siendo estas últimas de especial interés dado que presentan un color más estable que otros compuestos naturales y tienen muchos beneficios funcionales (Stintzing & Carle, 2004; Vaillant *et al.*, 2005).

Las betalaínas son una clase de pigmentos solubles en agua que comprenden dos grandes grupos: las betacianinas con coloraciones que van desde rojo al púrpura y las betaxantinas que van de amarillo a naranja (Dornenburg & Knorr, 1996; Velisek *et al.*, 2007).

Las betalaínas son más polares que las antocianinas y presentan coeficientes de extinción más altos, lo cual se traduce en una alta capacidad para aportar color; adicionalmente las betalaínas son más estables a valores de pH bajos que las antocianinas, lo que las hace interesantes para colorear alimentos ácidos (Stintzing *et al.*, 2000; Socaciu, 2007). Además, las betalaínas no causan alergias ni son tóxicas como algunos colorantes artificiales (Cormier & Harrison, 2007), por lo que son cada vez más atractivas como colorantes naturales de alimentos. El único problema es que la producción biotecnológica de éstas sería demasiado costosa, por lo que la industria de alimentos se ha enfocado en extraer las betalaínas presentes en productos naturales (Stintzing & Carle, 2004).

Los extractos de betalaínas que aportan color normalmente son jugos extraídos de frutas exóticas, que además de brindar coloraciones rojizas, también otorgan características antioxidantes (Castellar *et al.*, 2008). Existen muchos estudios sobre la síntesis y extracción de betalaínas en jugos, concentrados o polvos de remolacha que luego pueden ser utilizados como ingredientes que aportan color a los alimentos (Thimmaraju *et al.*, 2003; Sepúlveda *et al.*, 2004). Sin embargo, la aplicación de los extractos de remolacha está limitada debido a que contienen considerables niveles de nitratos y generan un sabor terroso debido a la formación de derivados de pirazinas (Stintzing & Carle, 2004).

Por lo anterior se ha evaluado la obtención de las betalaínas a partir de otras plantas ricas en estos compuestos como lo son la *Opuntia* sp. (Moßhammer *et al.*, 2006) y *Hylocereus* sp. (Herbach *et al.*, 2007). Siendo ésta última de especial interés debido al alto contenido de betalaínas que presenta. Los frutos de *Hylocereus* contienen 280-400 mg de betacianinas por kilogramo de pulpa, por lo que su explotación para el desarrollo de preparaciones para coloración tiene un gran potencial (Stintzing & Carle, 2006; Esquivel *et al.*, 2007).

Los extractos de *Hylocereus* sp., conocida en español como pitaya o pitahaya, se convierten en una fuente interesante de pigmentos por la alta concentración y la diversidad estructural de betalaínas presentes en estos frutos (Esquivel *et al.*, 2007). La presencia de betalaínas en la pitaya roja contribuye con una alta capacidad antioxidante y antiproliferativa (Wu *et al.*, 2006). Vaillant *et al.* (2005) concluyen que el jugo de pitaya combina las propiedades funcionales de un colorante natural con un gran poder antioxidante.

Debido a los beneficios presentados por los ingredientes elaborados a base de pitaya se han realizado varios estudios sobre su composición y formas de extracción (Vaillant *et al.*, 2005; Herbach *et al.*, 2007; Esquivel *et al.*, 2007) pero es muy importante estudiar, no solo la cantidad de betalaínas presentes en los ingredientes elaborados a partir de pitaya, sino también su estabilidad, para que estos productos puedan ser utilizados industrialmente sin generar variaciones en el producto final.

Las betalaínas son sensibles a altas temperaturas, por lo que los procesos de elaboración de extractos o de su transformación en materias primas para la industria de alimentos generan grandes pérdidas de los pigmentos presentes. Adicionalmente, su estabilidad se ve afectada por la luz y el oxígeno (Elbe *et al.*, 1974; Cai & Corke, 2000). Estos extractos pueden ser utilizados como colorantes en alimentos que requieren almacenamiento por tiempos cortos, en condiciones

ácidas y que no se sometan a tratamientos térmicos muy elevados (Amr & Tamimi, 2007).

En algunos otros colorantes naturales o extractos naturales se ha evaluado la estabilidad de las betalainas en el tiempo, obteniendo resultados muy interesantes (Cai & Corke, 2000; Moßhammer *et al.*, 2007; Azeredo *et al.*, 2007; Herbach *et al.*, 2007). En el caso del estudio de Azeredo *et al.* (2007) se encontró que las betalainas extraídas de la remolacha son muy útiles para colorear alimentos y son estables en el tiempo siempre que las mismas no sean sometidas a la luz; pero aún falta un mayor número de estudios sobre ingredientes elaborados a partir de pitaya.

Otro aspecto que afecta el uso de los pigmentos naturales como ingredientes que aportan color en los alimentos y su estabilidad, es la presencia de otros compuestos químicos que pueden actuar como copigmentos, los cuales en muchos casos generan que el color aportado por los pigmentos naturales se vuelva más intenso. Adicionalmente, la formación de compuestos químicos por la presencia de estos copigmentos hace que el color se intensifique en el tiempo en lugar de disminuir, lo cual los hace aún más interesantes. Este efecto se ha estudiado en algunas antocianinas presentando comportamientos diferentes dependiendo de la antocianina y de los copigmentos presentes (Eiro & Heinonen, 2002); pero no se tienen estudios del comportamiento de las betalainas presentes en ingredientes elaborados a partir de pitaya roja en presencia de estos agentes.

El objetivo de este estudio fue evaluar la estabilidad de las betalainas en ingredientes alimenticios preparados a partir de pitaya roja, para determinar si durante el almacenamiento, la concentración de las betalainas y el color del ingrediente se ven afectados, asegurando así el aporte que estos ingredientes le pueden brindar a los alimentos en la industria. Adicionalmente se evaluó el efecto en el tiempo de la presencia de compuestos utilizados como copigmentos en un extracto de pulpa de pitaya.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Evaluar la estabilidad de ingredientes colorantes elaborados a partir de pitaya roja (*Hylocereus* sp.) y el efecto de la adición de copigmentos en cuanto a color, concentración de betalaínas y espectro de absorción.

2.2. Objetivos específicos

- Evaluar el efecto del tiempo sobre la estabilidad de las betalaínas presentes en pulpa pasteurizada de pitaya en cuanto a color de la pulpa, la concentración total de betalaínas presente y su espectro de absorción, durante 198 días de almacenamiento a 5°C.
- Evaluar el efecto del tiempo sobre la estabilidad de las betalaínas presentes en un concentrado de pitaya en cuanto a color, la concentración de betalaínas presente y su espectro de absorción, durante 148 días de almacenamiento a 5° C, 25 °C y 37 °C.
- Evaluar el efecto del tiempo sobre la estabilidad de las betalaínas presentes en un polvo de pitaya después de la concentración y secado por atomización de pulpa de la fruta en cuanto a color, la concentración de betalaínas presente y su espectro de absorción, durante 304 días de almacenamiento a 5° C, 25 °C y 37°C.
- Evaluar el efecto de la adición de copigmentos sobre la estabilidad de las betalaínas presentes en pulpa de pitaya en cuanto a color, la concentración de betalaínas y su espectro de absorción durante 11 días de almacenamiento a 25°C.

3. Marco teórico

La apariencia de un alimento es la primera clave de su identificación y con frecuencia predice el grado de satisfacción o placer que se obtendrá al comerlo; probablemente uno de los aspectos más importantes de esta apariencia es el color (Mandujano, 2006). El color de los alimentos es un indicativo de la calidad de los mismos, ya que el consumidor asocia este parámetro con un buen procesamiento y un alimento seguro. La percepción de éste está relacionada con tres factores: la composición espectral de la fuente de luz, las características físicas del objeto y la sensibilidad del ojo, y no solamente a la composición química del alimento como usualmente se cree. En general, se dice que el color en los alimentos es el resultado de la presencia de pigmentos naturales o de la adición de colorantes orgánicos sintéticos (Wilska-Jeszka, 2007).

Un colorante es un compuesto químico que imparte color y puede ser definido como la sustancia obtenida de vegetales, animales o minerales, o por síntesis, empleada para impartir o acentuar el color de los alimentos (Badui, 1993), tenemos de esta manera colorantes artificiales y naturales.

3.1. Colorantes artificiales

Los colorantes artificiales se utilizan desde el siglo diecinueve y son aquellos obtenidos mediante un proceso químico industrial, presentándose como una muy buena opción para colorear los alimentos, de una manera segura y económica, tanto así que se han desarrollado hasta 700 tipos de colorantes sintéticos (Wilska-Jeszka, 2007).

Dentro de estos tipos de colorantes podemos encontrar solubles en agua y solubles en grasas. Generalmente son muy estables, aunque la estabilidad de los

mismos depende de la composición del producto, temperatura y tiempo de exposición. La mayoría de estos son resistentes a la cocción y el horneado. Los colorantes artificiales son muy utilizados en la industria alimentaria ya que los mismos son superiores a los pigmentos naturales en poder de tinción, estabilidad, facilidad de aplicación y menor costo (Wilska-Jeszka, 2007). Sin embargo, hay posibles efectos negativos sobre la salud asociados con el uso de éstos por lo que no son muy bien aceptados por los consumidores. Hay estudios que demuestran que algunos colorantes artificiales, como la tartrazina, generan hiperactividad en los niños, lo cual aumenta la necesidad de eliminar este tipo de productos de los alimentos (Bateman *et al.*, 2004).

Este tipo de compuestos ha sido uno de los primeros productos elaborados por el hombre que ha sido regulado por ley, y aún hoy están estrictamente controlados en cuanto a las cantidades utilizadas y su etiquetado. Muchos colorantes artificiales son prohibidos en Europa y en otras partes del mundo debido a los problemas asociados con la salud a los que se les ha ligado. Algunos de éstos se han tenido que resaltar en las etiquetas como productos alérgicos, por lo que su uso disminuye cada día más (Daniells, 2008; European Parliament, 2008; Scott, 2009).

3.2. Colorantes naturales

En los últimos años el interés por los colorantes naturales ha crecido cada día más y se estudian nuevos pigmentos de origen vegetal que puedan servir como una opción natural para lograr los colores deseados en los alimentos; dentro de este tipo de pigmentos están los carotenoides, las antocianinas, las clorofilas y otros menos conocidos como las betalaínas.

Los colorantes naturales son producidos por la extracción selectiva de compuestos que dan color mediante el uso de solventes (eliminados posteriormente), los cuales separan los pigmentos de las fuentes naturales.

3.3. Carotenoides

Los carotenoides son una clase de pigmentos naturales que se encuentran en plantas, algas y bacterias fotosintéticas, son responsables de coloraciones naranja, amarillas y rojas de muchas plantas, flores y frutas. En los últimos años han sido muy estudiados debido a su uso como colorantes naturales y a que éstos poseen un alto valor nutritivo, son precursores de la vitamina A y han sido reconocidos como antioxidantes naturales que pueden ayudar a prevenir enfermedades como cáncer (Robles *et al.*, 2007).

Los carotenoides no son solubles en agua y se extraen con disolventes orgánicos como cloroformo o éter; son compuestos químicos de la familia de los terpenos que están formados por cadenas de 40 átomos de carbono que pueden finalizar en grupos cíclicos. Los carotenoides se pueden dividir en carotenos, que solo contienen carbono e hidrógeno, y xantofilas, que contienen carbono, hidrógeno y oxígeno. Dentro del extenso grupo de los carotenoides podemos encontrar varios tipos de compuestos que son muy utilizados en la industria de alimentos, pero son poco estables en presencia de luz y oxígeno (Mortensen, 2006).

3.4. Clorofilas

Este pigmento es el responsable del color verde de la mayoría de las hojas, utilizado por éstas para la fotosíntesis. Las clorofilas poseen una estructura típica conocida como anillo de porfirina, asociado con un extenso sistema de dobles

enlaces conjugados, el cual les confiere un alto nivel de insaturación a su estructura básica. Existen cinco clases de clorofilas (a, b, c, d y e) en la naturaleza y en los organismos fotosintéticos, siendo predominantes las dos primeras (Mortensen, 2006). Éstas son insolubles en agua y solubles en diferentes disolventes orgánicos como benceno, éter y acetona y tienen un pico de absorción en el espectro visible a una longitud de onda de 400 – 500 nm y otro a 600 -700 nm (Mandujano, 2006).

Las clorofilas son similares a los carotenos en cuanto a su estructura química y son sensibles a los oxidantes, altas temperaturas, pH, luz y algunas enzimas, lo cual limita su uso como colorantes. Estos compuestos no son permitidos en Estados Unidos para su uso como colorante en alimentos, pero sí son legales en Europa cuando son extraídos de plantas, grama o alfalfa (Mortensen, 2006).

3.5. Antocianinas

Las antocianinas son compuestos hidrosolubles, menos estables que los carotenoides que se extraen de las uvas, moras, manzanas, rosas y orquídeas entre otras; estos pigmentos son los más importantes de las plantas vasculares y son los responsables de coloraciones naranja, rosado, rojo, violeta y azul de muchas flores y frutas. Las antocianinas consisten en glucósidos constituidos por una molécula de antocianidina, a la que se le une un azúcar formando el glucósido que da color; el número de grupos hidroxilados, la naturaleza y el número de azúcares ligados a la estructura, así como la posición de los enlaces son las diferencias que se encuentran entre una antocianina y otra, teniéndose identificadas en la actualidad más de 500 antocianinas diferentes (Castañeda *et al.*, 2009).

Las antocianinas son muy inestables en presencia de luz, azúcares y pH elevado, por lo cual este pigmento puede ser utilizado solo para colorear

alimentos de almacenamiento corto y poseen un pH bajo, como es el caso del yogurt (Amr & Al-Tamimi, 2007).

3.6. Betalaínas

Las betalaínas son pigmentos naturales solubles en agua que se encuentran en plantas de la familia de los *Caryophyllales* y en algunos hongos del género *Amanita (Basydiomycetes)*. Estructuralmente estos pigmentos son derivados del ácido betalámico y se dividen en betaxantinas y betacianinas, las cuales a su vez abarcan un gran número de compuestos, dentro de los que se destacan las betaninas y filocactinas (Herbach *et al.*, 2006a), presentando variaciones sencillas entre sus diferentes estructuras. La estructura básica de las betalaínas (Figura 1) muestra que éstas son conjugados de ácido betalámico con diferentes compuestos que se unen en R y R1 como son ciclo-3-(3,4-dihidroxifenil)-1-alanina (ciclo-dopa), aminoácidos o aminas y presentan coloraciones desde el violeta para las betacianinas hasta el amarillo para las betaxantinas (Herbach *et al.*, 2006a; Velisek *et al.*, 2007).

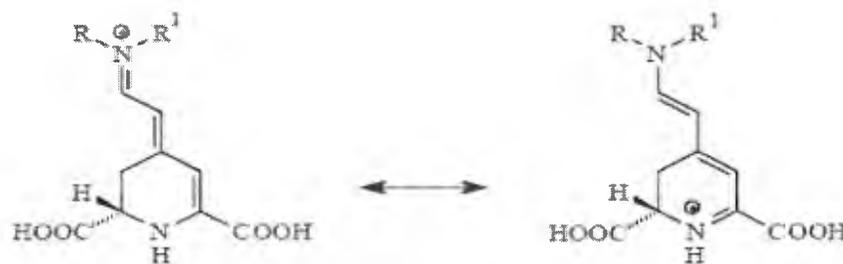


Figura 1. Estructura básica de las betalaínas.

Las betalaínas son compuestos aromáticos provenientes de la síntesis de la tirosina. Cada betalaína es un glucósido y consiste de un azúcar y una parte que

da el color. Estas pueden coexistir en una planta con las antoxantinas, pero nunca con las antocianinas (Grotewold, 2006).

Las betaxantinas se forman por condensación de ácido betalámico con aminas o aminoácidos, en estos compuestos el anillo ciclo dopa de la betacianina es desplazado por un grupo amino o por un aminoácido; por lo que puede haber más de 200 betaxantinas. Las betacianinas se forman por condensación de ácido betalámico con derivados de ciclo dopa, se consideran glucósidos y están compuestas en un 95% por betanina. Las betacianinas pueden estar glucosiladas. Los glucósidos se forman por reacción del grupo alcohol de una molécula con otro grupo alcohol perteneciente a un azúcar (monosacárido u oligosacárido), en esta reacción se forma un enlace glucosídico con pérdida de una molécula de agua. La parte no glucosídica (no azúcar) del compuesto resultante se presenta en dos formas isoméricas, como betanina e isobetanina en algunas frutas y vegetales. Las betacianinas absorben luz a 537 nm y las betaxantinas entre 460 y 480 nm (Sintzing *et al.*, 2002; Zrýd & Cristinet, 2004).

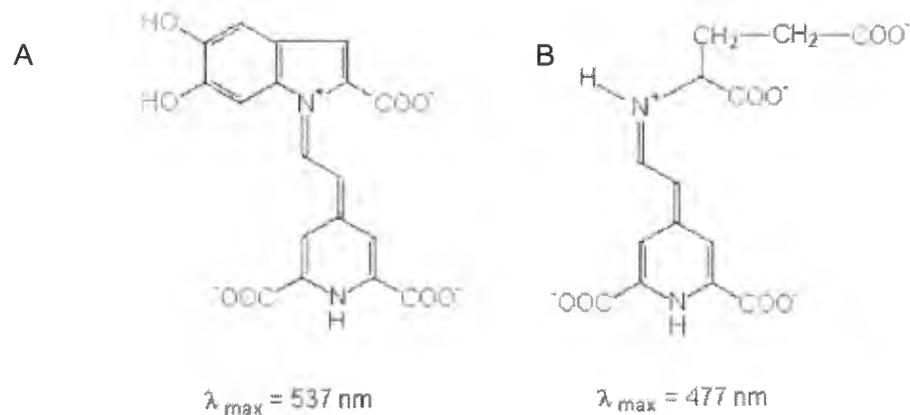


Figura 2. Estructura de la betacianina (A) y betaxantina (B).

3.7. Estabilidad de las betalaínas

La estabilidad de las betalaínas es restringida; debido a que su color se altera por varios factores: pH, temperatura, actividad acuosa y luz. No se ha logrado la estabilización de estos pigmentos mediante acilación o sustitución de la molécula, aunque su estabilidad puede aumentar si se añaden antioxidantes como ácido ascórbico, butil-hidroxi-tolueno (BHT) y butil-hidroxi-anisol (BHA). Las betaxantinas se degradan con mayor rapidez que las betacianinas, además, por su color amarillo en general se enmascaran con las betacianinas u otros compuestos presentes (García, 2008).

a) Efecto del pH

En las betalaínas el color permanece inalterado en un intervalo de pH de 3 a 7, pero esta estabilidad depende de su fuente, las betalaínas extraídas de la remolacha son más estables a pH 5,5 a 6,0 (Socaciu, 2007) y en este tipo de pigmentos a pH por debajo de 3,0 el color cambia a violeta, y su intensidad decrece. Por encima del pH 7,0, el color es más azulado debido a un efecto batocrómico o desplazamiento hacia el rojo. La mayor intensidad de azul se observa a un pH 9,0.

b) Efecto de la temperatura

Las betalaínas son muy sensibles a la temperatura. La degradación de betalaínas como betanina y vulgaxantina-I sigue una reacción de primer orden en un intervalo de pH 3,0 a 7,0, en ausencia de oxígeno. La betanina, por otra parte, produce isobetanina y/o betanina descarboxilada cuando se calienta a un pH de 3,0 a 4,0. Al calentar la betanina en condiciones alcalinas la misma se degrada y forma ácido betalámico y ciclodopa-5-0 glucósido, reacción que es reversible dependiendo del pH, pero ambos compuestos son sensibles al oxígeno por lo que algunas veces no se puede revertir (García, 2008). En jugos y pulpa de pitaya se ha encontrado que el tratamiento térmico genera una degradación de la

betacianina y la formación de betaxantina por medio de la condensación de aminoácidos libres presentes en los extractos con el ácido betalámico generado de la hidrólisis de la betacianina (Herbach *et al.*, 2006a). Pero también se ha encontrado que algunas de estas reacciones son reversibles durante el enfriamiento, con lo que se logra una regeneración de betalaínas después del procesamiento térmico que evita una gran pérdida de éstas, logrando que en productos como en jugo de pitaya se logre mantener el color del pigmento aún después de los tratamientos térmicos (Herbach *et al.*, 2004).

c) Efecto de la luz

Al igual que las antocianinas, las betalaínas son muy susceptibles a la degradación iniciada por radiación; la degradación por fotooxidación depende del pH, y ocurre con más intensidad a pH 3,0 que a 5,0 (García, 2008). En el estudio realizado por Azeredo *et al.* (2007), sobre la estabilidad de jugo deshidratado de remolacha, se determinó que el producto, expuesto a la luz perdía casi el doble de betalaínas que si se aislaba de este tipo de radiaciones. En algunos casos se ha determinado que la presencia de ácido ascórbico disminuye significativamente la degradación de las betalaínas debida a la exposición a la luz (Herbach *et al.*, 2006a).

d) Efecto del oxígeno

La presencia de oxígeno acelera la degradación oxidativa de la betanina ya que afecta la velocidad de fotooxidación y de degradación por temperatura. Los iones metálicos (hierro, cobre, estaño, aluminio) aceleran la oxidación en presencia de oxígeno. El ácido cítrico y ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) protegen a las betalaínas de la oxidación (Attoe & Von Elbe., 1985). El consumo de oxígeno es dependiente del pH y este se incrementa cuando las betalaínas son más estables, es decir de pH 4,0 a pH 6,0. Algunas betalaínas como la

betanina y la isobetanina, se reportan como inestables en presencia del oxígeno y su estabilidad decrece linealmente con respecto al aumento en la concentración de este compuesto (Herbach *et al.*, 2006a).

e) Efecto de la actividad del agua

Las betalaínas son estables en productos deshidratados con una actividad de agua menor a 0,5. Al aumentar la humedad se aumenta la movilidad de los compuestos y la solubilidad de oxígeno, por lo que al aumentar el A_w las betalaínas son más inestables (Herbach *et al.*, 2006a).

f) Presencia de copigmentos

Otro factor que afecta la estabilidad de los pigmentos naturales presentes en las plantas es la presencia de otros compuestos químicos que de una u otra forma modifican el pigmento logrando un mejor color y mayor estabilidad en el tiempo; este tipo de compuestos se conocen como copigmentos. La copigmentación es ampliamente estudiada buscando aumentar la estabilidad de los colorantes naturales; esto ocurre principalmente en las antocianinas, pero también se presenta este fenómeno en las betalaínas (Drunkler *et al.*, 2004).

La copigmentación puede ocurrir intermolecularmente o intramolecularmente y la estabilidad del color aumenta debido a la interacción de los pigmentos con sustancias incoloras (copigmentos) como pueden ser flavonoides, alcaloides, ácidos orgánicos, entre otros. La copigmentación se ve evidenciada, tanto por un aumento en la absorbancia (efecto hiperacrómico) como por un desplazamiento batocrómico generalmente entre unos 5 y 20 nm o más (Drunkler *et al.*, 2004).

Estudios previos han demostrado que algunos flavonoides presentan un efecto copigmentante con las betacianinas, afectado éste por la presencia de factores como la luz, el pH y la temperatura. Otros compuestos que han presentado copigmentación con antocianinas y betalaínas son el ácido tánico y el ácido

gálico. El ácido tánico aumentó significativamente el tiempo de vida útil y el porcentaje de retención de las betalainas a un pH de 5 en un extracto de remolacha (Drunkler *et al.*, 2004).

Otro ácido que ha presentado efecto de copigmentación es el ácido ferúlico, el cual aumenta la coloración en el tiempo de pigmentos como las antocianinas (Eiro & Heinonen, 2002).

3.8. Fuentes de betalainas

De las betalainas existentes se pueden encontrar solo algunas de ellas en los alimentos y las frutas, por lo cual es muy importante realizar un análisis para saber que compuestos están presentes en los diferentes alimentos y cómo pueden ser utilizados en la industria alimentaria. Una de las fuentes utilizadas comúnmente como fuente de betalainas son las frutas, principalmente por su naturaleza, que no aporta mayor contenido de contaminantes al extracto. Algunos alimentos que poseen un alto contenido de betalainas son la remolacha, algunas tunas y la pitaya roja, los cuales han sido estudiados previamente como una importante fuente de estos pigmentos (Stinzing *et al.*, 2003; Esquivel *et al.*, 2007).

Remolacha, *Beta vulgaris* L.

La remolacha pertenece a la familia *Chenopodiaceae* y su nombre científico es *Beta vulgaris* L. Existen numerosas variedades de la especie, las cuales se emplean para la alimentación humana, como pienso para ganado, y para la producción de azúcar. Otras, se cultivan por sus hojas. Determinadas industrias extraen de la remolacha el colorante rojo, la betanina, utilizado en sopas

deshidratadas, yogures, salsas, etc. Algunas variedades forman en mayor cuantía el colorante amarillo denominado betaxantina (García, 2008).

Los extractos de la remolacha roja (*Beta vulgaris*) han sido utilizados como una alternativa a los colorantes rojos de origen sintético para aplicación alimentaria, aunque su uso está limitado a alimentos deshidratados o refrigerados de corta duración, debido a que este colorante es susceptible a cambios debidos a la presencia de luz y temperatura. Estos extractos sufren después del procesamiento cambios en su coloración debido a la formación de pigmentos amarillos y anaranjados (Herbach *et al.*, 2004).

Uno de los inconvenientes que presenta el colorante rojo de la remolacha es que tiene un aroma a tierra, debido a la presencia de geosmina y de 3-sec-butilo 2-metoxipirazina. Además tiene un elevado contenido de nitratos por tratarse de una raíz (García, 2008). Se han realizado estudios para determinar el contenido de nitratos y de nitrógeno en esta raíz ya que esto limita sus aplicaciones en alimentos y se ha determinado que los problemas se pueden disminuir con mejores condiciones de cultivo, aunque los niveles presentes en los productos estudiados aún son peligrosos (Hoffmann & Marlander, 2005).

Las alternativas a la remolacha como fuente de betanina son las flores de amaranteáceas y los frutos de algunas especies de cactáceas. En ambos casos los productos están libres de geosminas, siendo sus propiedades aromáticas más aceptables (Castellar *et al.*, 2003).

Tunas, (*Opuntia* sp.)

Opuntia es un género de la familia de las cactáceas, que consta de más de 300 especies, todas oriundas del continente americano desde el norte de Estados Unidos hasta la Patagonia. La especie más cultivada y estudiada es *Opuntia*

ficus-indica. Son plantas muy rústicas y ramificadas, con ramas muy extendidas o inclinadas. Los segmentos son característicos del género, con apariencia de hoja carnosa, planos y generalmente ovales; poseen la capacidad de convertirse en tallos y a su vez emitir nuevos segmentos y flores (García, 2008).

O. stricta es una eficaz fuente de pigmentos de betacianina y contiene altos niveles de betanina (800 mg/kg), cinco veces más altos que los encontrados en los frutos rojos de *Opuntia ficus-indica* e incluso mayores que algunas variedades de remolacha roja comercial utilizadas por su color púrpura. El extracto de *O. stricta* carece de las betaxantinas amarillas, mientras que la betanina y la isobetanina son las betacianinas mayoritarias presentes. Dichas betacianinas son las mismas presentes en la remolacha roja (Castellar et al., 2006), siendo una fuente alternativa frente a la remolacha roja.

Los frutos de *Opuntia stricta* ofrecen considerables ventajas tecnológicas y sensoriales como fuente de betaninas, debido a que estas poseen un gran aroma y sabor a fruta fresca (García, 2008). El uso de extractos de *Opuntia* sp. como ingrediente que aporta color ha sido estudiado. Se ha evaluado el proceso de secado por atomización de jugos de la fruta obteniendo elevados rendimientos de un colorante rojo púrpura en polvo con grandes posibilidades de comercialización (Obón et al., 2008). Además, estos frutos no muestran toxicidad, sus pigmentos no provocan ninguna reacción alérgica (Castellar et al., 2006).

Pitaya, *Hylocereus* sp.

La pitaya de la familia de las cactáceas, es originaria de las regiones tropicales de América y se distribuye desde México hasta Centroamérica. Hoy se le puede encontrar en países del trópico como Nicaragua y Costa Rica donde se considera que el género predominante es el de *Hylocereus costaricensis* (Mizrahi

& Nerd, 1999). Una de las características más interesantes de la pitaya, es que nace de un cactus. Este cactus primero produce flores, que más tarde se transformarán en un fruto color púrpura o rosado, que puede pesar aproximadamente 300 gramos. La pulpa de la pitaya es de color morado o rojo intenso, y contiene numerosas semillas negras. En Nicaragua ésta se usa para obtener un refresco dulce, generalmente reforzado con un poco de limón, y también se le puede comer directamente, cortada en trozos pequeños (Barbeau, 1990).

La maduración de los frutos de la pitaya ocurre entre los 25 y 31 días después de la apertura floral, a una temperatura media de 26 °C. Durante este período, la cáscara pasa de verde claro a rojo púrpura y se debe cosechar a los 31 días máximo debido a que ésta se comienza a agrietar. Durante la maduración ocurre la acumulación de la porción comestible del fruto y se incrementan los sólidos solubles, así como la relación °Brix/acidez. En contraste, la firmeza y el contenido de ácido ascórbico disminuye (Centurión *et al.*, 2008).

La pitaya es una muy buena opción para el comercio, ya que es una fruta de fácil cultivo, que no requiere mucho terreno y tiene mucho potencial en mercados como Estados Unidos y la Comunidad Europea (CNPE, 2005). En Estados Unidos y Europa la mayor parte del cultivo de pitaya se utiliza para la producción de pulpa, utilizada en la industria de alimentos, como ingrediente y pigmento natural debido a su alto contenido de betalaínas (Le Bellec *et al.*, 2006).

Los extractos de pitaya roja contienen un alto contenido de betalaínas entre 476 y 717 mg/L dependiendo de la variedad, dentro de las que se destacan filocactina, betanina, isobetanina, hilocerina, butirilbetaninas entre otras (Esquivel *et al.*, 2007) . Este contenido tan alto y variable de pigmentos genera que la pitaya presente una coloración roja y roja-púrpura muy marcada, similar a la encontrada en los extractos de remolacha, y permite que estas puedan utilizarse como colorantes naturales. Además de poseer colores muy intensos, éstos casi

Ejemplos de estos ingredientes que aportan color, son jugos, pulpas, concentrados y hasta productos deshidratados de frutas exóticas como la pitaya que contienen una coloración intensa debido al alto contenido de betacianinas (Castellar *et al.*, 2008). Se han realizado un sinnúmero de estudios para poder elaborar ingredientes a partir de pitaya, tuna y remolacha que contengan un alto contenido de betalaínas y que sean estables en el tiempo (Thimmaraju *et al.*, 2003; Sepúlveda *et al.*, 2004; Moßhammer *et al.*, 2005; Herbach *et al.*, 2007; Esquivel *et al.*, 2007).

Algunos ingredientes que ya se han evaluado en alimentos son la pulpa deshidratada de *Opuntia* y de remolacha, los cuales se utilizaron en coloraciones de yogurt teniendo muy buenos resultados (Azeredo *et al.*, 2007; Obón *et al.*, 2009). En el caso de los extractos de pitaya se ha evaluado el uso de puré de pitaya en pasteles (Chik *et al.*, 2011) y polvo deshidratado de jugo de pitaya en yogurt (Nizaha *et al.*, 2011) obteniendo también resultados positivos ambos casos.

En jugos o pulpas de pitaya se ha evaluado no solo la aplicación de estos como ingredientes sino también la degradación de los pigmentos presentes durante el procesamiento y el almacenamiento con resultados muy alentadores (Woo *et al.*, 2011). Herbach *et al.*, (2004) encontraron que los jugos de pitaya presentan mucha mayor estabilidad que los extractos de remolacha tanto al tratamiento térmico como a las variaciones de pH. Además, Herbach *et al.* (2007) encontraron que el jugo de pitaya podía ser extraído y pasteurizado, para elaborar un ingrediente que al ser mantenido en la oscuridad y estabilizado con ácido ascórbico logra mantener un alto contenido de betacianinas.

4. Materiales y métodos

4.1. Localización del proyecto

El estudio se realizó en la planta piloto del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos y en el laboratorio de Química de la Escuela de Tecnología de Alimentos de la Universidad de Costa Rica, como parte del proyecto “Desarrollo de productos procesados a partir de pitaya para su aplicación en formulaciones alimenticias y cosméticas” (VI-735-A8-527).

4.2. Materia prima

Como materia prima se utilizaron frutas maduras de la especie *Hylocereus* sp. (Pitaya roja) variedad Rosa, cosechadas de julio a octubre del 2009, provenientes de Ticuantepe, Nicaragua. Se utilizaron tres lotes de fruta que correspondieron a tres días diferentes de cosecha.

4.3. Elaboración de ingredientes

4.3.1. Pulpa

Extracción de la pulpa

Las frutas se cortaron en cuartos y se removió la piel manualmente. Los trozos de frutas se pasaron por un despulpador con un tamiz de 0,125 pulgadas; la pulpa obtenida se pasteurizó o se maceró para la elaboración de concentrado.

Pasteurización de la pulpa

La pulpa obtenida de la extracción se hizo pasar por un colador para eliminar todas las semillas, posteriormente se le añadió 1% m/m de ácido ascórbico, se empacó en bolsas metalizadas y se sometió a un tratamiento térmico colocando las bolsas en agua en ebullición durante 5 minutos. Luego se enfriaron en un baño de hielo por 90 segundos, siguiendo la metodología descrita por Herbach *et al.* (2007). Se obtuvo pulpa pasteurizada con 12% de sólidos totales.

4.3.2. Concentrado

Para la elaboración del concentrado de pitaya se utilizó el procedimiento descrito por Schweiggert *et al.* (2009). Que se detalla a continuación:

Maceración

La pulpa de pitaya sin pasteurizar se sometió a un proceso de maceración mediante el tratamiento enzimático optimizado por Schweiggert *et al.* (2009). Se utilizó un 1% (v/p) de pectinasa comercial, 0,92% de ácido ascórbico y se mantuvo en agitación durante 3 días a una temperatura de 7,9 °C. La mezcla se filtró al finalizar el tratamiento enzimático para separar las semillas de la fruta. El jugo obtenido se calentó a 90 °C en una marmita de doble chaqueta para inactivar la enzima y se enfrió rápidamente a 40-50 °C.

Concentrado

Se utilizó el jugo obtenido de la maceración para elaborar un concentrado con 65% de sólidos totales, utilizando un rotavapor de laboratorio a 60 °C y 72 mbar.

Para la determinación de las variables analizadas se reconstituyó el concentrado en agua destilada utilizando 10 g de concentrado y 40 g de agua destilada.

4.3.3. Polvo

A partir del concentrado se elaboró el polvo de pitaya utilizando el procedimiento descrito por Moßhammer *et al.* (2006).

Se preparó una mezcla con 85 g de concentrado de pitaya (65°Brix), 100 g de maltodextrina (20 DE) y 500 g de agua. Esta mezcla se secó en un secador de aspersión a nivel de laboratorio utilizando las siguientes condiciones: temperatura de entrada del aire caliente de 180 °C, temperatura de salida del aire de 72 °C, flujo de alimentación 15% y flujo de aire 667 L/h, para obtener el polvo de pitaya deshidratado.

Para la medición de la concentración se rehidrató la muestra con agua destilada utilizando 5 g de polvo y 45 g de agua destilada.

4.3.4. Pulpa de pitaya con adición de copigmentos

Como agente copigmentante se utilizó ácido ferúlico y ácido cafeico; para la incorporación de estos a la pulpa se utilizó el procedimiento de Drunker *et al.* (2004) y de Eiro & Heinonen (2002).

Disolución de copigmentos: se preparó una disolución de cada uno de los copigmentos disolviendo éstos en etanol al 90% para una concentración final del 0,03 M de copigmento.

Disolución de pulpa de pitaya: se disolvió la pulpa de pitaya en etanol al 90% para obtener una disolución al 50% de pulpa de pitaya, la disolución fue centrifugada para separar el precipitado formado y se utilizó el extracto libre de precipitado.

Muestras de análisis: las muestras a analizar se elaboraron tomando 50% de la disolución del copigmento y 50% de la disolución de la pulpa, se preparó una muestra control utilizando 50% de etanol (90%).

Las muestras se equilibraron por 30 minutos para medir la concentración inicial de betalaínas y el espectro de absorción del tiempo 0 días y se almacenaron en bolsas transparentes selladas a temperatura ambiente para su posterior evaluación.

4.4. Evaluación del efecto del tiempo de almacenamiento sobre la estabilidad de las betalaínas en pulpa de pitaya pasteurizada.

Se evaluó la estabilidad de las betalaínas en pulpa de pitaya pasteurizada durante un período de almacenamiento de 198 días a 5 °C. La pulpa fue almacenada en bolsas metalizadas para proteger el producto de la luz y se realizaron mediciones en el producto los días: 0, 24, 52, 86, 121, 170 y 198 de almacenamiento. Las variables a evaluar fueron el color, la concentración de betalaínas y el espectro de absorción.

4.4.1. Diseño experimental

Para el estudio de almacenamiento se utilizó un diseño de bloques tomando el factor lote como bloque para eliminar el efecto que pueden generar las posibles diferencias entre los diferentes lotes de frutas, para este diseño se ensayó el tiempo en 7 niveles (factor continuo). Las variables respuesta son el color, concentración de betalaínas y el espectro de absorción. En cada caso se evaluaron tres lotes de pulpa de pitaya pasteurizada, con tres réplicas del análisis.

4.4.2. Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza para evaluar la significancia del efecto del tiempo como un factor continuo (regresión lineal) sobre las variables respuesta, utilizando el factor lote como bloque. Para esto se utilizó el paquete estadístico JMP 9. Para todos los análisis estadísticos realizados se utilizó una significancia del 5%.

4.5. Evaluación del efecto del tiempo de almacenamiento y la temperatura sobre la estabilidad de las betalaínas en concentrado y polvo de pitaya.

Se evaluó la estabilidad de las betalaínas en concentrado de pitaya y en polvo de pitaya (concentrado secado por atomización) durante el almacenamiento a tres temperaturas: 5 °C, 25 °C y 37°C. Los diferentes ingredientes fueron empacados en bolsas metalizadas para proteger el producto de la luz y se almacenó cada muestra a analizar de manera individual. El concentrado se analizó recién elaborado (día 0) y cada mes hasta cumplir 148 días de almacenamiento. El polvo se analizó recién elaborado (día 0) y cada dos meses hasta cumplir 304 días de almacenamiento.

Las variables evaluadas fueron el color, concentración de betalaínas y el espectro de absorción.

4.5.1. Diseño experimental

Para el estudio de almacenamiento se utilizó un diseño de bloques utilizando el lote como factor bloque con un arreglo factorial de dos factores continuos,

temperatura y tiempo (3X6), utilizando tres temperaturas y seis tiempos. Las variables respuesta fueron el color, concentración de betalaínas y el espectro de absorción. En cada caso se evaluaron tres lotes de pulpa de pitaya pasteurizada, con tres réplicas del análisis.

4.5.2. Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza para evaluar la significancia de los efectos continuos de temperatura y tiempo (regresión lineal) sobre las variables respuesta, y su interacción, utilizando el factor lote como bloque. Para este análisis se utilizó el paquete estadístico JMP 9.

4.6. Evaluación del efecto de la adición de ácido ferúlico y ácido cafeico sobre la estabilidad de las betalaínas en pulpa de pitaya pasteurizada durante un almacenamiento de 11 días

Se evaluó la estabilidad de las betalaínas en pulpa de pitaya pasteurizada con la adición de ácido ferúlico y ácido cafeico durante un período de 11 días realizando mediciones a los 0, 2, 4, 7, 9 y 11 días de almacenamiento. Las muestras se almacenaron a 25 °C, en bolsas transparentes, para acelerar las posibles reacciones (Eiro & Heinone, 2002).

4.6.1. Diseño experimental

Para el estudio de almacenamiento se utilizó un diseño de bloques utilizando el factor lote como bloque, con arreglo factorial de dos factores (copigmento factor

nominal y tiempo factor continuo), utilizando tres niveles para la adición de copigmento (presencia ácido cafeico, presencia de ácido ferúlico y sin copigmento) y seis tiempos, (0, 2, 4, 7, 9, 11 días), arreglo factorial 3 x 6. Las variables respuesta fueron color, concentración de betalaínas y espectro de absorción. En cada caso se evaluaron tres lotes de pulpa de pitaya pasteurizada, con tres réplicas del análisis.

4.6.2. Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza para evaluar la significancia del efecto del copigmento como un factor simple y del tiempo como un factor continuo (regresión lineal) sobre las variables respuesta y su interacción, utilizando el factor lote como bloque. Para este análisis se utilizó el paquete estadístico JMP 9.

4.7. Métodos de análisis

4.7.1. Determinación de color

El color de las muestras se evaluó utilizando un colorímetro Hunterlab con 20 mL de muestra (reconstituida en los casos que corresponda), utilizando 10° de ángulo y una iluminación tipo D₆₅. El color de se expresó como luminosidad (L*), enrojecimiento (a*), verdor (b*), croma ($C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$) y ángulo de matiz ($h^\circ = \arctan b^*/a^*$) (Stintzing *et al.*, 2003). Las diferencias de color en el tiempo fueron determinadas mediante $\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$, tomando como referencia los datos en el tiempo 0 días (Gonnet, 2001).

4.7.2. Determinación del contenido total de betalaínas

La determinación del contenido total de betalaínas y el espectro de absorción se realizó mediante una determinación espectrofotométrica utilizando un espectrofotómetro UV/Vis siguiendo el método descrito por Stintzing *et al.*, 2003.

La pulpa se centrifugó y se tomó una alícuota del sobrenadante que se colocó en la cubeta del espectrofotómetro, ésta se llevó a 3 mL con una disolución de buffer McIlvaine (pH 6,5), se dejó estabilizar por 30 minutos a temperatura ambiente y se realizó la lectura de la absorbancia a 538 nm. En el caso del concentrado y del polvo, las muestras se rehidrataron y se realizó el mismo procedimiento.

El contenido de betalaínas se calculó como equivalentes de betanina y mediante la siguiente fórmula tomada de Stintzing *et al.*, 2003:

$$C_n \text{ betalaínas (mg/L)} = (A * FD * PM * 1000) / (\epsilon * L)$$

Donde:

A= Absorbancia obtenida a 538 nm

FD= Factor de dilución

PM= Peso molecular de la betanina

ϵ = coeficiente de extinción de la betanina

L= longitud de la cubeta

5. Resultados y discusión

5.1. Estabilidad de las betalaínas en la pulpa de pitaya pasteurizada y almacenada a baja temperatura

Los resultados obtenidos para la medición del contenido total de betalaínas para la pulpa de pitaya almacenada a 5°C durante 198 días de almacenamiento se presentan en el Cuadro 1, se observa el contenido promedio de las muestras evaluadas así como el porcentaje de betalaínas remanentes en el tiempo con respecto a la cantidad detectada en el día 0.

Cuadro 1. Concentración de betalaínas presente en la pulpa de pitaya refrigerada según tiempo de almacenamiento.

Tiempo (días)	Concentración Betalaínas (mg/L) ¹	Contenido residual de Betalaínas (%)
0	318 ± 55	100
24	297 ± 52	93
52	296 ± 50	93
86	298 ± 49	94
121	272 ± 50	85
170	285 ± 56	90
198	249 ± 56	78

¹ Promedio de concentración de betalaínas obtenido de la medición de tres lotes diferentes de fruta.

La cantidad de betalaínas encontrada en la pulpa de pitaya al inicio del almacenamiento fue de 318 ± 55 mg/L, valor consistente con lo encontrado por otros autores para este producto (Herbach *et al.*, 2004). En los estudios de Vaillant *et al.* (2005) y Esquivel *et al.* (2007) se obtuvo un contenido mayor de

betalaínas en pulpa de pitaya sin pasteurizar, esta diferencia se debe a que el tratamiento térmico es una de las principales causas de degradación de las betalaínas presentes en esta fruta (Azeredo, 2009).

Al analizar los datos de contenido total de betalaínas para la pulpa de pitaya almacenada a 5°C, se obtiene un efecto significativo del tiempo de almacenamiento sobre la concentración de betalaínas presentes ($p < 0,0001$). Para este producto se observa en el Cuadro 1 y la Figura 4 una disminución en la concentración de betalaínas al aumentar el tiempo de almacenamiento, manteniendo solo el 78% de la concentración inicial a los 198 días de iniciado el estudio.

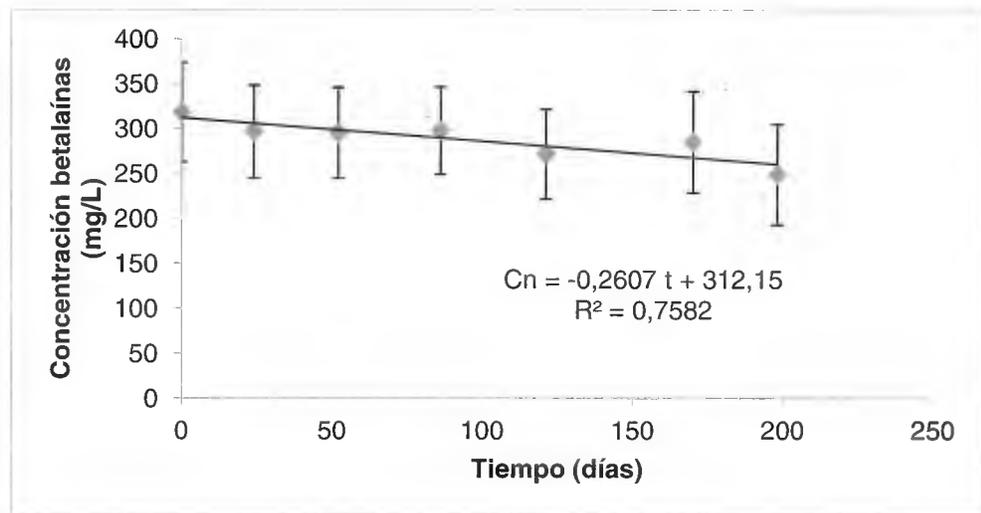


Figura 4. Concentración de betalaínas presente en la pulpa de pitaya durante el tiempo de almacenamiento a 5°C.

La disminución en la concentración de betalaínas observada durante el tiempo de almacenamiento de la pulpa de pitaya pasteurizada es consistente con lo reportado en estudios previos (Herbach *et al.*, 2004; Herbach *et al.*, 2006a; Azeredo, 2009). La disminución en el contenido total de betalaínas que se observa en el tiempo, se puede deber a que la betanina, una de las principales

betalaínas presentes en la pitaya, en presencia de agua puede sufrir hidrólisis, formando ácido betalámico y ciclo dopa.

Este proceso de degradación es muy común debido a la presencia del grupo funcional iminio electrofílico que es altamente reactivo en la estructura de las betalaínas, por lo que éstas son muy susceptibles al ataque nucleofílico. Esta reactividad se ha encontrado como la responsable de la reacción de destrucción de los pigmentos cuando hay agua disponible (Han, 2004). El mecanismo de degradación se presenta en la Figura 5. Esta degradación por medio del ataque del enlace de aldimina fue reportada también por Herbach *et al.* (2006a) como una de las principales reacciones de degradación en productos con un alto contenido de agua disponible. La reacción es reversible por medio de una reacción de Schiff entre los productos de la degradación, la cual se puede dar si se enfría el producto, pero ésta no siempre se presenta ya que el ácido betalámico es muy reactivo y se puede degradar antes de que se logre la reacción de Schiff (Han, 2004). En el caso de la pulpa de pitaya, al no tener un proceso previo de deshidratación hay gran cantidad de agua disponible, la cual facilita la movilidad de los reactantes y favorece la velocidad de la reacción (Azeredo, 2009).

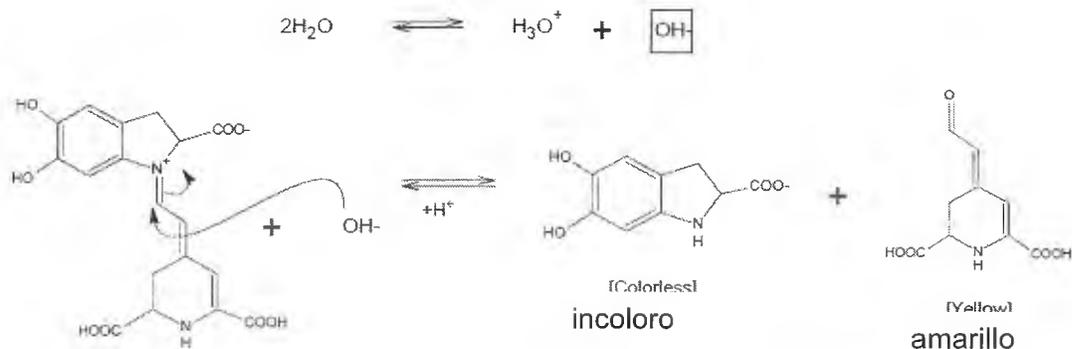


Figura 5. Degradación de betalaínas por hidrólisis en presencia de agua (Han, 2004).

A pesar de que se observa una disminución en el contenido de betalaínas a lo largo del tiempo (Figura 4), se puede decir que a los 198 días aún se observa un porcentaje residual de betalaínas alto (78%). Una de las razones a las que podemos atribuir este resultado, es al hecho de que las betalaínas se encuentran en su matriz natural (pulpa), la cual está constituida por varios compuestos como azúcares, ácidos, pectinas entre otros, los cuales favorecen la estabilidad de las betalaínas al prevenir el ataque del enlace aldimina (Herbach *et al.*, 2006a).

Pensando en el uso de esta pulpa como materia prima, mantener un 78% del contenido inicial de betalaínas después de más de 6 meses de almacenamiento lo hace un producto muy atractivo para el mercado ya que no requiere que sea consumido en un período de tiempo corto para que mantenga sus componentes. Es importante recalcar que en estudios previos de almacenamiento de pulpa de pitaya a temperaturas de 20°C (Herbach *et al.*, 2007) obtuvieron porcentajes de retención menores a 70% a partir del quinto mes de almacenamiento. Lo anterior hace suponer que el almacenamiento en refrigeración es una buena opción para aumentar la vida útil de la pulpa como ingrediente colorante.

Para evaluar los posibles cambios en la composición de las betalaínas en la pulpa de pitaya refrigerada, se realizó el espectro de absorción de todas las muestras analizadas (anexo A), en la Figura 6 se muestra un espectro de absorción del día 0 y del día 198 obtenidos para el lote 3.

En el tiempo 0 días se presenta un pico máximo de absorción cerca de los 538nm, lo cual indica una presencia de betacianinas en la muestra. Comparando el espectro del tiempo 0 días con el del día 198, se evidencia como se mantiene un alto contenido de betacianina, pero también se ve un leve aumento en la absorbancia en valores cercanos a los 470 nm, lo cual puede indicar presencia de betaxantinas (Woo *et al.*, 2011). Se sabe que durante la degradación de betalaínas se puede dar transformación de betacianina a betaxantinas, mediante la condensación de aminoácidos libres en la pulpa con el ácido betalámico que

se produce durante la hidrólisis (Herbach *et al.*, 2006a). Lo anterior puede explicar el cambio que se observa en el espectro de absorción.

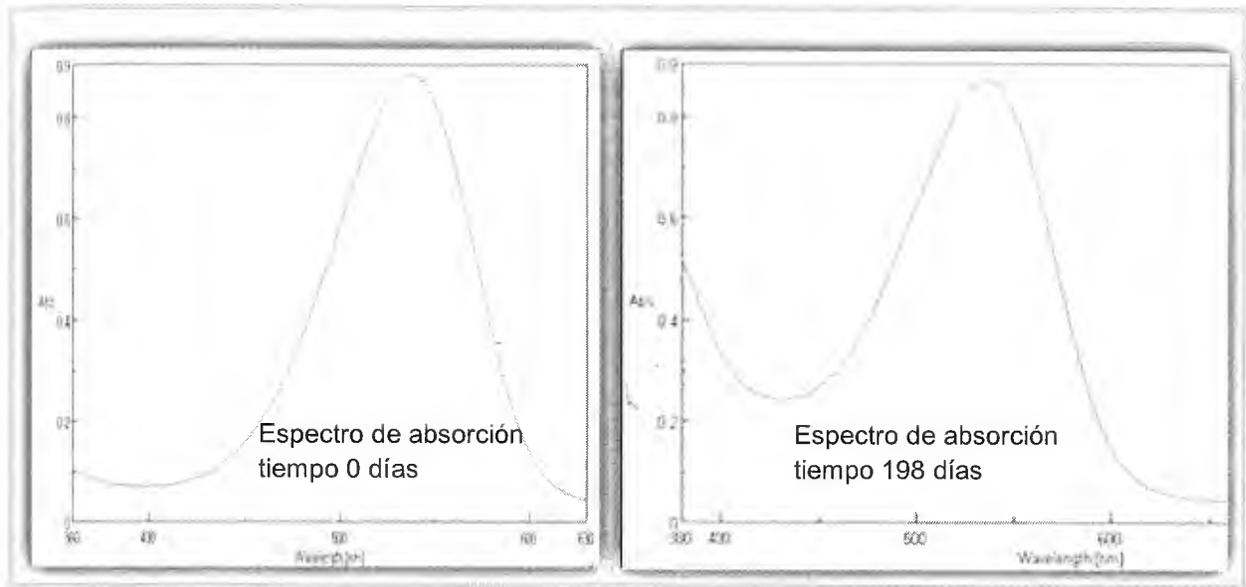


Figura 6. Espectros de absorción obtenidos para la pulpa de pitaya almacenada a 5°C, al inicio y al final del tiempo de almacenamiento.

En el presente estudio se observó que el tiempo de almacenamiento tuvo un efecto significativo sobre las variables de color analizadas a^* ($p < 0,0001$), b^* ($P < 0,0001$), L^* ($p = 0,0049$), C^* ($p = 0,0153$) y h° ($P = 0,0002$) en la pulpa de pitaya pasteurizada. Los resultados del análisis se presentan en el apéndice A.

En el caso de la medición del parámetro a^* (Figura 7), se observa una disminución de dos puntos después de 198 días de almacenamiento, lo que significa un 5% del valor inicial presente en la muestra. La disminución en este parámetro indica una pérdida de su tonalidad rojo intenso y un acercamiento a la tonalidad verde, lo cual se puede deber a la disminución en el contenido de las betalaínas de color rojo que se encontraban inicialmente en la pulpa, producto de las reacciones de degradación.

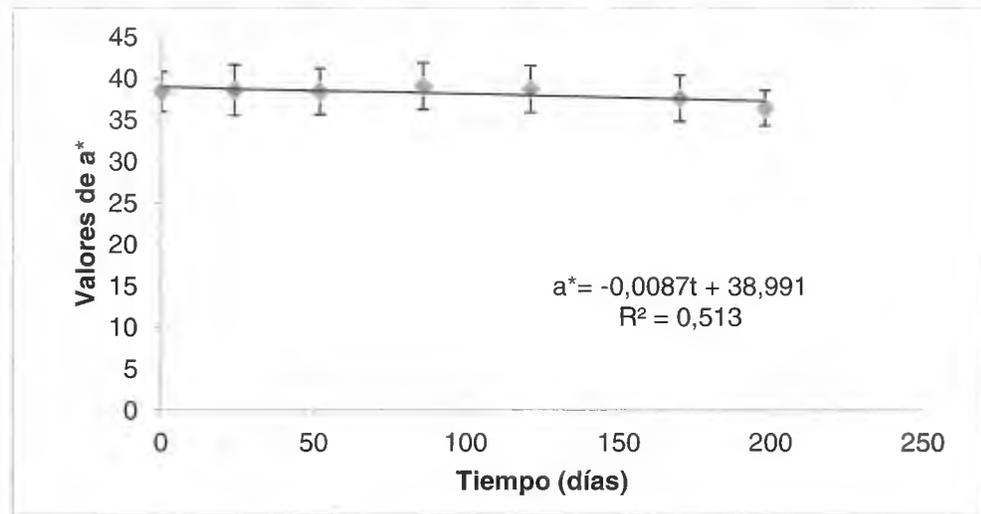


Figura 7. Valores de a^* presentes en la pulpa de pitaya durante el tiempo de almacenamiento a 5°C .

Con respecto al parámetro b^* (Figura 8) se observa un aumento en el tiempo, lo cual refleja un cambio de azul a amarillo, en el caso de la pulpa este aumento es de aproximadamente 5 puntos que significa una variación del 11% del valor inicial.

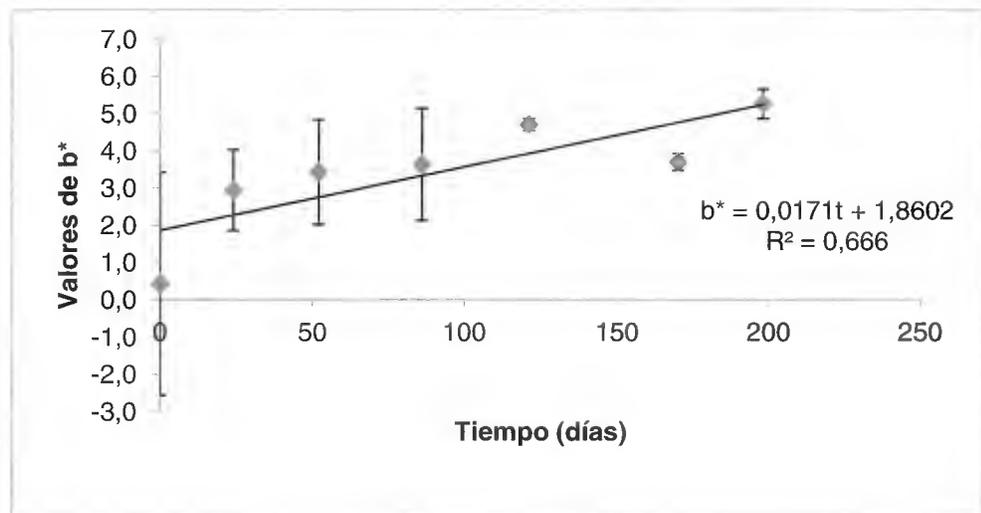


Figura 8. Valores de b^* presentes en la pulpa de pitaya durante el tiempo de almacenamiento a 5°C .

Croma (C^*) nos indica la intensidad del color y al disminuir este valor en el tiempo (Figura 9) significa que el color inicial de la muestra se está degradando (Nizaha *et al.*, 2011), se vuelve menos intenso, más opaco. Esto se puede asociar a la degradación de betacianinas en presencia de agua. Lo anterior es consistente con lo encontrado por Herbach *et al.* (2007), estudio en el que se presentó una disminución en el valor de C^* después de 6 meses de almacenamiento.

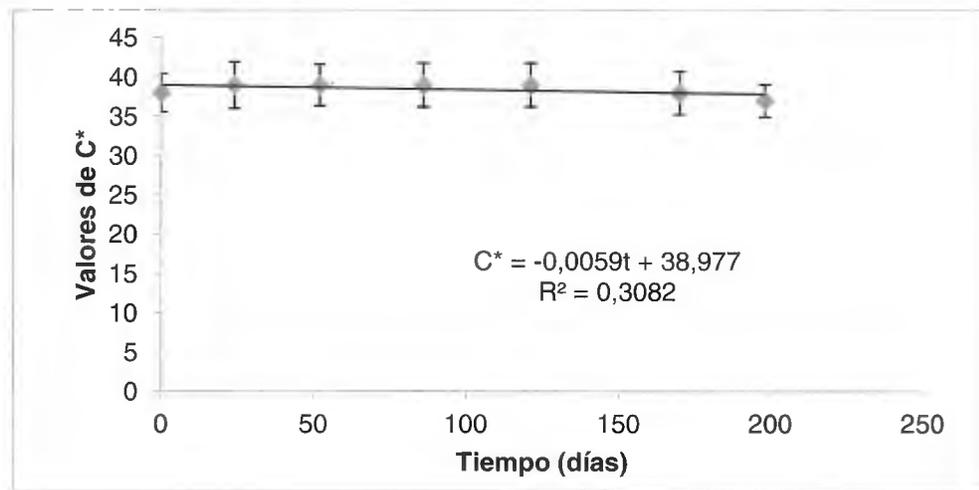


Figura 9. Valores de croma (C^*) presentes en la pulpa de pitaya durante el tiempo de almacenamiento a 5°C .

El valor de la tonalidad “hue” (0°) en el tiempo cero, muestra que la pulpa de pitaya inicialmente presenta una coloración roja (Figura 11) y con el tiempo se va acercando un poco a la coloración amarilla. El cambio observado en 198 días es de 8° , para obtener un valor al final del almacenamiento que sigue reflejando una tonalidad roja, siendo difícil notar visualmente la diferencia presentada en la pulpa de pitaya en el tiempo.

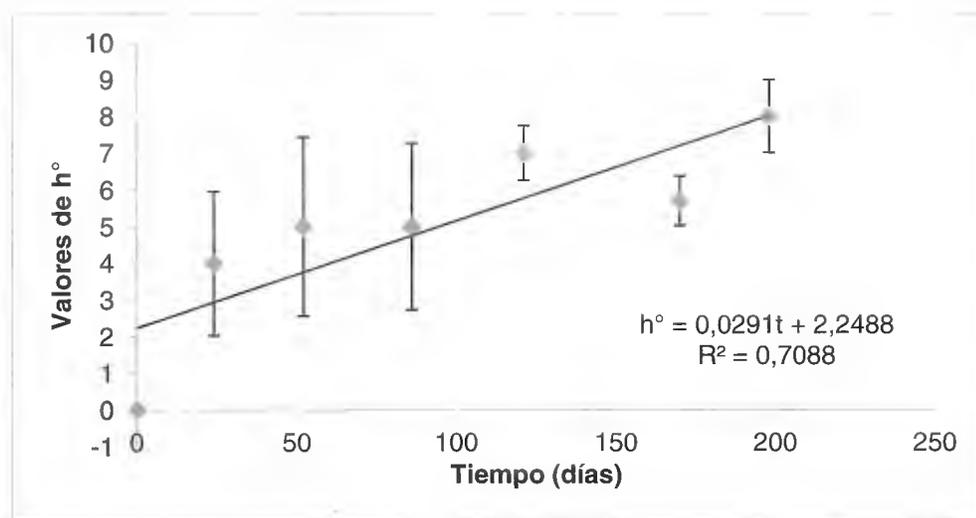


Figura 10. Valores de tonalidad (h°) presentes en la pulpa de pitaya durante el tiempo de almacenamiento a 5°C .

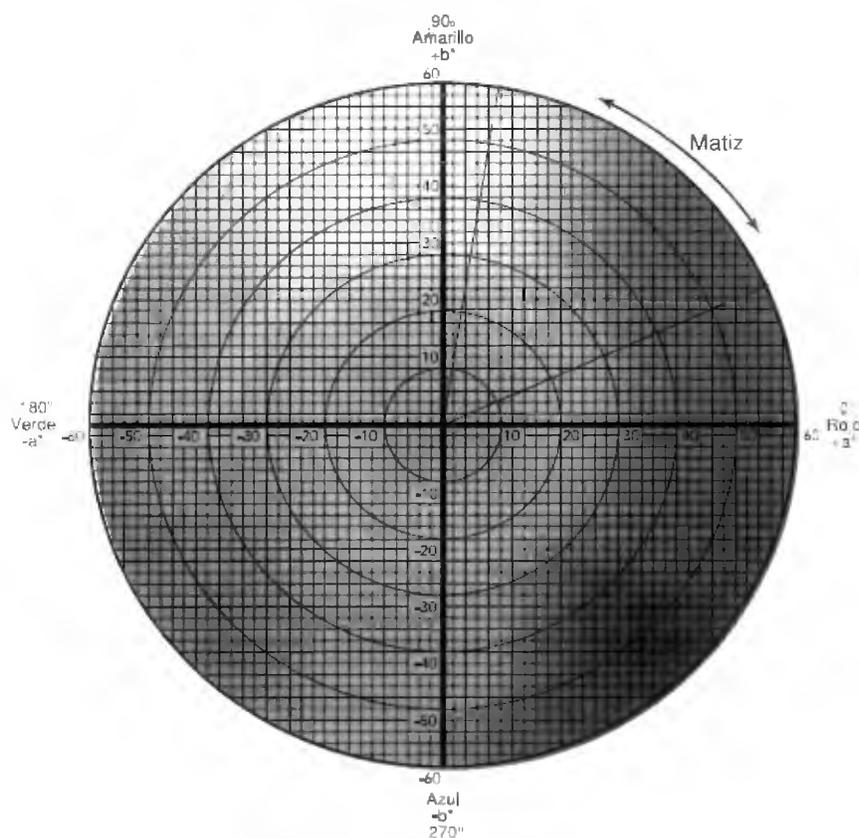


Figura 11. Gráfico de color CIELAB (X-rite, 2002)

En la Figura 12, se presentan los resultados obtenidos para las mediciones de luminosidad. Se observa que la luminosidad disminuye lentamente en el tiempo, contrario a lo encontrado por otros autores, los cuales observan un aumento en este parámetro. Lo anterior se asocia con una degradación en las betacianinas presentes (Herbach *et al.*, 2006a). En este estudio no se logró observar este efecto, sino que se presentó una disminución en este parámetro que se puede asociar con un oscurecimiento, posiblemente por productos de degradación.

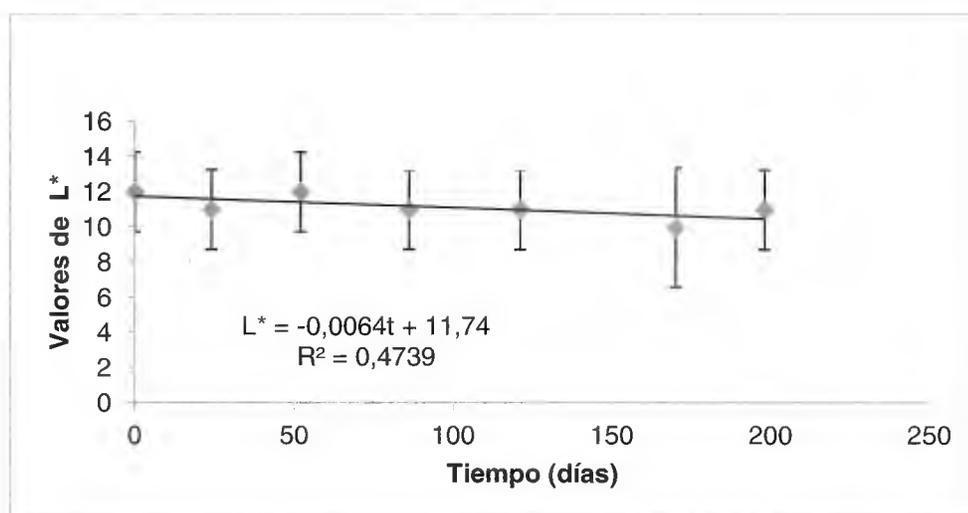


Figura 12. Valores de luminosidad (L^*) presentes en la pulpa de pitaya durante el tiempo de almacenamiento a 5°C.

Es importante recalcar que en esta investigación se evaluó la pulpa completa de la pitaya, sin realizar ninguna extracción previa de pectinas, gomas o azúcares, lo cual genera que en el tiempo se puedan dar algunas reacciones no estudiadas en este trabajo entre los componentes presentes en la matriz que favorezcan la estabilidad de las betalaínas. Herbach *et al.* (2006a) en su estudio menciona que las pectinas presentes en la pulpa tienen la capacidad de formar complejos con los cationes presentes, evitando que estos aceleren la degradación de las betalaínas, así como también las pectinas junto con las gomas presentes pueden ligar agua disminuyendo el A_w de la matriz.

Al analizar la diferencia total de color (ΔE) utilizando como referencia el inicio del almacenamiento (día 0), se observa como este valor parece aumentar en el tiempo (Cuadro 2), debido a la degradación de las betacianinas presentes en la pulpa. Después de 198 días de almacenamiento se obtuvo un ΔE de 5 ± 3 . En estudios anteriores se han establecido diferentes valores mínimos de ΔE necesarios para que los cambios sean percibidos por el ojo humano, Gonnet, (1998) estableció un valor de $\Delta E=1$ como el valor mínimo necesario para que el cambio lo pudiera detectar el ojo humano. Por su parte Castellar *et al.* (2006) utilizó un valor de $\Delta E= 5$ como el mínimo requerido para poder diferenciar entre dos muestras y Gonnet (2001) indicó en su investigación que un valor de $\Delta E < 10$ era un cambio muy pequeño, difícil de detectar por los humanos, utilizando como referencia este último estudio, Rosso & Mercante (2007) definieron que al tener un $\Delta E > 10$ los cambios son fácilmente percibidos por el ojo humano.

Cuadro 2. Diferencia total de color (ΔE) con respecto al tiempo 0 días, obtenida en la medición de color de la pulpa de pitaya almacenada a 5°C , según tiempo de almacenamiento.

Tiempo (días)	ΔE
24	3 ± 2
52	3 ± 2
86	4 ± 2
121	4 ± 3
170	4 ± 2
198	5 ± 3

Basados en los estudios de Gonnet (2001) y Rosso & Mercante (2007) se puede decir que a pesar de que los resultados de las variables de color individuales se vieron afectados de manera significativa por el tiempo de almacenamiento, la diferencia total de color presentada por la pulpa de pitaya

betalaínas en el concentrado ($P < 0,0001$), adicionalmente se encontró que el efecto que tuvo el tiempo sobre la concentración depende de la temperatura a la cual se estuviera almacenando las muestras y viceversa ($P < 0,0003$). Como podemos observar en la Figura 13 la concentración de betalaínas disminuye en el tiempo en mayor medida al aumentar la temperatura de almacenamiento.

El comportamiento de la concentración de betalaínas en el tiempo es muy similar para la temperatura de 25°C y 37°C, por lo que se realizó un análisis de varianza en el último punto evaluado (148 días) para definir si estadísticamente se presentaron diferencias significativas entre ellos al final del almacenamiento y se obtuvieron los resultados que se observan en el Cuadro 3. En todos los casos el contenido residual es significativamente diferente ($P < 0,0001$), obteniéndose la mayor pérdida en el contenido de betalaínas al almacenar el concentrado a una temperatura mayor. En el caso del estudio realizado se observa que después de 148 días de almacenamiento a 37°C se degradó el 93% de las betalaínas, mientras a 25°C se perdió el 80% del contenido inicial.

Cuadro 3. Cantidad de betalaínas presente en el concentrado de pitaya para 148 días de almacenamiento según temperatura.

Temperatura (°C)	Contenido de betalaínas (mg/L)²	Contenido residual de Betalaínas (%)
5	1150 ± 75 ^a	81
25	276 ± 1 ^b	20
37	94 ± 8 ^c	7

² Las letras con números diferentes indican que hay diferencia significativa entre ellos con un $p < 0,05$.

Para el concentrado de pitaya almacenado a 5°C el contenido residual en el producto después de 148 días de almacenamiento es alto (80%) comparado con el obtenido a temperaturas de 25°C y 37°C. Se considera que a temperatura de refrigeración (5 °C) se logra una mejor conservación de las betalaínas presentes

en concentrado de pitaya. Adicionalmente, como se observa en la Figura 13, el comportamiento del contenido de betalaínas en el concentrado de pitaya almacenado en refrigeración se ajusta muy bien a una tendencia lineal ($R^2=0,9839$).

Las betalaínas que se encuentran en mayor cantidad en la pulpa de pitaya son la betanina, hilocerina y filocactina (Stintzing *et al.*, 2002; Esquivel *et al.*, 2007), siendo más estable la betanina. Al elaborar el concentrado de pitaya, estos compuestos sufren una transformación por el proceso enzimático al que se ve sometida la pulpa, degradándose la mayor parte de la hilocerina y filocactina y presentándose compuestos como la betanidina y la Isobetanidina, que no se encontraban naturalmente en la fruta. A estos últimos compuestos se les atribuye la coloración morado-azulada que se observa en el concentrado y que no se percibe en la pulpa que es más rojiza (Schweiggert *et al.*, 2009).

La estabilidad de las betalaínas en el concentrado evaluado en este estudio, se ve afectada no solamente por el contenido de agua presente en éste, sino también por la temperatura de almacenamiento y por la degradación de las betalaínas en el proceso de concentración. Al comparar la degradación presentada en el estudio de almacenamiento de la pulpa de pitaya con la del concentrado a 5°C, se observa que la betanidina presente en este último es menos estable que la betanina que encontramos mayoritariamente en la pulpa.

En estudios anteriores (Von *et al.*, 1974, Herbach *et al.*, 2004) se ha demostrado que la degradación por la temperatura es uno de los factores que más afecta la estabilidad de las betalaínas presentes en la pitaya, razón por la cual se observa un contenido residual de betalaínas en el concentrado más bajo a las temperaturas más altas de almacenamiento. Otro factor que se evidenció en este estudio es que el comportamiento de la degradación de las betalaínas en el tiempo por efecto de la temperatura, sigue una reacción de primer orden. Herbach *et al.*, (2004) y Schweiggert *et al.*, (2009) reportan para el concentrado un

contenido residual de betanina de 25%, así como otros compuestos de degradación de color amarillo como son la neobetanina y la neobetanidina, cuya formación es atribuida al efecto de la temperatura. En la Figura 14 se presentan las principales reacciones de degradación que se presentan en la betanina, dentro de las que se encuentra la dehidrogenación, proceso de formación de la neobetanina.

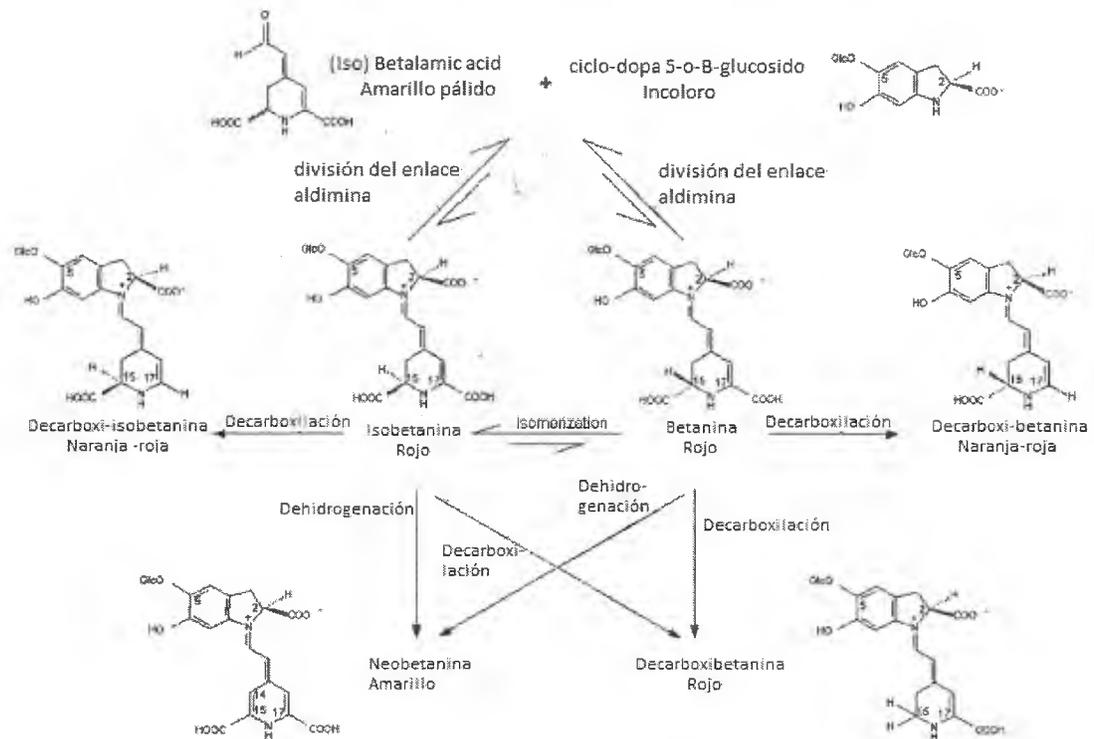


Figura 14. Posibles degradaciones de la betanina debido al calor. Tomado de Herbach *et al.*, 2004.

Tanto la betanina como la betanidina pueden sufrir reacciones de degradación por temperatura como son isomerización, decarboxilación y división de enlaces de aldimina, resultando en una reducción gradual de color rojo para llegar a una apariencia final café claro (Huang & Von Elbe, 1985, Herbach *et al.*, 2004), color que se evidenció en el concentrado evaluado después de 148 días de almacenamiento a 37°C.

Los cambios que se presentaron durante el tiempo de almacenamiento afectan el espectro de absorción de las diferentes muestras de concentrado. Para las diferentes temperaturas y tiempos de almacenamiento se determinó el espectro de absorción del concentrado reconstituido en agua. Los resultados se encuentran en el apéndice A y en la Figura 15 se presenta el espectro obtenido para la muestra del lote 1 al tiempo 0 días y 148 días según la temperatura utilizada.

Al observar estos espectros se evidencia una vez más como en el tiempo de almacenamiento se da una degradación de las betalaínas presentes, lo que genera una disminución en la absorción a 538 nm, trasladándose el pico de absorción máxima a niveles de 470 nm o menores en los casos extremos de degradación (37°C). El cambio en el pico de absorción indica que se pasa de una mayor cantidad de productos morados a productos amarillos los cuales podrían ser betaxantinas o productos de la deshidrogenación de las betalaínas, esto concuerda con lo encontrado en el estudio de Herbach *et al.* (2007).

El espectro obtenido para el concentrado almacenado a 5°C por 148 días se mantiene con un comportamiento similar al espectro obtenido para este producto en el tiempo 0 días, el pico máximo de absorción aún se encuentra en 538 nm lo que significa que la coloración de la muestra se mantiene rojo-morado, pero se presenta un aumento en la absorción a longitudes de onda menores a 500 nm, lo cual se puede generar por algunos productos de la degradación de las betalaínas. En el espectro de absorción del concentrado almacenado 148 días a 25°C no se presenta un pico máximo de absorción marcado, sino más bien se observa como el valor obtenido en el gráfico es muy similar entre 450 nm y 550 nm, lo cual se debe a una mayor degradación de las betacianinas, disminuyendo la coloración morada presente en la muestra.

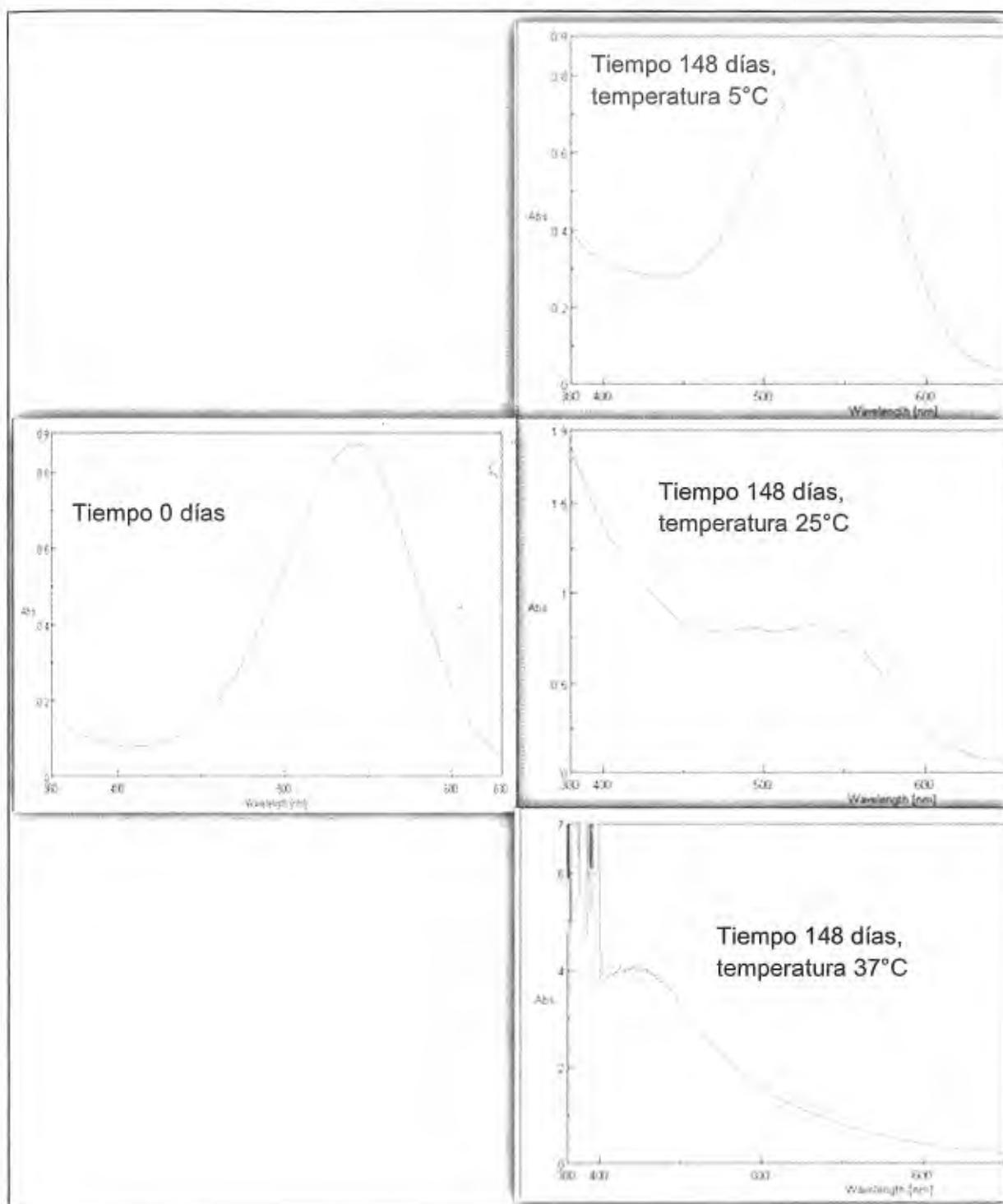


Figura 15. Comparación de los espectros de absorción obtenidos para el concentrado de pitaya en el tiempo 0 y en el tiempo 148 días, según temperaturas de almacenamiento, 5°C, 25°C y 37°C, lote 1.

Al evaluar estadísticamente las características de color b^* , luminosidad y tonalidad “hue” se observa que el tiempo y la temperatura tienen un efecto significativo en el valor obtenido para estas variables y que este efecto en el tiempo es dependiente de la temperatura de almacenamiento ($P < 0,05$). El parámetro a^* se vio afectado significativamente solamente por el tiempo ($P < 0,0004$), pero este efecto varía dependiendo de la temperatura a la cual es evaluado ($P < 0,0235$). Cromo a diferencia de a^* es afectado significativamente solo por la temperatura ($P < 0,0001$) variando según el tiempo evaluado ($P < 0,0006$). Los resultados del análisis estadístico se pueden observar en el apéndice A.

En el concentrado de pitaya, la mayor variación del parámetro de color a^* (Figura 16) se presenta a la temperatura más alta de almacenamiento (37 °C), lo cual es de esperar ya que la temperatura genera que la energía de activación para las reacciones químicas sea más fácil de alcanzar, presentándose más cambios en el producto debido a la degradación de los compuestos.

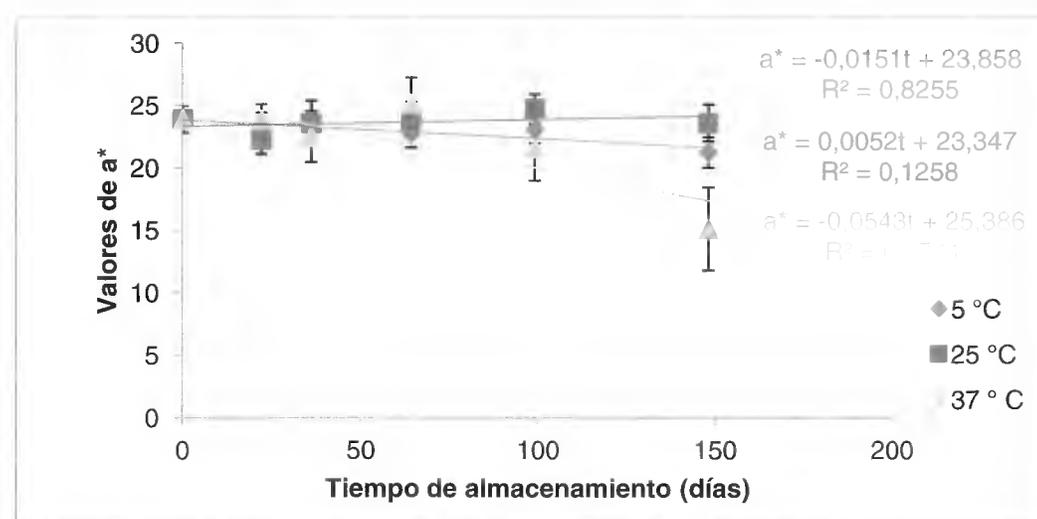


Figura 16. Valores de a^* obtenidos para el concentrado de pitaya durante el tiempo de almacenamiento a 5 °C , 25 °C y 37 °C .

En este estudio el valor de a^* disminuye al pasar el tiempo, lo que significa que el producto pierde su color rojo. Lo anterior concuerda con lo presentado en la Figura 14, en la cual se evidencia como los compuestos de degradación de las betalaínas presentan coloraciones más amarillentas o incoloras.

El parámetro de b^* (Figura 17) presenta un aumento en el tiempo que indica que la coloración del concentrado cambia de azul a amarillo y éste es el parámetros que se ve más afectado en el almacenamiento del concentrado de pitaya, debido a que los productos de degradación de las betalaínas en su mayoría son de color amarillo. .

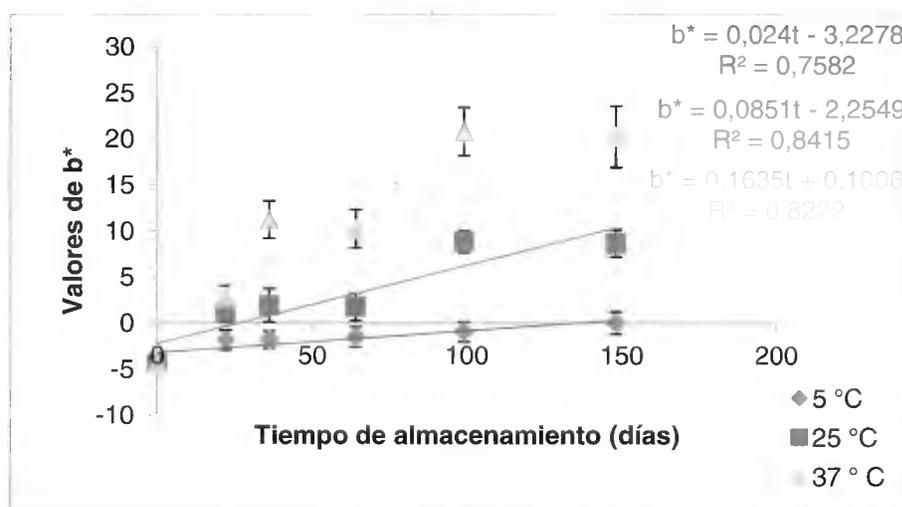


Figura 17. Valores de b^* obtenidos para el concentrado de pitaya durante el tiempo de almacenamiento a 5°C, 25°C y 37°C.

La luminosidad presentó un aumento en el tiempo ($P < 0,0001$), el cual es mucho mayor en el caso de las muestras almacenadas a 37°C ($P < 0,0001$), evidenciando una mayor degradación de las betalaínas presentes en el concentrado (Figura 18). Además, esta degradación aumenta en el tiempo viéndose reflejado en el aumento casi lineal en el parámetro de L^* medido en este estudio, evidenciado en las temperaturas de almacenamiento de 25°C y 37°C. La temperatura a la que se obtienen mejores resultados (una variación mínima en el

valor de L^*) fue en el producto almacenado a 5°C, reflejando una vez más que la mejor opción para almacenar el concentrado de pitaya es temperatura de refrigeración.

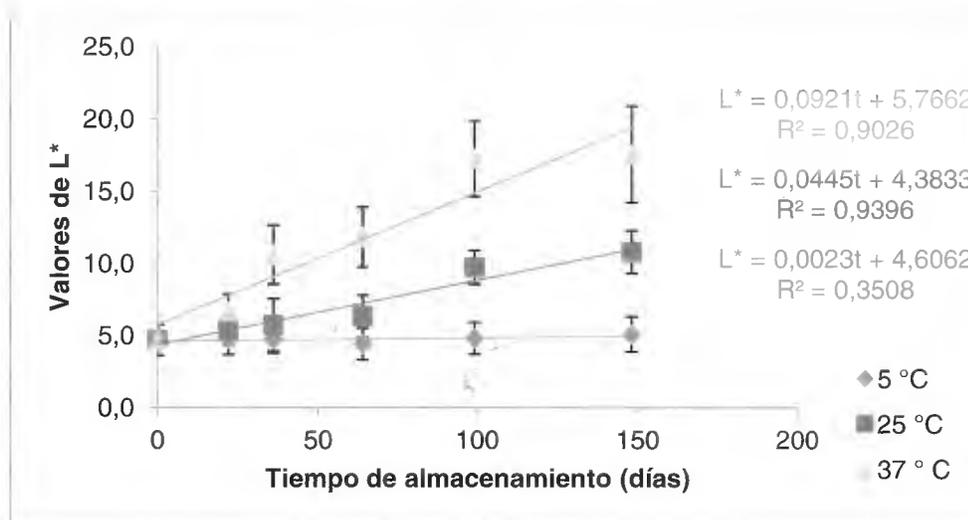


Figura 18. Valores de luminosidad obtenidos para el concentrado de pitaya durante el tiempo de almacenamiento a 5°C, 25°C y 37°C.

El valor de croma (Figura 19) disminuyó durante el tiempo de almacenamiento a 5°C y aumentó en las muestras almacenadas a 25 °C y 37 °C, siendo esto último contrario a lo encontrado por otros autores, los cuales asocian la degradación de las betalaínas con una disminución en la variable de color C^* (Herbach *et al.*, 2006b; Herbach *et al.*; 2007). En el caso del valor de tonalidad “hue” (Figura 20) se observa una menor variación en el tiempo de almacenamiento a 5°C, comparado con el valor que se presentó a los 148 días para una temperatura de 37°C (53°). Este último valor corresponde a un color cercano al café (Figura 21) y refleja una gran degradación de las betalaínas presentes. El aumento de los valores de tonalidad, sigue un comportamiento lineal, lo cual podría ayudar a predecir los cambios en periodos más largos de almacenamiento. Los resultados obtenidos indican que el concentrado almacenado a 37°C no puede ser utilizado como materia prima colorante en los alimentos, debido a que perdió su color original (Figura 21).

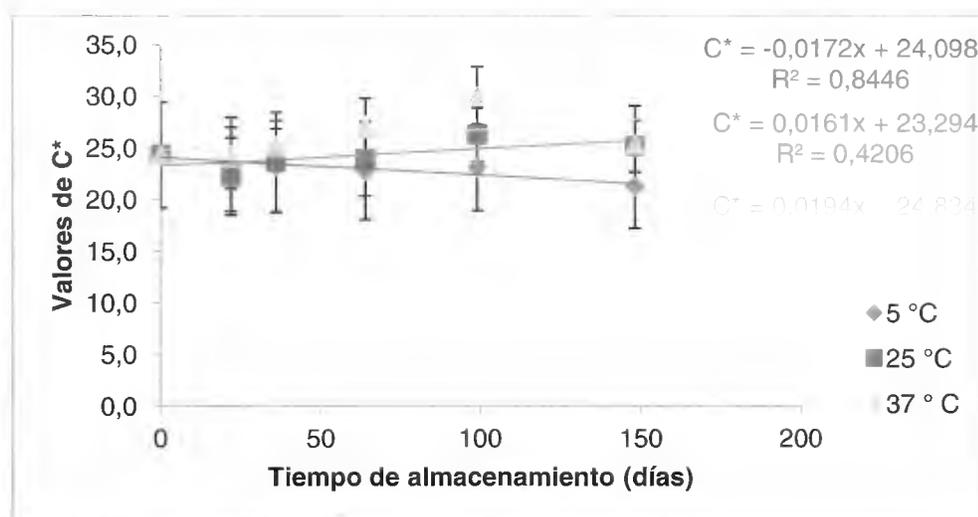


Figura 19. Valores de croma obtenidos para el concentrado de pitaya durante el tiempo de almacenamiento a 5°C, 25°C y 37°C.

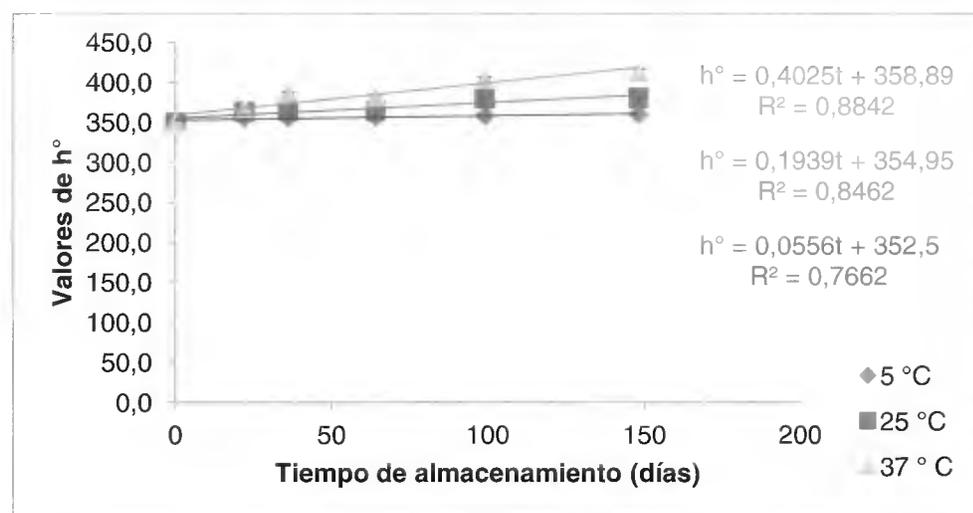


Figura 20. Valores de ángulo de tono (hue) obtenidos para el concentrado de pitaya durante el tiempo de almacenamiento a 5°C, 25°C y 37°C.

Se determinó la diferencia total en el color (ΔE) para resumir los cambios presentados en los parámetros evaluados (Cuadro 4). Esta diferencia se calculó para las tres temperaturas estudiadas, tomando la diferencia entre los valores

obtenidos en cada tiempo de medición y el inicio del almacenamiento (0 días). El valor de ΔE para el almacenamiento a 5 °C, fue inferior a 10 para todos los tiempos analizados, lo cual indica que el cambio observado no es fácilmente detectable por el ojo humano (Gonnet, 2001; Rosso & Mercante, 2007). En el caso de las temperaturas de almacenamiento de 25 °C y 37°C el cambio de color en la mayoría de las mediciones fue mayor a 10, por lo que se considera fácilmente detectado por el ojo humano y no se recomienda almacenar el concentrado a estas temperaturas para ser utilizado posteriormente como materia prima.

Cuadro 4. Diferencia total de color (ΔE) para la medición de color del concentrado de pitaya según el tiempo de almacenamiento a 5°C, 25°C y 37°C.

Tiempo (días)	ΔE Temperatura 5°C	ΔE Temperatura 25°C	ΔE Temperatura 37°C
22	2,7 ± 0,7	6 ± 2	8 ± 3
36	2,9 ± 0,7	6 ± 3	17 ± 5
64	3 ± 1	7 ± 3	17 ± 4
99	4 ± 1	14 ± 2	28 ± 6
148	5 ± 2	15 ± 3	29 ± 6

La diferencia total de color, es representativa del cambio de color que se dio en el tiempo. La Figura 21, evidencia como a mayor valor de ΔE el cambio de color es mucho mayor cambiando de color de morado a café.

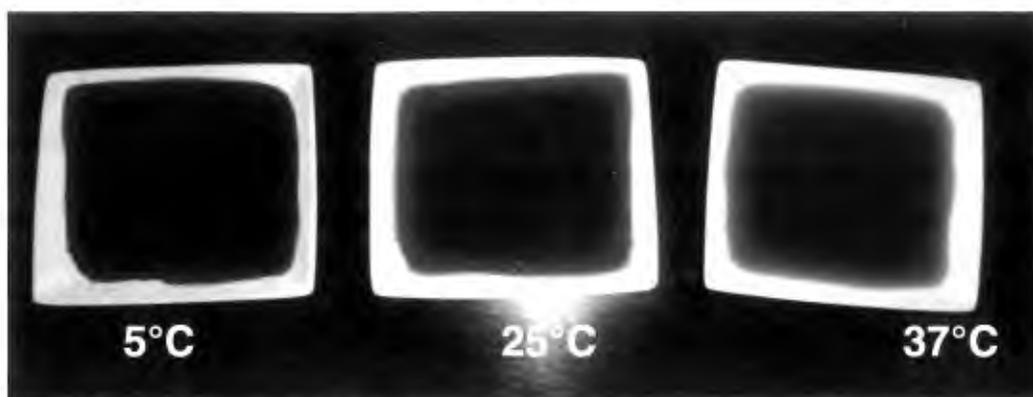


Figura 21. Color del concentrado de pitaya después de 148 de almacenamiento según temperatura.

5.3. Resultados obtenidos en el estudio de almacenamiento de polvo de pitaya durante 304 días de almacenamiento a 5°C, 25°C y 37°C

Se almacenaron durante 304 días a temperaturas de 5°C, 25 °C y 37°C muestras de polvo de pitaya obtenido mediante secado por aspersion. Durante diferentes períodos de tiempo se reconstituyó el polvo en agua y se determinó la cantidad de betalaínas presentes en éste, obteniendo los resultados que se presentan en el Cuadro 5. Al analizar los datos de contenido total de betalaínas para el polvo de pitaya, se obtuvo que no hay un efecto significativo del tiempo ($P=0,1473$) ni de la temperatura ($P=0,9827$) de almacenamiento sobre la concentración de betalaínas presentes en éste.

El resultado obtenido se puede explicar ya que el polvo de pitaya se obtuvo por deshidratación de concentrado de pitaya en presencia de maltodextrina, proceso que incrementa la estabilidad de las betalaínas presentes. La deshidratación del polvo disminuye la actividad de agua en el producto, por lo que las reacciones que se presentan son mínimas, evitando así la degradación de las betalaínas (Syed *et al.*, 2011). Adicionalmente, la encapsulación de los pigmentos en maltodextrinas

aumenta la estabilidad de estos (Cai & Corke, 2000; Azeredo *et al.*, 2007). En el estudio realizado se observó una mayor estabilidad de las betalaínas con respecto a los ingredientes líquidos o semilíquidos como pulpa y concentrado, ya que al no tener agua disponible en el polvo de pitaya, no se dieron las reacciones de degradación, logrando que el producto después de 304 días de almacenamiento no presentara una disminución significativa en la concentración de betalaínas para ninguna de las temperaturas de almacenamiento evaluadas.

Cuadro 5. Concentración de betalaínas presente en el polvo de pitaya almacenado a 5°C, 25°C y 37°C según tiempo de almacenamiento.

Tiempo (días)	Concentración Betalaínas a 5 °C (mg/L)³	Concentración Betalaínas a 25 °C (mg/L)¹	Concentración Betalaínas a 37 °C (mg/L)¹
0	1180 ± 65	1180 ± 65	1180 ± 65
57	1185 ± 72	1128 ± 47	1101 ± 24
120	1232 ± 11	1206 ± 26	1239 ± 87
183	1168 ± 33	1192 ± 71	1179 ± 78
248	1177 ± 49	1222 ± 78	1210 ± 133
304	1167 ± 37	1171 ± 92	1165 ± 134

³ Promedio de concentración de betalaínas obtenido de la medición de tres lotes diferentes de fruta

Al analizar los espectros de absorción (Figura 22), se nota como el espectro no sufrió cambios en el tiempo para ninguna de las temperaturas evaluadas. El máximo de absorción se mantuvo en el mismo rango de longitud de onda, solamente se observa un aumento en la absorción obtenida cerca de los 450 nm para la temperatura de almacenamiento de 37 °C, que se puede deber a alguno de los productos de degradación (Herbach *et al.*, 2006a).

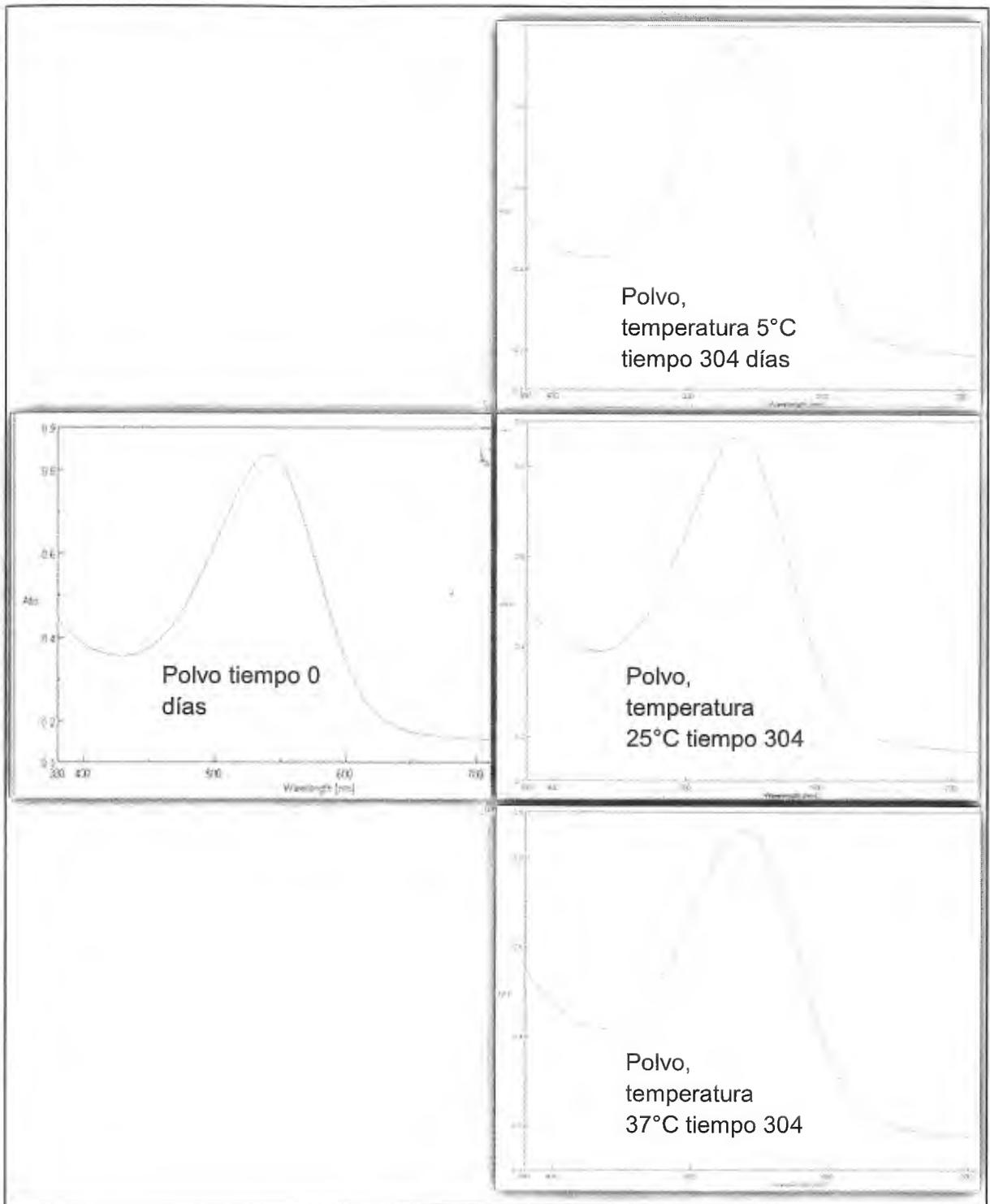


Figura 22. Comparación de los espectros de absorción del polvo de pitaya en el tiempo 0 y en el tiempo 304 días, para temperaturas de almacenamiento de 5°C, 25°C y 37°C, lote 2.

Se evaluaron los parámetros de color del polvo sin hidratar e hidratado. Los resultados se presentan en el apéndice A. En el caso del polvo sin hidratar, el tiempo y la temperatura de almacenamiento tuvieron un efecto significativo sobre los parámetros de color a^* , b^* , C^* y h° , adicionalmente el efecto que tuvo el tiempo sobre éstos parámetros es dependiente de la temperatura a la que se tenga almacenado ($P < 0,05$). Al evaluar el parámetro de luminosidad se encontró que ni el tiempo ($P = 8664$) ni la temperatura ($P = 0,7945$) de almacenamiento tuvieron un efecto significativo sobre este valor.

El valor de a^* disminuye en el polvo sin hidratar al pasar el tiempo, variación dependiente de la temperatura. Se presenta una pérdida del color rojo, siendo la mayor variación de 2 puntos. A pesar de existir diferencia significativa en los parámetros instrumentales visualmente la diferencia al parecer no es notoria (Figura 28). En la figura 28 se observa el polvo inicial (tiempo 0 días) y el polvo almacenado a 37°C por 304 días (condición más extrema de almacenamiento).

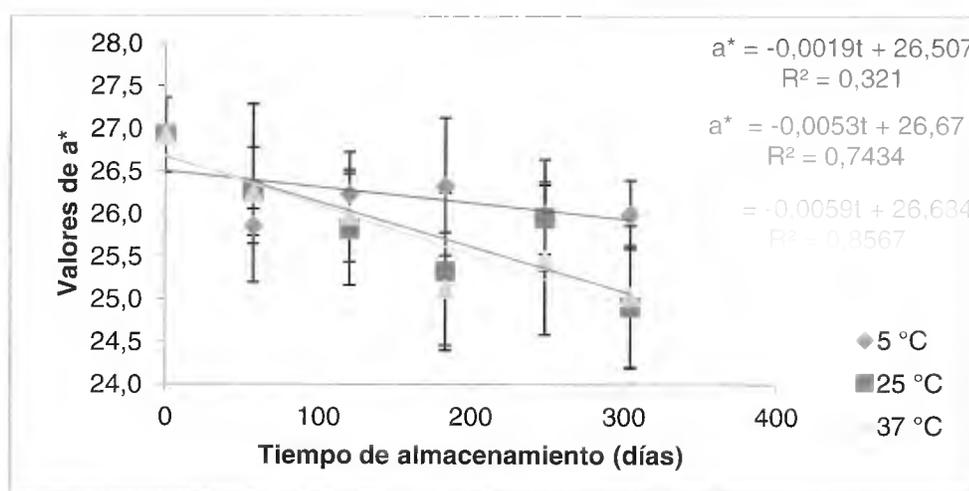


Figura 23. Valores de a^* obtenidos para el polvo de pitaya sin hidratar durante el tiempo de almacenamiento a 5°C , 25°C y 37°C .

La disminución del parámetro de a^* indica una pérdida del color rojo, pero en este caso el valor más extremo obtenido es de 25, valor que corresponde aún a

rojo en la escala de color, pero con menos intensidad. Los compuestos de degradación de las betalaínas presentes en el polvo son probablemente neobetanina, neobetanidina y ácido betalámico entre otros, con tonos amarillos o incoloros (Herbach *et al.*, 2006a), razón por la que disminuye la presencia de compuestos rojos y el valor encontrado para el parámetro a^* .

El parámetro b^* aumenta durante el tiempo para todas las temperaturas de almacenamiento (Figura 24), principalmente para la temperatura de 37°C. Esto evidencia una mayor presencia de compuestos amarillos o naranjas y menor presencia de compuestos azulados, lo que implica una mayor degradación en el contenido de betalaínas presentes a esa temperatura, en este caso probablemente de betanidina. El cambio observado en el valor de b^* es cercano a dos puntos.

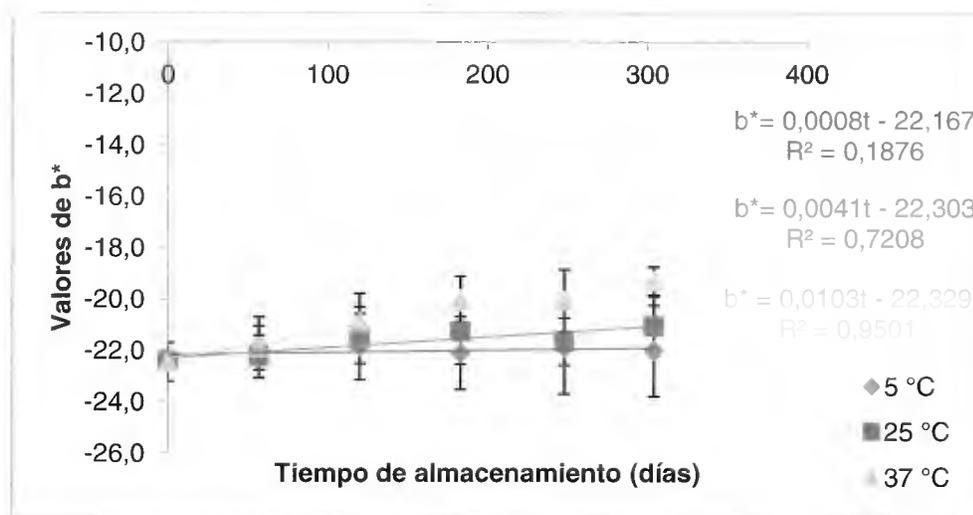


Figura 24. Valores de b^* obtenidos para el polvo de pitaya sin hidratar durante el tiempo de almacenamiento a 5°C, 25°C y 37°C.

Ni el tiempo ni la temperatura de almacenamiento tuvieron efecto significativo sobre la luminosidad del polvo sin hidratar. Posiblemente por ser un polvo compacto presenta menores diferencias en su luminosidad, ya que puede presentar espacios vacíos o un acomodo diferente en la capsula de medición. Syed *et al.*

(2011), encontraron diferencias en el parámetro de luminosidad de muestras deshidratadas debido al uso de diferentes cantidades de maltodextrina a la hora de preparar la muestra para el secado. En el estudio de Nizaha *et al.* (2011) no se encontró diferencia significativa en este valor después de 28 días de almacenamiento del polvo de pitaya a temperatura ambiente.

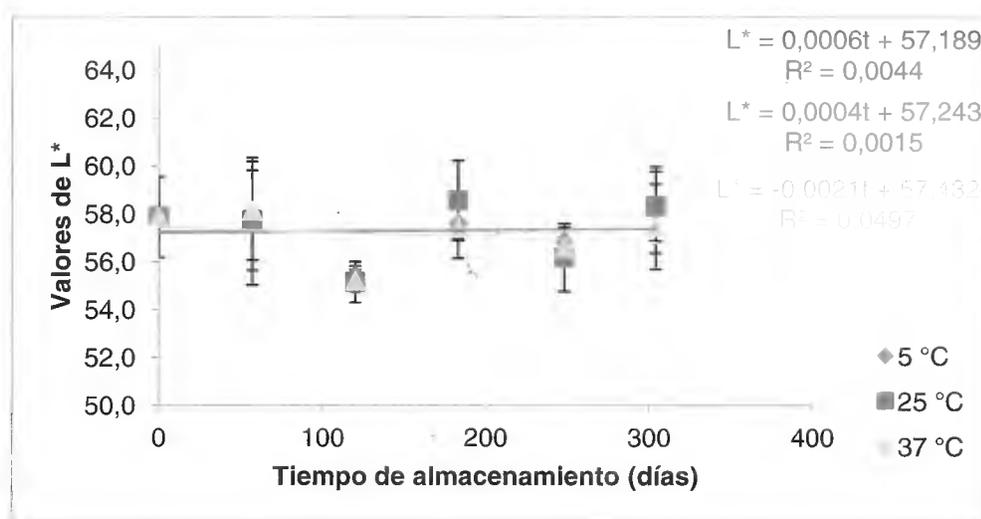


Figura 25. Valores de luminosidad obtenidos para el polvo de pitaya sin hidratar durante el tiempo de almacenamiento a 5°C, 25°C y 37°C.

El valor de C* (Figura 26) al igual que el de a* presenta una leve disminución en el tiempo dependiente de la temperatura, esta disminución es alrededor de 3 puntos para la temperatura de 37°C. El cambio aunque, al parecer pequeño, se puede deber a la generación de compuestos de degradación, esto es consistente con lo encontrado por Nizaha *et al.* (2011), quienes en su estudio de polvo de pitaya encontraron variaciones de 2 puntos que indican una leve degradación del color. En lo que respecta al parámetro de h° (Figura 27) se observa un aumento en el ángulo para el caso del producto almacenado a 37°C, lo cual indica que el producto en el tiempo se podría tornar más rojizo y menos morado, pasando de 320° a 322°.

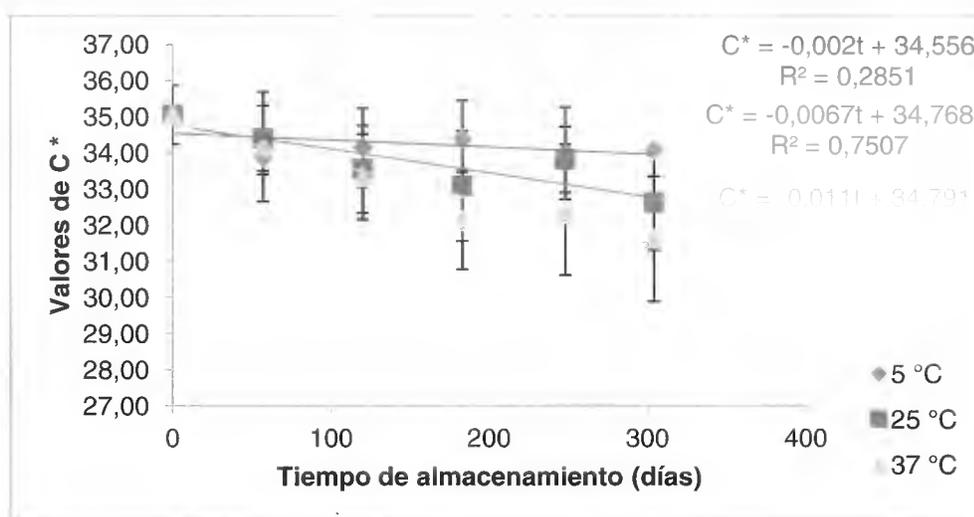


Figura 26. Valores de croma obtenidos para el polvo de pitaya sin hidratar durante el tiempo de almacenamiento a 5°C, 25°C y 37°C.

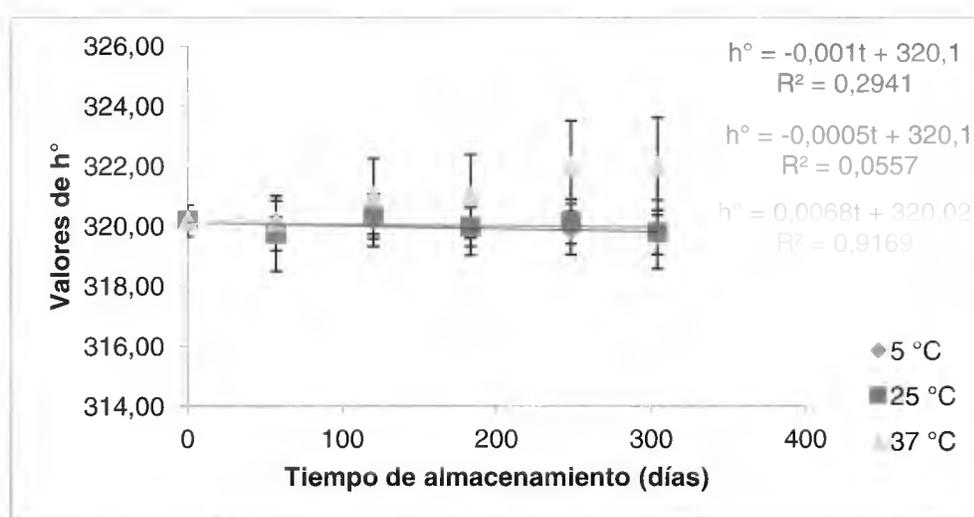


Figura 27. Valores de tonalidad “hue” obtenidos para el polvo de pitaya sin hidratar durante el tiempo de almacenamiento a 5°C, 25°C y 37°C.

Al evaluar el valor de ΔE se encontró que para todas las temperaturas y tiempos evaluados este parámetro es menor a 10 (Cuadro 6), lo cual según Gonnet, 2001 es una diferencia total en el color difícil de notar por el ojo humano, esto se puede

observar en la Figura 28. En el tiempo de almacenamiento 0 días y 304 días a 37°C no se logra apreciar diferencia en el color de las muestras de acuerdo al parámetro de referencia de Gonnet (2001) y Rosso & Mercante (2007).

Cuadro 6. Valores de ΔE obtenidos en la medición de color para el polvo de pitaya sin hidratar durante el tiempo de almacenamiento a 5°C, 25°C y 37°C.

Tiempo (días)	ΔE	ΔE	ΔE
	Temperatura 5°C	Temperatura 25°C	Temperatura 37°C
57	3,3 ± 0,6	2 ± 1	2 ± 2
120	2 ± 2	3 ± 1	3 ± 2
183	2,2 ± 0,9	4 ± 1	3 ± 3
248	2 ± 1	2,6 ± 0,5	3 ± 2
304	3,1 ± 0,3	2 ± 3	4 ± 3

Evaluar el color del polvo sin hidratar es importante ya que el polvo se usa como ingrediente colorante en producto que se venden sin hidratar. Por ejemplo en el caso de bebidas en polvo para el consumidor es importante el color de la mezcla de la bebida tanto antes como después de hidratada.

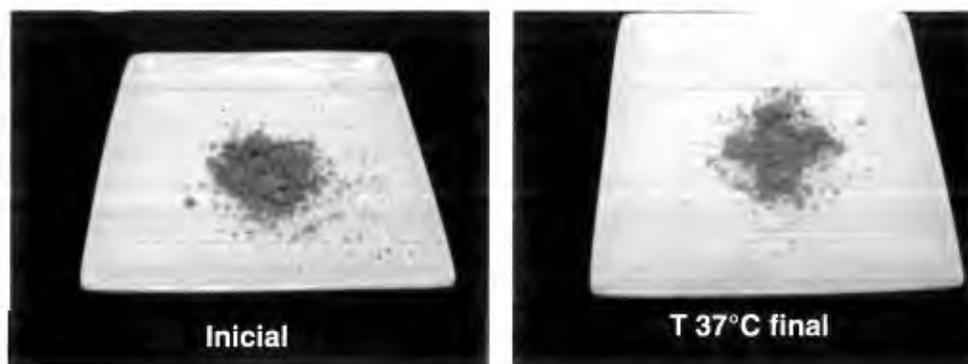


Figura 28. Apariencia de polvo de pitaya en el tiempo 0 y después de 304 días de almacenamiento a 37°C.

Al hidratar el polvo los valores obtenidos en las mediciones de color varían, con respecto a las muestras sin hidratar, pero no así la medición de la diferencia total de color. En el caso de las muestras hidratadas la temperatura tuvo un efecto significativo ($P=0,0002$; $P=0,0005$) sobre los parámetros de a^* y C^* , pero no así el tiempo, el cual no tuvo efecto sobre éstos ($P=0,2533$; $P=0,2486$). En los parámetros de b^* , L^* y h° tanto el tiempo ($P=0,0242$; $P=0,0469$; $P=0,2533$) como la temperatura ($P=0,0064$; $P=0,0072$; $P=0,0005$) tuvieron un efecto significativo sobre las mediciones realizadas para estos parámetros, pero el efecto que tiene cada uno de ellos sobre las variables es independiente de la presencia del otro.

Los parámetros obtenidos al hidratar el polvo son muy diferentes a los de las muestras sin hidratar, ya que tanto la maltodextrina como el jugo que esta encapsulado dentro de ésta se disuelven en el agua utilizada, generando una coloración morada más intensa. Es importante evaluar la estabilidad de las betalaínas en el producto ya hidratado y no solo del producto en polvo ya que si este ingrediente se utiliza para un producto que se venda hidratado se desea que el color se mantenga en el tiempo como recién elaborado.

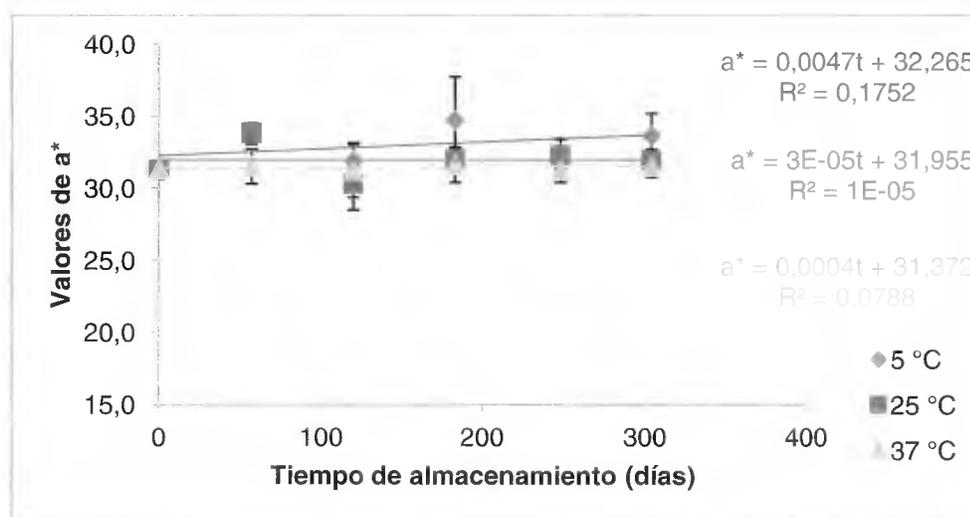


Figura 29. Valores de a^* obtenidos para el polvo de pitaya hidratado durante el tiempo de almacenamiento a 5°C, 25°C y 37°C.

En la Figura 29 se muestra el comportamiento de las mediciones del parámetro a^* , para el polvo hidratado. Este parámetro determina el paso de rojo (valores positivos) a verde (valores negativos), para los resultados obtenidos se ve una tendencia a valores más altos (más rojos) a temperaturas menores de almacenamiento.

El parámetro b^* (Figura 30) muestra un rango de variación bajo ya que todas las mediciones obtenidas se encuentran entre 0 y 4, lo cual indica que a pesar de que los resultados obtenidos para este valor presentaron diferencias significativas en el tiempo, estas son pequeñas.

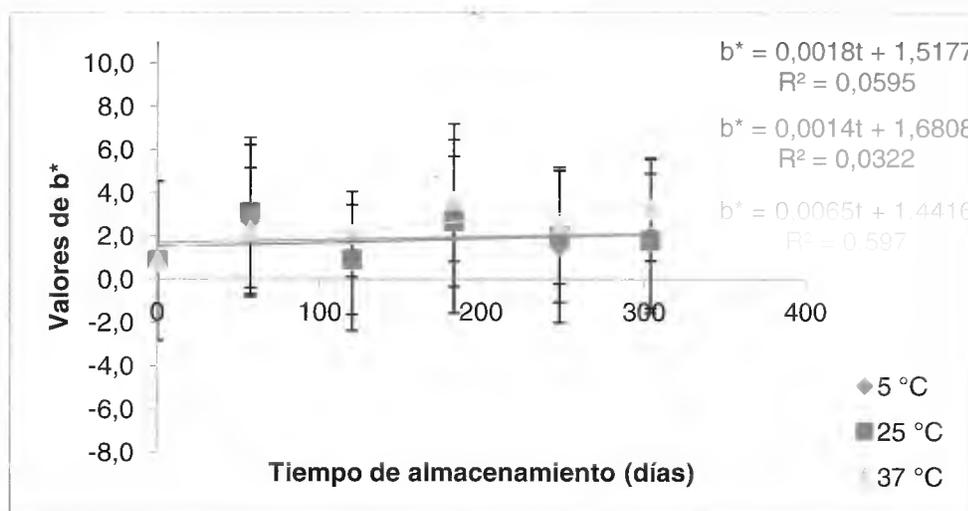


Figura 30. Valores de b^* obtenidos para el polvo de pitaya hidratado durante el tiempo de almacenamiento a 5°C, 25°C y 37°C.

En la medición de L^* que se muestra en las Figuras 31 se puede notar que este valor al igual que b^* tiene pequeñas variaciones en el tiempo, las cuales se generan por la presencia de los productos de degradación que se discutieron anteriormente. Al analizar el comportamiento de C^* (Figura 32) se observa como para la temperatura de 5°C se obtiene el mayor grado de saturación del color, debido a la ausencia de productos de degradación.

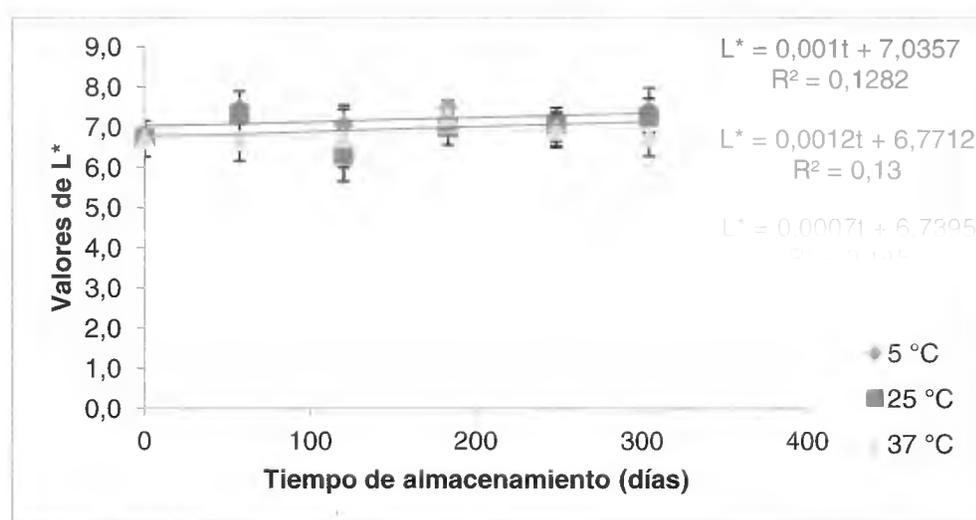


Figura 31. Valores de luminosidad obtenidos para el polvo de pitaya hidratado durante el tiempo de almacenamiento a 5°C, 25°C y 37°C.

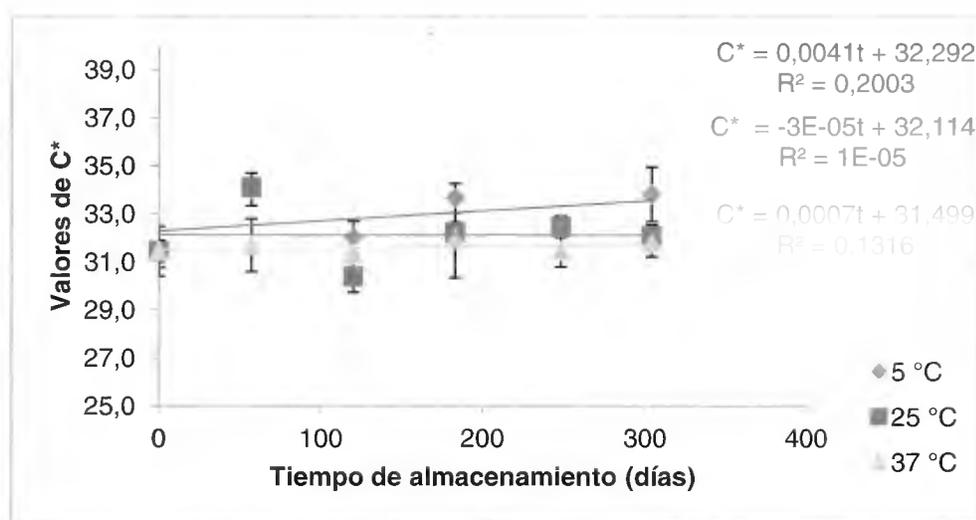


Figura 32. Valores de croma obtenidos para el polvo de pitaya hidratado durante el tiempo de almacenamiento a 5°C, 25°C y 37°C.

Al observar la Figura 33 se evidencia como las variaciones presentadas en el valor de tonalidad para las muestras analizadas se encuentran dentro del rango de 5°. Variaciones de esta magnitud se mantienen aún dentro del mismo rango de color como podemos evidenciar en la Figura 11..

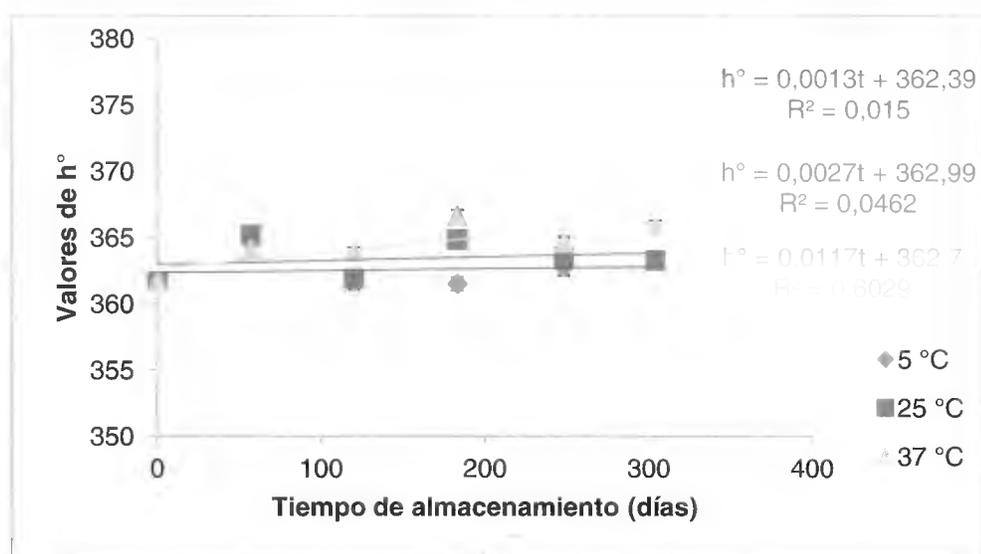


Figura 33. Valores de tonalidad “hue” obtenidos para el polvo de pitaya hidratado durante 304 días de almacenamiento a 5°C, 25°C y 37°C

Los resultados obtenidos para la diferencia total de color (Cuadro 7) en el polvo hidratado son similares a los del polvo sin hidratar. Aunque, al analizar los resultados obtenidos para los parámetros de color evaluados mediante el instrumento de medición, si se detectan diferencias significativas entre las mediciones en el tiempo o la temperatura, esto no se refleja en la determinación de la diferencia total de color. Probablemente por ser estas diferencias entre los parámetros individuales leves, cuando se evalúa el color como un todo la diferencia es difícil de detectar por el ojo humano según Gonnet, (2001) ya que todos los valores obtenidos para ΔE son menores a 10. En la Figura 34 se puede apreciar la apariencia del producto hidratado en el tiempo 0 días y después de 304 días de almacenamiento a 37°C (condición más extrema).

Cuadro 7. Valores de ΔE obtenidos en la medición de color para el polvo de pitaya hidratado durante el tiempo de almacenamiento a 5°C, 25°C y 37°C

Tiempo (días)	ΔE	ΔE	ΔE
	Temperatura	Temperatura	Temperatura
	5°C	25°C	37°C
57	3,2 ± 0,3	3,5 ± 0,2	1,7 ± 0,7
120	0,8 ± 0,7	1,6 ± 0,8	2 ± 1
183	3 ± 2	2 ± 0,6	2,9 ± 0,8
248	1,4 ± 0,7	2 ± 1	2 ± 1
304	3 ± 2	1,3 ± 0,4	2 ± 1

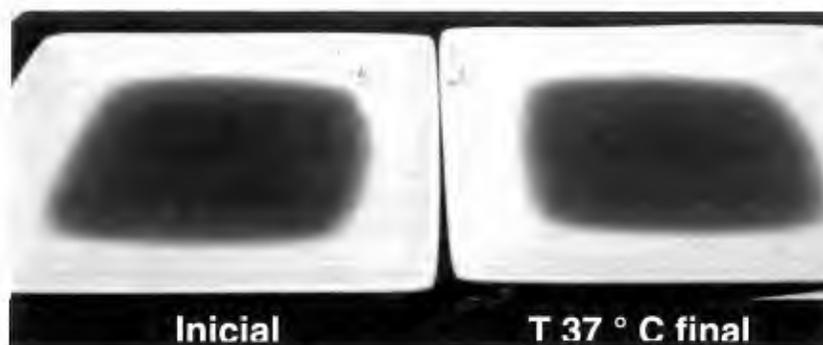


Figura 34. Polvo de pitaya rehidratado tiempo 0 días y tiempo 304 días almacenado a temperatura de 37 °C.

Este resultado es muy importante ya que indica que el polvo de pitaya se puede almacenar durante 304 días a temperatura ambiente aún en climas con temperaturas elevadas como son 37°C sin que éste sufra variaciones en el color, por lo que es un ingrediente atractivo para ser utilizado como colorante natural en alimentos que requieren ser almacenados a temperatura ambiente, en ausencia de agua. En alimentos refrigerados como yogurt, ya se ha estudiado su uso obteniendo muy buenos resultados en un tiempo de almacenamiento de 28 días (Nizaha *et al.*, 2011).

5.4. Estabilidad de la pulpa de pitaya con adición de ácidos orgánicos almacenada durante 11 días a 25°C.

Se realizó la medición de la concentración de las betalaínas presentes en la pulpa de pitaya con adición de ácidos orgánicos almacenada a temperatura ambiente durante 11 días y se obtuvieron los resultados que se observan en la Figura 35.

Al analizar los datos obtenidos se encontró que el tiempo de almacenamiento tiene un efecto significativo ($P < 0,0001$) sobre el contenido de betalaínas presente en las muestras independientemente de si la pulpa se encuentra en presencia de ácido cafeico o ácido ferúlico ($P = 0,7073$). La presencia de ácidos orgánicos no tiene un efecto significativo en el contenido de betalaínas en la pulpa de pitaya bajo las condiciones evaluadas en este estudio ($P = 0,3326$).

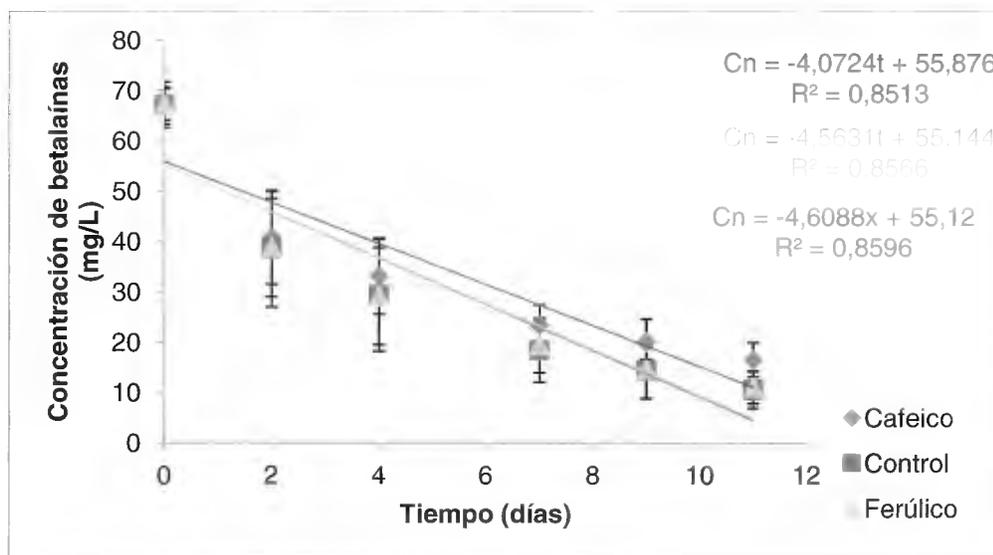


Figura 35. Concentración de betalaínas obtenida para la pulpa de pitaya con la adición de ácidos orgánicos, según tiempo de almacenamiento.

El uso de copigmentos ha sido muy estudiado en la búsqueda de la estabilidad de las antocianinas (Rein, 2005) y las betalaínas (Heuer *et al.*, 1992), ya que las

reacciones que se presentan entre los pigmentos y los ácidos orgánicos conocidos como copigmentos permiten que el color presente se intensifique y sea más estable. En estudios previos de Eiro & Heinone (2002), Drunkler *et al.* (2004) y Rein (2005) encontraron diferencias en la estabilidad de los pigmentos en el tiempo en presencia de ácidos orgánicos como ácido tánico, ácido gálico, ácido ferúlico y ácido cafeico, diferencia que no se logró evidenciar en este estudio.

Las reacciones que se dan entre los copigmentos y las betalaínas pueden ser intramoleculares de carácter covalente o intermoleculares, por medio de enlaces de hidrógeno (Rein, 2005) y ambas se ven muy afectadas por factores como pH, temperatura, concentración, solventes y estructura molecular (Brouillard *et al.*, 1991; Wilska-Jeszka & Korzuchowska, 1996 y Bakowska *et al.*, 2003), por lo que para que se de la copigmentación hay que evaluar un mayor número de factores que los analizados en este estudio.

En las pruebas realizadas en este trabajo de investigación la presencia de ácido cafeico o ácido ferúlico no presentó ningún efecto ni en el espectro de absorción (Figura 36) ni en la estabilidad de las betalaínas en el tiempo, probablemente porque la estructura de las betalaínas presentes en la pulpa de pitaya no permitieron el acercamiento necesario de los ácidos orgánicos o porque éstos reaccionaron con algún otro compuesto presente en la matriz antes de reaccionar con las betalaínas. Esto solo se podría afirmar realizando un estudio más completo sobre los compuestos presentes en la mezcla. Adicionalmente, en estudios previos se ha determinado que el efecto copigmentante es directamente proporcional a la concentración del copigmento (Wilska & Korzuchowska, 1996; Drunkler *et al.*, 2004; Rein, 2005), por lo que una de las razones para que no se presentara copigmentación podría ser que la concentración de copigmento utilizada fuera baja.

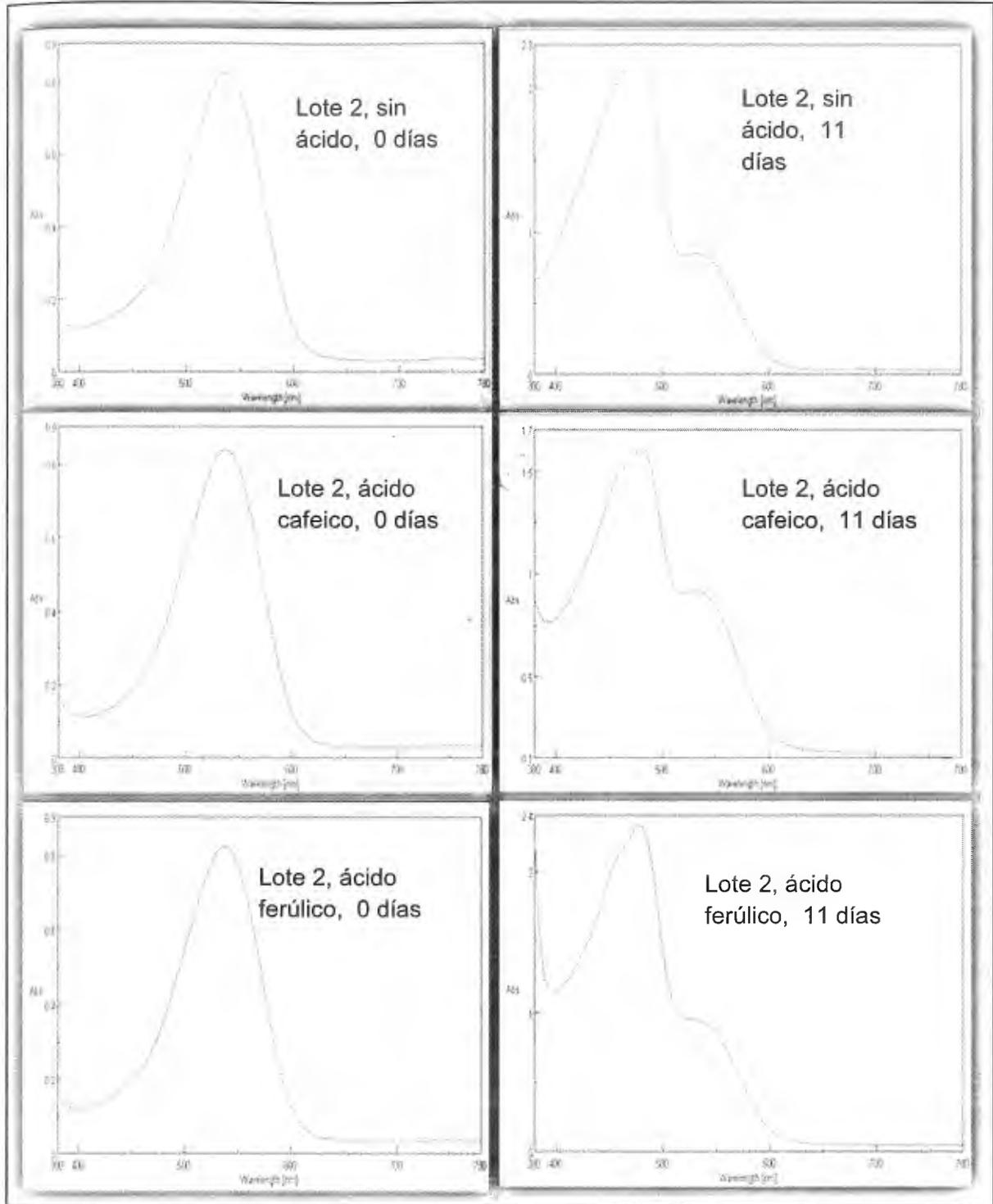


Figura 36. Comparación espectros de absorción obtenidos para la pulpa de pitaya con adición de ácidos orgánicos para el tiempo 0 días y 11 días.

En la Figura 36 se presentan los espectros de absorción en el tiempo 0 días y 11 días para la muestra control (sin agentes copigmentantes adicionados) y las muestras que contenían ácidos orgánicos del lote 2. Como se observa en los gráficos no se presentó un efecto hiperacrómico o movimiento batocrómico en el espectro de absorción, ni en el tiempo 0 días, ni después del almacenamiento de las muestras, por lo que podemos decir que la presencia de ácidos orgánicos en este estudio no causó un efecto de copigmentación con las betalainas presentes en la pulpa de pitaya utilizada. Este tipo de variaciones en los espectros de absorción se utilizan comúnmente para determinar si se presenta o no la copigmentación (Eiro & Heinonen, 2002).

Al realizar la medición de las variables de color encontramos que la variable a^* no presentó un cambio significativo debido al tiempo ($P=0,0903$) de almacenamiento a 25°C , así como tampoco se presentó una diferencia significativa entre las muestras al estar o no en presencia de ácidos orgánicos (cafeico, ferúlico) ($P= 0,4175$). Además, estos resultados no presentaron diferencias significativas independientemente de la combinación tiempo y presencia de ácidos evaluadas ($P=0,0633$). Las variables b^* , C^* y h° si se vieron afectadas de manera significativa por el tiempo de almacenamiento ($P<0,0001$), pero no así por la presencia de ácido cafeico o ácido ferúlico ($b^* P=0,0726$; $C^* P=0,1160$; $h^{\circ}P=0,1462$) o la interacción entre la presencia de estos y el tiempo de almacenamiento ($b^* P=0,2822$; $C^* P=0,6509$; $h^{\circ} P=0,2641$). En el caso de la luminosidad (L^*) tanto el tiempo, como la presencia de ácidos orgánicos y la interacción entre estos dos factores si tienen un efecto significativo sobre los resultado obtenidos ($P<0,0001$).

El valor de a^* (Figura 37) va de valores positivos (rojo) hasta valores negativos (verdes), cambio que no se evidencio en este estudio. Las muestras evaluadas (Figura 38) pasan de una tonalidad morada a una naranja claro, lo cual genera un cambio en valores como b^* y h° . En este caso no se presenta cambio en el valor que corresponde al rojo. La mayor diferencia encontrada en los parámetros de

color se obtuvo en el valor de b^* el cual aumenta con un comportamiento casi lineal (Figura 39), demostrando como las reacciones de degradación que se presentan en las betalaínas forman compuestos incoloros y amarillos (Herbach *et al.*, 2006a) los cuales hacen que el parámetro de b^* aumente.

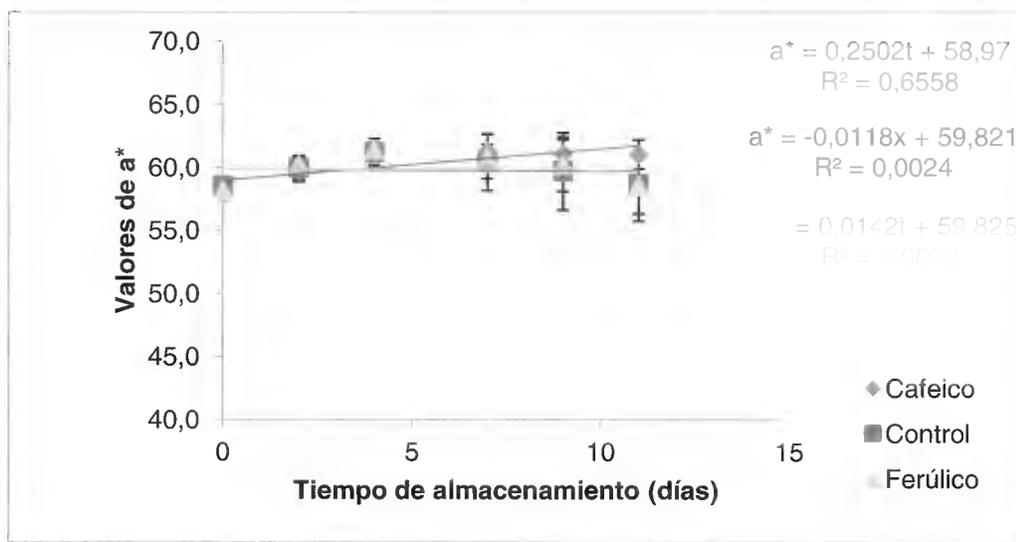


Figura 37. Valores de a^* obtenidos para la pulpa de pitaya sin adición de ácido orgánico, con ácido cafeico y con ácido ferúlico durante el tiempo de almacenamiento



Figura 38. Color presentado por las muestras de pulpa de pitaya con ácidos orgánicos en el tiempo 0 días y con 11 días de almacenamiento.

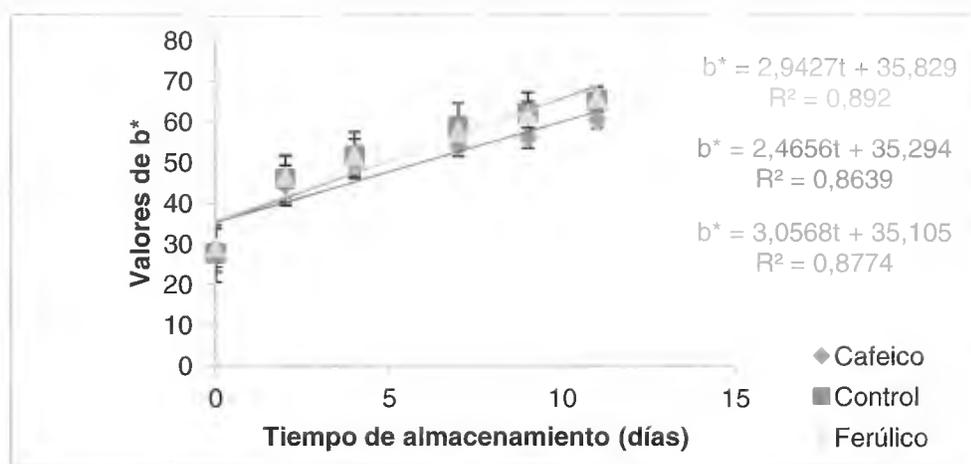


Figura 39. Valores de b^* obtenidos para la pulpa de pitaya sin adición de ácido orgánico, con ácido cafeico y con ácido ferúlico durante el tiempo de almacenamiento

Para el parámetro de luminosidad (L^*) (Figura 40) se observa también un aumento lineal en el tiempo, el cual fue inferior para la muestra que contenía ácido cafeico. Esto podría indicar que en presencia de ácido cafeico se presentaron un mayor número de reacciones de degradación que generaron compuestos incoloros, que se refleja en un aumento de la luminosidad.

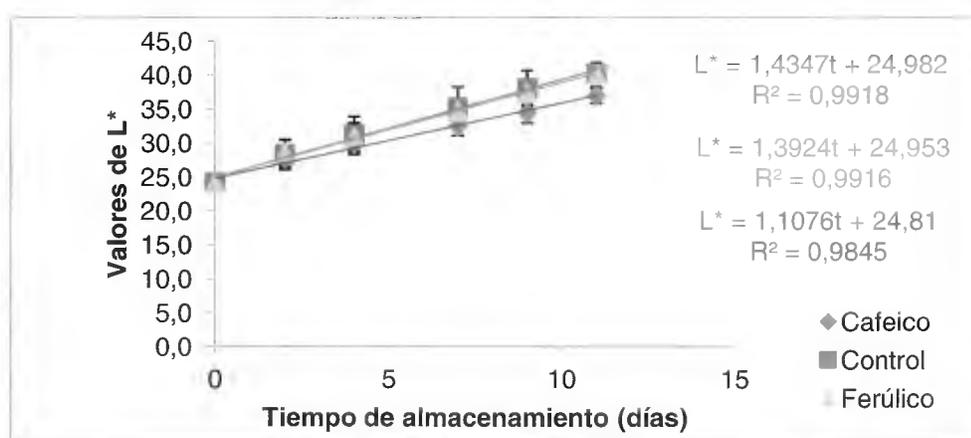


Figura 40. Valores de luminosidad obtenidos para la pulpa de pitaya sin adición de ácido orgánico, con ácido cafeico y con ácido ferúlico durante el tiempo de almacenamiento

Para todas las muestras analizadas se encontró un aumento en el valor de croma en el tiempo de almacenamiento (Figura 41), con un comportamiento lineal. No se observaron diferencias entre la muestra control, la muestra con ácido cafeico o la muestra con ácido ferúlico. El aumento en el valor de croma podría indicar que el color en la muestra se torna más intenso debido a la degradación de las betalaínas presentes.

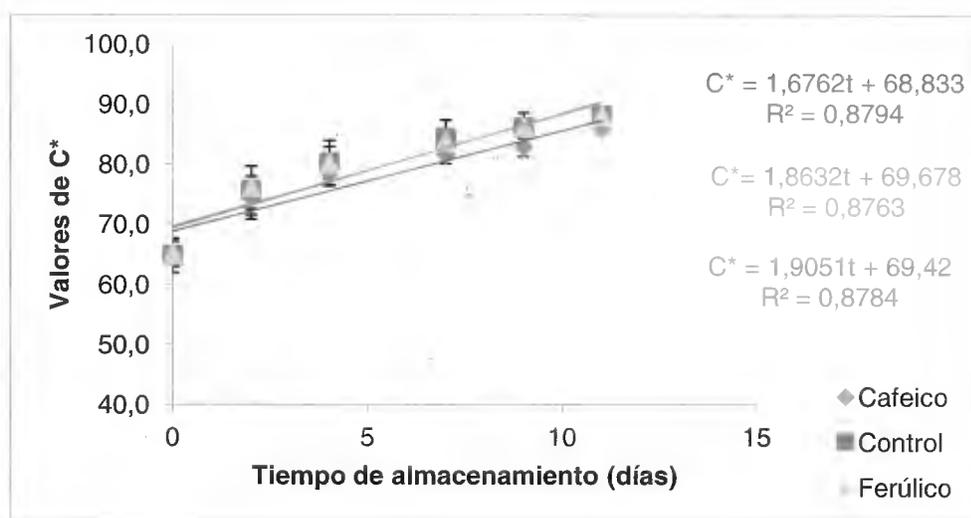


Figura 41. Valores de croma obtenidos para la pulpa de pitaya sin adición de ácido orgánico, con ácido cafeico y con ácido ferúlico durante el tiempo de almacenamiento

El valor de h° es muy consistente con lo que se observa en la Figura 38, ya que este aumenta de manera lineal, pasando de un color púrpura a una coloración naranja claro, debido a los productos de degradación que se están presentando. Es importante recalcar que el comportamiento es igual en presencia o ausencia de ácidos orgánicos, no lográndose ver un efecto de la presencia de estos ácidos en el color de la muestra.

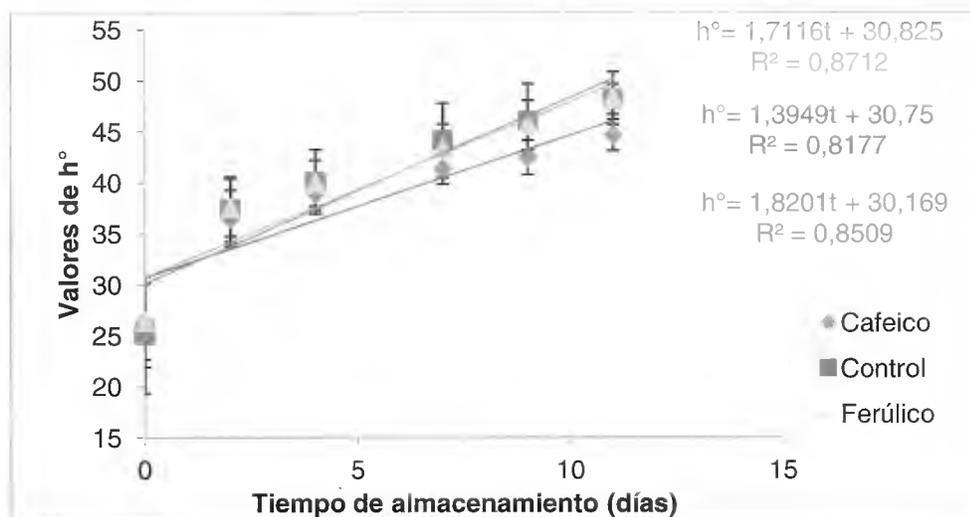


Figura 42. Valores de tonalidad “hue” obtenidos para la pulpa de pitaya sin adición de ácido orgánico, con ácido cafeico y con ácido ferúlico durante el tiempo de almacenamiento

Cuadro 8. Valores de ΔE obtenidos en la medición de color para la pulpa de pitaya sin adición de ácido orgánico, con ácido cafeico y con ácido ferúlico durante el tiempo de almacenamiento

Tiempo (días)	ΔE Ácido cafeico	ΔE Control	ΔE Ácido ferúlico
2	16 ± 3	19 ± 3	18 ± 3
4	22 ± 3	25 ± 4	24 ± 3
7	27 ± 3	33 ± 4	31 ± 2
9	29 ± 3	37 ± 3	35 ± 3
11	34 ± 4	41 ± 5	40 ± 2

Al analizar la diferencia total de color en las muestras evaluadas (Cuadro 8), tomando el valor de $\Delta E > 10$ como un cambio de color visualmente detectable con facilidad (Gonnet, 2001), todas las muestras analizadas presentan un cambio

mayor a este valor desde el día 2 de almacenamiento y esta diferencia total de color (ΔE) aumenta al aumentar el tiempo de almacenamiento tanto para las muestras que no contenían ácidos orgánicos copigmentantes, como para las que sí.

En los resultados de este estudio no se logró evidenciar ningún efecto copigmentante en las muestras analizadas, por lo que no se recomienda el uso de ácidos orgánicos, específicamente ácido cafeico y ácido ferúlico para aumentar la estabilidad de las betalaínas presentes en la pulpa de pitaya, bajo las condiciones evaluadas. El uso de estos compuestos, bajo las condiciones evaluadas no mejora la estabilidad del color o el contenido de betalaínas de la pulpa de pitaya en el tiempo de almacenamiento.

6. Conclusiones

- La pulpa de pitaya mantiene su coloración después de 198 días de almacenamiento en refrigeración, por lo que se recomienda su uso como ingrediente que aporta color en productos que se encuentren refrigerados como helados o yogurt.
- La pulpa de pitaya presenta el 78% del contenido inicial de betalaínas después de 198 días de almacenamiento a 5°C.
- La degradación en el contenido de betalaínas en el concentrado de pitaya aumenta con un incremento en la temperatura de almacenamiento.
- El concentrado de pitaya almacenado a 5°C presenta la menor variación en los parámetros de color.
- A temperaturas de 37°C se observa una degradación del 93% de las betalaínas en el concentrado de pitaya después de 148 días de almacenamiento.
- No se observan diferencias significativas en el contenido de betalaínas en el polvo de pitaya después de 304 días de almacenamiento.
- Se observa una mayor estabilidad de las betalaínas en el polvo de pitaya comparado con la pulpa pasteurizada de pitaya y el concentrado de pitaya.
- El polvo de pitaya mantiene las características globales de color aún después de estar almacenado durante 304 días a 5°C, 25°C y 37°C.

- La presencia de ácidos orgánicos como ácido cafeico y ácido ferúlico no disminuyen la degradación de las betalaínas en los extractos de pulpa de pitaya, bajo las condiciones del estudio.
- No se evidencia efecto copigmentante entre las betalaínas presentes en la pitaya y el ácido cafeico ni el ácido ferúlico, bajo las condiciones del estudio.

7. Recomendaciones

- Estudiar la estabilidad de las betalaínas en alimentos refrigerados coloreados con pulpa de pitaya recién elaborada y después de 6 meses de almacenamiento.
- Analizar el poder antioxidante de la pulpa de pitaya como ingrediente colorante durante el almacenamiento a diferentes temperaturas.
- Realizar un análisis sensorial de la pulpa de pitaya aplicada como ingrediente en alimentos refrigerados recién elaborada y 6 meses después almacenamiento a 5°C, evaluando si un panel entrenado es capaz de detectar diferencia significativa en el color del producto terminado.
- Evaluar la estabilidad del color en alimentos en los cuales se aplique el polvo de pitaya como ingrediente que aporte color, para determinar si la presencia de agua en los mismos puede generar que las betalaínas se degraden.
- Evaluar el posible efecto copigmentante de otros compuestos como el ácido gálico y ácido tánico sobre las betalaínas presentes en la pulpa de pitaya.
- Evaluar el efecto de la presencia de los ácidos orgánicos analizados en este estudio a una concentración mayor, acompañado de análisis cromatográfico para determinar los compuestos que se forman.

8. Bibliografía

- AMR, A. & AL-TAMIMI, E. 2007. Stability of the crude extracts of *Ranunculus asiaticus* anthocyanins and their use as food colourants. *International Journal of Food Science and Technology*. 42: 985–991.
- ATTOE. E.L. & VON ELBE, J.H. 1985. Oxygen involvement in betanine degradation: effects of antioxidants. *Journal of Food Science* 50:106.
- AZEREDO, H.; SANTOS, A.; SOUZA, A.; MENDEZ, K. & ANDRADE, M. 2007. Betacyanin stability during processing and storage of a microencapsulated red beetroot extract. *American Journal of Food Technology* 2 (4): 307-312.
- AZEREDO, H. 2009. Betalains: properties, sources, applications, and stability – a review. *International Journal of Food Science and Technology* 44: 2365–2376
- BADUI, D. 1993. *Química de los alimentos*. Editorial Pearson Educación, 3ª edición. México. 377-405.
- BAKOWSKA, A., KUCHARSKA, A. Z. J. 2003. The effects of heating, UV irradiation, and storage on stability of the anthocyanin-polyphenol copigment complex. *Food Chemistry* 81: 349-355
- BARBEAU, G. 1990. *Frutas en Nicaragua*. Editorial Ciencias Sociales. Managua, Nicaragua.
- BROUILLARD, R., WIGAND, MC., DANGLES O., CHEMIAT, A. 1991. The pH and solvent effects on the copigmentation reaction of malvin with polyphenols, purine and pyrimidine derivatives. *Journal of Chemistry Society, Perkin 2*. 1235-1241

- BATEMAN, B; WARNER, J.; HUTCHINSON, E.; DEAN, T; ROWLANDSON, P; GANT, C; GRUNDY, J.; FITZGERALD, C. & STEVENSON, J. 2004. The effects of a double blind, placebo controlled, artificial food colourings and benzoate preservative challenge on hyperactivity in a general population sample of preschool children. *Archives of disease in childhood* 89: 506-511.
- CAI, Y. & CORKE, H. 2000. Production and Properties of Spray-Dried Amaranthus Betacyanin Pigments. *Journal of food Science* 65 (6): 1248.
- CASTAÑEDA, A.; PACHECO, M.; PAEZ, M.; RODRIGUEZ, J.; GALAN, C. 2009. Chemical studies of anthocyanins. A Review. *Food Chemistry* 113: 859-871.
- CASTELLAR, M.R.; OBON, J.M.; ALACID, M. & FERNANDEZ-LOPEZ, J.A. 2003. Color properties and stability of betacyanins from *Opuntia* fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51: 2772-2776.
- CASTELLAR, M.R.; OBON, J.M. & FERNANDEZ-LOPEZ, J.A. 2006. The isolation and properties of a concentrated red-purple betacyanin food colorant from *Opuntia stricta* fruits. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86: 122-128.
- CASTELLAR, M.; OBON, J.M. & FERNANDEZ-LOPEZ, J.A. 2008. Fermentation of *Opuntia stricta* (Haw.) Fruits for Betalains Concentration M. R. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56: 4253-4257.
- CENTURION, A.; SOLIS, S.; SAUCEDO, C.; BAEZ, R. & SAURI, E. 2008. Cambio físicos, químicos y sensoriales en frutos de pitaya (*Hylocereus undatus*) durante su desarrollo. *Revista fitotecnia Mexicana* 31 (01): 1-5.
- CHIK, C.; ADDULLAH, A.; MUSTAPHA, W.; ADBULLAH, N. 2011. The effect of heat towards pitaya muffin colour and polyphenolic content. The 12 th asean food conference. BITEC. Bangkok, Thailand.

- CNPE, 2005. Secretaría técnica, Gerencia componente de exportaciones. Ministerio de Fomento Industria y Comercio. Elaboración de fichas de producto de mercado, pulpa de pitaya, mercados Estados Unidos y Unión Europea. Nicaragua.
- CORMIER, E. & HARRISON, J. 2007. Diet and child behavior problems: Fact or fiction? *Pediatric Nursing* 33 (2): 449 – 454.
- DANIELLS, S. 2008. FDA urged to ban artificial colors linked to hyperactivity. INTERNET: <http://www.foodnavigator-usa.com/Legislation/FDA-urged-to-ban-artificial-colors-linked-to-hyperactivity>
- DORNENBURG, H. & KNORR, D. 1996. Generation of colors and flavors in plant cell and tissue cultures. *Critical Reviews in Plant Science* 15 (2): 141-168.
- DOWNHAM, A. & COLLINS, P. 2000. Colouring our foods in the last and next millennium. *International Journal of Food Science and Technology*. 35: 5-22.
- DRUNKLER, D.; FALCAO, L. & BORDIGNON-LUIZ, M. 2004. Influência dos ácidos tânico e gálico na estabilidade de betacianinas do extrato bruto de beterraba vérmela (*Beta vulgaris* L.). *Alimentos e Nutrição Araraquara* 15 (1): 35-41.
- EIRO, M. & HEINONEN, M. 2002. Anthocyanin color behavior and stability during storage: Effect of intermolecular copigmentation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50: 7461-7466.
- ELBE, J.; MAING, I. & AMUNDSON, C. 1974. Color Stability of betalain. 33rd Annual Meeting of the Institute of Food Technologists in Miami Beach. Institute of Food Technologists.

- ESQUIVEL, P., STINTZING, F.C. & CARLE, R. 2007. Comparison of morphological and chemical fruit traits from different pitaya genotypes (*Hylocereus* sp.) grown in Costa Rica. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 81 (1): 7-14.
- EUROPEAN PARLAMENT. 2008. Modernising the rules of food additive a labelling of azo dyes. INTERNET: <http://www.europarl.europa.eu/sides/getdoc.do?languaje=EN&type=Im-press&reference=20080707ipr33563>
- GARCIA, V. 2008. Evolución de compuestos funcionales durante la maduración de frutos de *Opuntia stricta*. Universidad poliécnica de Cartagena. Proyecto fin de carrera tecnología Agronómica. Colombia.
- GROTEWOLD, E. 2006. The Genetics and biochemistry of floral pigments. *Annual Review of Plant Biology* 57: 761-780.
- GONNET, J. 1998. Colour effects of co-pigmentation of anthocyanins revisited- 1. A colorimetric definition using the cielab scale. *Food Chemistry* 63: 409-415.
- GONNET, J. 2001. Colour effects of co-pigmentation of anthocyanin revisited—3. A further description using CIELAB differences and assessment of matched colours using the CMC model. *Food Chemistry* 75: 473-485
- HAN, L. 2004. Betacyanins from *Hylocereus Undatus* as natural food colorants. A thesis submitted for the degree of Master of Science Department of Chemistry. National University of Singapore.
- HERBACH, K.; STINTZING, F. & CARLE, R. 2004. Thermal degradation of betacyanins in juices from purple pitaya (*Hylocereus polyrhizus* (Weber) Briton & Rose) monitored by high performance liquid chromatography-

tandem mass spectrometric analyses. *European Food Research and Technology* 219 : 377-385

HERBACH, K.; STINTZING, F. & CARLE, R. 2006a. Betalain stability and degradation-structural and chromatic aspects. *Journal of Food Chemistry* 71 (4): R41-R50

HERBACH, K.; STINTZING, F. & CARLE, R. 2006b. Stability and color changes of thermally treated betanin, phyllocactin, and hylocerenin solutions. *Journal of Food Chemistry* 54: 390-398

HERBACH, K., MAIER, C., STINTZING, F.C. & CARLE, R. 2007. Effects of processing and storage on juice color and betacyanin stability of purple pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) juice. *European Food Research and Technology* 224: 649- 658.

HEUER, S., WRAY, V; METZGER, JW. 1992. Betacyanins from flowers of *Gomphrena globosa*. *Phytochemistry.*, 31, (5): 1801-1807

HOFFMANN, C. & MÄRLÄNDER, B. 2005. Composition of harmful nitrogen in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) amino acids, betanine, nitrate affected by genotype and environment. *European Journal of Agronomy* 22: 255-265.

HUANG, A & VON ELBE, J. 1985. Kinetics of the degradation and regeneration of betanine. *Journal of Food Science* 50: 1115–1120.

LE BELLEC, F.; VAILLANT, F. & IMBERT, E. 2006. Pitaya (*Hylocereus* spp.): a new fruit crop, a market with a future. *Fruits* 61: 237-250.

MANDUJANO, R. 2006. Estudio preliminar de los pigmentos presentes en la cáscara de pitaya de la región de mixteca. Tesis. Universidad Tecnológica de la Mixteca México.

- MIKE, J. 2007. Fast Food: one small bite for the man, one giant problem for mankind. Professionalization of exercise physiology. An international electronic Journal for exercise physiologists ISSN 1099-5862 10 (5).
INTERNET:
<http://www.exercisephysiologists.com/ASEPNewsletter/index.html>
- MIZRAHI, Y. & NERD, A. 1999. Climbing and columnar cacti: new arid land fruit crops. In Perspectives on New Crops and New Uses. Ed. by Janick, J., American Society for Horticultural Science, Alexandria, Virginia. 358-366.
- MOBHAMMER, M.; STINTZING, F. & CARLE, R. 2005. Development of a process for the production of a betalain based colouring foodstuff from cactus pear. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 6: 221-231.
- MOBHAMMER, M.; STINTZING, F. & CARLE, R. 2006. Evaluation of different methods for the production of juice concentrates and fruit powders from cactus pear. Innovative Food Science and Emerging Technologies 7: 275-287.
- MOBHAMMER, M.; ROHE, M.; STINTZING, F. & CARLE, R. 2007. Stability of yellow-orange cactus pear (*Opuntia ficus-indica* [L.] Mill. cv. 'Gialla') betalains as affected by the juice matrix and selected food additives. European Food Research and Technology 225: 21–32.
- MORTENSEN, A. 2006. Carotenoids and other pigments as natural colorants. Pure and Applied Chemistry 78 (8): 1477-1491.
- NIZAHA, M.; MOHD, S. & Balkis, M. 2011. Production of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) colorant with maltodextrin as drying aid agent and its application in yogurt. In Extended Abstract for International Conference on Life Science.

Universiti Malaysia Terengganu 10th International Annual Symposium (UMTAS 2011). July 11-13:pp. 324-327.

OBON, J.; CASTELLAR, M.; ALACID, M. & FERNANDEZ LOPEZ, J. 2009. Production of a red- purple food colorant from *Opuntia Stricta* fruits by spray drying and its application in food model systems. *Journal of Food Engineering*. 90 (4): 471-479.

REIN, M. 2005. Copigmentation reactions and color stability of berry anthocyanins. University of Helsinki. Department of Applied Chemistry and Microbiology. Food Chemistry Division.

ROBLES, M. 2007. Frutos tropicales mínimamente procesados: Potencial Antioxidante y su impacto en la salud. *INCI [online]*. 32 (4): 227-232

ROSSO, V. & MERCANTE, A. 2007. Evaluation of colour and stability of anthocyanins from tropical fruits in an isotonic soft drink system. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 8: 347–352

SCHWEIGGERT, R.; VILLALOBOS, M.; ESQUIVEL, P. & CARLE, R. 2009. Development and optimization of low temperature enzyme-assisted licuefaction for the production of colouring foodstuff from purple pitaya (*Hylocereus* sp. [Weber] Britton & Rose). *European Food Research and Technology*. 230: 269-280.

SCOTT, C. 2009. Maryland eyes artificial food color ban. *FoodNavigator.com*. INTERNET <http://www.Foodnavigator.com/publications/food-beverage-nutrition/foodnavigatorUSA.com/legislation /Maryland>

SEPULVEDA, G.; RUEDA, P.; PORTA, H. & ROCHA M. 2004. Betacyanin synthesis in red beet (*Beta vulgaris*) leaves induced by wounding and bacterial infiltration is preceded by an oxidative burst. *Physiological and molecular plant pathology* 64: 125-133.

- SOCACIU, C. 2007. In Food Colorants: Chemical and Functional Properties. CRC Press. New York.
- STINTZING, F.C., SCHIEBER, A. & CARLE, R. 2000. Cactus pear – a promising component to functional food. *Obst-, Gemüse-und Kartoffelverarbeitung* 85: 12-19.
- STINTZING, F.C.; SCHIEBER, A. & CARLE, R. 2002. Identification of betalains from yellow beet (*Beta vulgaris* L.) and cactus pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) by HPLC-Electrospray Ionization Mass Spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50: 2302-2307
- STINTZING., F.C., SCHIEBER, A. & CARLE, R. 2003. Evaluation of colour properties and chemical quality parameters of cactus juices. *European Food Research and technology*, 216: 303-311.
- STINTZING, F.C. & CARLE, R. 2004. Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition. *Trends in Food Science and Technology* 15: 19-38.
- STINTZING, F.C. & CARLE, R. 2006. Cactus fruits – more than colour. *Fruit Processing* 16: 166-171.
- SYED, S. AMIN, H. & JAMILAH, B. 2011. Natural colorant and methods thereof. Patent application publication.
- THIMMARAJU, R.; BHAGYALAKSHMI, N.; NARAYAN, M. & RAVISHANKAR, A. 2003. Food- Grade chemical and biological agents permeabilize red beet hairy roots, assisting the release of betalainas. *Biotechnology Progress* 19: 1274-1282.
- VAILLANT, F.; PEREZ, A.; DAVILA, I.; DORNIER, M. & REYNES, M. 2005. Colorant and antioxidant properties of red-purple pitahaya (*Hylocereus* sp.). *Fruits* 60: 3-12.

- VELISEK, J.; DAVIDEK, J. & CEJPEK, K. 2007. Biosynthesis of food constituents: Natural pigments. *Czech Journal of Food Sciences* 25 (6): 291–315.
- VON ELBE, J. MAING, I. & AMUNDSON, C. 1974. Colour stability of betanin. *Journal of Food Science* 39: 334–337.
- WILSKA–JESZKA, J. 2007. Food Colorants En: Zdzislaw, E. & Sikorski. Chemical and functional properties in food. CRC Press Washington.
- WILSKA-JESZKA., J.; KORZUCHOWSKA, A. 1996. Anthocyanins and chlorogenic acid copigmentation – Influence on the colour of strawberry and chokeberry juices. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.*, 203(1): 38-46.
- WOO, K., NGOU, F., NGO, L., SOONG, W. & TANG, P. 2011. Stability of betalain pigment from red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*). *American Journal of Food Technology* 6 (2):140-148.
- WU, L., HSU, H.W., CHEN, Y.Z., CHIU, C.C., LIN, Y.I., HO, J.A. 2006. Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya. *Food Chemistry* 95: 319-327.
- X-RITE. 2002. Guía para entender la comunicación del color. X-Rite, Incorporated. INTERNET: <http://www.monografias.com/trabajos-pdf4/comunicacion-del-color-artes-graficas/comunicacion-del-color-artes-graficas.pdf>
- ZRŮD, J. & CRISTINET, I. 2004. Betalains. En : Daviesk. Plant pigments and their manipulation annual plant review volume 14. CRC Press, Florida Usa. 185-187.

Apéndice A

Resultados obtenidos para el análisis de la estabilidad de la pulpa de pitaya almacenada a 5°C durante 198 días

Cuadro A 1. Concentración total de betalaínas para la pulpa de pitaya almacenada a 5 °C, según tiempo de almacenamiento.

Tiempo (días)	Lote	Contenido de betalaínas (mg/L)
0	1	364 ± 1
	2	325 ± 1
	3	267 ± 1
24	1	337 ± 3
	2	307 ± 2
	3	247 ± 1
52	1	335 ± 4
	2	304 ± 3
	3	247 ± 3
86	1	340 ± 2
	2	300 ± 1
	3	254 ± 2
121	1	306 ± 1
	2	288 ± 3
	3	222 ± 2
170	1	328 ± 2
	2	298 ± 2
	3	231 ± 1
198	1	288 ± 1
	2	266 ± 1
	3	193 ± 1

Cuadro A 2. Efecto del factor tiempo sobre la concentración de betalaínas presentes en la pulpa de pitaya almacenada a 5°C.

Variable	Efecto	Grados de libertad	Valor de F	Prob > F1
Cn Betalaínas	Tiempo	1	29,7334	< 0,0001*

* indica que el efecto analizado si es significativo ($p < 0,05$).

Cuadro A 3. Variables de color: a*, b*, C*, L* y h° para la pulpa de pitaya almacenada a 5°C, según tiempo de almacenamiento.

Tiempo (días)	Lote	a*	b*	C*	L	h°
0	1	36,2 ± 0,1	1,9 ± 0,2	36,3 ± 0,1	3,1 ± 0,2	9,9 ± 0,3
	2	38,6 ± 0,4	2 ± 0,3	38,7 ± 0,4	2,9 ± 0,5	12,2 ± 0,2
	3	40,4 ± 0,6	-2,6 ± 0,6	40,5 ± 0,5	-3,7 ± 0,9	13,7 ± 0,4
24	1	35,8 ± 0,3	3,9 ± 0,2	36 ± 0,3	6,3 ± 0,4	9,6 ± 0,1
	2	38,9 ± 0,3	2,9 ± 0,6	39 ± 0,3	4,3 ± 0,8	11,4 ± 0,2
	3	41,21 ± 0,06	2 ± 0,4	41,26 ± 0,08	2,8 ± 0,5	13 ± 0,3
52	1	36 ± 0,3	4,6 ± 0,3	36,3 ± 0,3	7,3 ± 0,5	9,3 ± 0,1
	2	38,5 ± 0,3	3,6 ± 0,4	38,6 ± 0,3	5,4 ± 0,6	12,19 ± 0,07
	3	40,91 ± 0,05	2,1 ± 0,2	40,97 ± 0,07	3 ± 0,2	13,1 ± 0,2
86	1	36,3 ± 0,5	3,7 ± 0,2	36,5 ± 0,6	5,8 ± 0,2	8,41 ± 0,06
	2	39,68 ± 0,09	4,9 ± 0,5	39,99 ± 0,06	7,1 ± 0,7	11,01 ± 0,06
	3	41,2 ± 0,2	2,3 ± 0,1	41,2 ± 0,2	3,2 ± 0,2	12,7 ± 0,3
121	1	36 ± 0,2	4,8 ± 0,3	36,3 ± 0,2	7,7 ± 0,5	9,09 ± 0,05
	2	39,3 ± 0,2	4,7 ± 0,2	39,6 ± 0,2	6,8 ± 0,3	11,48 ± 0,08
	3	40,9 ± 0,2	4,6 ± 0,1	41,1 ± 0,2	6,4 ± 0,2	13 ± 0,2
170	1	34,9 ± 0,3	3,8 ± 0,3	35,1 ± 0,3	6,2 ± 0,5	7,5 ± 0,2
	2	38,3 ± 0,7	3,9 ± 0,1	38,5 ± 0,6	5,8 ± 0,3	10,78 ± 0,08
	3	39,6 ± 0,1	3,5 ± 0,3	39,7 ± 0,2	5 ± 0,5	12,9 ± 0,4
198	1	34,4 ± 0,4	5,6 ± 0,6	34,9 ± 0,4	9,3 ± 0,9	8,6 ± 0,1
	2	38,1 ± 0,3	5,3 ± 0,4	38,5 ± 0,3	7,9 ± 0,6	11,5 ± 0,1
	3	36,7 ± 0,3	4,9 ± 0,4	37,1 ± 0,4	7,6 ± 0,6	13,06 ± 0,06

Cuadro A 4. Efecto del factor tiempo sobre las variables de color a^* , b^* , L^* , C^* y h° en la pulpa de pitaya almacenada a 5°C .

Variable	Efecto	Grados de libertad	Valor de F	Prob > F1
a^*	Tiempo	1	21,9449	<0,0001*
b^*	Tiempo	1	42,9842	<0,0001*
L^*	Tiempo	1	10,4353	0,0049*
C^*	Tiempo	1	7,2660	0,0153*
h°	Tiempo	1	22,9014	0,0002*

* indica que el efecto analizado si es significativo ($p < 0,05$).

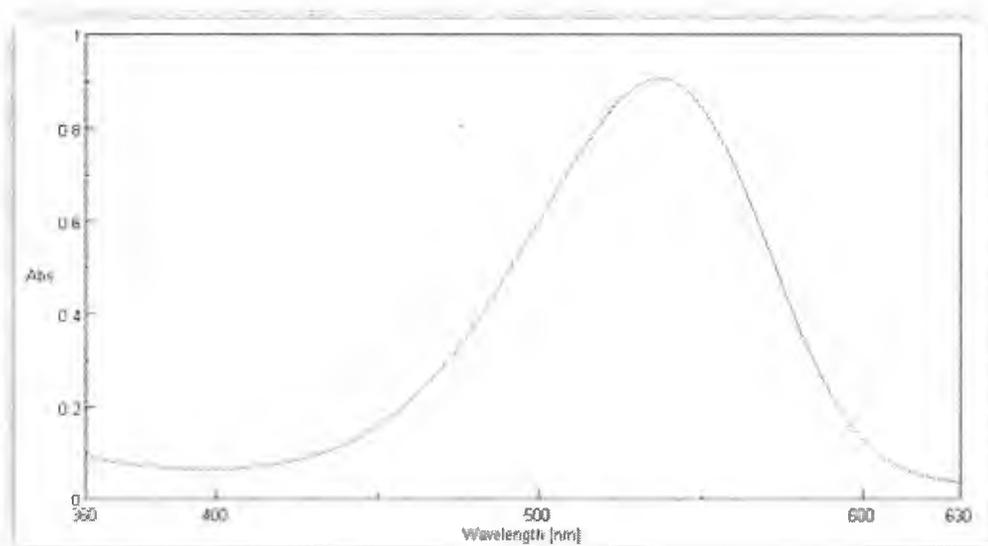


Figura A 1. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya recién elaborada (tiempo 0 días), lote 1.

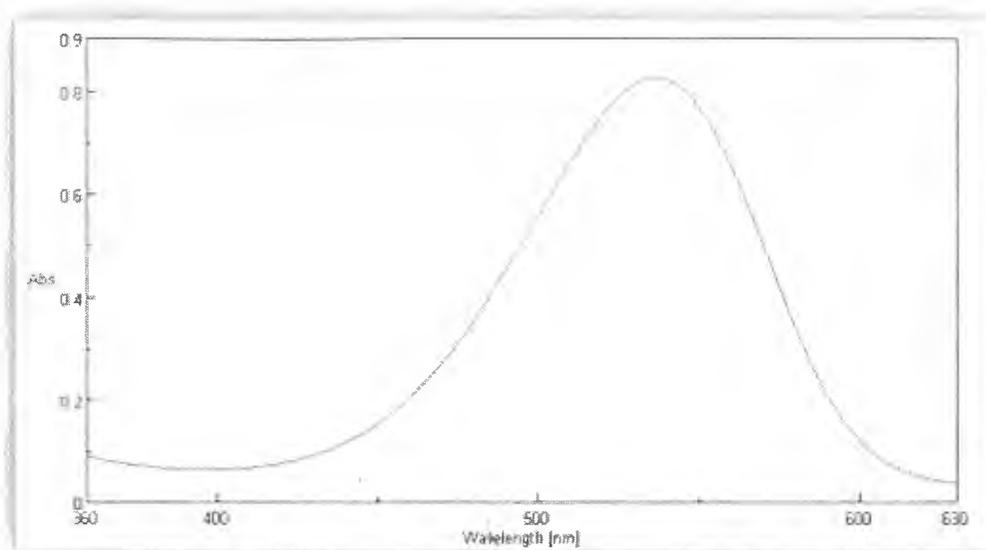


Figura A 2. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya recién elaborada (tiempo 0 días), lote 2.

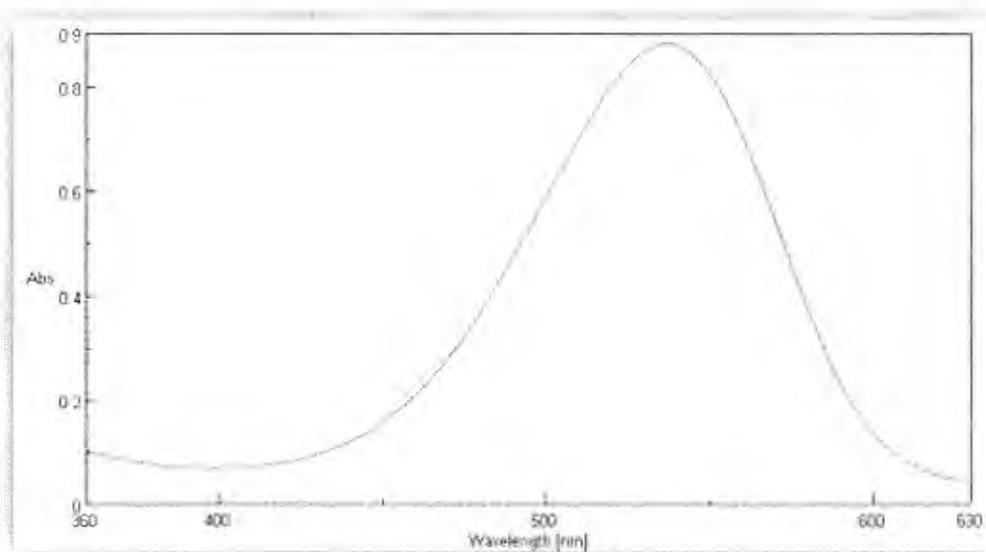


Figura A 3. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya recién elaborada (tiempo 0 días), lote 3.

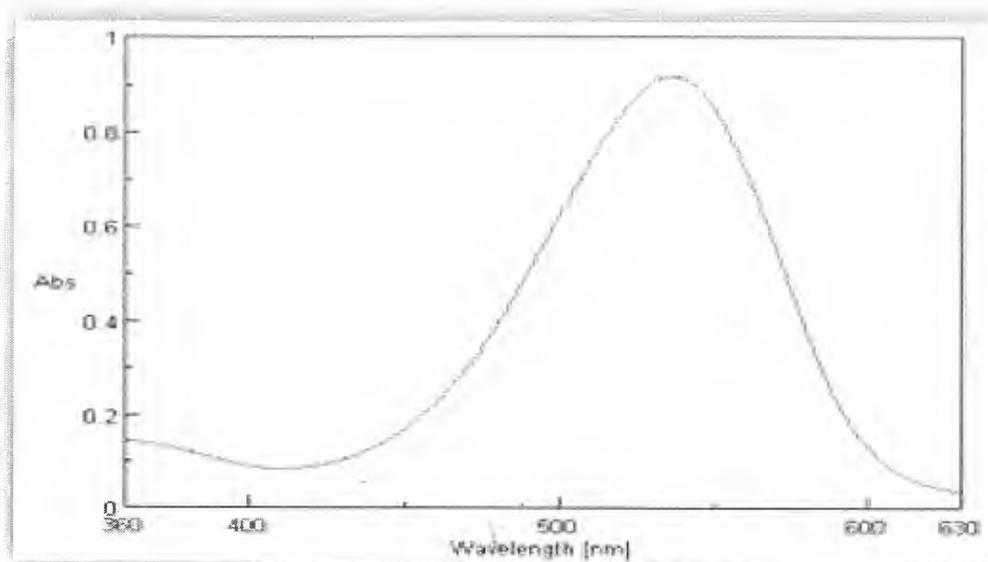


Figura A 4. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya almacenada durante 24 días a 5°C, lote 1.

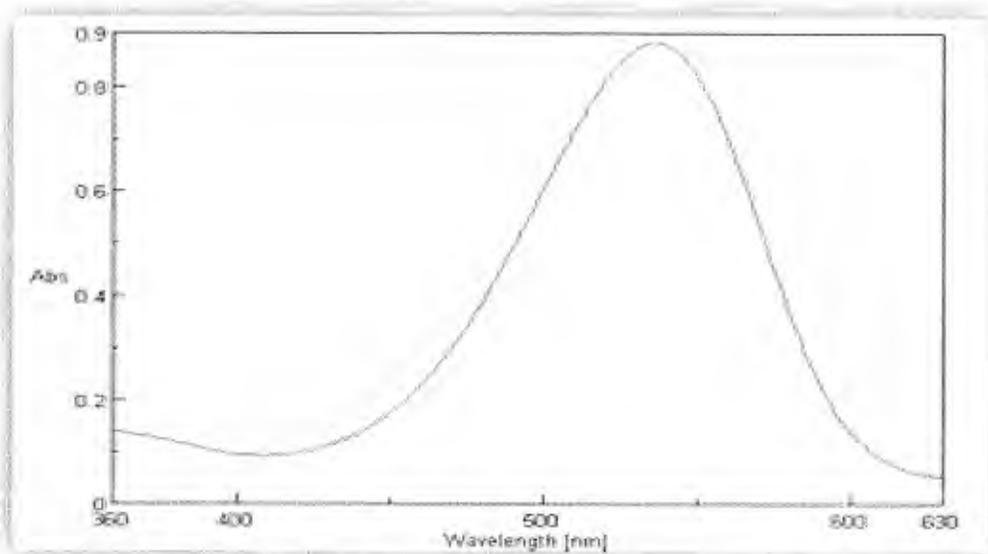


Figura A 5. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya almacenada durante 24 días a 5 °C, lote 2.

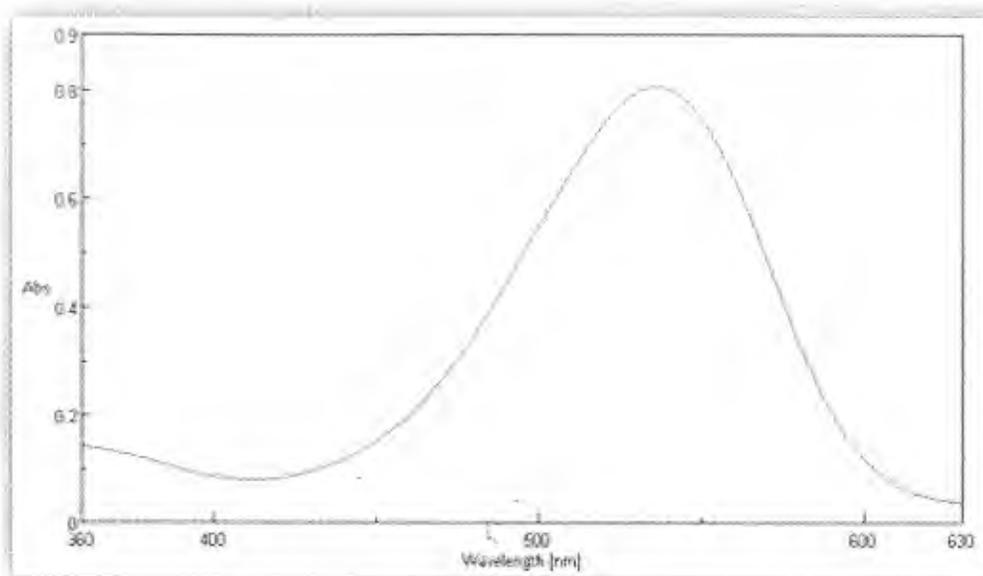


Figura A 6. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya almacenada durante 24 días a 5 °C, lote 3.

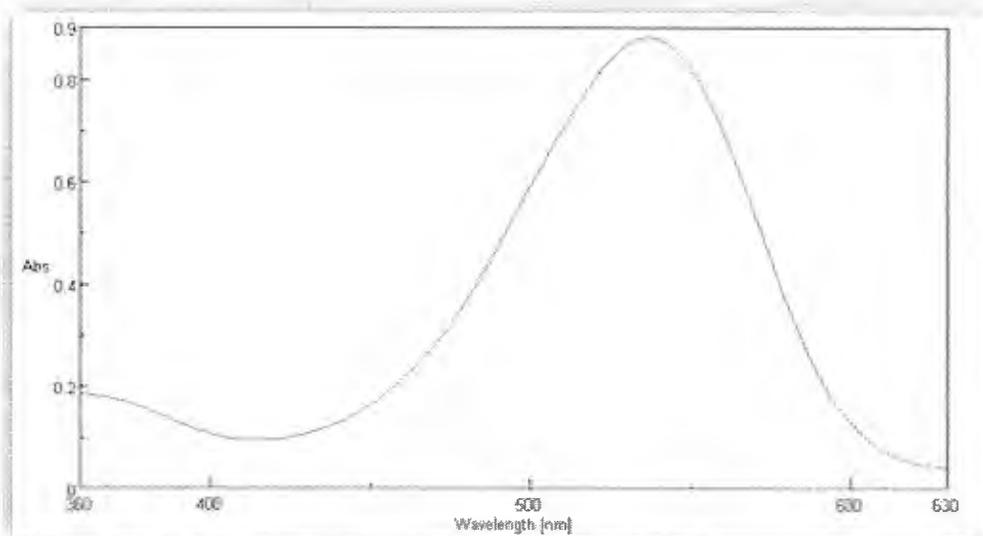


Figura A 7. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya almacenada durante 52 días a 5 °C, lote 1.

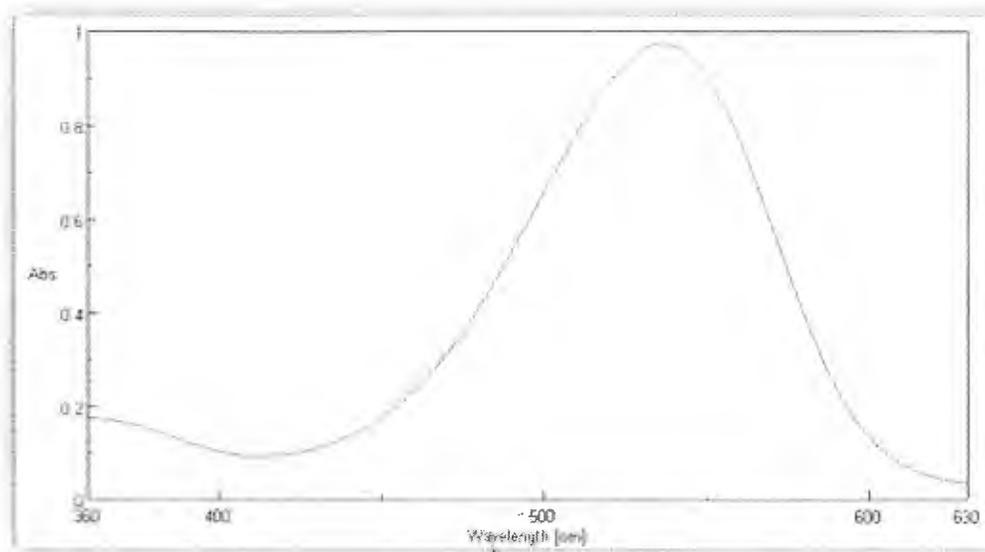


Figura A 8. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya almacenada durante 52 días a 5 °C, lote 2.

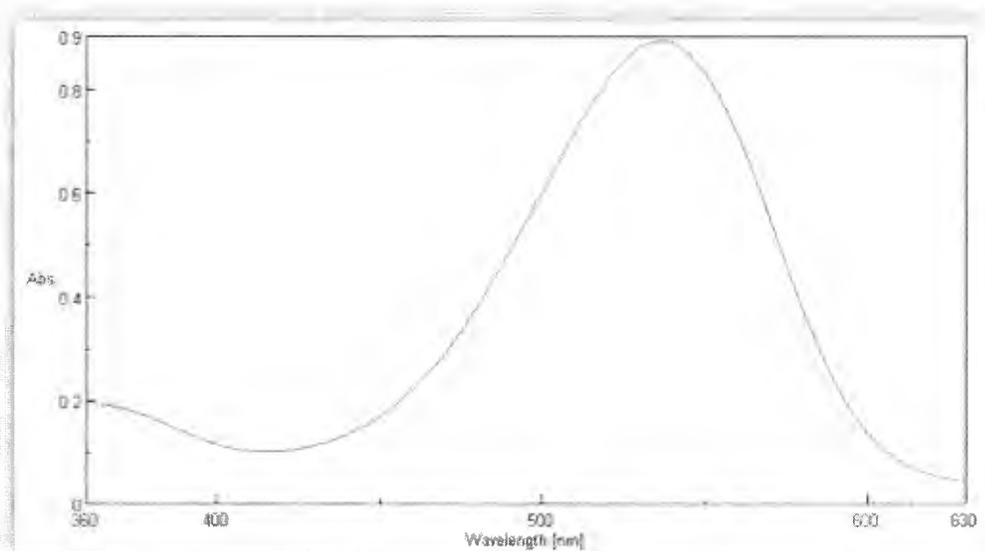


Figura A 9. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya almacenada durante 52 días a 5 °C, lote 3.

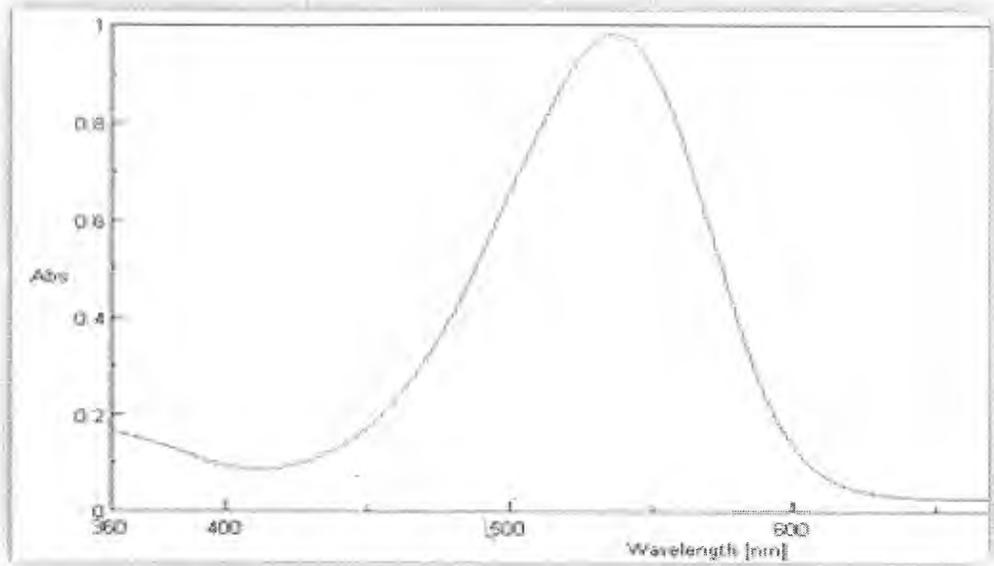


Figura A 10. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya almacenada durante 86 días a 5 °C, lote 1.

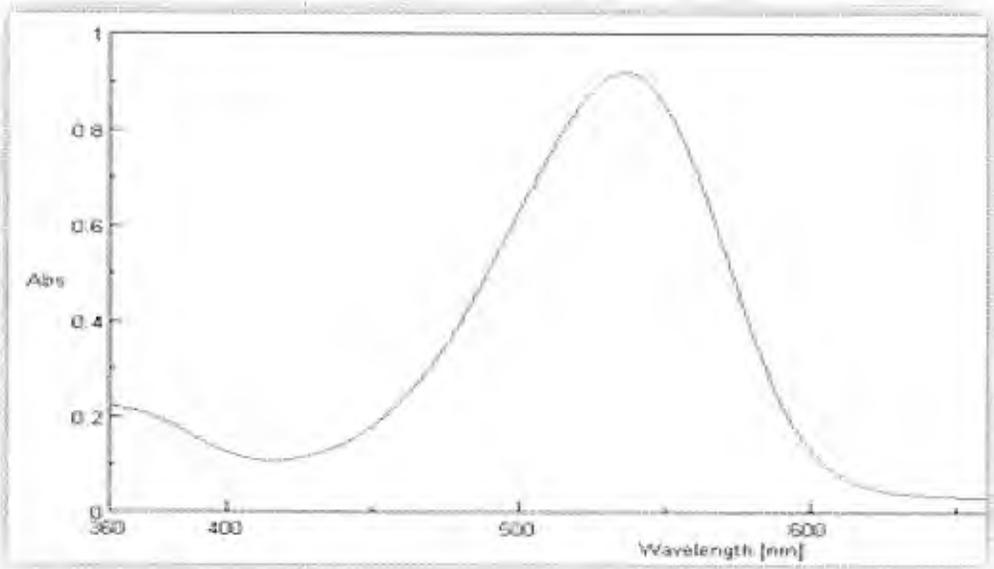


Figura A 11. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya almacenada durante 86 días a 5 °C, lote 2.

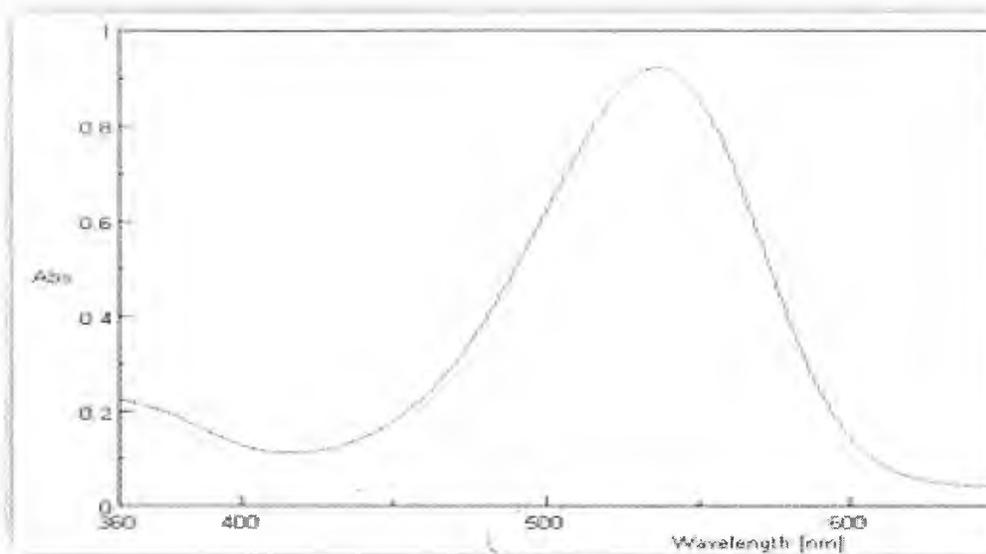


Figura A 12. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya almacenada durante 86 días a 5 °C, lote 3.

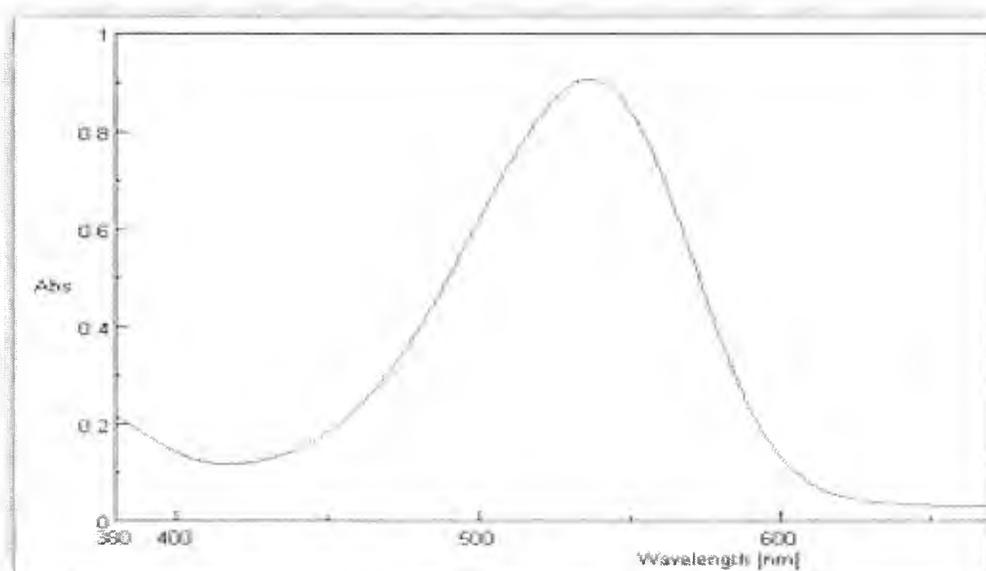


Figura A 13. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya almacenada durante 121 días a 5 °C, lote 1.

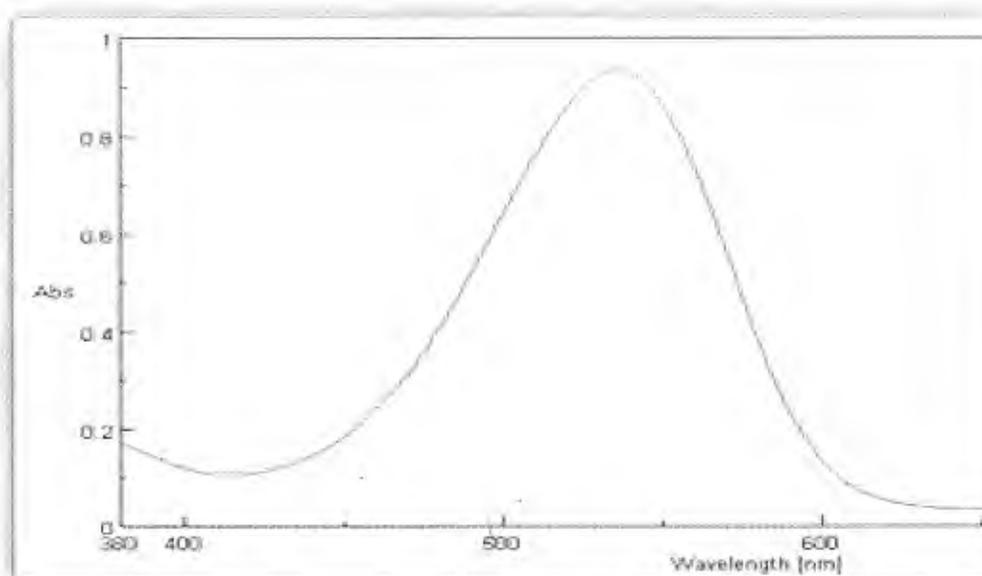


Figura A 14. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya almacenada durante 121 días a 5 °C, lote 2.

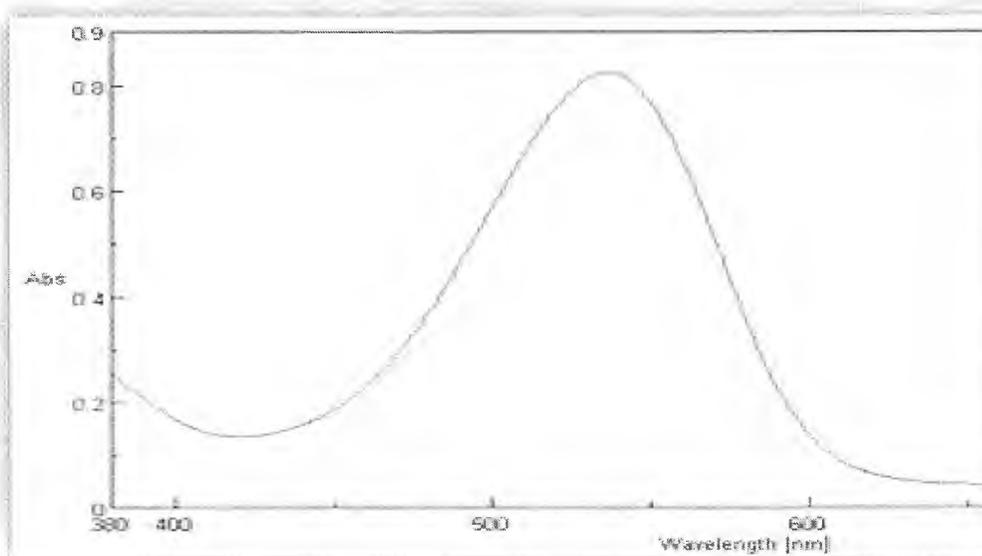


Figura A 15. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya almacenada durante 121 días a 5 °C, lote 3.

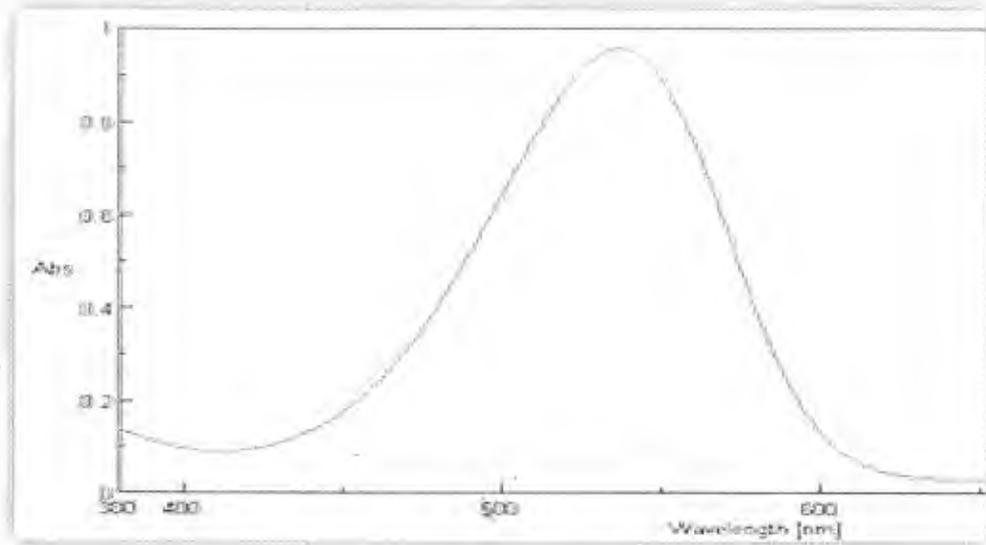


Figura A 16. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya almacenada durante 170 días a 5 °C, lote 1.

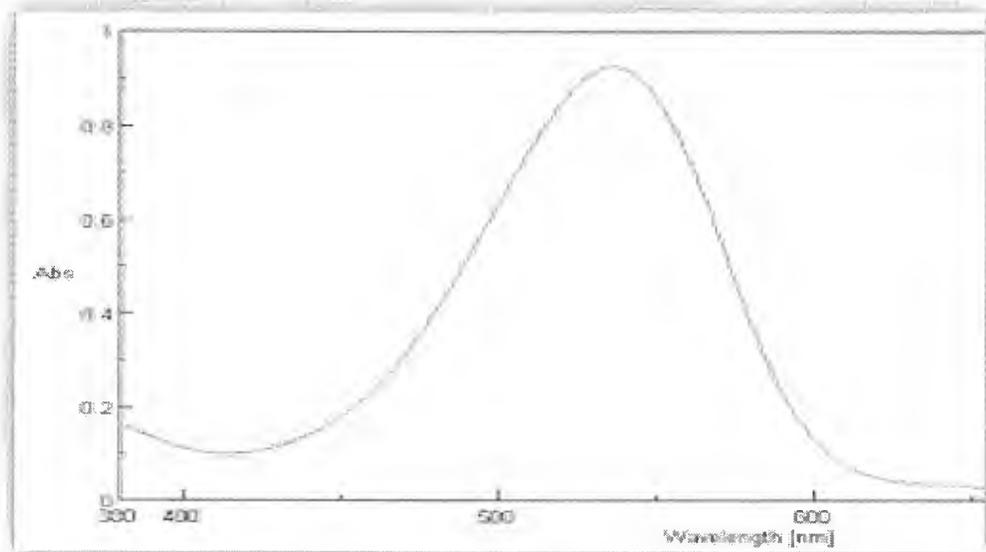


Figura A 17. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya almacenada durante 170 días a 5 °C, lote 2.

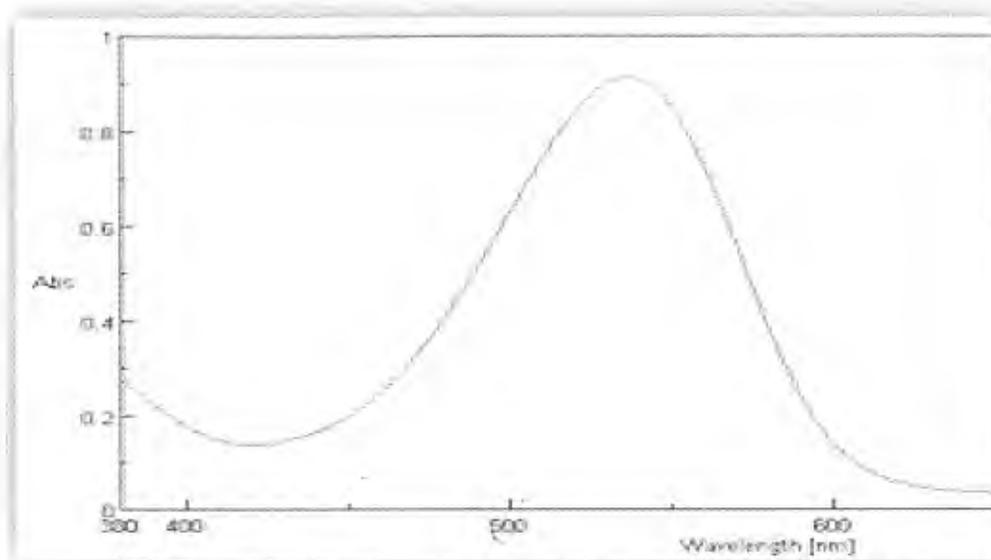


Figura A 18. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya almacenada durante 170 días a 5 °C, lote 3.

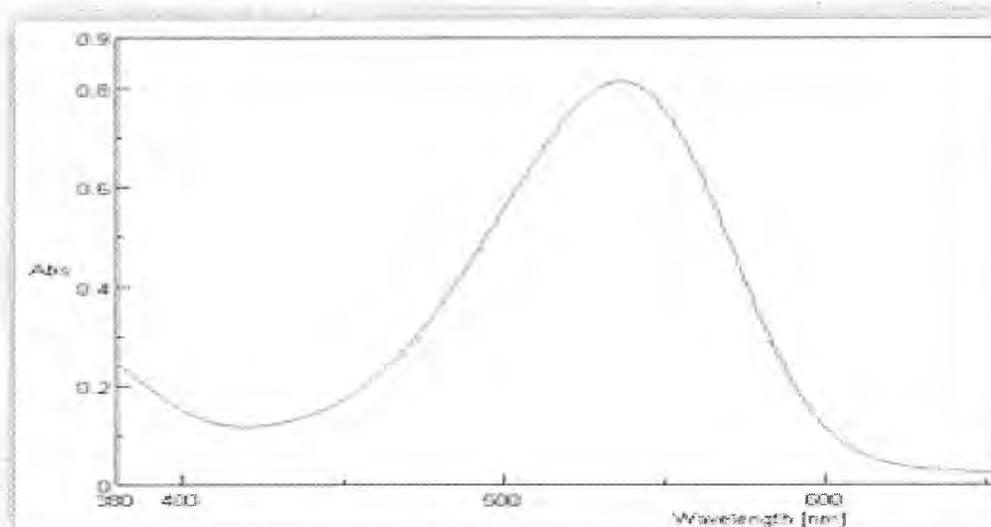


Figura A 19. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya almacenada durante 198 días a 5 °C, lote 1.

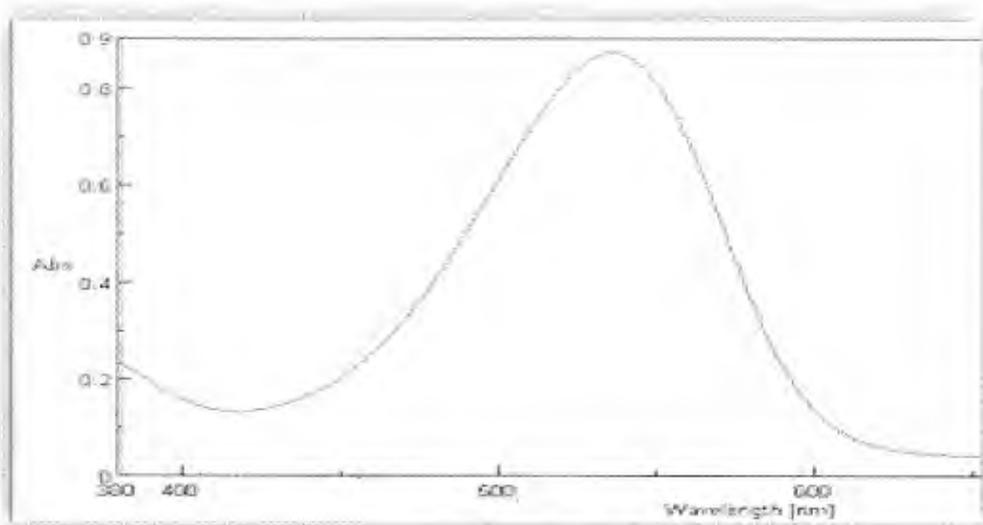


Figura A 20. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya almacenada durante 198 días a 5 °C, lote 2.

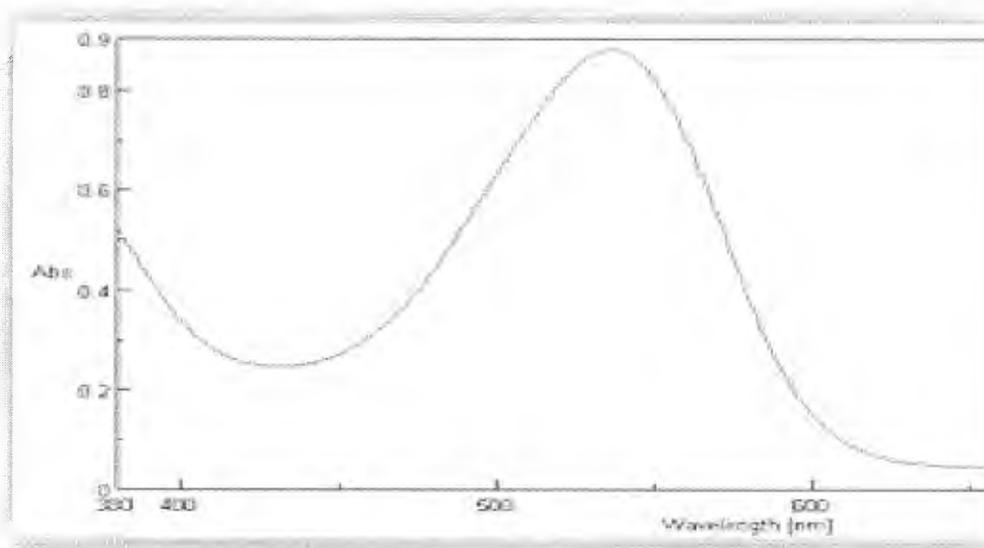


Figura A 21. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya almacenada durante 198 días a 5 °C, lote 3.

Resultados obtenidos para el análisis de la estabilidad del concentrado de pitaya almacenado a 5 °C, 25 °C y 37 °C 148 días

Cuadro A 5. Contenido de betalaínas del concentrado de pitaya almacenado a 5°C, 25°C y 37°C, según tiempo de almacenamiento.

Tiempo (días)	Lote	Concentración de betalaínas (mg/ L)		
		5 °C	25°C	37 °C
0	1	1502 ± 3	1502 ± 3	1502 ± 3
	2	1380 ± 8	1380 ± 8	1380 ± 8
	3	1352 ± 2	1352 ± 2	1352 ± 2
22	1	1490 ± 3	1055 ± 10	650 ± 3
	2	1370 ± 8	952 ± 3	638 ± 3
	3	1316 ± 6	979,4 ± 0,4	636 ± 2
36	1	1424 ± 6	860 ± 6	288 ± 0,5
	2	1262 ± 5	771 ± 7	188 ± 2
	3	1321 ± 3	751 ± 4	185 ± 2
64	1	1405 ± 3	732 ± 4	249,3 ± 0,4
	2	1255 ± 5	645 ± 4	170,9 ± 0,4
	3	1295 ± 6	672 ± 2	169,1 ± 0,5
99	1	1307 ± 3	315,2 ± 0,8	115,8 ± 0,7
	2	1206 ± 9	291 ± 2	106,3 ± 0,9
	3	1203 ± 7	366 ± 2	102,1 ± 0,3
148	1	1227 ± 5	275,1 ± 0,4	97,7 ± 0,2
	2	1121 ± 4	276,8 ± 0,7	99,4 ± 0,1
	3	1103 ± 7	276 ± 1	85,8 ± 0,1

Cuadro A 6. Efecto de los factores tiempo, temperatura y la interacción tiempo*temperatura sobre la concentración de betalaínas presentes en el concentrado de pitaya almacenado 148 días a 5°C, 25°C y 37°C

Variable	Efecto	Grados de libertad	Valor de F	Prob > F1
Concentración de betalaínas en el concentrado (mg/L)	Tiempo	1	81,4050	<0,0001*
	Temperatura	1	144,6591	<0,0001*
	Tiempo*Temperatura	1	15,1958	0,0003*

* indica que el efecto analizado si es significativo (p< 0,05).

Cuadro A 7. Variables de color: a*, b*, C*, L* y h° para el concentrado de pitaya almacenado a 5 °C, según tiempo de almacenamiento.

Tiempo (días)	Lote	a*	b*	L*	C*	h°
0	1	20,3 ± 0,6	-3,1 ± 0,4	3,88 ± 0,07	20,5 ± 0,7	351,4 ± 0,9
	2	22,9 ± 0,3	-3,8 ± 0,1	4,49 ± 0,06	23,2 ± 0,3	350,6 ± 0,3
	3	28,6 ± 0,3	-6,6 ± 0,2	5,7 ± 0,2	29,3 ± 0,2	347,1 ± 0,6
22	1	20,1 ± 0,3	-0,9 ± 0,4	4 ± 0,1	20,1 ± 0,3	357 ± 1
	2	22,4 ± 0,2	-1,3 ± 0,1	4,47 ± 0,06	22,4 ± 0,2	356,7 ± 0,3
	3	27,7 ± 0,3	-3,3 ± 0,1	5,8 ± 0,1	27,9 ± 0,3	353,1 ± 0,2
36	1	20,5 ± 0,2	-0,8 ± 0,1	4,43 ± 0,03	20,5 ± 0,2	357,8 ± 0,4
	2	21 ± 1	-1,5 ± 0,3	4,1 ± 0,2	22 ± 1	356 ± 1
	3	27,6 ± 0,1	-3,1 ± 0,5	5,7 ± 0,1	27,8 ± 0,2	354 ± 1
64	1	19,7 ± 0,2	-0,99 ± 0,07	3,75 ± 0,07	19,7 ± 0,2	357,1 ± 0,2
	2	21,1 ± 0,9	-1,2 ± 0,3	3,99 ± 0,08	21,2 ± 0,8	356,8 ± 0,8
	3	27,5 ± 0,1	-2,3 ± 0,3	5,53 ± 0,01	27,6 ± 0,2	355,2 ± 0,6
99	1	20 ± 0,1	-0,5 ± 0,3	4,04 ± 0,01	20,1 ± 0,1	358,7 ± 0,9
	2	22,1 ± 0,3	-0,6 ± 0,3	4,5 ± 0,1	22,1 ± 0,3	358,5 ± 0,7
	3	27,1 ± 0,3	-1,8 ± 0,2	5,9 ± 0,04	27,2 ± 0,3	356,2 ± 0,3
148	1	18,2 ± 0,1	0 ± 0,2	4,21 ± 0,06	18,2 ± 0,1	360,1 ± 0,6
	2	20,4 ± 0,6	0,2 ± 0,2	4,78 ± 0,08	20,4 ± 0,6	360,7 ± 0,4
	3	25,2 ± 0,1	-0,2 ± 0,3	6,3 ± 0,1	25,2 ± 0,1	359,5 ± 0,6

Cuadro A 8. Variables de color: a*, b*, C*, L* y h° para el concentrado de pitaya almacenado a 25 °C, según tiempo de almacenamiento.

Tiempo (días)	Lote	a*	b*	L*	C*	h°
0	1	20,3 ± 0,6	-3,1 ± 0,4	3,88 ± 0,07	20,5 ± 0,7	351,4 ± 0,9
	2	22,9 ± 0,3	-3,8 ± 0,1	4,49 ± 0,06	23,2 ± 0,3	350,6 ± 0,3
	3	28,6 ± 0,3	-6,6 ± 0,2	5,7 ± 0,2	29,3 ± 0,2	347,1 ± 0,6
22	1	19,4 ± 0,3	1,1 ± 0,6	4,7 ± 0,1	19,4 ± 0,3	3 ± 2
	2	21,6 ± 0,5	1,1 ± 0,2	5,2 ± 0,1	21,6 ± 0,5	2,9 ± 0,6
	3	25,9 ± 0,2	1,2 ± 0	6,56 ± 0,09	25,9 ± 0,2	2,7 ± 0,1
36	1	20 ± 0,5	1,44 ± 0,07	4,5 ± 0,2	20,1 ± 0,5	4,1 ± 0,2
	2	22,5 ± 0,2	1,8 ± 0,1	5,1 ± 0,2	22,6 ± 0,2	4,7 ± 0,2
	3	28,3 ± 0,3	2,5 ± 0,6	7,6 ± 0,7	28,4 ± 0,3	5 ± 1
64	1	21,39 ± 0,07	1,1 ± 0,4	5,2 ± 0,2	21,42 ± 0,07	3 ± 1
	2	22,84 ± 0,08	1,8 ± 0,1	6 ± 0,1	22,92 ± 0,07	4,6 ± 0,2
	3	27,4 ± 0,3	2,3 ± 0,2	7,7 ± 0,2	27,5 ± 0,3	4,9 ± 0,5
99	1	22,7 ± 0,3	8 ± 0,4	8,7 ± 0,2	24,1 ± 0,5	19,5 ± 0,7
	2	24,4 ± 0,3	9,4 ± 0,2	9,68 ± 0,08	26,1 ± 0,3	21,1 ± 0,2
	3	27,2 ± 0,5	9 ± 0,3	10,8 ± 0,2	28,7 ± 0,6	18,4 ± 0,3
148	1	21,9 ± 0,3	8,1 ± 0,3	9,64 ± 0,05	23,3 ± 0,2	20,2 ± 0,9
	2	23,29 ± 0,02	7,9 ± 0,3	10,5 ± 0,1	24,6 ± 0,08	18,7 ± 0,6
	3	25,7 ± 0,5	10,1 ± 0,6	12,2 ± 0,2	27,6 ± 0,7	21,5 ± 0,7

Cuadro A 9. Variables de color: a*, b*, C*, L* y h° para el concentrado de pitaya almacenado a 37 °C, según tiempo de almacenamiento.

Tiempo (días)	Lote	a*	b*	L*	C*	h°
0	1	20,3 ± 0,6	-3,1 ± 0,4	3,88 ± 0,07	20,5 ± 0,7	351,4 ± 0,9
	2	22,9 ± 0,3	-3,8 ± 0,1	4,49 ± 0,06	23,2 ± 0,3	350,6 ± 0,3
	3	28,6 ± 0,3	-6,6 ± 0,2	5,7 ± 0,2	29,3 ± 0,2	347,1 ± 0,6
22	1	21,8 ± 0,5	2,2 ± 0,6	5,9 ± 0,1	22 ± 0,5	6 ± 2
	2	23,2 ± 0,8	2,5 ± 0,2	6,3 ± 0,3	23,3 ± 0,8	6,2 ± 0,3
	3	26,7 ± 0,4	3,8 ± 0,4	7,9 ± 0,2	27 ± 0,4	8,1 ± 0,9
36	1	22,2 ± 0,8	8,7 ± 0,2	8,6 ± 0,1	23,9 ± 0,8	21,5 ± 0,6
	2	21,8 ± 0,3	12,3 ± 0,2	10,94 ± 0,01	25 ± 0,3	29,4 ± 0,4
	3	23,58 ± 0,04	12,8 ± 0,3	12,2 ± 0,2	26,8 ± 0,1	28,4 ± 0,7
64	1	24,1 ± 0,1	9 ± 0,2	10,35 ± 0,08	25,7 ± 0,2	20,4 ± 0,5
	2	24,1 ± 0,3	9,69 ± 0,06	11,2 ± 0,2	26 ± 0,3	21,9 ± 0,2
	3	27,34 ± 0,07	12 ± 0,2	13,9 ± 0,2	29,9 ± 0,2	23,8 ± 0,3
99	1	21 ± 0,3	18,4 ± 0,2	15,3 ± 0,3	27,9 ± 0,2	41,3 ± 0,6
	2	21 ± 0,3	20,4 ± 0,5	16,7 ± 0,3	29,3 ± 0,6	44,1 ± 0,5
	3	22,8 ± 0,5	23,6 ± 0,5	19,77 ± 0,07	32,8 ± 0,7	46,05 ± 0,08
148	1	14,2 ± 0,1	18,6 ± 0,4	15,46 ± 0,05	23,3 ± 0,4	52,6 ± 0,4
	2	14,2 ± 0,4	18,6 ± 0,2	16,3 ± 0,2	23,4 ± 0,2	52,6 ± 0,9
	3	17,03 ± 0,08	23,7 ± 0,2	20,91 ± 0,05	29,2 ± 0,2	54,3 ± 0,1

Cuadro A 10. Efecto de los factores tiempo, temperatura y la interacción tiempo*temperatura sobre las variables de color a^* , b^* , L^* , C^* y h° presentes en el concentrado de pitaya.

Variable	Efecto	Grados de libertad	Valor de F	Prob > F1
a^*	Tiempo	1	14,4869	0,0004*
	Temperatura	1	0,9782	0,3276
	Tiempo*Temperatura	1	5,4717	0,0235*
b^*	Tiempo	1	103,2843	<0,0001*
	Temperatura	1	112,8296	<0,0001*
	Tiempo*Temperatura	1	38,9658	<0,0001*
L^*	Tiempo	1	132,0513	<0,0001*
	Temperatura	1	172,7916	<0,0001*
	Tiempo*Temperatura	1	80,5614	<0,0001*
C^*	Tiempo	1	2,1280	0,1511
	Temperatura	1	31,0961	<0,0001*
	Tiempo*Temperatura	1	13,5503	0,0006*
h°	Tiempo	1	146,5070	<0,0001*
	Temperatura	1	151,3951	<0,0001*
	Tiempo*Temperatura	1	58,9075	<0,0001*

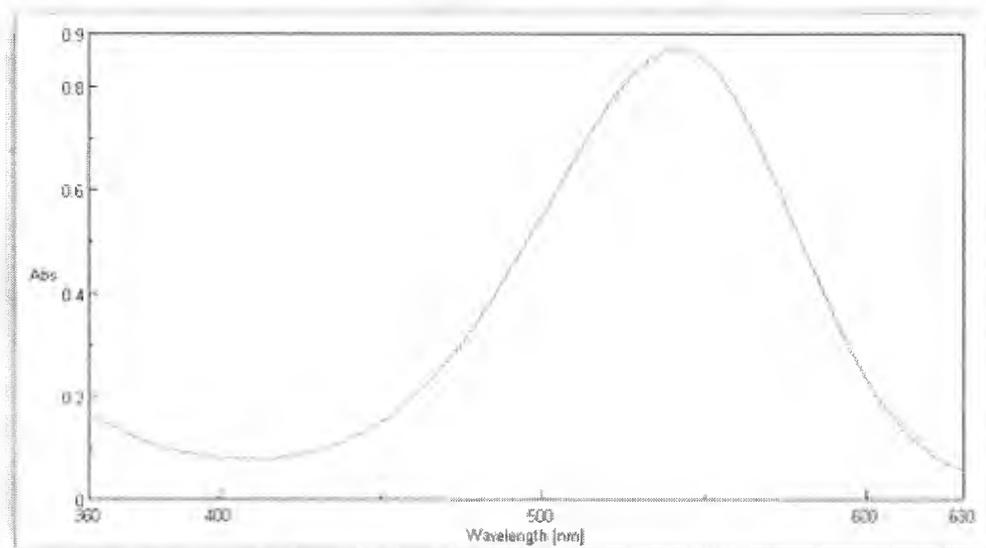


Figura A 22. Espectro de absorción del concentrado de pitaya recién elaborado (tiempo 0 días), lote 1.

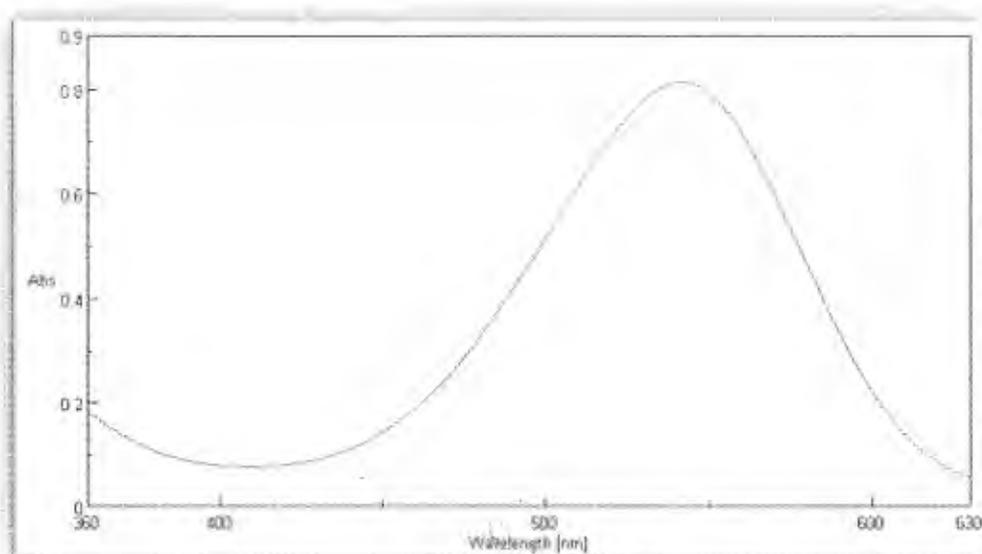


Figura A 23. Espectro de absorción del concentrado de pitaya recién elaborado (tiempo 0 días), lote 2.

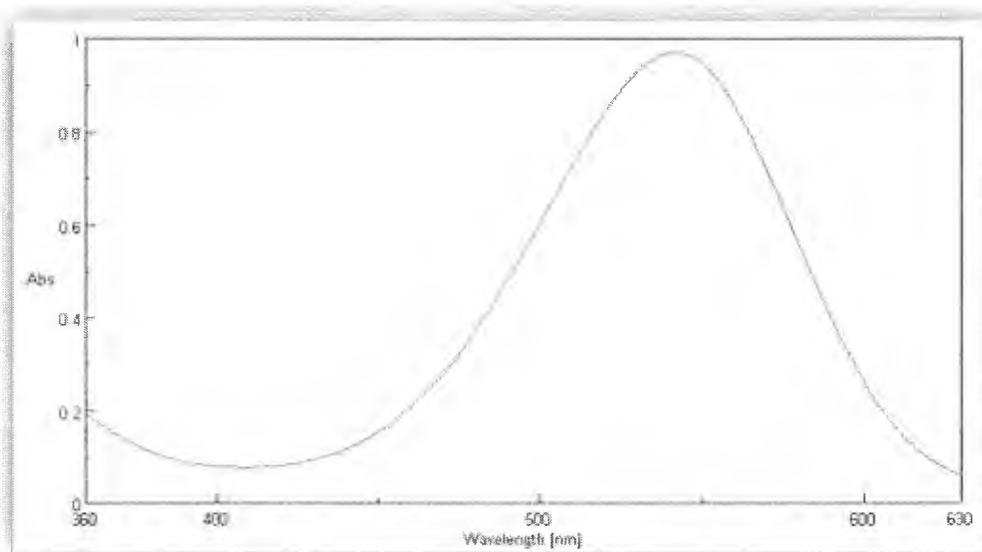


Figura A 24. Espectro de absorción del concentrado de pitaya recién elaborado (tiempo 0 días), lote 3.

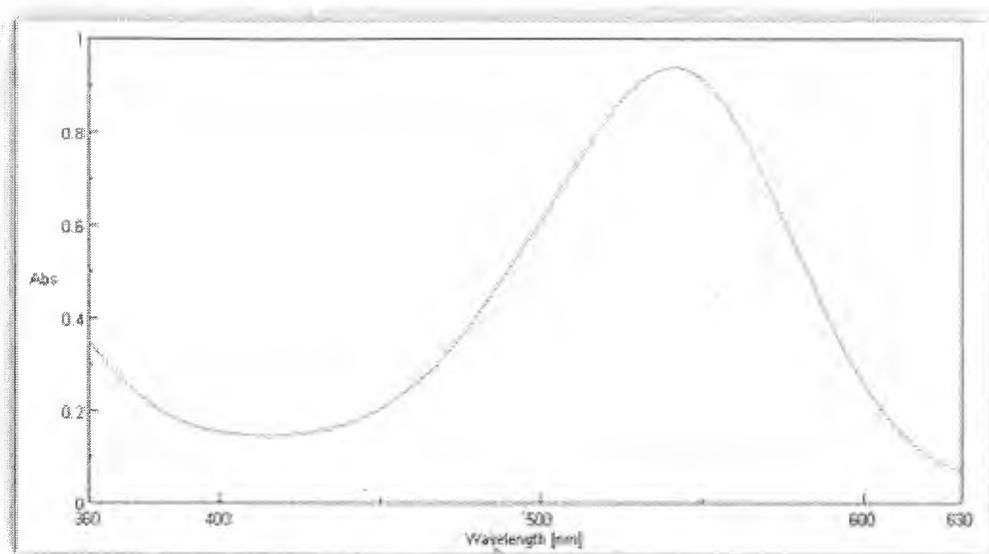


Figura A 25. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 22 días a 5 °C, lote 1.

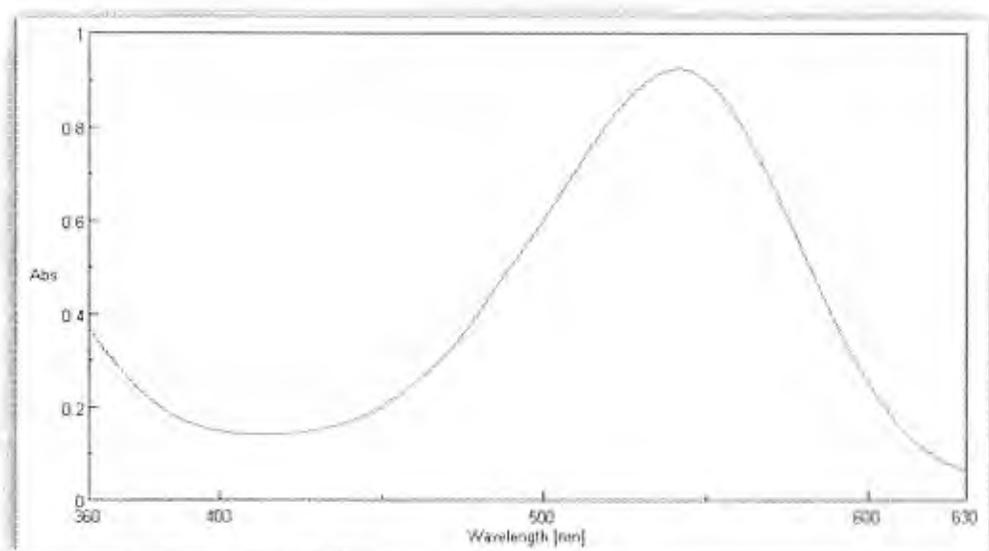


Figura A 26. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 22 días a 5 °C, lote 2.

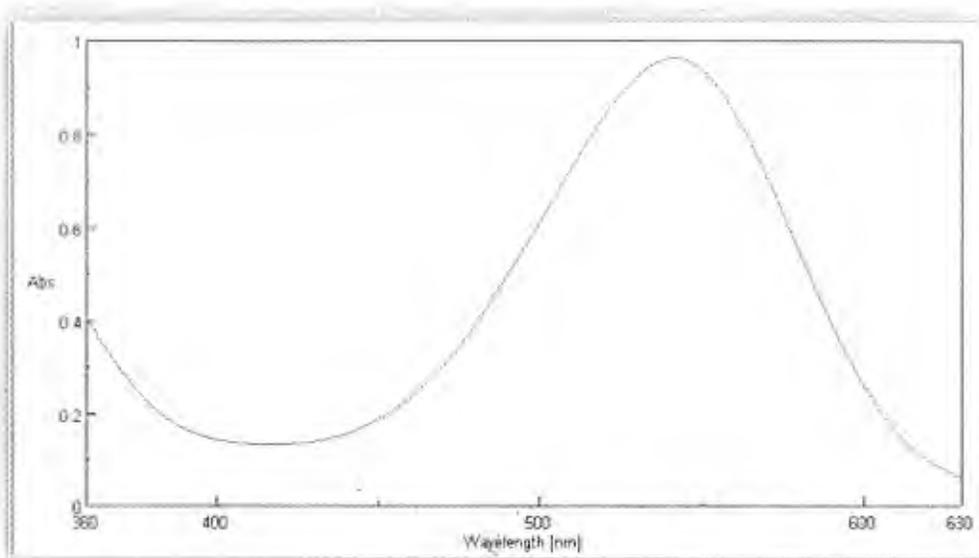


Figura A 27. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 22 días a 5 °C, lote 3.

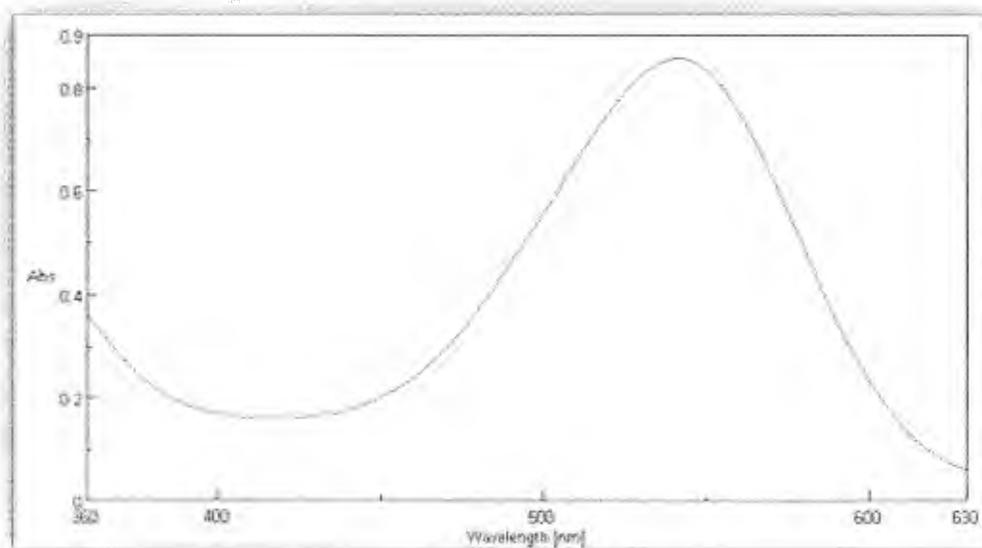


Figura A 28. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 36 días a 5 °C, lote 1.

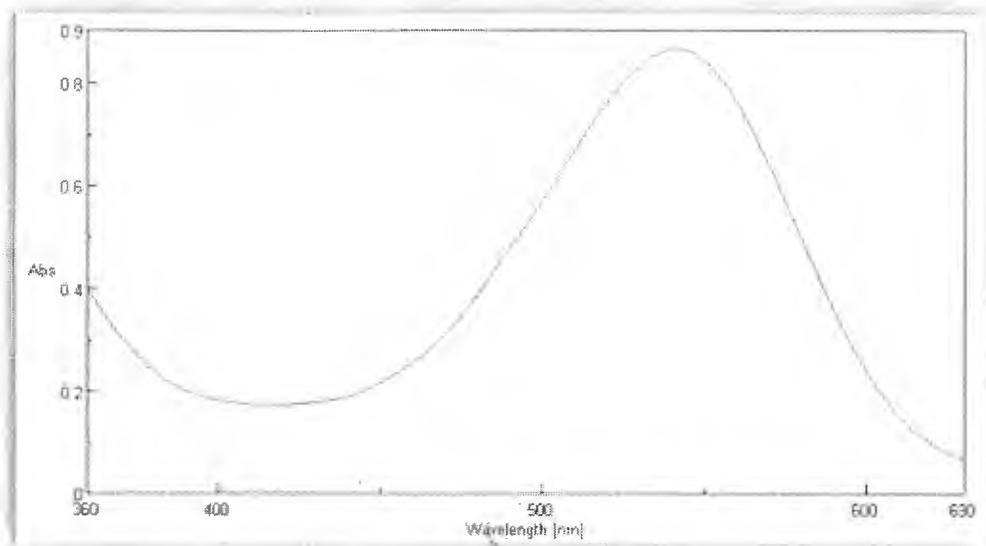


Figura A 29. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 36 días a 5 °C, lote 2.

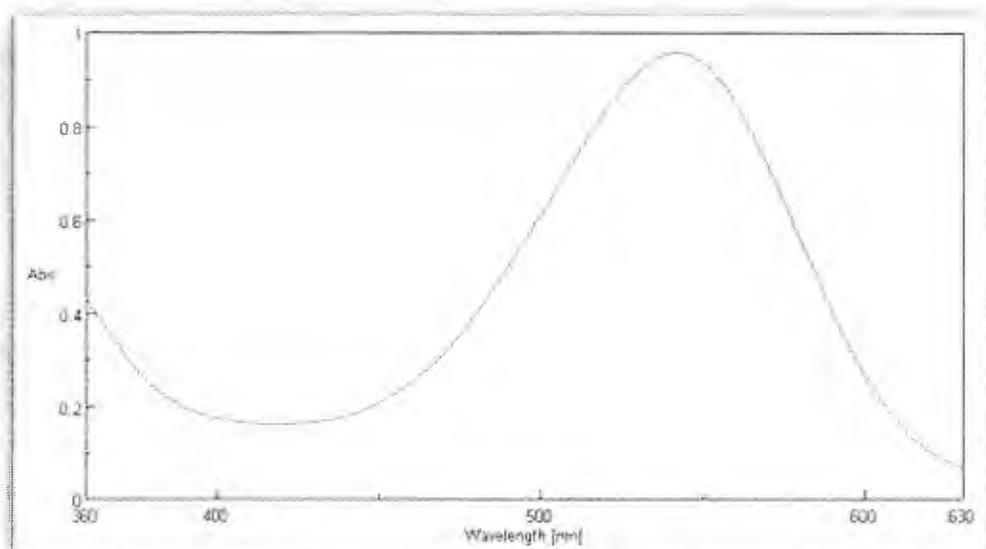


Figura A 30. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 36 días a 5 °C, lote 3.

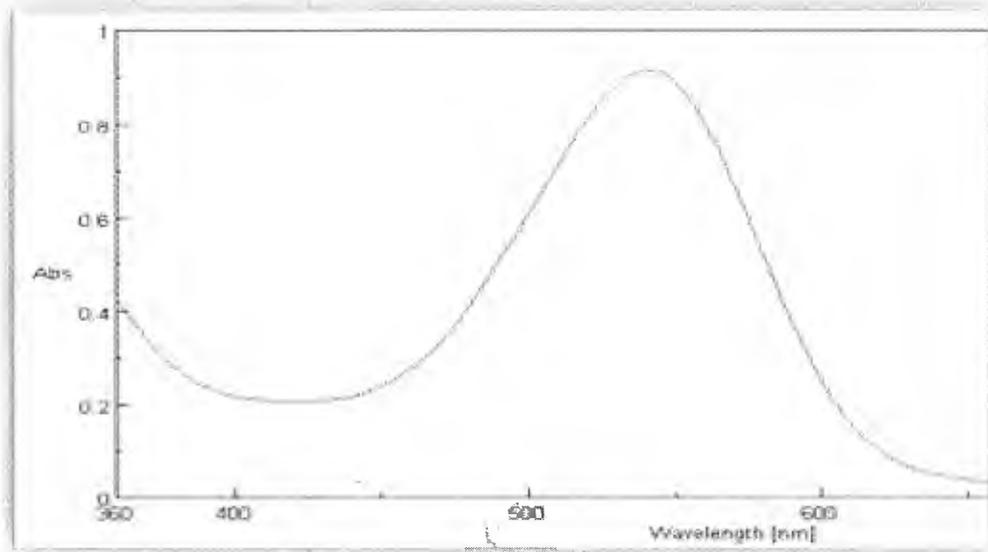


Figura A 31. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 64 días a 5 °C, lote 1.

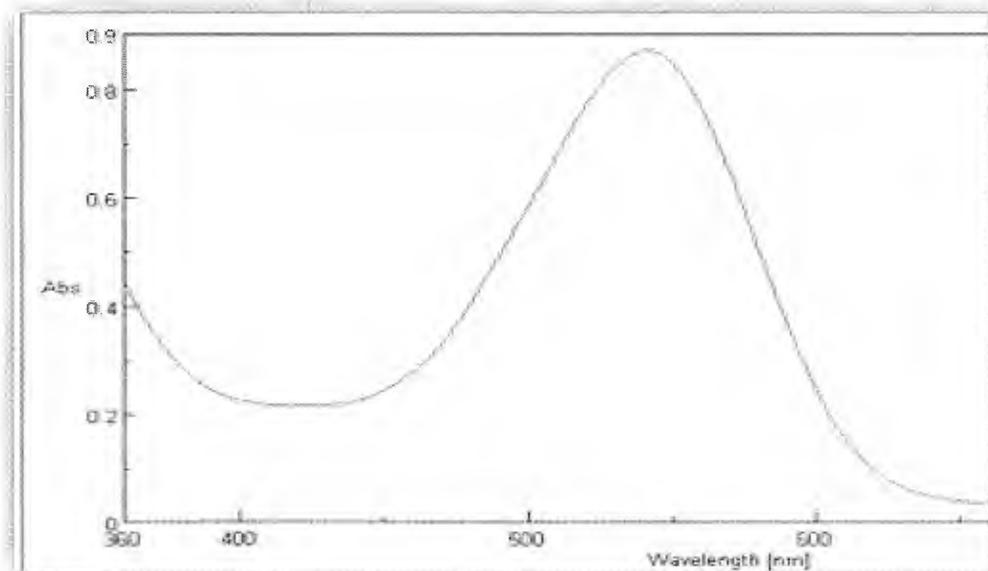


Figura A 32. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 64 días a 5 °C, lote 2.

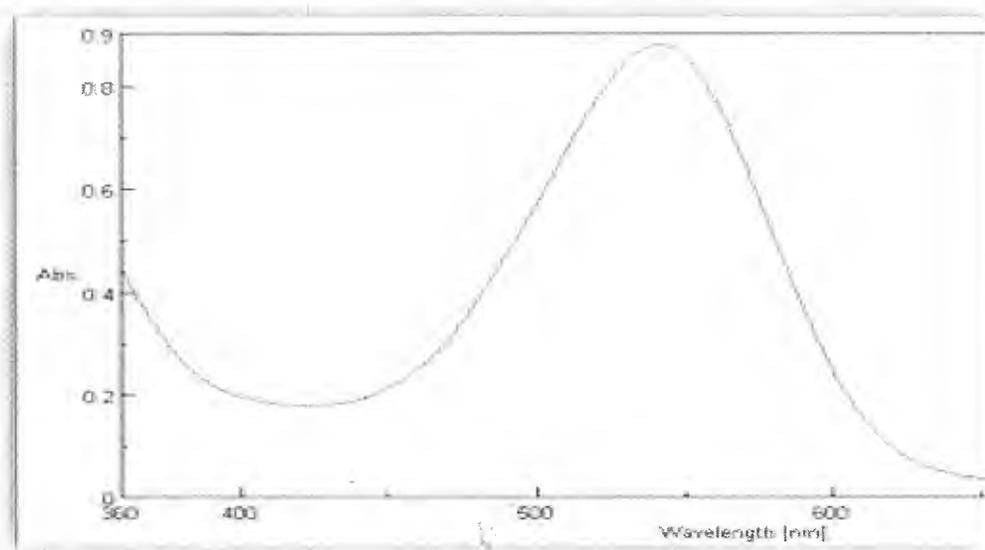


Figura A 33. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 64 días a 5 °C, lote 3.

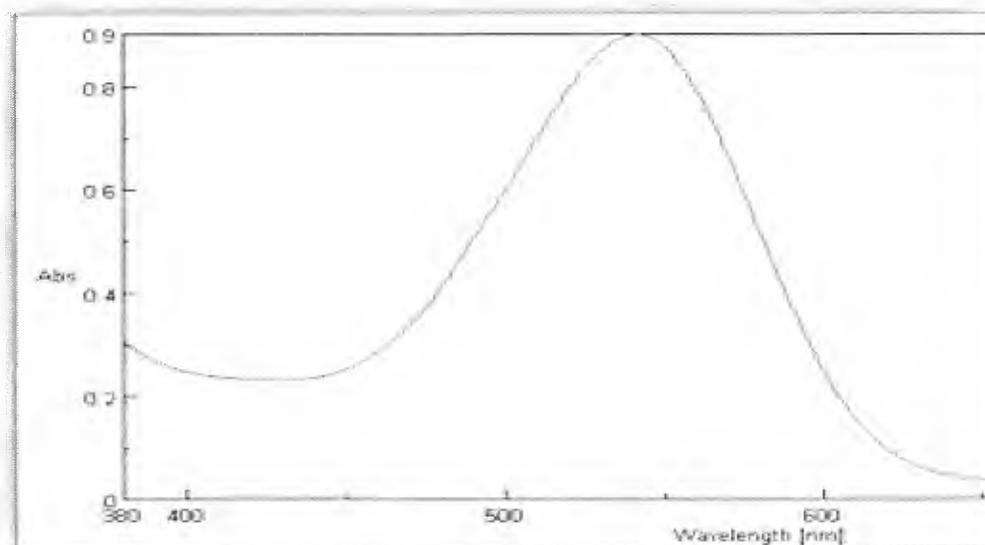


Figura A 34. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 99 días a 5 °C, lote 1.

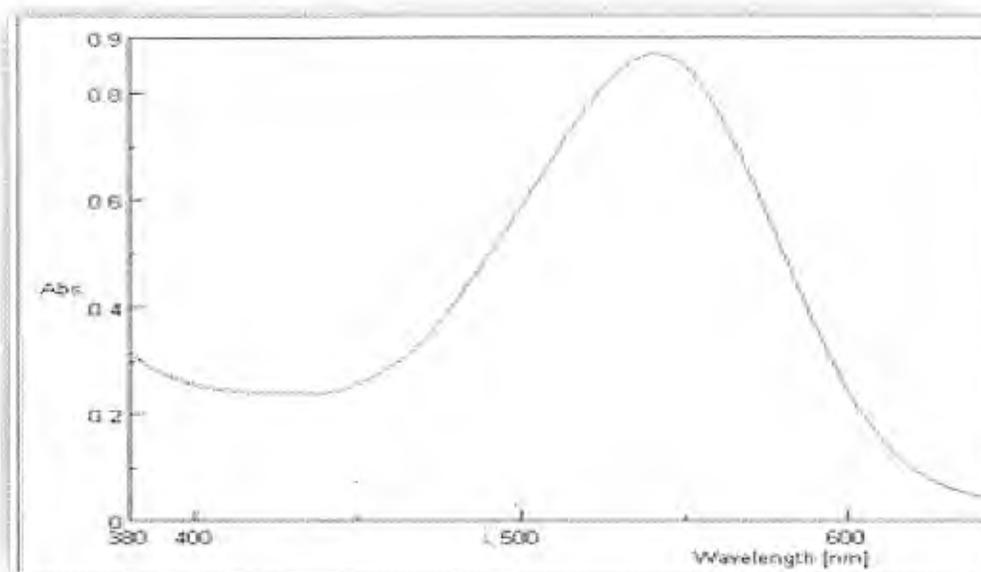


Figura A 35. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 99 días a 5 °C, lote 2.

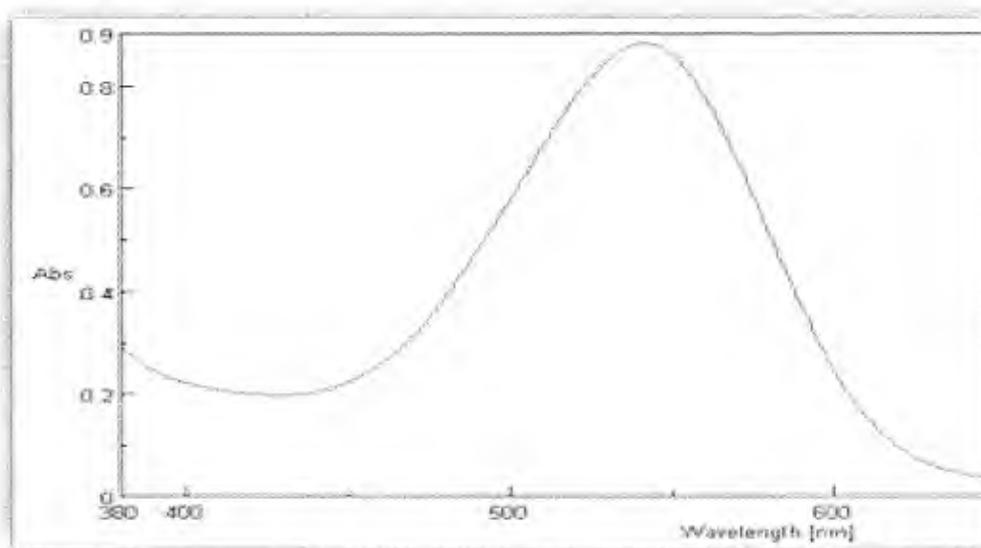


Figura A 36. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 99 días a 5 °C, lote 3.

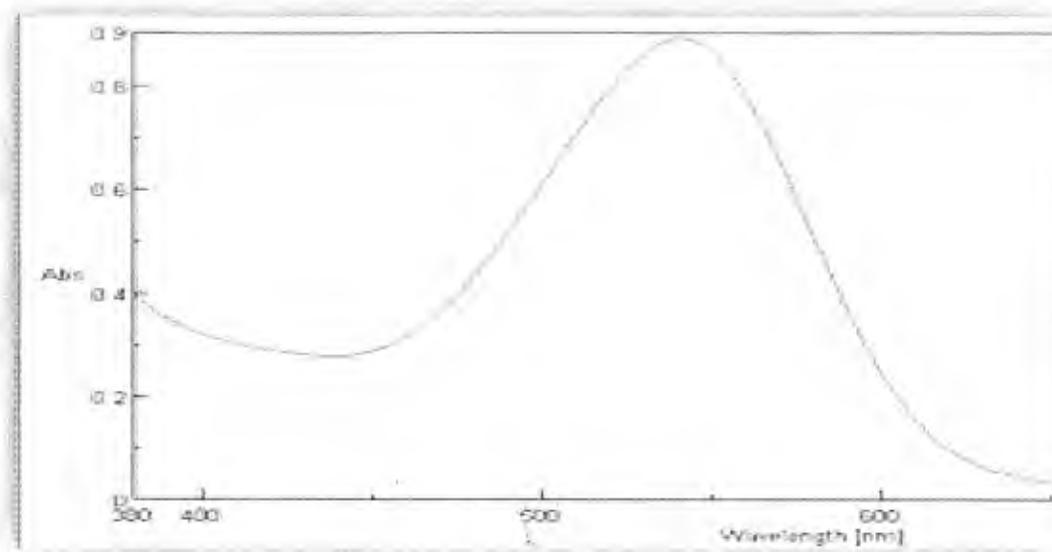


Figura A 37. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 148 días a 5 °C, lote 1.

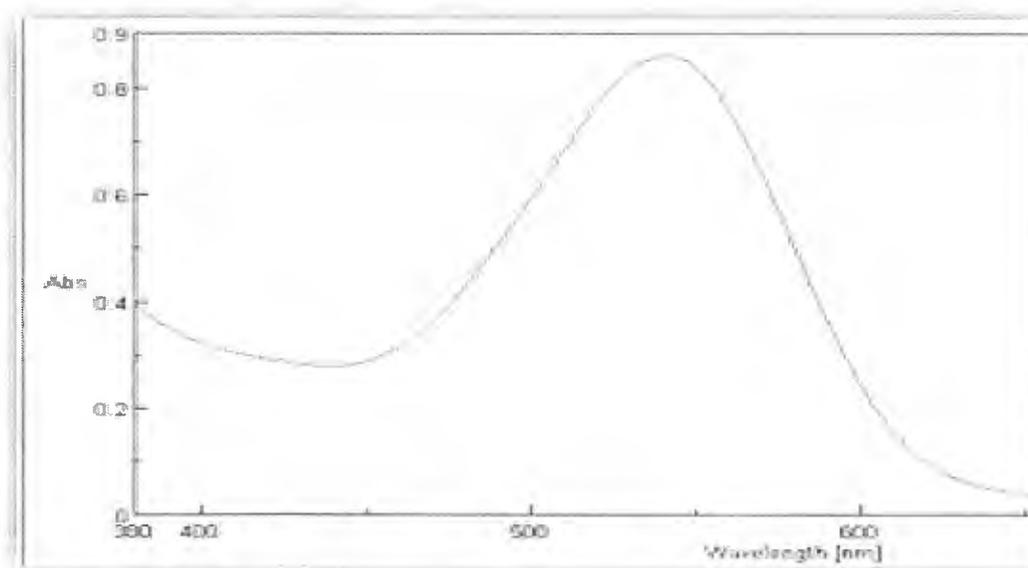


Figura A 38. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 148 días a 5 °C, lote 2.

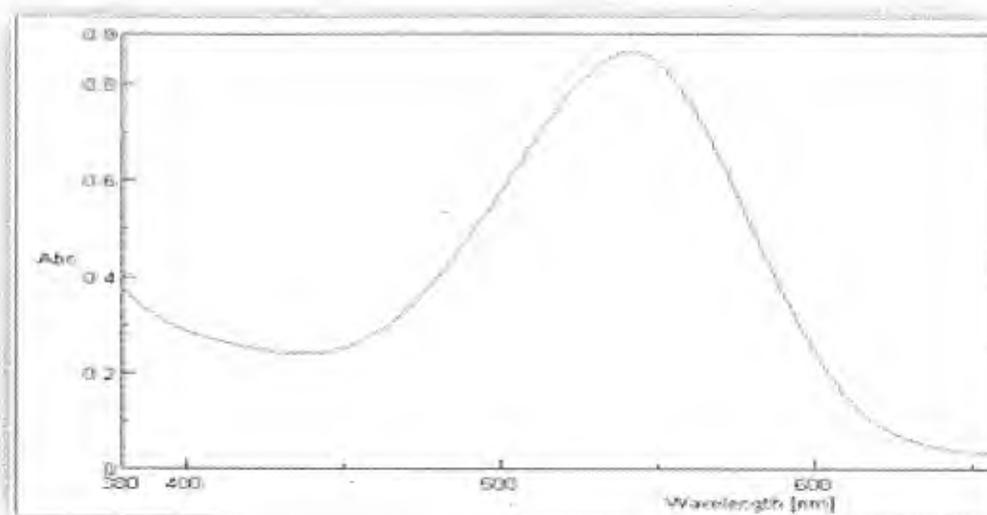


Figura A 39. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 148 días a 5 °C, lote 3.

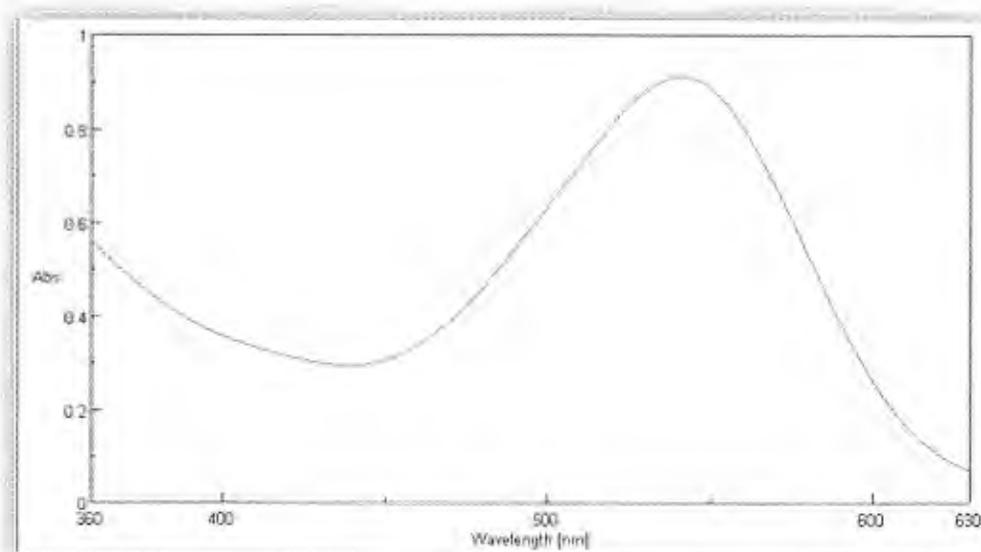


Figura A 40. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 22 días a 25 °C, lote 1.

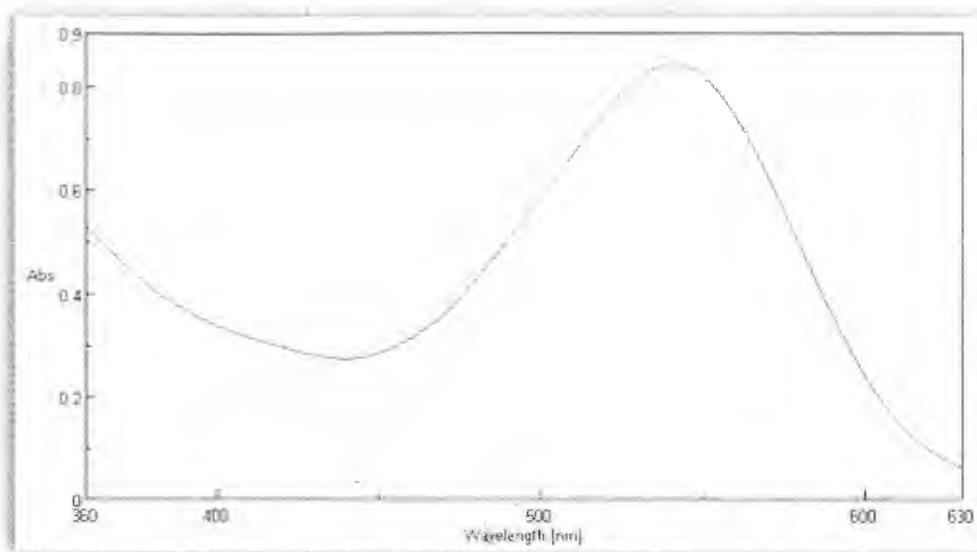


Figura A 41. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 22 días a 25 °C, lote 2.

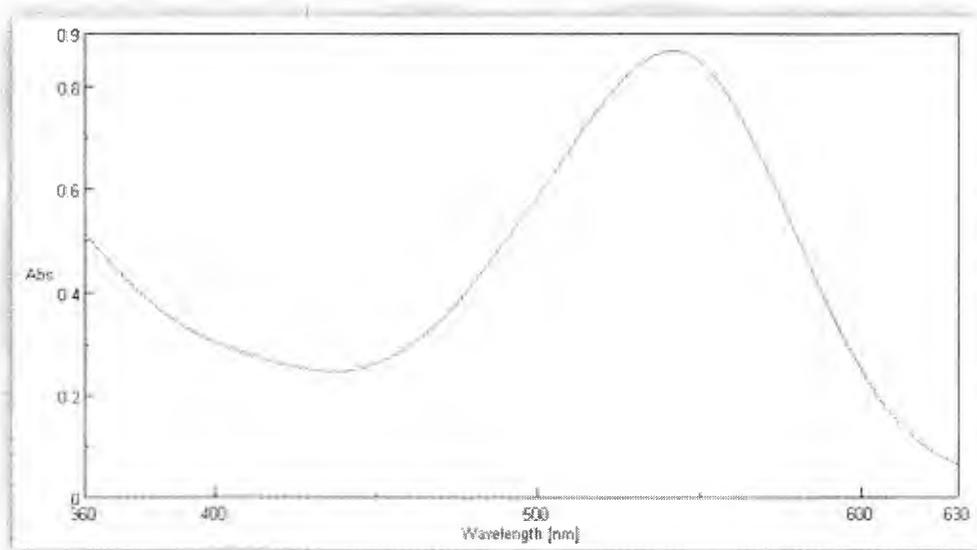


Figura A 42. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 22 días a 25 °C, lote 3.

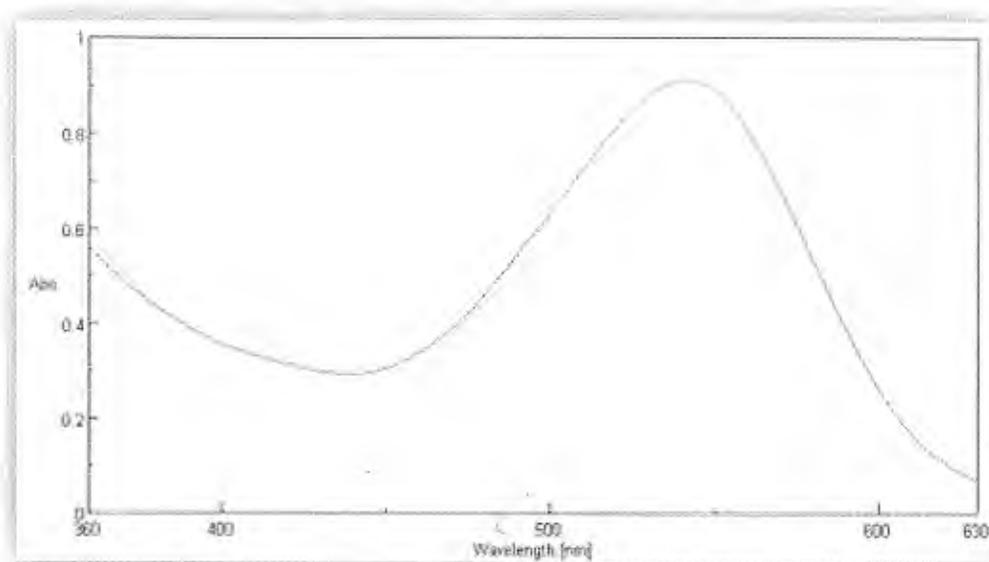


Figura A 43. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 36 días a 25 °C, lote 1.

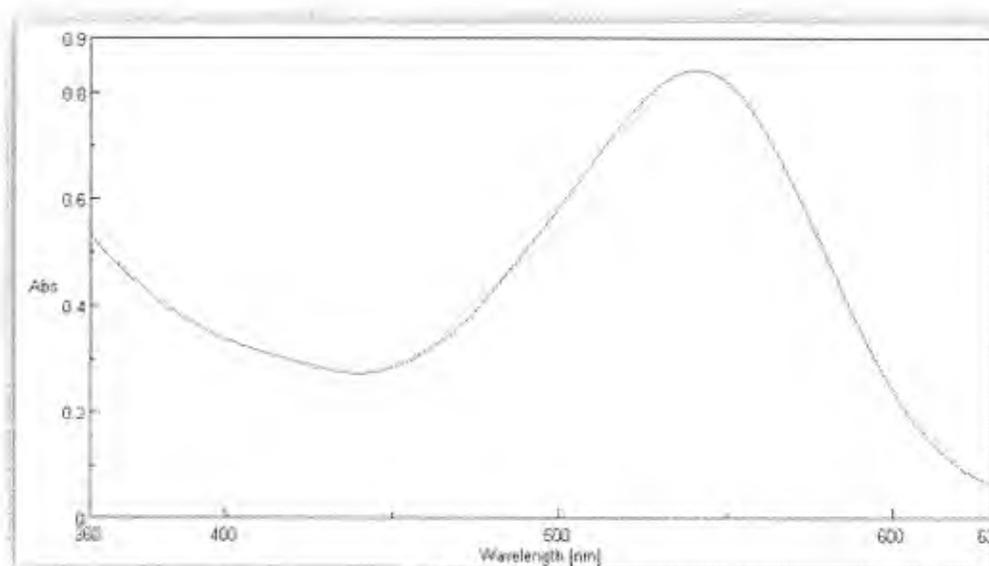


Figura A 44. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 36 días a 25 °C, lote 2.

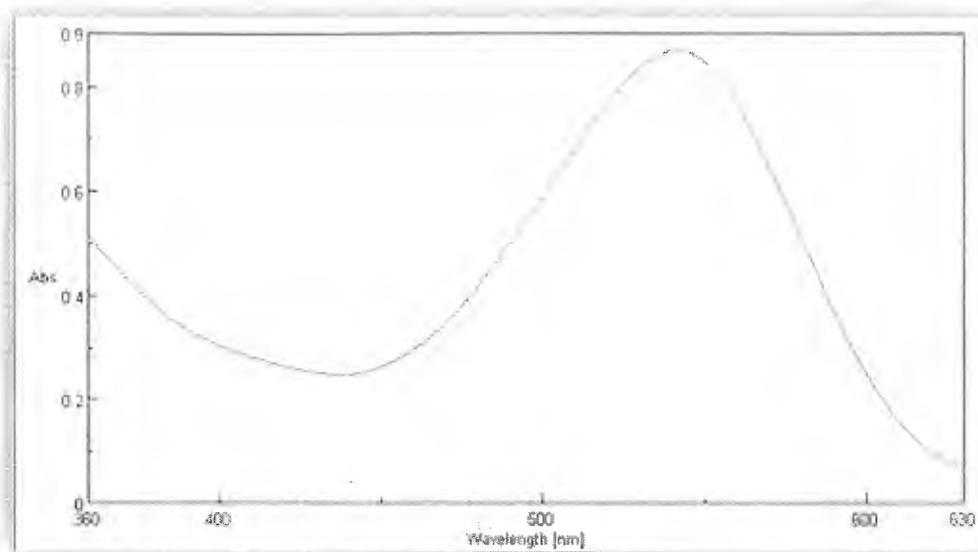


Figura A 45. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 36 días a 25 °C, lote 3.

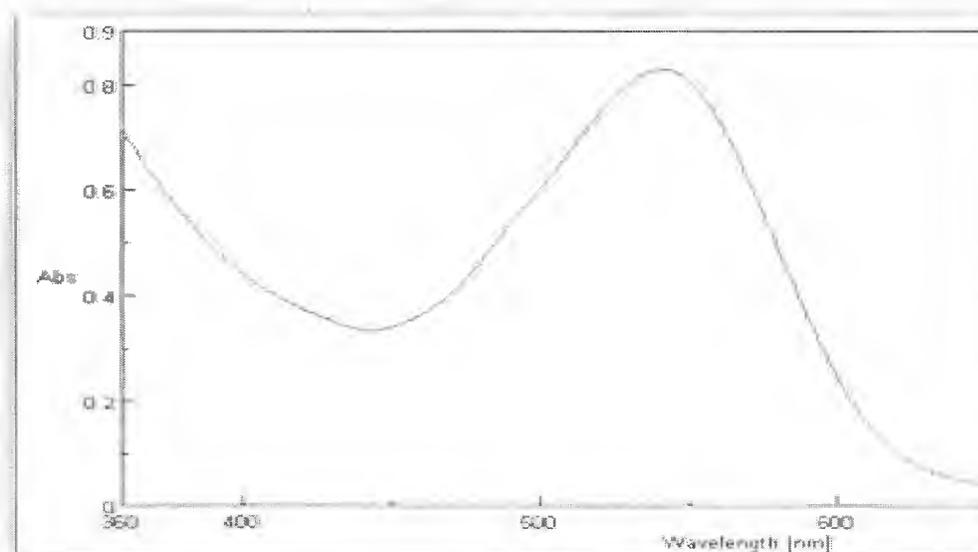


Figura A 46. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 64 días a 25 °C, lote 1.

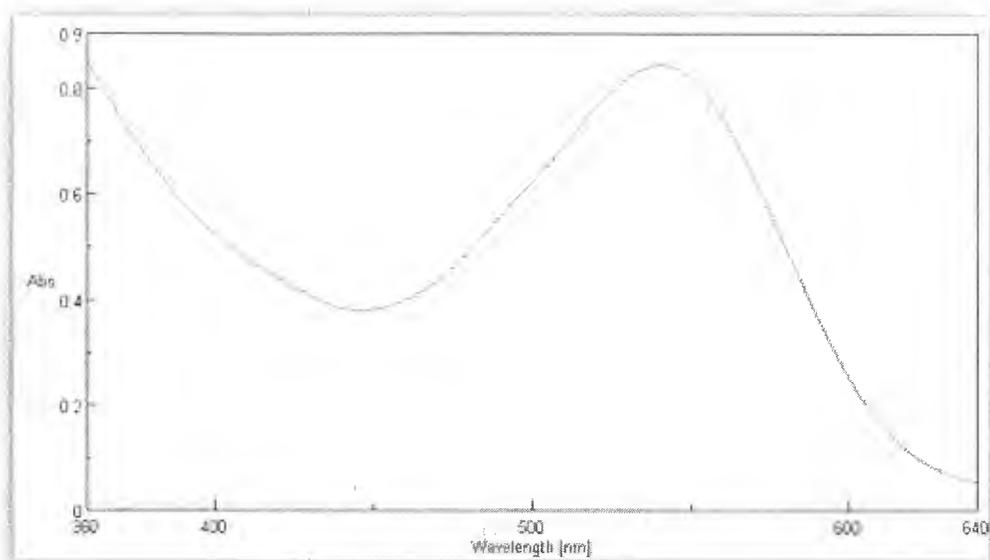


Figura A 47. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 36 días a 25 °C, lote 2.

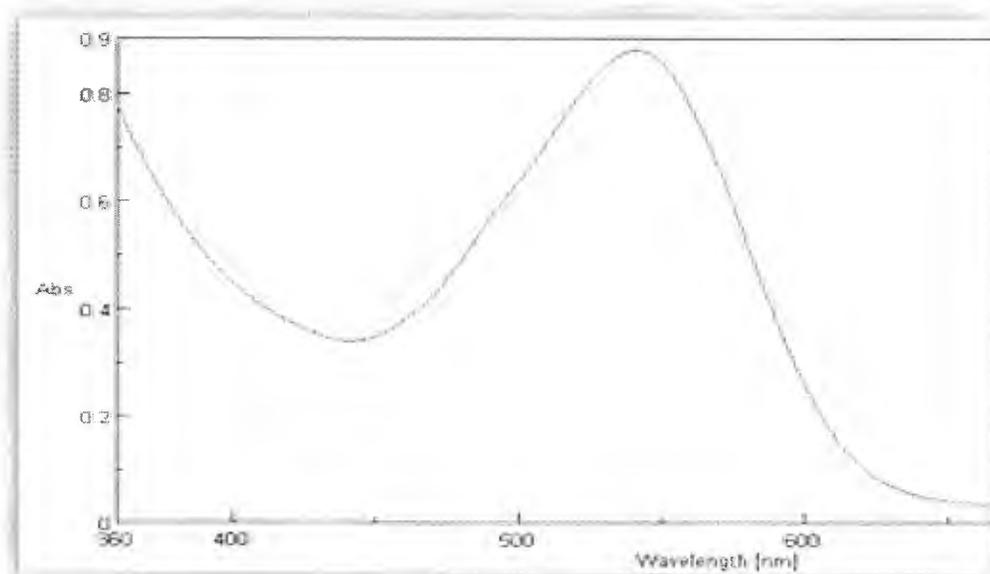


Figura A 48. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 36 días a 25 °C, lote 3.

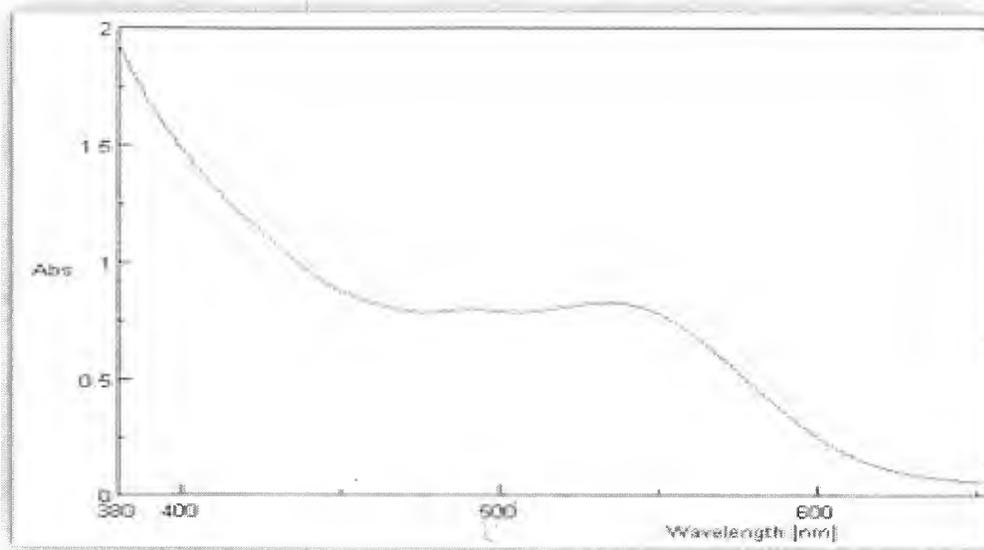


Figura A 49. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 99 días a 25 °C, lote 1.

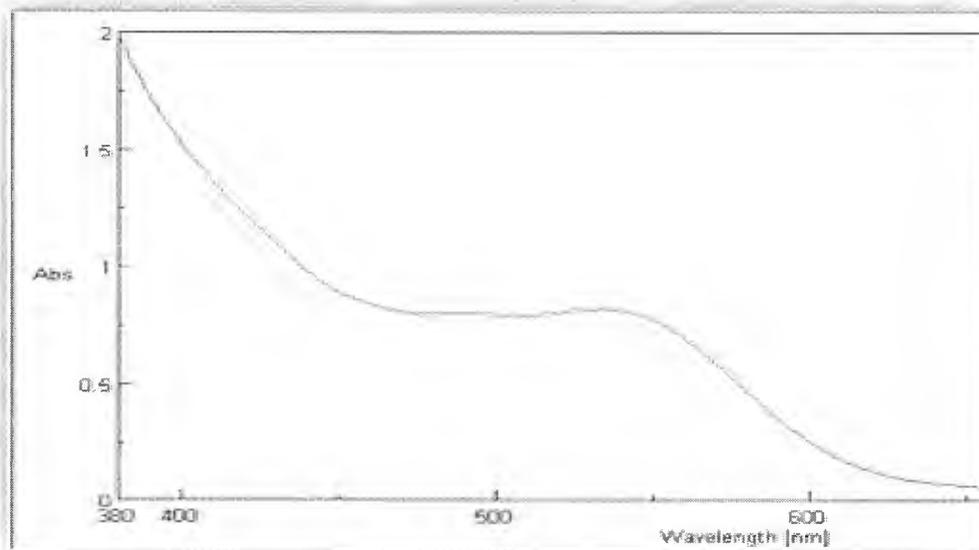


Figura A 50. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 99 días a 25 °C, lote 2.

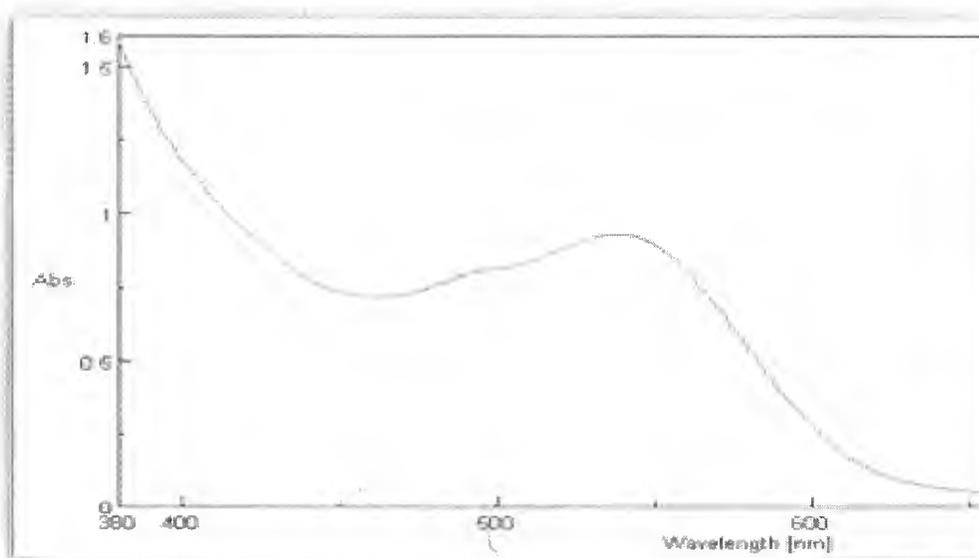


Figura A 51. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 99 días a 25 °C, lote 3.

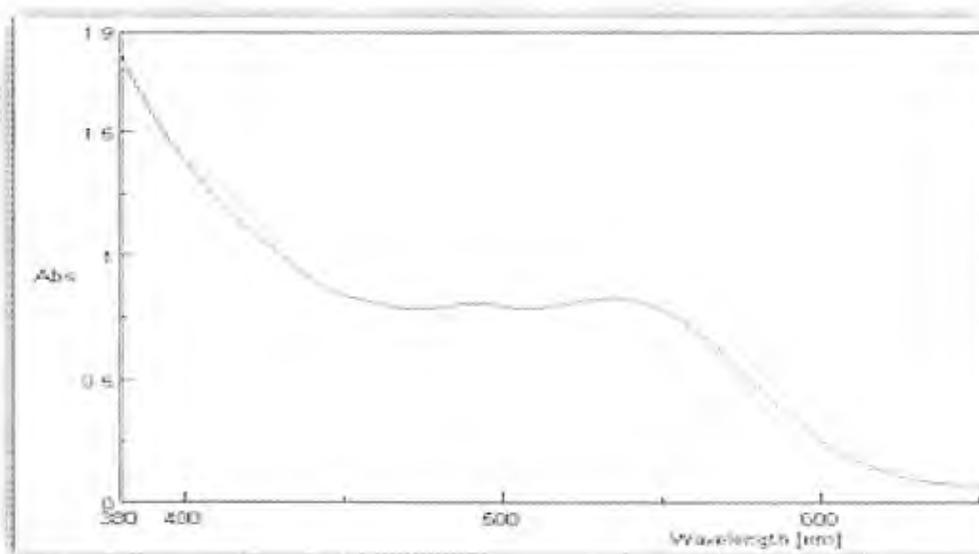


Figura A 52. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 148 días a 25 °C, lote 1.

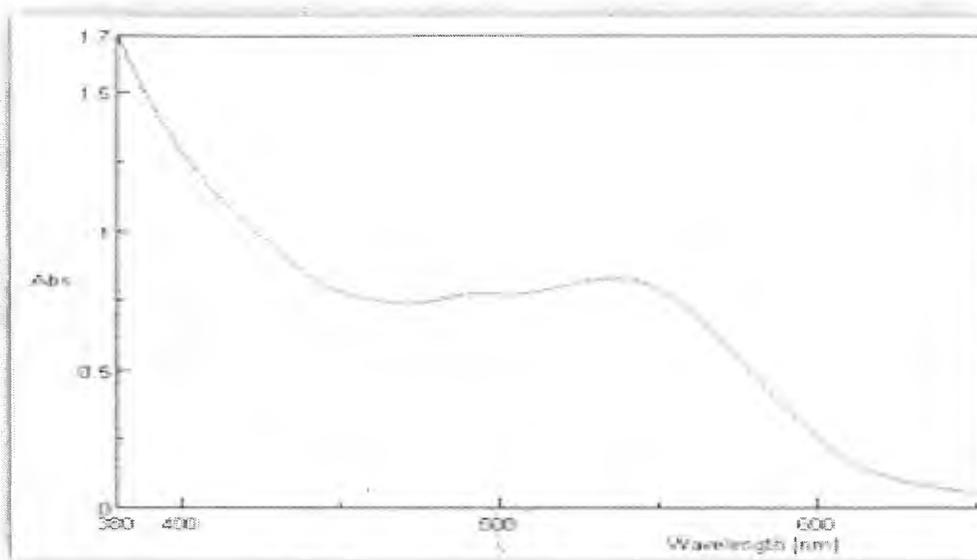


Figura A 53. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 148 días a 25 °C, lote 2.

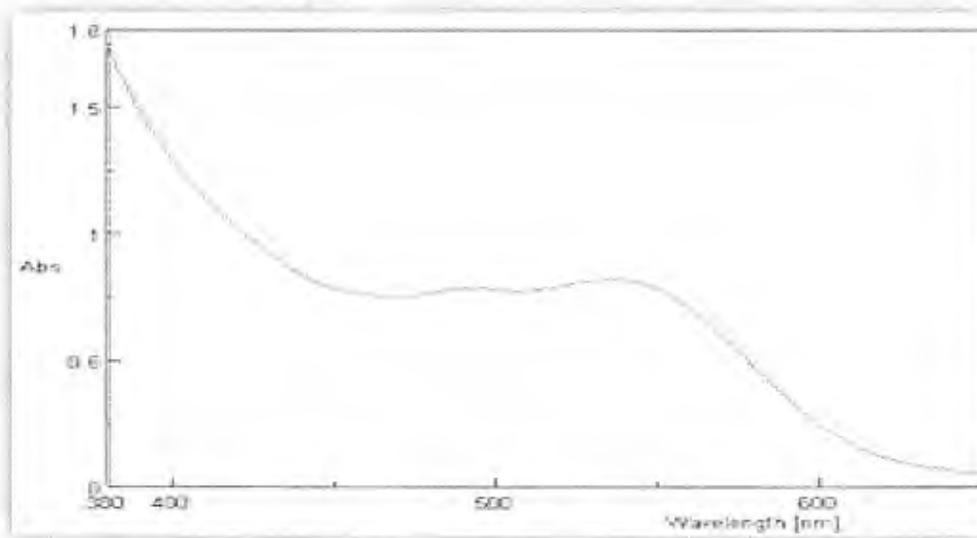


Figura A 54. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 148 días a 25 °C, lote 3.

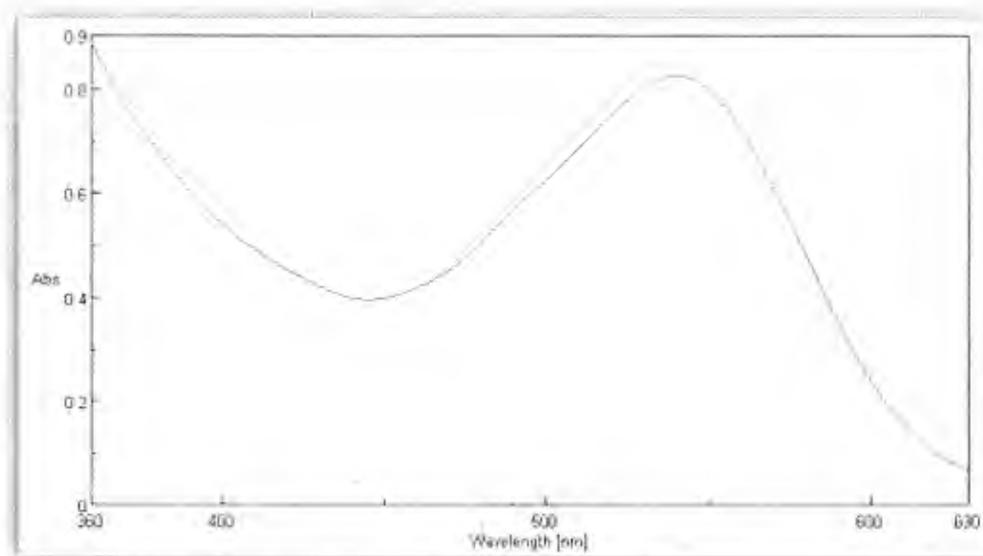


Figura A 55. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 22 días a 37 °C, lote 1.

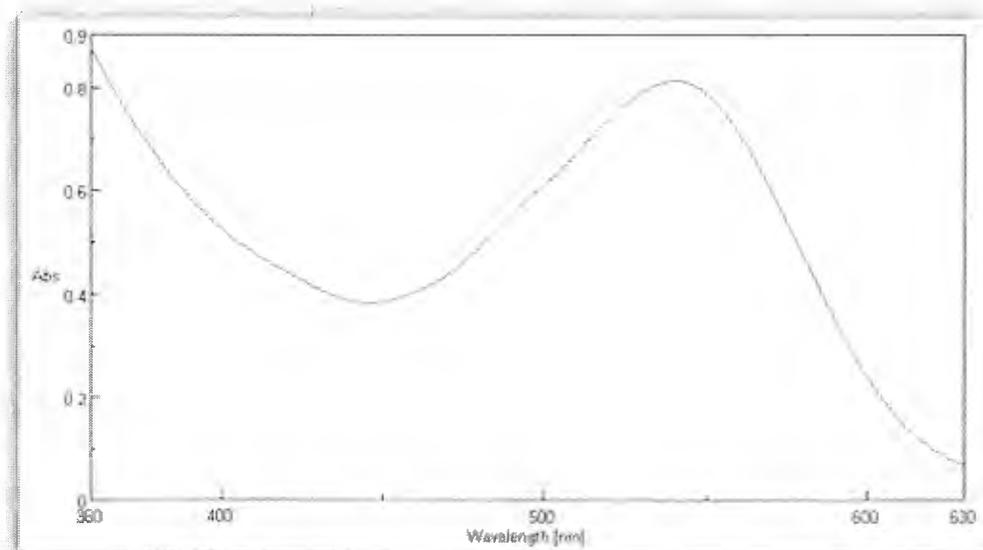


Figura A 56. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 22 días a 37 °C, lote 2.

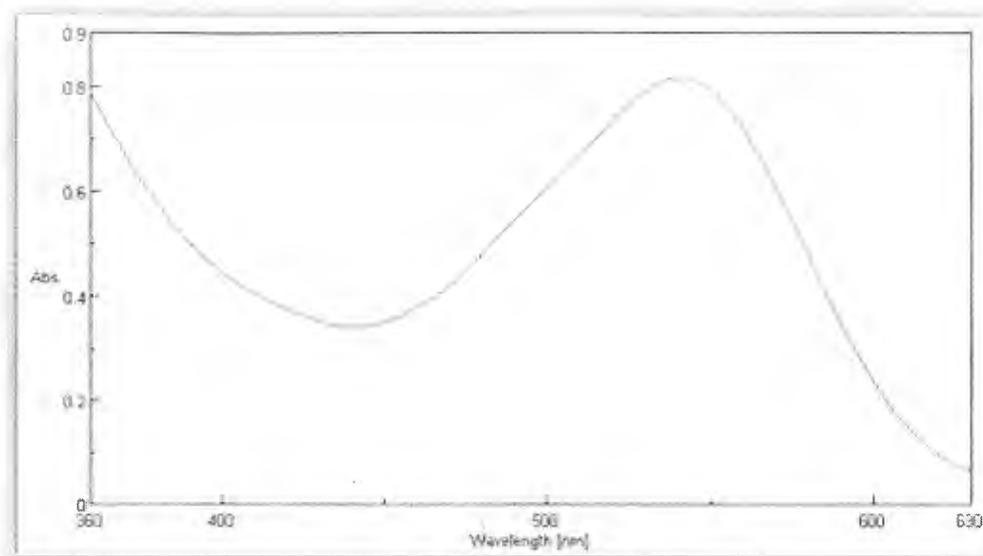


Figura A 57. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 22 días a 37 °C, lote 3.

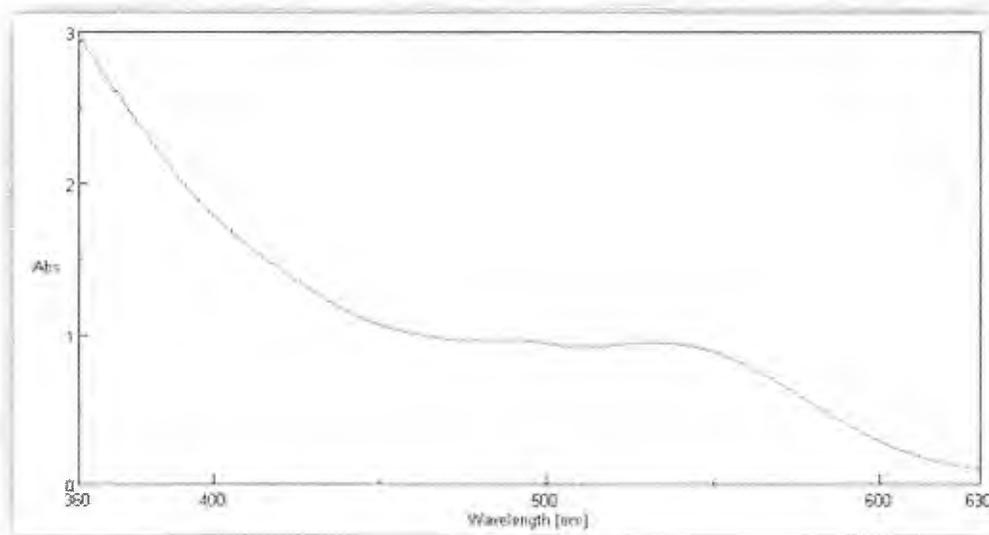


Figura A 58. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 36 días a 37 °C, lote 1.

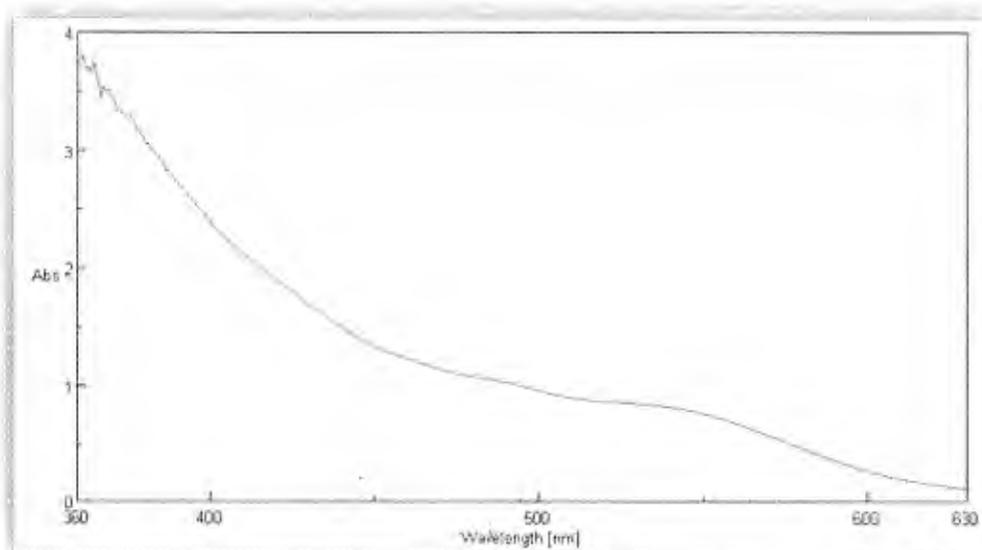


Figura A 59. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 36 días a 37 °C, lote 2.

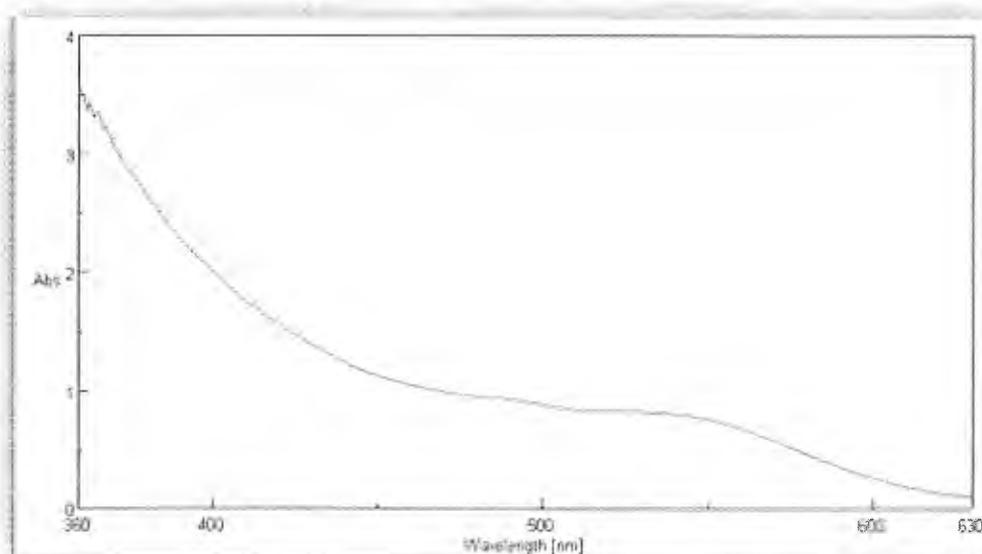


Figura A 60. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 36 días a 37 °C, lote 3.

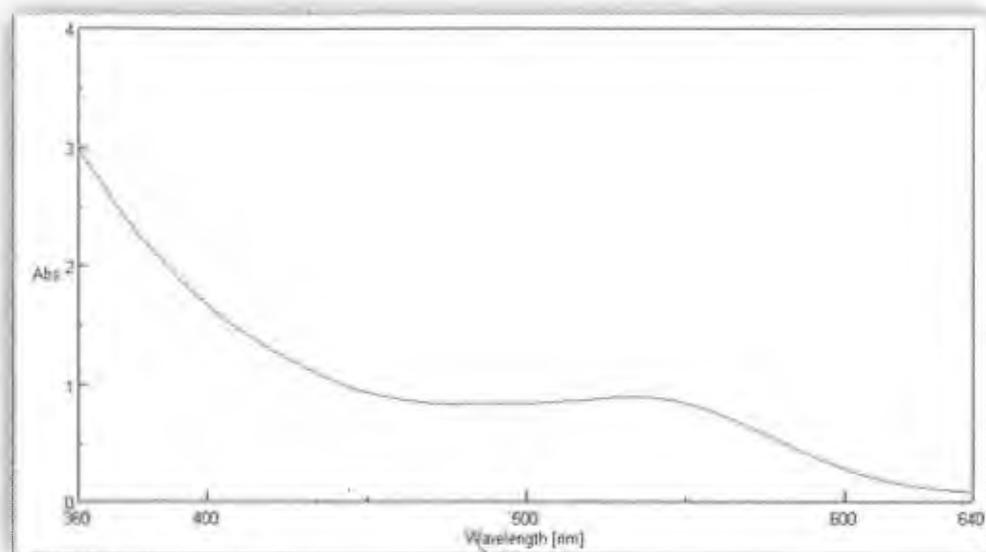


Figura A 61. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 64 días a 37 °C, lote 1.

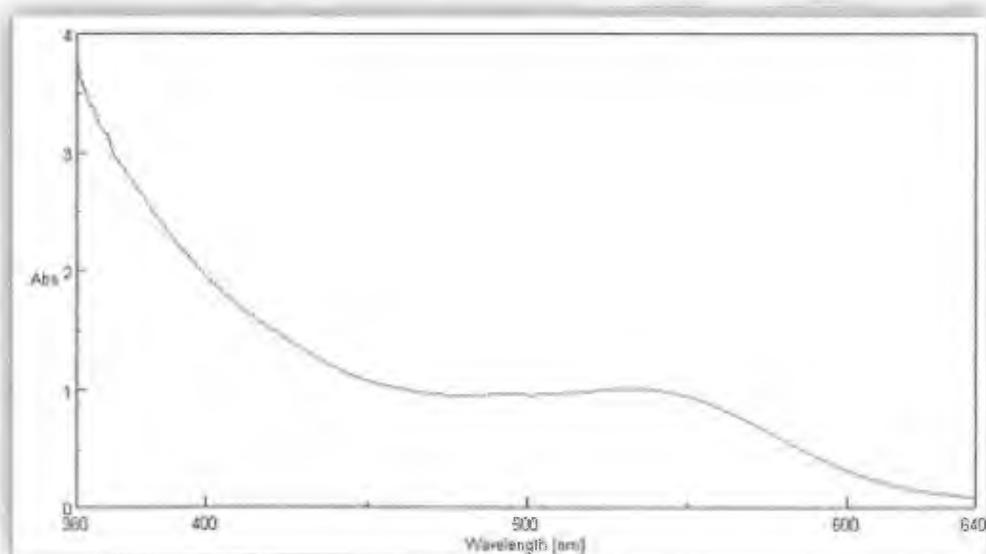


Figura A 62. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 64 días a 37 °C, lote 2.

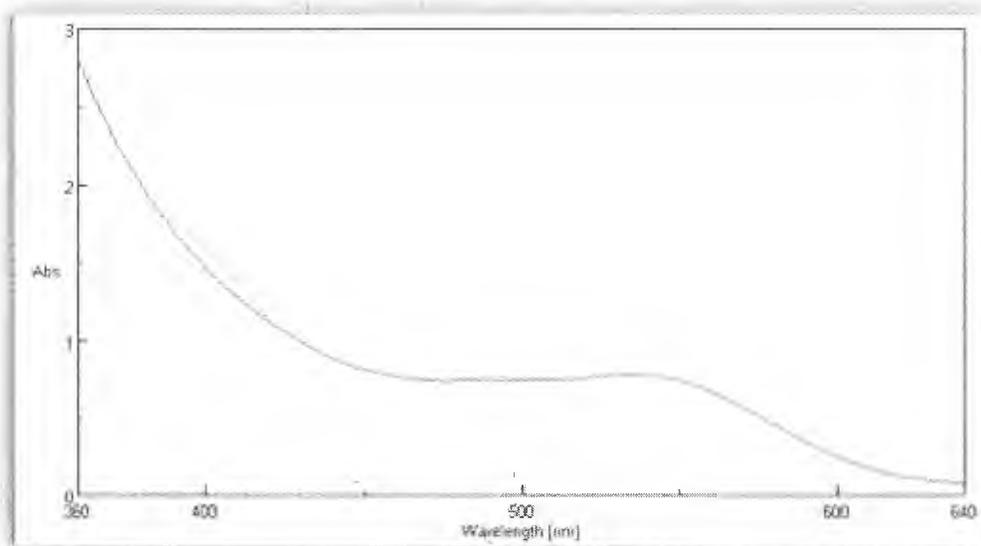


Figura A 63. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 64 días a 37 °C, lote 3.

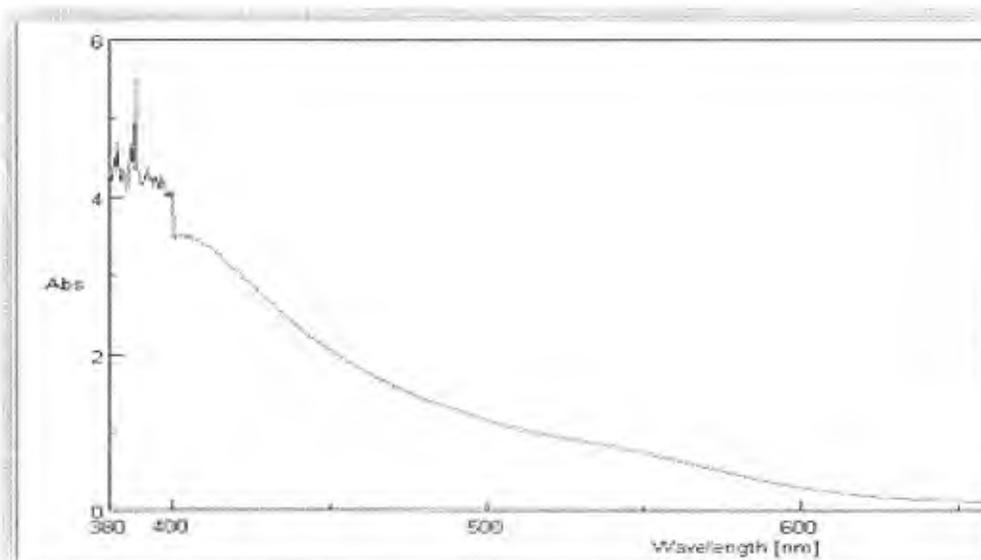


Figura A 64. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 99 días a 37 °C, lote 1.

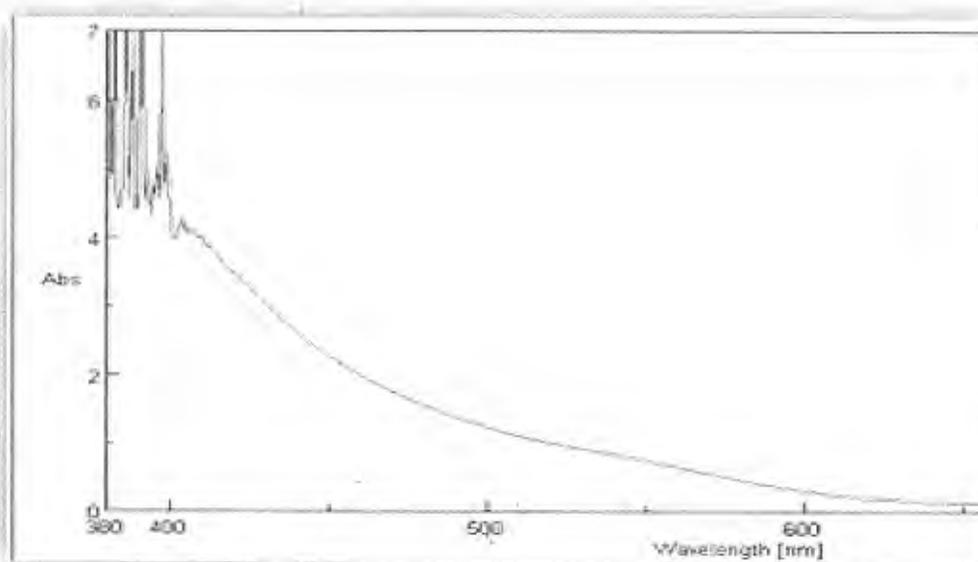


Figura A 65. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 99 días a 37 °C, lote 2.

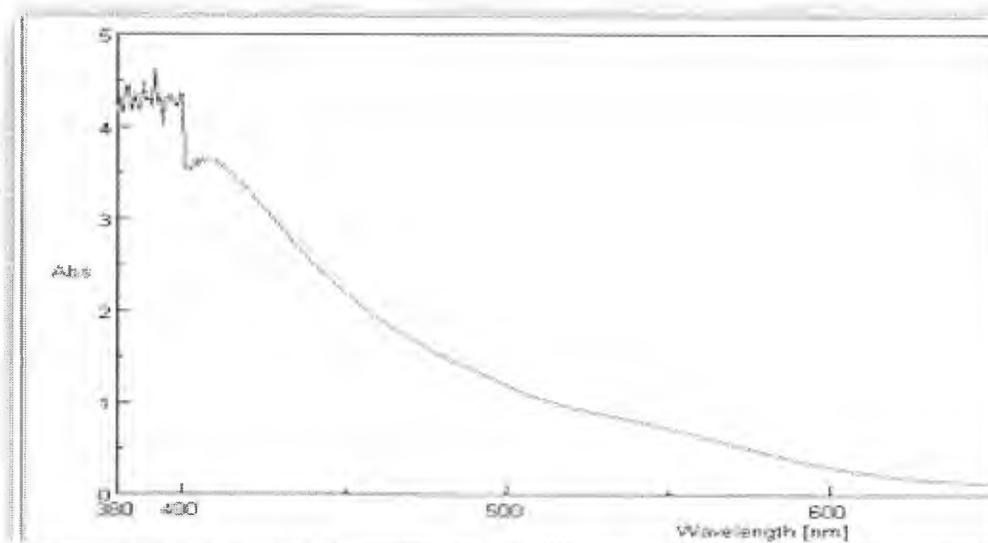


Figura A 66. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 99 días a 37 °C, lote 3.

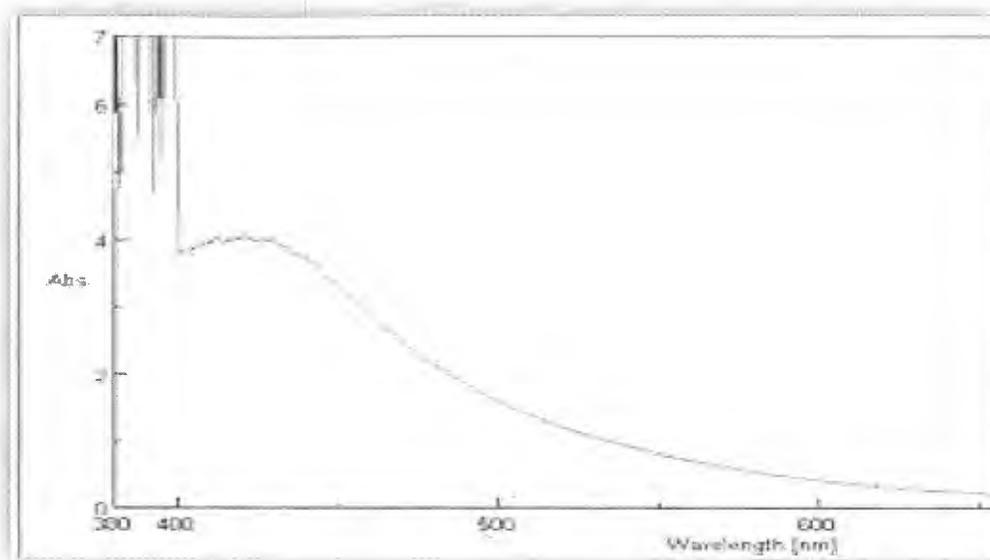


Figura A 67. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 148 días a 37 °C, lote 1.

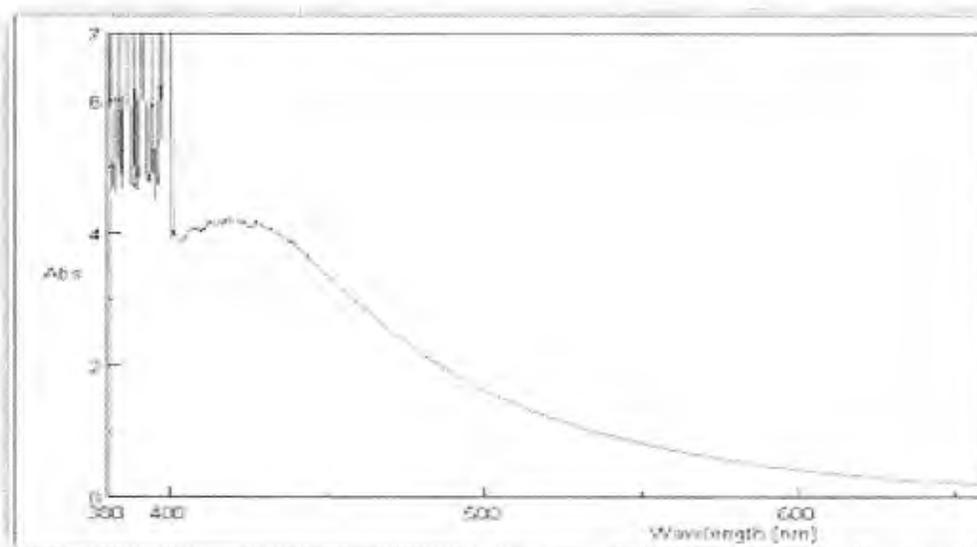


Figura A 68. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 148 días a 37 °C, lote 2.

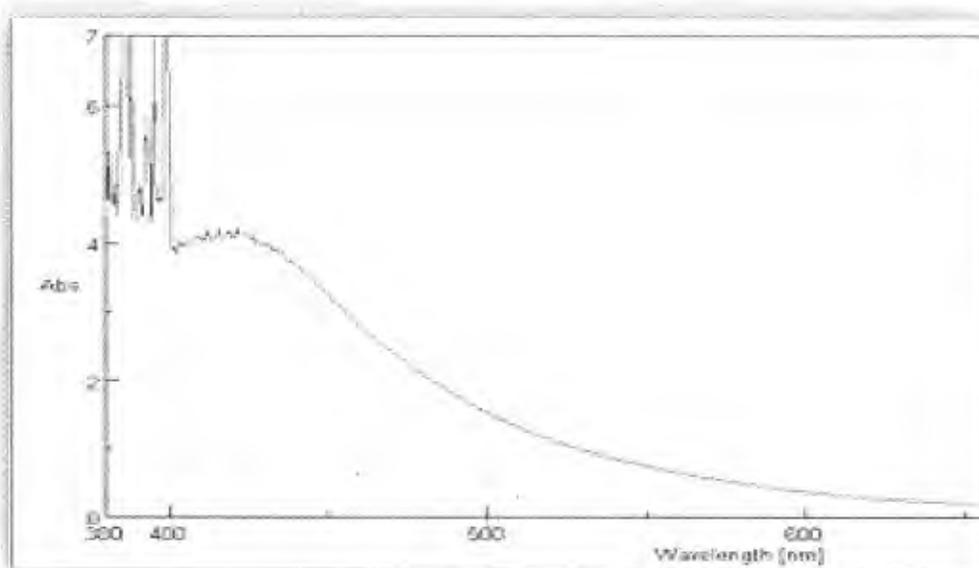


Figura A 69. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 148 días a 37 °C, lote 3.

Resultados obtenidos para el análisis de la estabilidad del polvo de pitaya almacenado a 5 °C, 25 °C y 37 °C 304 días

Cuadro A 11. Contenido de betalaínas del polvo de pitaya almacenado a 5°C, 25°C y 37°C, según tiempo de almacenamiento.

Tiempo (días)	Lote	Concentración de betalaínas (mg/ L)		
		5 °C	25 °C	37 ° C
0	1	1141 ± 8	1141 ± 8	1141 ± 8
	2	1154 ± 17	1154 ± 17	1154 ± 17
	3	1246 ± 26	1246 ± 26	1246 ± 26
57	1	1144 ± 5	1100 ± 16	1088 ± 15
	2	1152 ± 2	1109 ± 3	1091 ± 5
	3	1258 ± 17	1176 ± 11	1126 ± 11
120	1	1243 ± 23	1195 ± 2	1196 ± 4
	2	1225 ± 30	1190 ± 16	1195 ± 18
	3	1228 ± 11	1231 ± 7	1328 ± 27
183	1	1150 ± 23	1154 ± 8	1137 ± 16
	2	1152 ± 42	1156 ± 5	1141 ± 12
	3	1201 ± 9	1264 ± 14	1259 ± 7
248	1	1149 ± 3	1179 ± 6	1162 ± 6
	2	1171 ± 5	1208 ± 6	1150 ± 4
	3	1211 ± 5	1280 ± 1	1317 ± 5
304	1	1173 ± 8	1134 ± 8	1103 ± 6
	2	1147 ± 2	1134 ± 3	1121 ± 8
	3	1182 ± 3	1246 ± 13	1271 ± 3

Cuadro A 12. Efecto de los factores tiempo, temperatura y la interacción tiempo*temperatura sobre la concentración de betalaínas presentes en el polvo de pitaya.

Variable	Efecto	Grados de libertad	Valor de F	Prob > F1*
Concentración de betalaínas (mg/L)	Tiempo	1	2,1693	0,1473
	Temperatura	1	0,0005	0,9827
	Tiempo*Temperatura	1	0,6517	0,4235

* Probabilidad mayor que 0,05 indica que no existen diferencias significativas en los factores analizados.

Cuadro A 13. Variables de color: a*, b*, C*, L* y h° para el polvo de pitaya sin hidratar almacenado a 5 °C, según tiempo de almacenamiento.

Tiempo (días)	Lote	a*	b*	L*	C*	h°
0	1	27,23 ± 0,07	-23,12 ± 0,05	56,36 ± 0,03	35,72 ± 0,08	319,66 ± 0,04
	2	26,483 ± 0,003	-21,79 ± 0,02	59,33 ± 0,01	34,29 ± 0,01	320,56 ± 0,03
	3	27,07 ± 0,08	-22,45 ± 0,04	57,93 ± 0,01	35,17 ± 0,09	320,33 ± 0,06
57	1	26 ± 0,4	-21,8 ± 0,3	56,9 ± 0,1	33,9 ± 0,4	320,12 ± 0,09
	2	25,9 ± 0,4	-21,2 ± 0,3	55,8 ± 0,2	33,4 ± 0,5	320,65 ± 0,06
	3	25,7 ± 0,2	-22,7 ± 0,2	60,3 ± 0,1	34,3 ± 0,3	318,52 ± 0,03
120	1	26,14 ± 0,08	-21,52 ± 0,04	55,31 ± 0,03	33,87 ± 0,09	320,54 ± 0,04
	2	25,8 ± 0,4	-21,1 ± 0,3	55,1 ± 0,2	33,4 ± 0,5	320,8 ± 0,1
	3	26,7 ± 0,2	-23 ± 0,1	55,84 ± 0,07	35,2 ± 0,2	319,32 ± 0,06
183	1	27,13 ± 0,04	-22,53 ± 0,02	57,21 ± 0,01	35,27 ± 0,04	320,3 ± 0,01
	2	25,8 ± 0,07	-21,21 ± 0,05	57,36 ± 0,03	33,4 ± 0,09	320,58 ± 0,01
	3	26 ± 0,1	-22,6 ± 0,05	58,24 ± 0,04	34,5 ± 0,1	319,03 ± 0,05
248	1	25,8 ± 0,3	-21,7 ± 0,2	57,4 ± 0,1	33,7 ± 0,3	320,03 ± 0,06
	2	25,5 ± 0,3	-21 ± 0,1	56,74 ± 0,09	33 ± 0,3	320,6 ± 0,1
	3	26,6 ± 0,4	-23,1 ± 0,2	56,5 ± 0,1	35,2 ± 0,4	319,1 ± 0,1
304	1	26,2 ± 0,4	-21,9 ± 0,2	57,6 ± 0,2	34,1 ± 0,4	320,17 ± 0,09
	2	26,2 ± 0,4	-21,6 ± 0,2	57 ± 0,1	34 ± 0,4	320,44 ± 0,07
	3	25,6 ± 0,4	-22,6 ± 0,3	60 ± 0,2	34,1 ± 0,5	318,6 ± 0,1

Cuadro A 14. Variables de color: a*, b*, C*, L* y h° para el polvo de pitaya sin hidratar almacenado a 25 °C, según tiempo de almacenamiento.

Tiempo (días)	Lote	a*	b*	L*	C*	h°
0	1	27,23 ± 0,07	-23,12 ± 0,05	56,36 ± 0,03	35,72 ± 0,08	319,66 ± 0,04
	2	26,483 ± 0,003	-21,79 ± 0,02	59,33 ± 0,01	34,29 ± 0,01	320,56 ± 0,03
	3	27,07 ± 0,08	-22,45 ± 0,04	57,93 ± 0,01	35,17 ± 0,09	320,33 ± 0,06
57	1	26,5 ± 0,2	-22,3 ± 0,1	57,83 ± 0,07	34,6 ± 0,2	319,95 ± 0,04
	2	25,7 ± 0,1	-21,5 ± 0,1	59,53 ± 0,07	33,5 ± 0,2	320,12 ± 0,03
	3	26,6 ± 0,7	-23 ± 0,5	55,8 ± 0,3	35,1 ± 0,8	319,2 ± 0,1
120	1	25,8 ± 0,1	-21,2 ± 0,1	55,41 ± 0,05	33,4 ± 0,2	320,6 ± 0,01
	2	25,2 ± 0,4	-20,6 ± 0,3	55,8 ± 0,2	32,6 ± 0,5	320,83 ± 0,07
	3	26,4 ± 0,4	-22,5 ± 0,2	54,3 ± 0,1	34,7 ± 0,4	319,58 ± 0,09
183	1	24,8 ± 0,4	-20,5 ± 0,3	59,2 ± 0,2	32,2 ± 0,5	320,44 ± 0,08
	2	26,3 ± 0,3	-22,6 ± 0,2	56,9 ± 0,1	34,6 ± 0,3	319,34 ± 0,02
	3	24,9 ± 0,2	-20,8 ± 0,2	59,6 ± 0,1	32,4 ± 0,3	320,16 ± 0,03
248	1	26 ± 0,2	-21,6 ± 0,1	57,14 ± 0,05	33,8 ± 0,2	320,28 ± 0,07
	2	25,6 ± 0,5	-20,9 ± 0,3	56,7 ± 0,2	33 ± 0,6	320,7 ± 0,1
	3	26,3 ± 0,2	-22,5 ± 0,2	54,77 ± 0,09	34,6 ± 0,3	319,44 ± 0,07
304	1	24,6 ± 0,2	-20,6 ± 0,1	58,54 ± 0,08	32 ± 0,2	320,06 ± 0,03
	2	24,5 ± 0,3	-20,4 ± 0,2	59,5 ± 0,1	31,9 ± 0,3	320,27 ± 0,04
	3	25,6 ± 0,2	-22,3 ± 0,1	56,95 ± 0,07	34 ± 0,2	319,05 ± 0,07

Cuadro A 15. Variables de color: a*, b*, C*, L* y h° para el polvo de pitaya sin hidratar almacenado a 37 °C, según tiempo de almacenamiento.

Tiempo (días)	Lote	a*	b*	L*	C*	h°
0	1	27,23 ± 0,07	-23,12 ± 0,05	56,36 ± 0,03	35,72 ± 0,08	319,66 ± 0,04
	2	26,483 ± 0,003	-21,79 ± 0,02	59,33 ± 0,01	34,29 ± 0,01	320,56 ± 0,03
	3	27,07 ± 0,08	-22,45 ± 0,04	57,93 ± 0,01	35,17 ± 0,09	320,33 ± 0,06
57	1	26,9 ± 0,4	-22,1 ± 0,2	58 ± 0,1	34,8 ± 0,4	320,5 ± 0,1
	2	25,2 ± 0,4	-20,8 ± 0,3	60 ± 0,2	32,6 ± 0,5	320,48 ± 0,07
	3	26,7 ± 0,2	-22,83 ± 0,08	56,37 ± 0,06	35,1 ± 0,2	319,46 ± 0,08
120	1	26,3 ± 0,4	-20,8 ± 0,3	55,2 ± 0,2	33,5 ± 0,4	321,57 ± 0,02
	2	25,4 ± 0,2	-19,8 ± 0,2	54,83 ± 0,08	32,2 ± 0,3	322,13 ± 0,04
	3	26,2 ± 0,1	-22,04 ± 0,04	55,66 ± 0,03	34,3 ± 0,1	319,97 ± 0,05
183	1	24,5 ± 0,4	-19,4 ± 0,3	58,7 ± 0,2	31,3 ± 0,5	321,71 ± 0,06
	2	25,1 ± 0,2	-19,2 ± 0,09	56,82 ± 0,06	31,6 ± 0,2	322,59 ± 0,03
	3	25,7 ± 0,2	-21,5 ± 0,1	56,73 ± 0,05	33,5 ± 0,2	320,16 ± 0,05
248	1	25,1 ± 0,4	-19,5 ± 0,3	56,9 ± 0,2	31,8 ± 0,5	322,21 ± 0,07
	2	24,9 ± 0,4	-18,8 ± 0,2	56,5 ± 0,1	31,2 ± 0,4	322,89 ± 0,09
	3	26,3 ± 0,2	-21,9 ± 0,1	56,36 ± 0,07	34,2 ± 0,2	320,31 ± 0,04
304	1	24,5 ± 0,1	-18,5 ± 0,1	59,29 ± 0,05	30,7 ± 0,2	322,86 ± 0,02
	2	24,7 ± 0,4	-18,3 ± 0,3	56,7 ± 0,2	30,8 ± 0,5	323,56 ± 0,02
	3	25,9 ± 0,5	-21,1 ± 0,4	56,4 ± 0,2	33,4 ± 0,6	320,8 ± 0,03

Cuadro A 16. Variables de color: a*, b*, C*, L* y h° para el polvo de pitaya hidratado almacenado a 5 °C, según tiempo de almacenamiento.

Tiempo (días)	Lote	a*	b*	L*	C*	h°
0	1	31,03 ± 0,08	3,2 ± 0,3	6,3 ± 0,07	31,19 ± 0,06	5,9 ± 0,5
	2	30,9 ± 0,3	2,26 ± 0,03	6,5 ± 0,2	31 ± 0,3	4,18 ± 0,03
	3	32 ± 0,4	-2,9 ± 0,3	7,4 ± 0,2	32,1 ± 0,4	354,9 ± 0,4
57	1	33,9 ± 0,3	4,9 ± 0,2	7,3 ± 0,1	34,2 ± 0,3	8,2 ± 0,3
	2	33,2 ± 0,2	4,1 ± 0,4	7,1 ± 0,2	33,4 ± 0,2	7,1 ± 0,6
	3	34,4 ± 0,3	-0,8 ± 0,2	8,1 ± 0,1	34,4 ± 0,3	358,6 ± 0,4
120	1	31,9 ± 0,1	2,7 ± 0,1	6,9 ± 0,1	32,1 ± 0,1	4,9 ± 0,2
	2	30,8 ± 0,6	2,2 ± 0,5	6,5 ± 0,2	30,9 ± 0,6	4,1 ± 0,9
	3	33 ± 0,7	-2,4 ± 0,4	7,8 ± 0,4	33,1 ± 0,7	355,8 ± 0,8
183	1	33,5 ± 0,2	4,8 ± 0,1	7,21 ± 0,15	33,8 ± 0,2	8,1 ± 0,2
	2	34,18 ± 0,04	-0,4 ± 0,4	7,53 ± 0,05	34,19 ± 0,05	34,2 ± 0,7
	3	32,9 ± 0,1	-1,63 ± 0,08	7,76 ± 0,03	33 ± 0,1	357,2 ± 0,1
248	1	32,8 ± 0,1	3,8 ± 0,1	6,76 ± 0,04	33,1 ± 0,1	6,5 ± 0,2
	2	31,4 ± 0,2	2,8 ± 0,1	6,55 ± 0,03	31,5 ± 0,2	5,2 ± 0,2
	3	33,1 ± 0,1	-2 ± 0,1	7,5 ± 0,07	33,2 ± 0,1	356,5 ± 0,2
304	1	34,7 ± 0,2	4,4 ± 0,2	7,81 ± 0,05	35 ± 0,2	7,3 ± 0,3
	2	32,1 ± 0,3	3,2 ± 0,1	6,6 ± 0,1	32,3 ± 0,3	5,6 ± 0,2
	3	34,2 ± 0,2	-1,56 ± 0,03	7,91 ± 0,09	34,2 ± 0,1	357,39 ± 0,07

Cuadro A 17. Variables de color: a*, b*, C*, L* y h° para el polvo de pitaya hidratado almacenado a 25 °C, según tiempo de almacenamiento.

Tiempo (días)	Lote	a*	b*	L*	C*	h°
0	1	31,03 ± 0,08	3,2 ± 0,3	6,3 ± 0,07	31,19 ± 0,06	5,9 ± 0,5
	2	30,9 ± 0,3	2,26 ± 0,03	6,5 ± 0,2	31 ± 0,3	4,18 ± 0,03
	3	32 ± 0,4	-2,9 ± 0,3	7,4 ± 0,2	32,1 ± 0,4	354,9 ± 0,4
57	1	33,9 ± 0,7	5,1 ± 0,6	7,22 ± 0,09	34,3 ± 0,8	8,5 ± 0,8
	2	33,5 ± 0,4	4,7 ± 0,2	7,3 ± 0,3	33,8 ± 0,4	7,9 ± 0,2
	3	34,18 ± 0,04	-0,4 ± 0,4	7,53 ± 0,05	34,19 ± 0,05	359,3 ± 0,7
120	1	29 ± 0,4	2,1 ± 0,2	5,7 ± 0,3	29,1 ± 0,5	4,1 ± 0,3
	2	29,89 ± 0,09	2,3 ± 0,2	6,06 ± 0,06	29,98 ± 0,07	4,4 ± 0,5
	3	32,06 ± 0,18	-1,7 ± 0,3	7,2 ± 0,1	32,1 ± 0,2	357 ± 0,6
183	1	31,9 ± 0,1	4,5 ± 0,1	6,58 ± 0,02	32,2 ± 0,2	8 ± 0,2
	2	31,4 ± 0,1	4 ± 0,2	6,79 ± 0,05	31,7 ± 0,1	7,2 ± 0,4
	3	32,8 ± 0,1	-0,4 ± 0,3	7,61 ± 0,01	32,8 ± 0,1	359,3 ± 0,5
248	1	32,8 ± 0,2	4,2 ± 0,2	6,96 ± 0,04	33,1 ± 0,2	7,3 ± 0,3
	2	31,2 ± 0,2	2,8 ± 0,5	6,57 ± 0,09	31,3 ± 0,1	5,1 ± 0,8
	3	32,9 ± 0,2	-1 ± 0,2	7,68 ± 0,03	32,9 ± 0,2	358,3 ± 0,3
304	1	31,8 ± 0,2	3,6 ± 0,2	6,94 ± 0,06	32 ± 0,2	6,4 ± 0,3
	2	31,3 ± 0,2	3,2 ± 0,3	6,88 ± 0,04	31,5 ± 0,1	5,8 ± 0,5
	3	32,67 ± 0,07	-1,4 ± 0,4	7,97 ± 0,08	32,71 ± 0,08	357,6 ± 0,7

Cuadro A 18. Variables de color: a*, b*, C*, L* y h° para el polvo de pitaya hidratado almacenado a 37 °C, según tiempo de almacenamiento.

Tiempo (días)	Lote	a*	b*	L*	C*	h°
0	1	31,03 ± 0,08	3,2 ± 0,3	6,3 ± 0,07	31,19 ± 0,06	5,9 ± 0,5
	2	30,9 ± 0,3	2,26 ± 0,03	6,5 ± 0,2	31 ± 0,3	4,18 ± 0,03
	3	32 ± 0,4	-2,9 ± 0,3	7,4 ± 0,2	32,1 ± 0,4	354,9 ± 0,4
57	1	30,32 ± 0,09	3,7 ± 0,3	6 ± 0,07	30,54 ± 0,07	7 ± 0,6
	2	32,2 ± 0,3	3,76 ± 0,09	6,81 ± 0,04	32,4 ± 0,4	6,7 ± 0,1
	3	32,2 ± 0,3	-0,7 ± 0,4	7,25 ± 0,08	32,2 ± 0,3	358,7 ± 0,7
120	1	29,9 ± 0,3	3,1 ± 0,3	5,99 ± 0,03	30 ± 0,3	5,8 ± 0,7
	2	30,8 ± 0,4	3,1 ± 0,3	6,46 ± 0,06	31 ± 0,3	5,8 ± 0,6
	3	33 ± 0,1	0,08 ± 0,08	7,74 ± 0,09	33 ± 0,1	360,1 ± 0,1
183	1	31,8 ± 0,2	5,2 ± 0,2	6,77 ± 0,09	32,3 ± 0,2	9,3 ± 0,3
	2	30,49 ± 0,08	4,9 ± 0,2	7,28 ± 0,07	30,89 ± 0,06	9,2 ± 0,3
	3	32,6 ± 0,2	0,8 ± 0,3	7,75 ± 0,05	32,7 ± 0,2	1,4 ± 0,6
248	1	31,3 ± 0,2	4 ± 0,2	6,68 ± 0,06	31,5 ± 0,2	7,4 ± 0,3
	2	30,6 ± 0,2	3,7 ± 0,3	6,54 ± 0,01	30,8 ± 0,2	6,9 ± 0,6
	3	32,1 ± 0,3	-0,2 ± 0,1	7,6 ± 0,1	32,1 ± 0,3	359,57 ± 0,2
304	1	31,11 ± 0,05	4,6 ± 0,2	6,39 ± 0,05	31,44 ± 0,05	8,3 ± 0,3
	2	31,2 ± 0,2	4,34 ± 0,06	6,46 ± 0,02	31,5 ± 0,2	7,9 ± 0,2
	3	32,3 ± 0,2	0,83 ± 0,06	7,48 ± 0,09	32,3 ± 0,2	1,5 ± 0,1

Cuadro A 19. Efecto de los factores tiempo, temperatura y la interacción tiempo*temperatura sobre las variables de medición de color del polvo de pitaya

Muestra	Variable	Efecto	Grados de libertad	Valor de F	Prob > F1
Polvo sin hidratar	a*	Tiempo	1	40,9456	<,0001 *
		Temperatura	1	6,4160	0,0146 *
		Tiempo*Temperatura	1	6,2201	0,0161 *
	b*	Tiempo	1	33,7302	<,0001 *
		Temperatura	1	29,1124	<,0001 *
		Tiempo*Temperatura	1	18,1315	<,0001 *
	L*	Tiempo	1	0,0286	0,8664
		Temperatura	1	0,0686	0,7945
		Tiempo*Temperatura	1	0,2310	0,6330
	C*	Tiempo	1	43,7563	<0,0001*
		Temperatura	1	18,8658	<0,0001*
		Tiempo*Temperatura	1	13,5620	0,0006*
h°	Tiempo	1	5,6850	0,0211*	
	Temperatura	1	26,9899	<0,0001*	
	Tiempo*Temperatura	1	13,8229	0,0005*	
Polvo hidratado	a*	Tiempo	1	1,3371	0,2533
		Temperatura	1	15,7098	0,0002 *
		Tiempo*Temperatura	1	1,5638	0,2172
	b*	Tiempo	1	5,4153	0,0242 *
		Temperatura	1	8,1406	0,0064 *
		Tiempo*Temperatura	1	2,7189	0,1057
	L*	Tiempo	1	4,1623	0,0469*
		Temperatura	1	7,8927	0,0072*
		Tiempo*Temperatura	1	0,0416	0,8392
	C*	Tiempo	1	1,3643	0,2486
		Temperatura	1	13,9317	0,0005*
		Tiempo*Temperatura	1	1,2596	0,2673
h°	Tiempo	1	6,1452	0,0167*	
	Temperatura	1	11,3696	0,0015*	
	Tiempo*Temperatura	1	3,4447	0,0696	

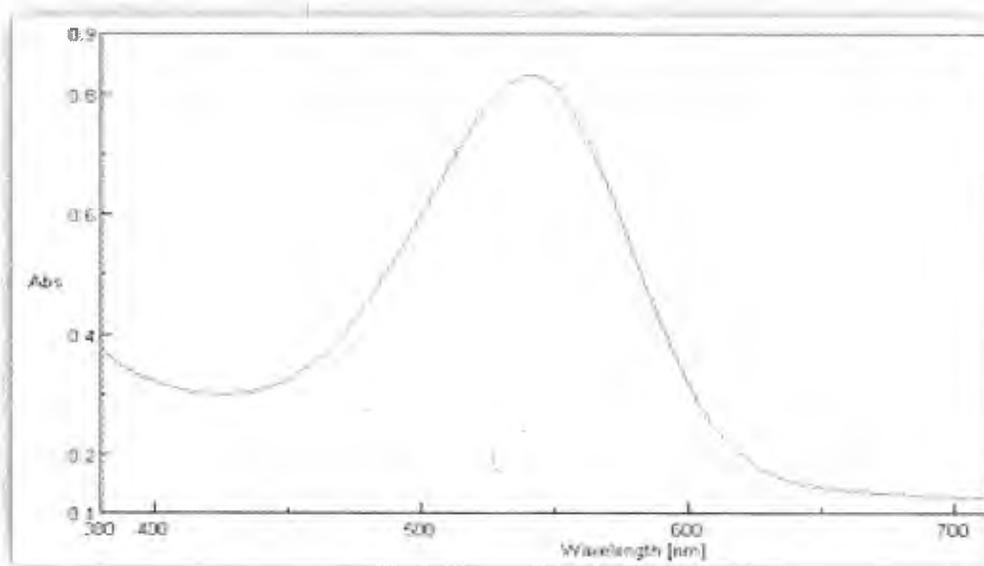


Figura A 70. Espectro de absorción del polvo de pitaya recién elaborado (tiempo 0 días), lote 1.

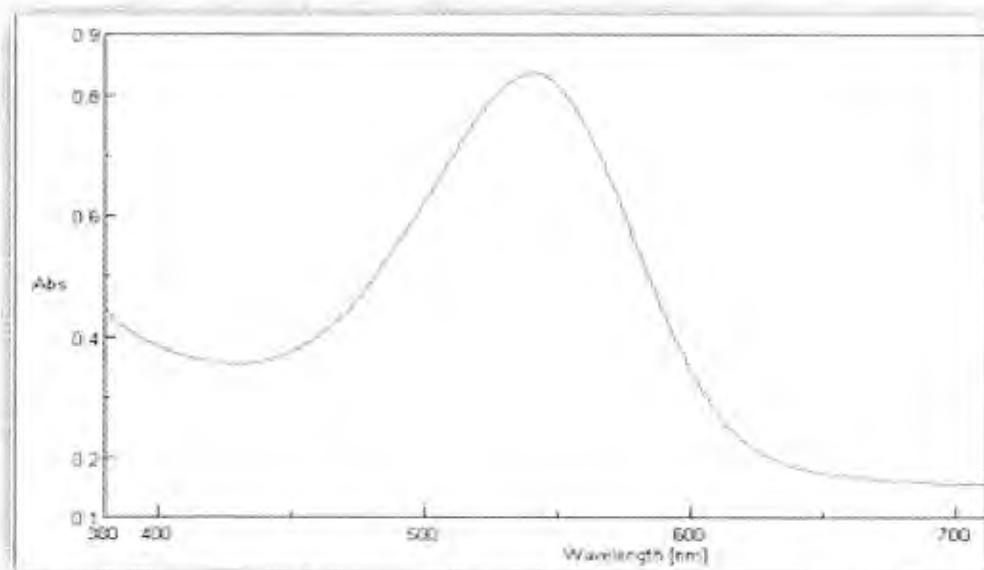


Figura A 71. Espectro de absorción del polvo de pitaya recién elaborado (tiempo 0 días), lote 2.

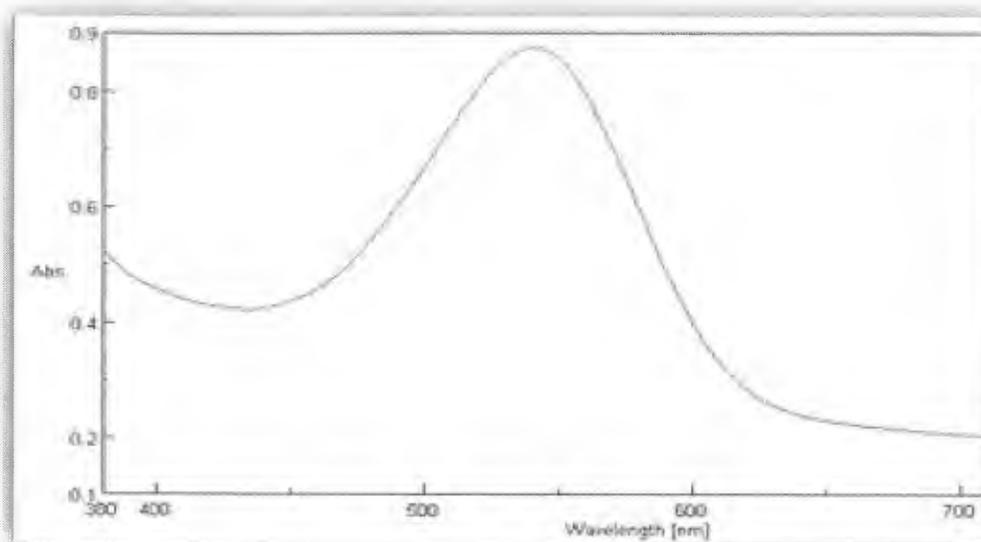


Figura A 72. Espectro de absorción del polvo de pitaya recién elaborado (tiempo 0 días), lote 3.

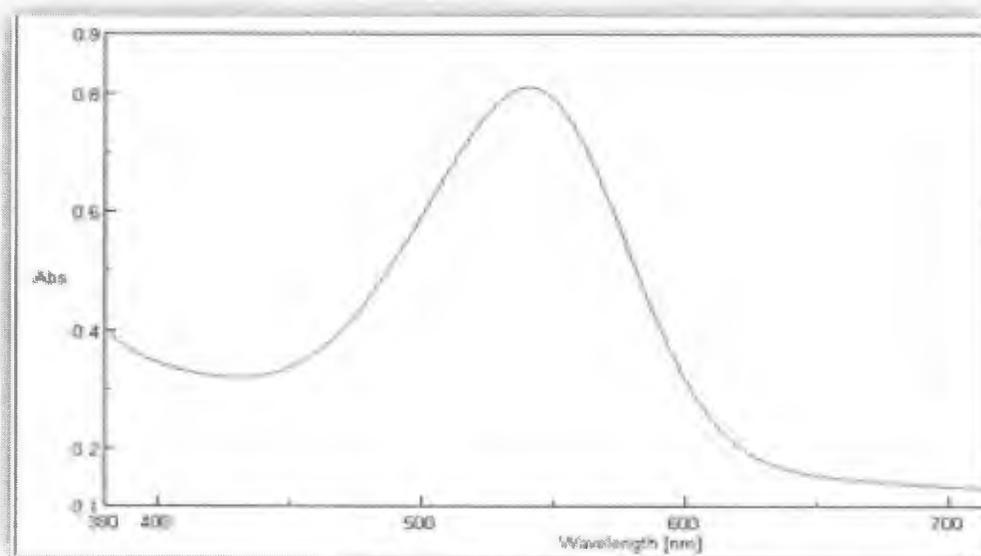


Figura A 73. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 57 días a 5 °C, lote 1.

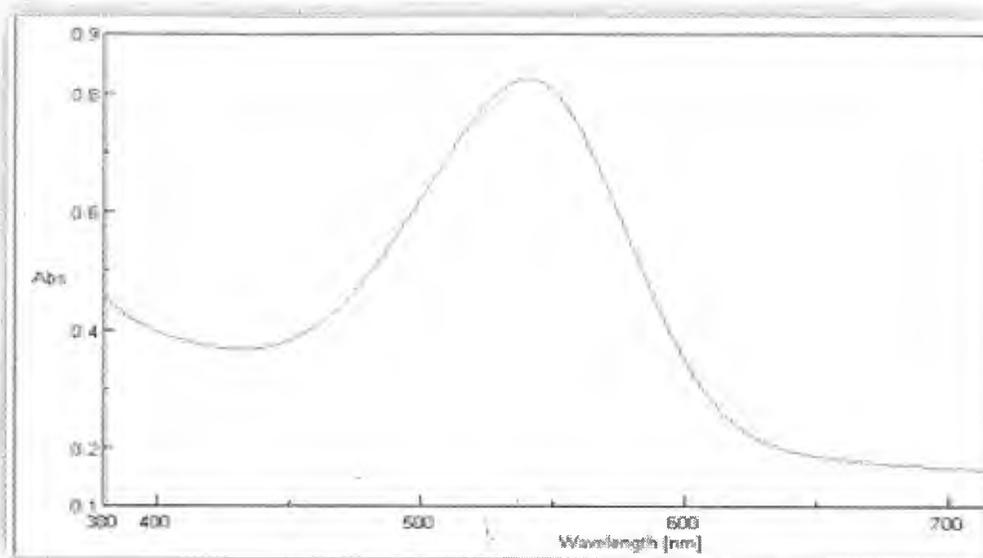


Figura A 74. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 57 días a 5 °C, lote 2.

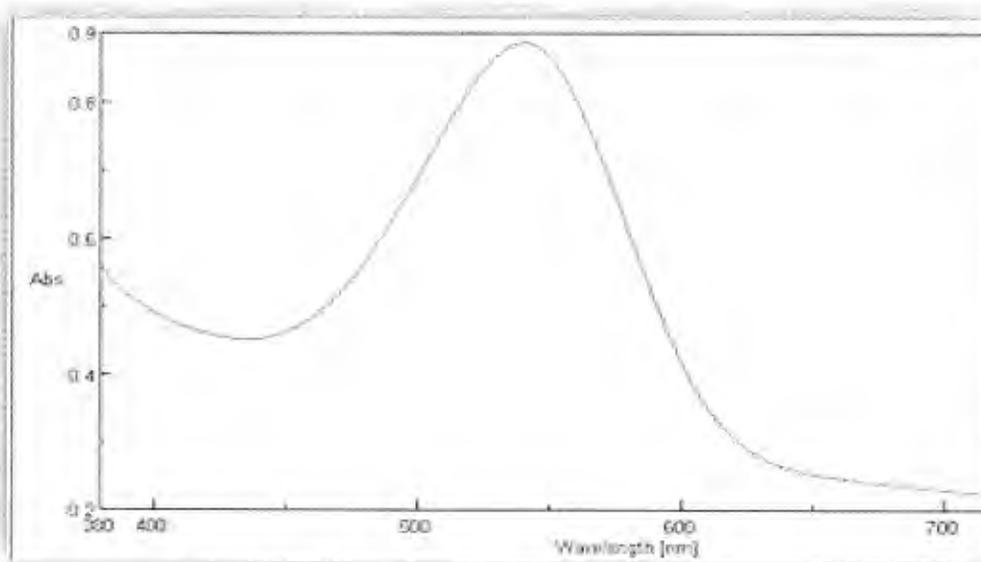


Figura A 75. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 57 días a 5 °C, lote 3.

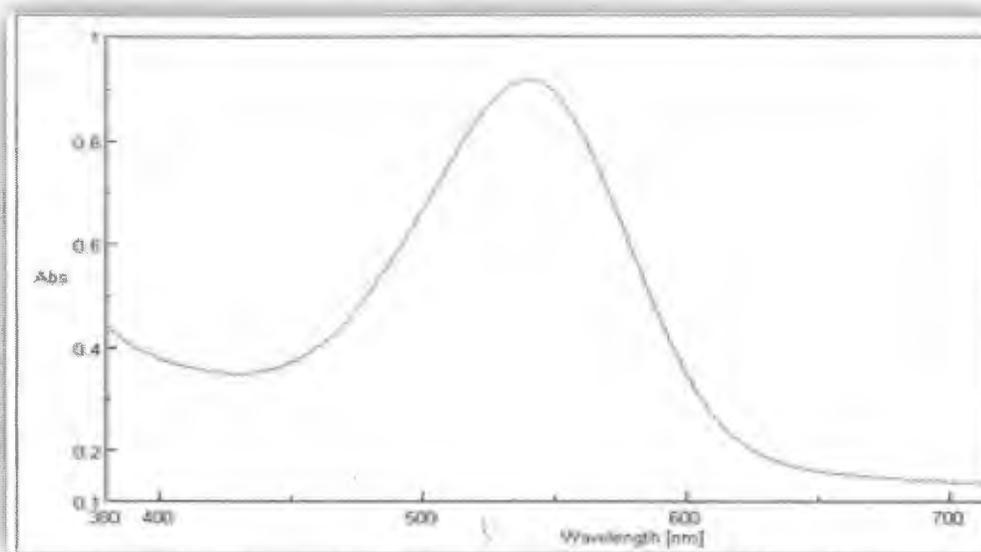


Figura A 76. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 120 días a 5 °C, lote 1.

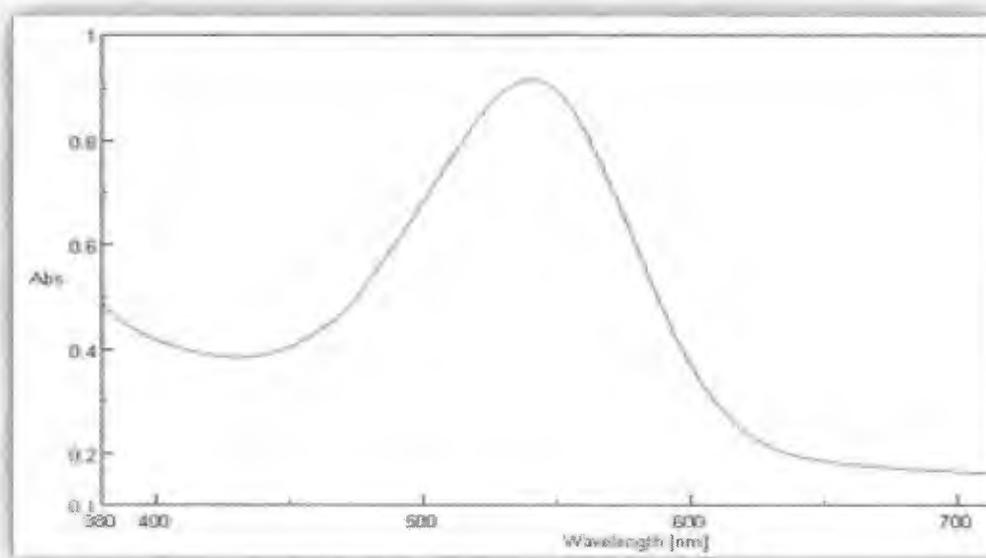


Figura A 77. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 120 días a 5 °C, lote 2.

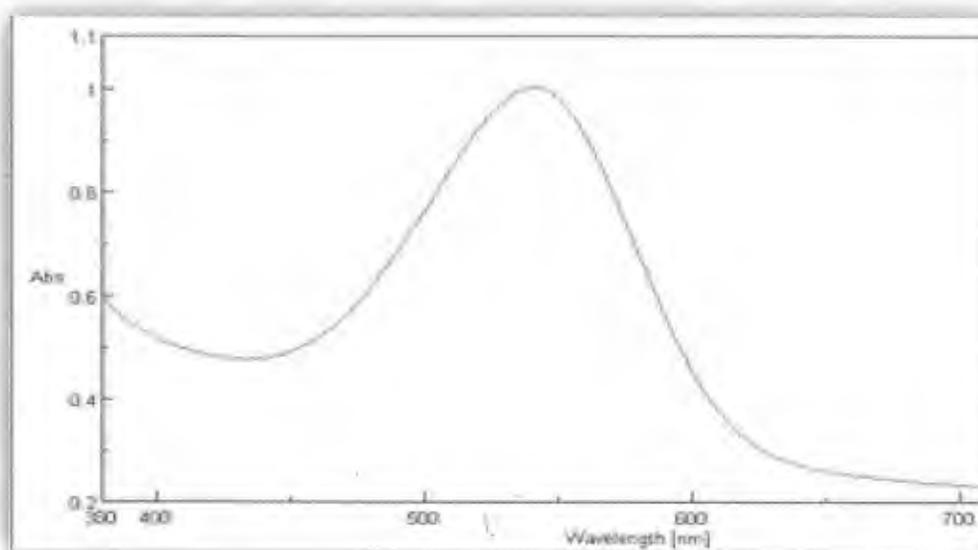


Figura A 78. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 120 días a 5 °C, lote 3.

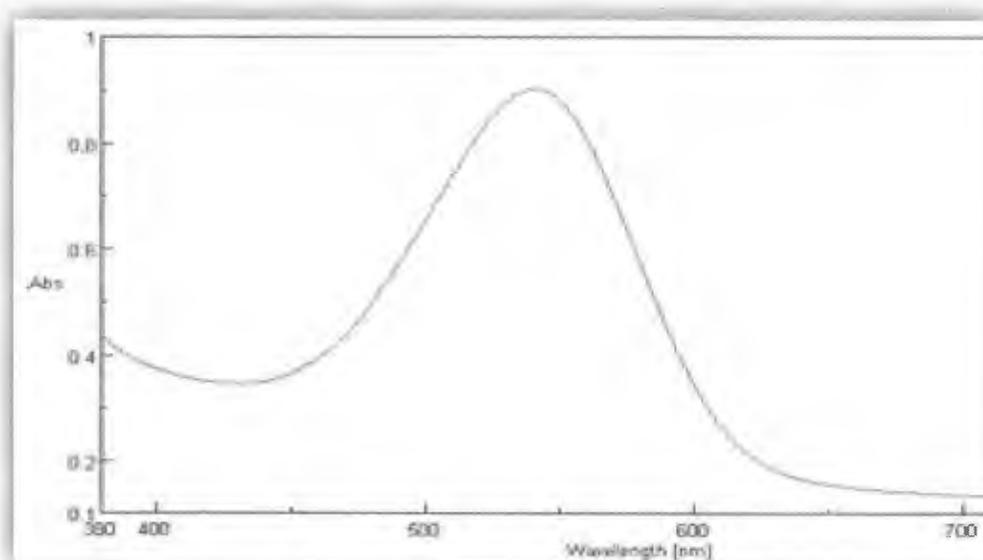


Figura A 79. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 183 días a 5 °C, lote 1.

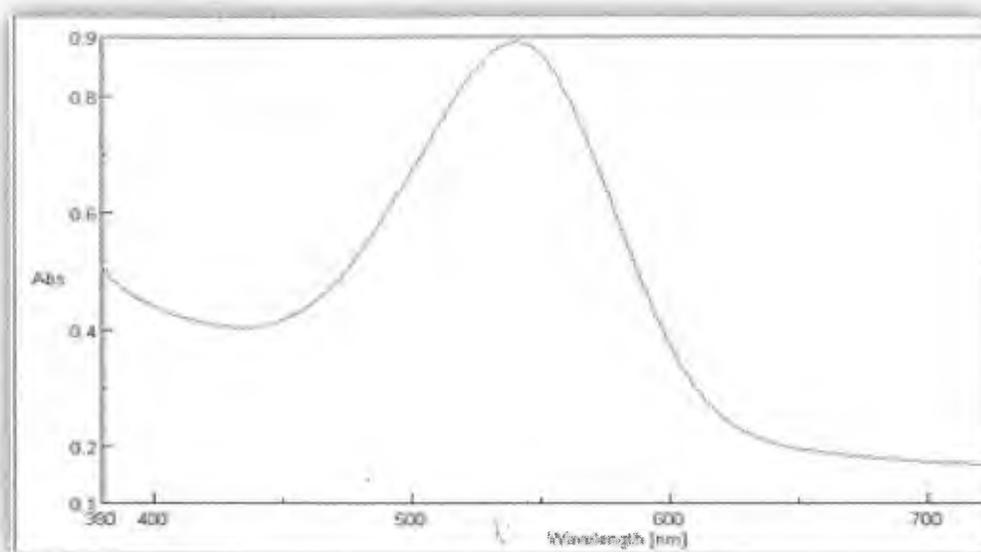


Figura A 80. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 183 días a 5 °C, lote 2.

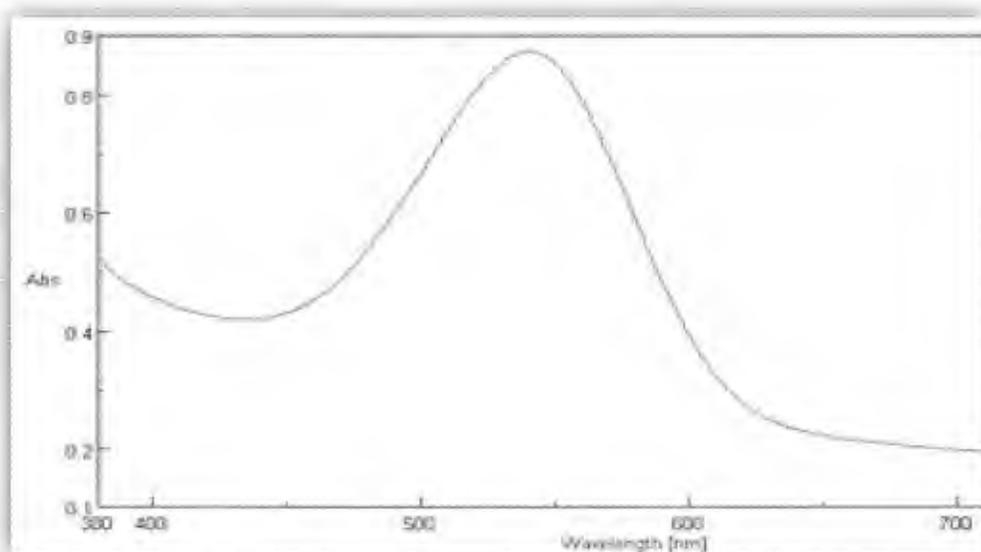


Figura A 81. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 183 días a 5 °C, lote 3.

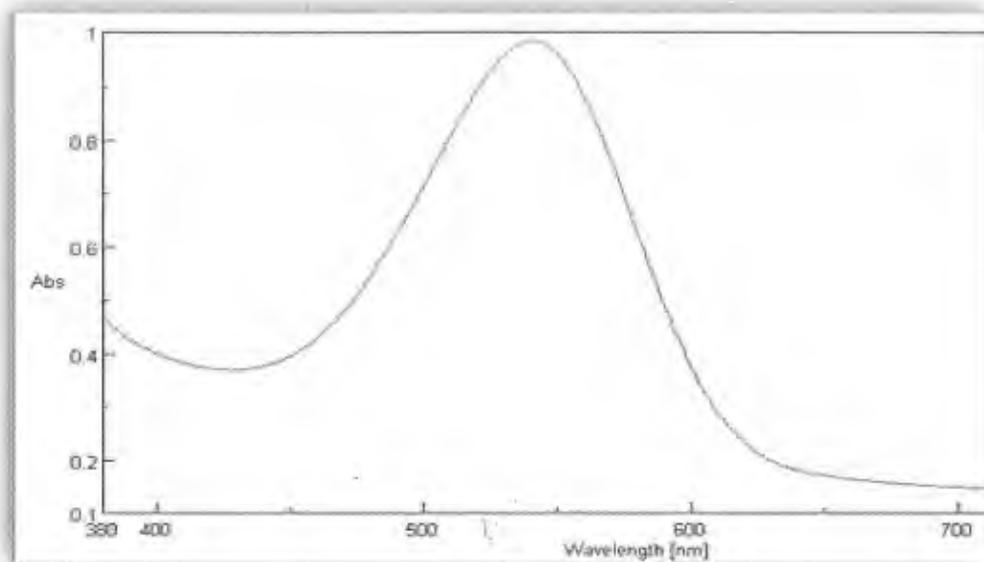


Figura A 82. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 248 días a 5 °C, lote 1.

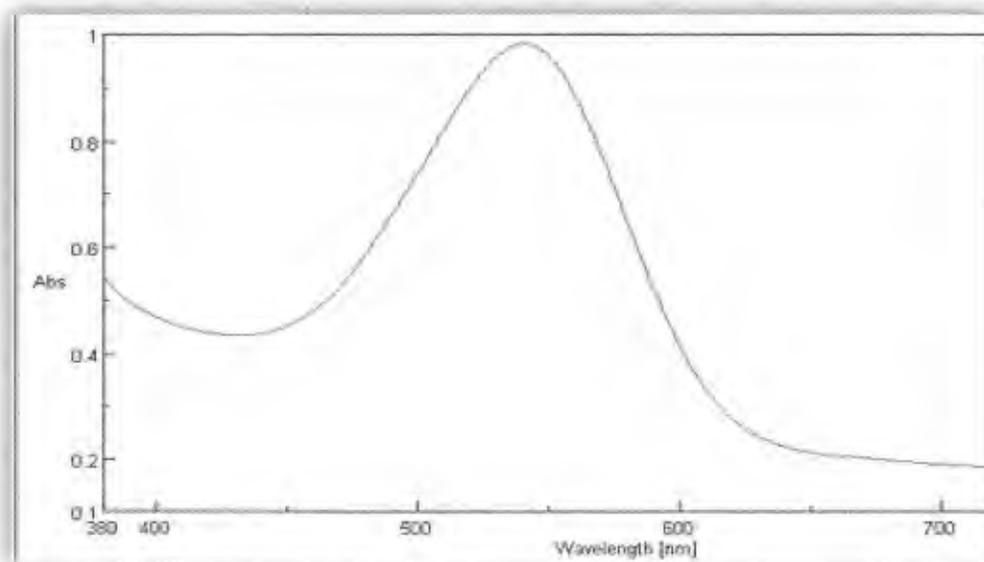


Figura A 83. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 248 días a 5 °C, lote 2.

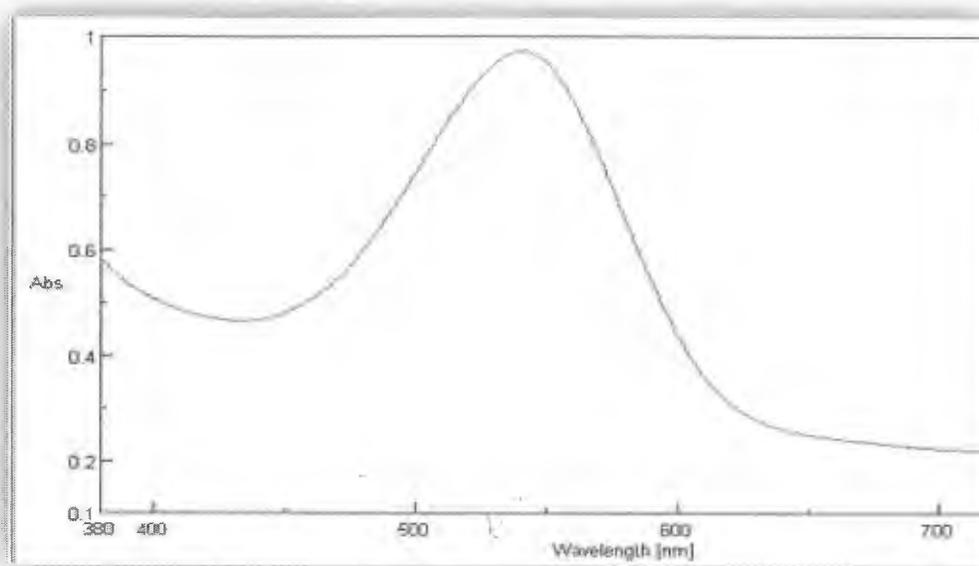


Figura A 84. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 248 días a 5 °C, lote 3.



Figura A 85. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 304 días a 5 °C, lote 1.

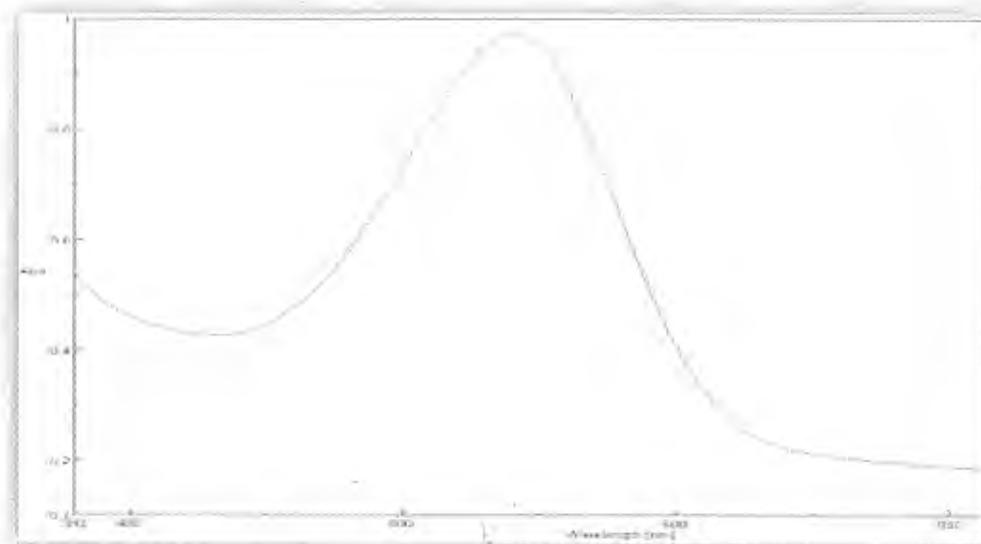


Figura A 86. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 304 días a 5 °C, lote 2.

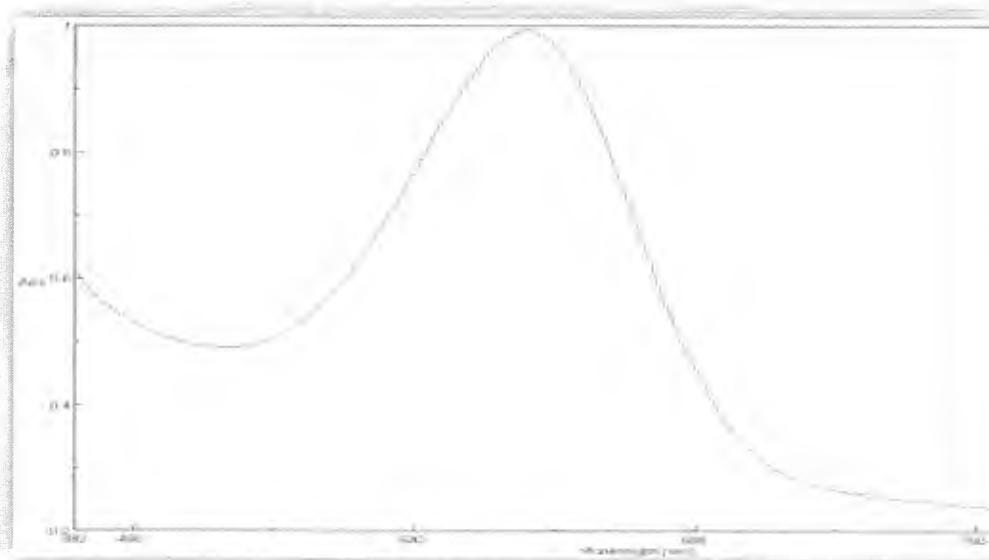


Figura A 87. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 304 días a 5 °C, lote 3.

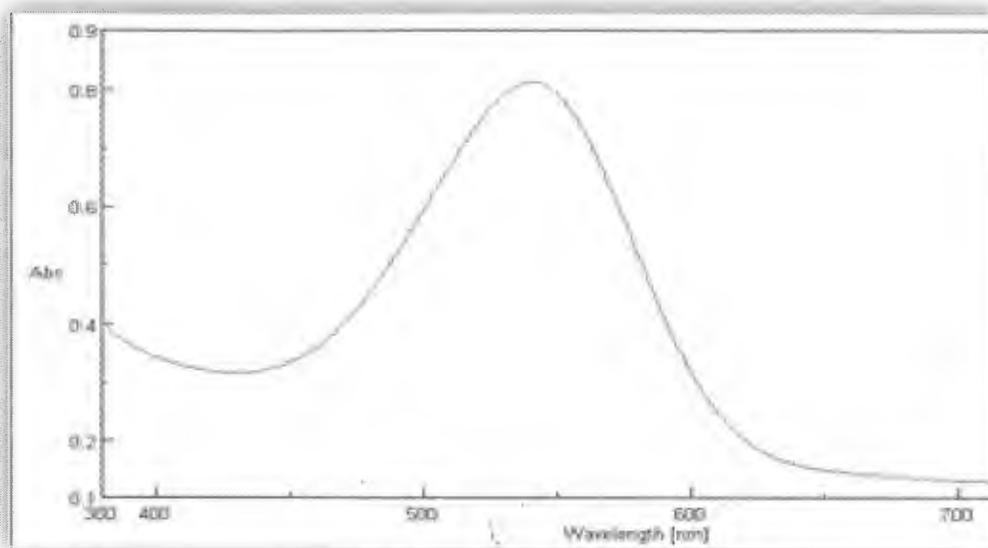


Figura A 88. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 57 días a 25 °C, lote 1.

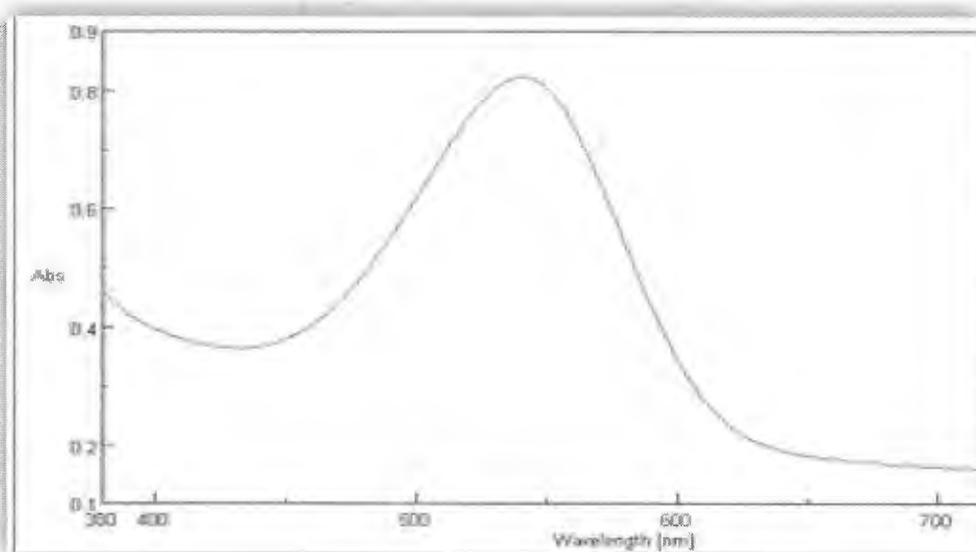


Figura A 89. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 57 días a 25 °C, lote 2.

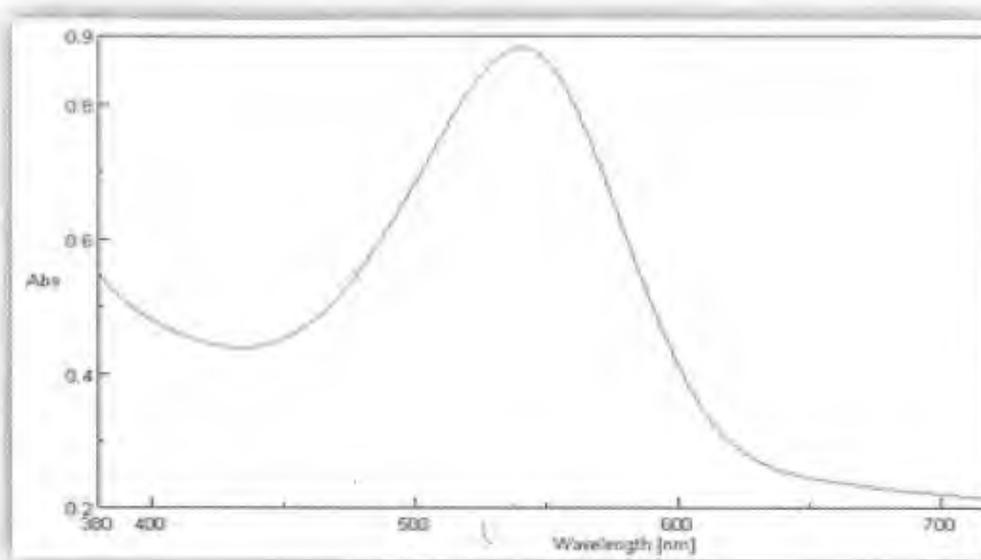


Figura A 90. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 57 días a 25 °C, lote 3.

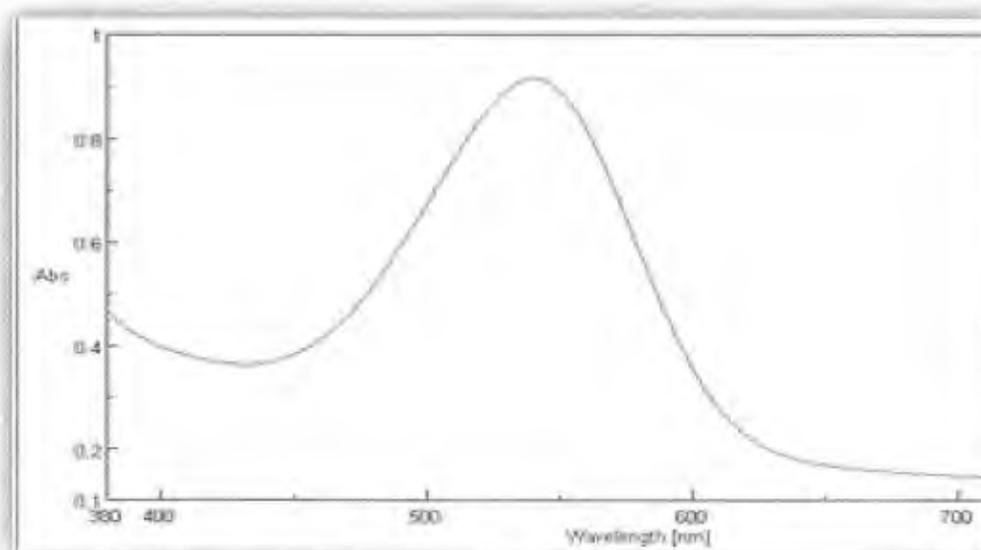


Figura A 91. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 120 días a 25 °C, lote 1.

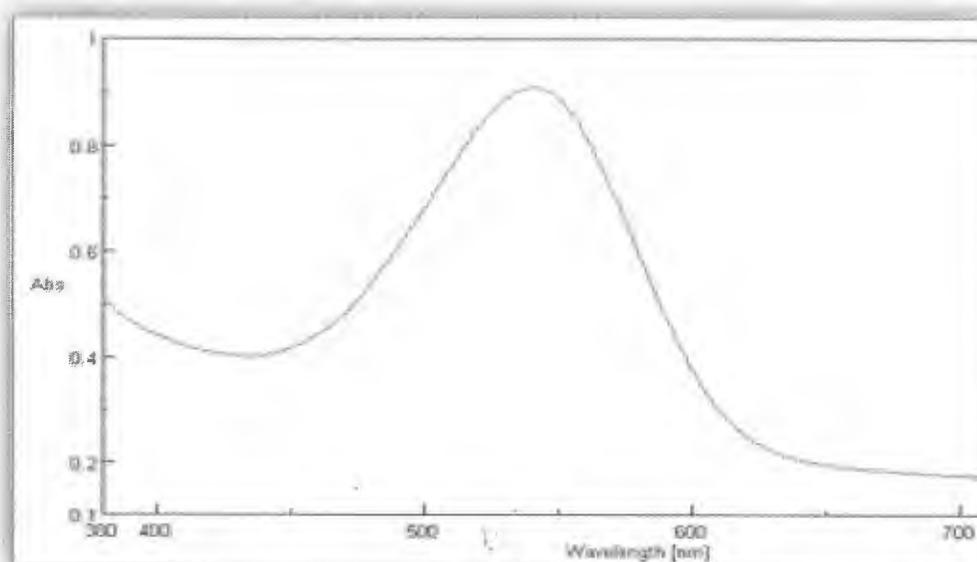


Figura A 92. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 120 días a 25 °C, lote 2.

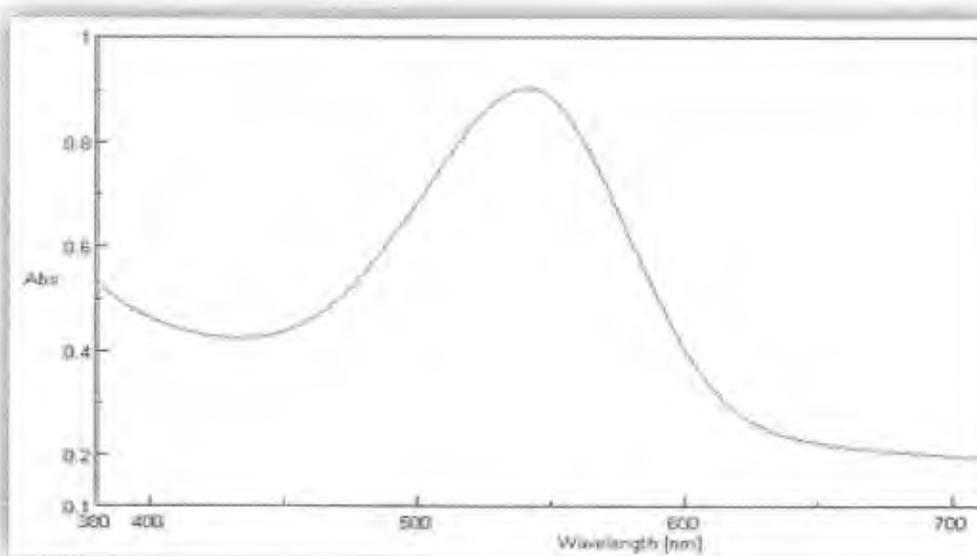


Figura A 93. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 120 días a 25 °C, lote 3.

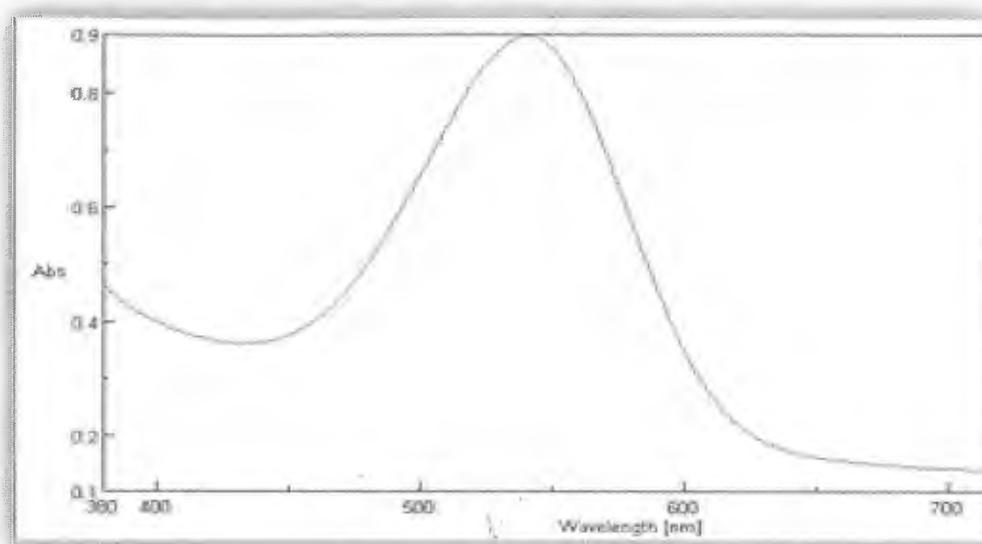


Figura A 94. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 183 días a 25 °C, lote 1.

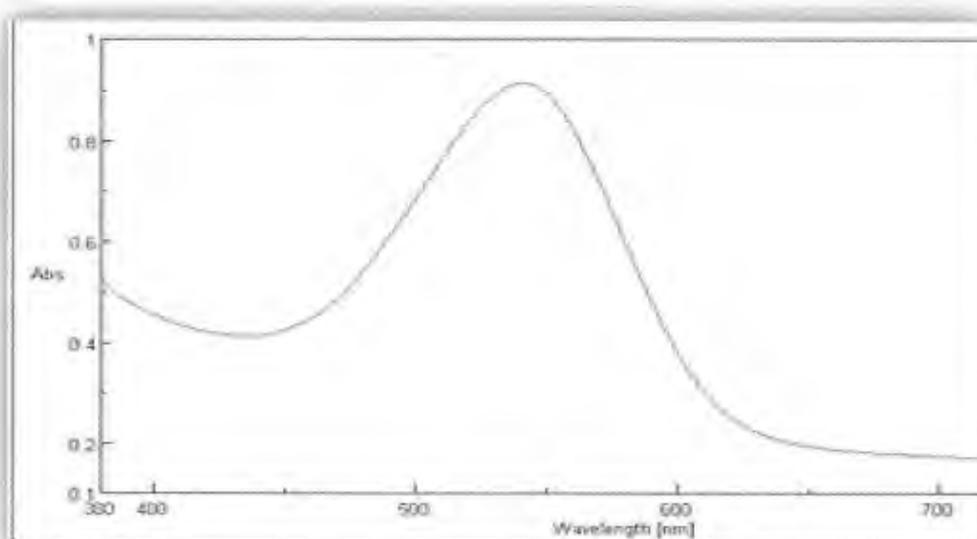


Figura A 95. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 183 días a 25 °C, lote 2.

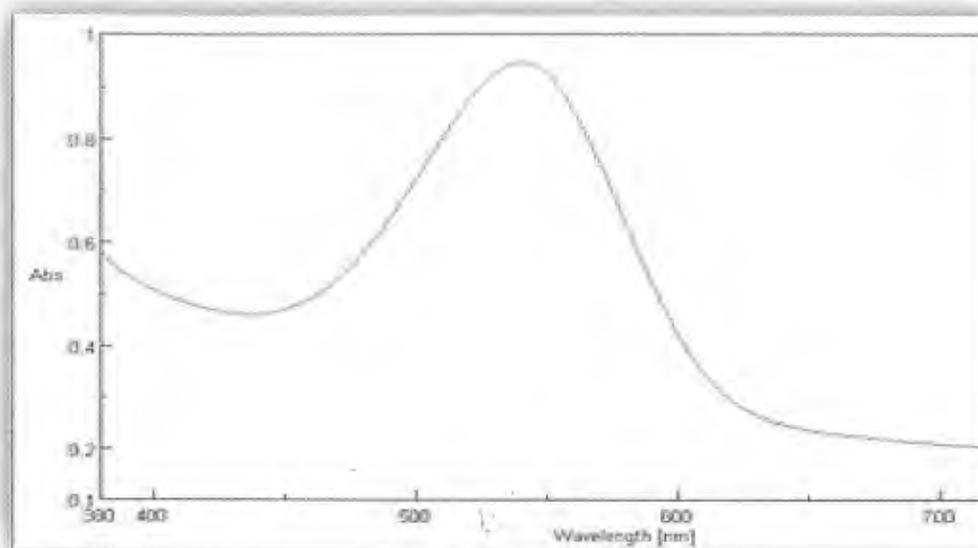


Figura A 96. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 183 días a 25 °C, lote 3.

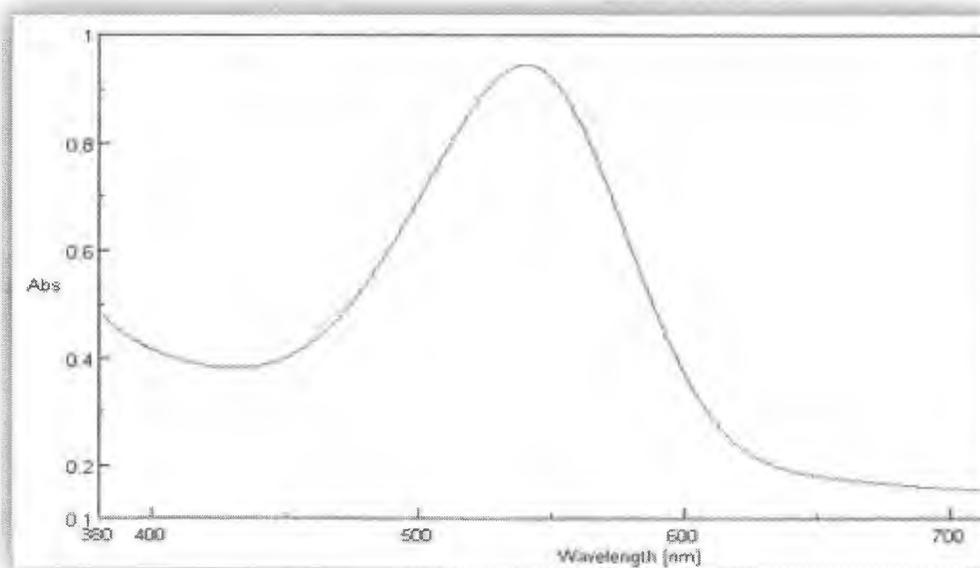


Figura A 97. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 248 días a 25 °C, lote 1.

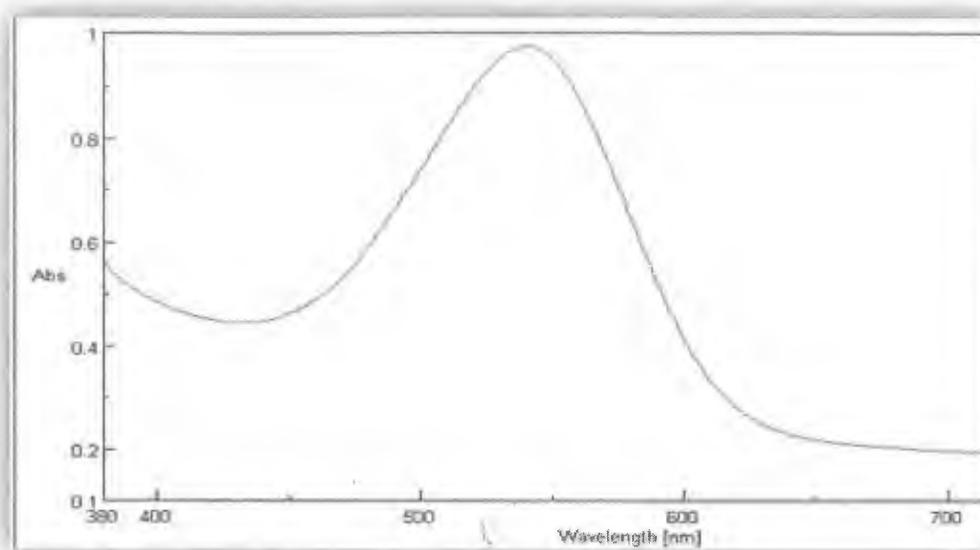


Figura A 98. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 248 días a 25 °C, lote 2.

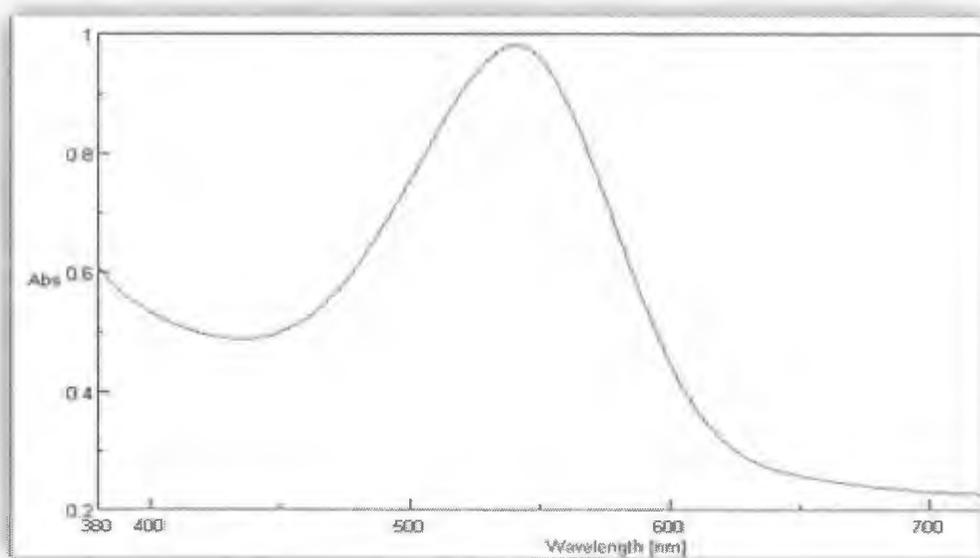


Figura A 99. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 248 días a 25 °C, lote 3.

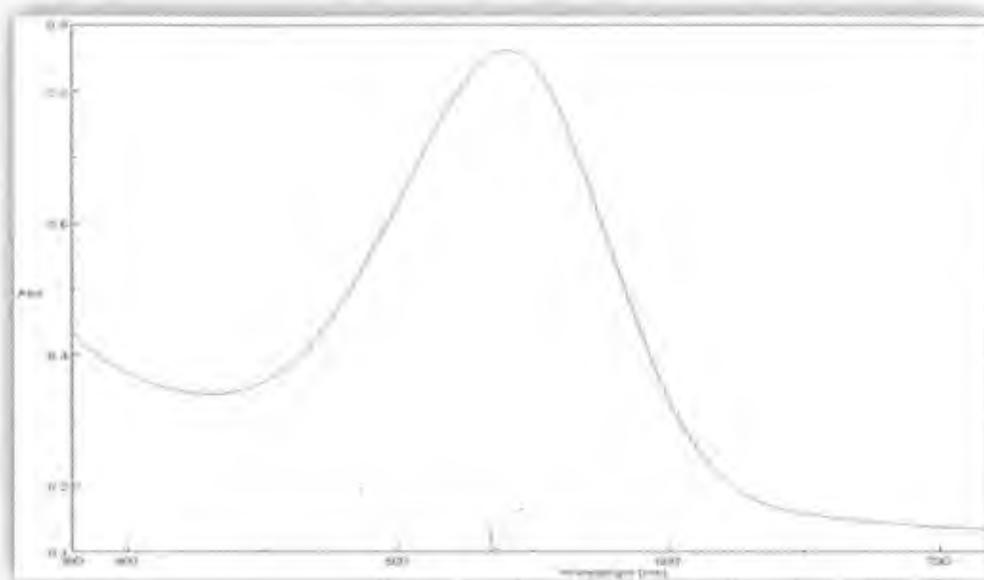


Figura A 100. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 304 días a 25 °C, lote 1.

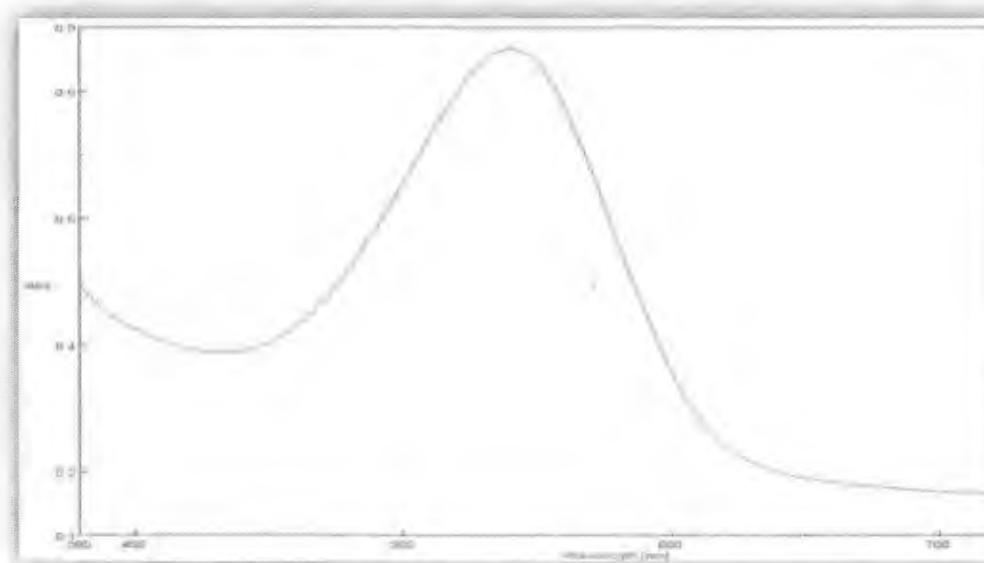


Figura A 101. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 304 días a 25 °C, lote 2.

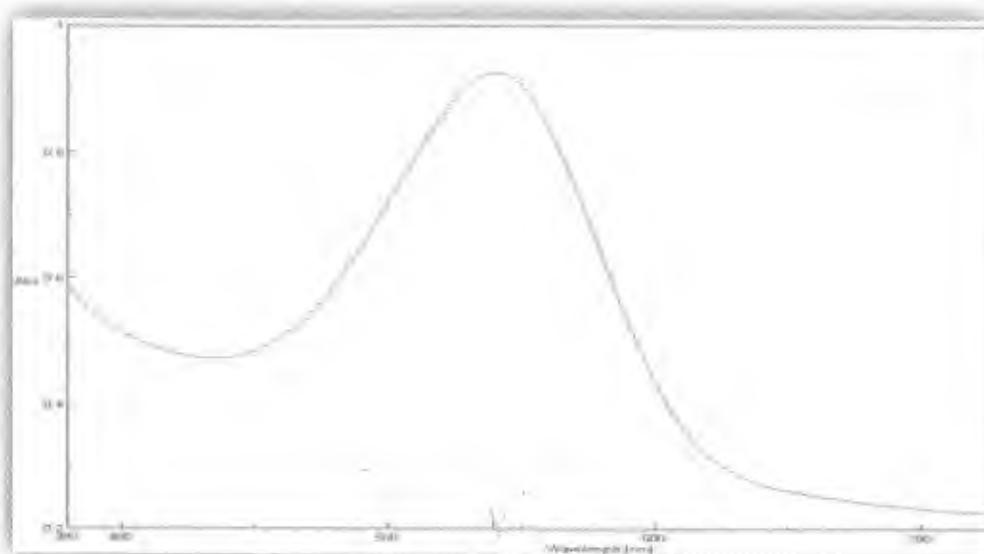


Figura A 102. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 304 días a 25 °C, lote 3.

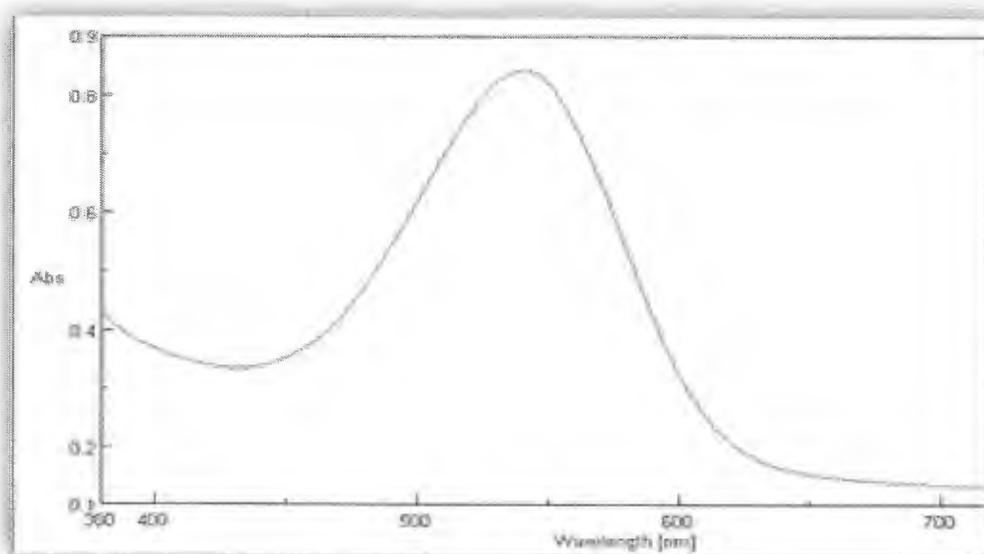


Figura A 103. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 57 días a 37 °C, lote 1.

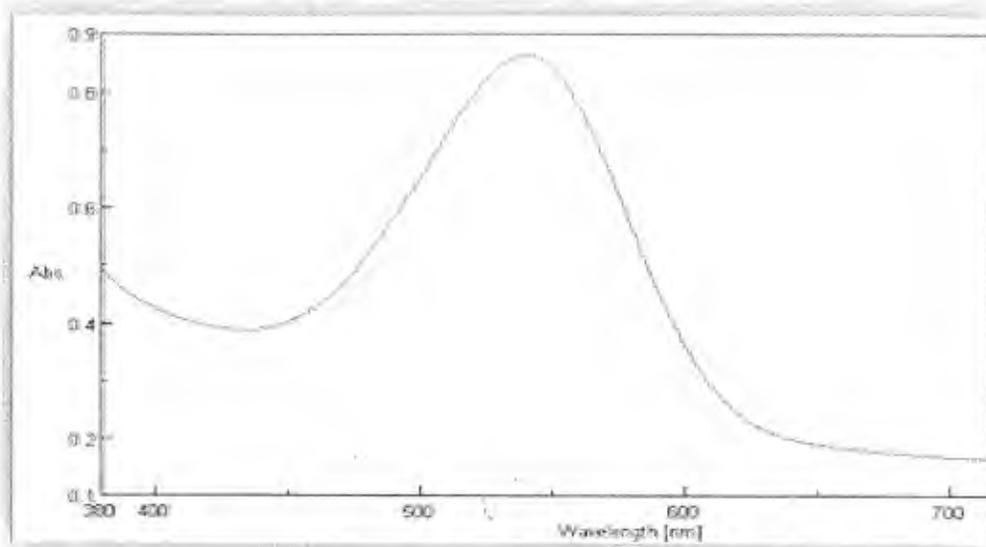


Figura A 104. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 57 días a 37 °C, lote 2.

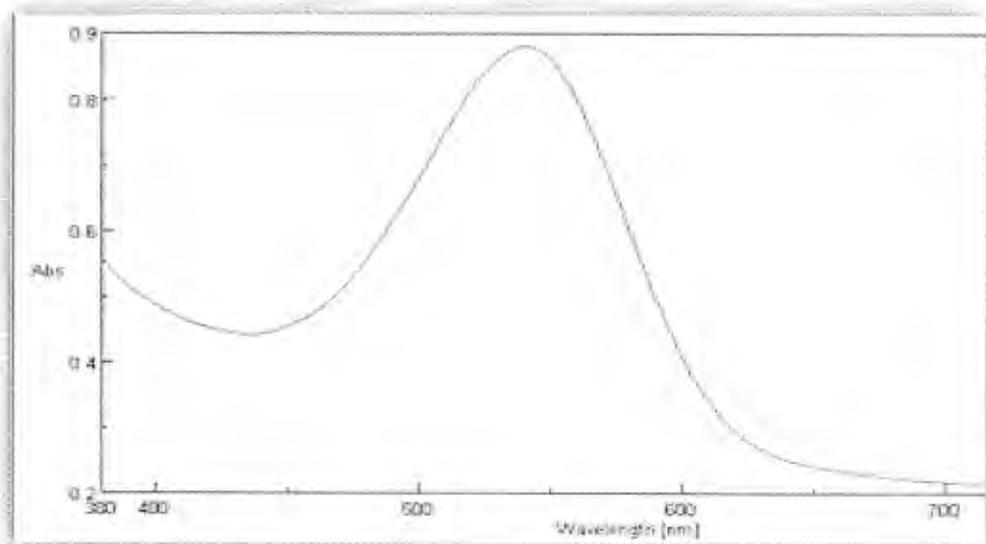


Figura A 105. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 57 días a 37 °C, lote 3.

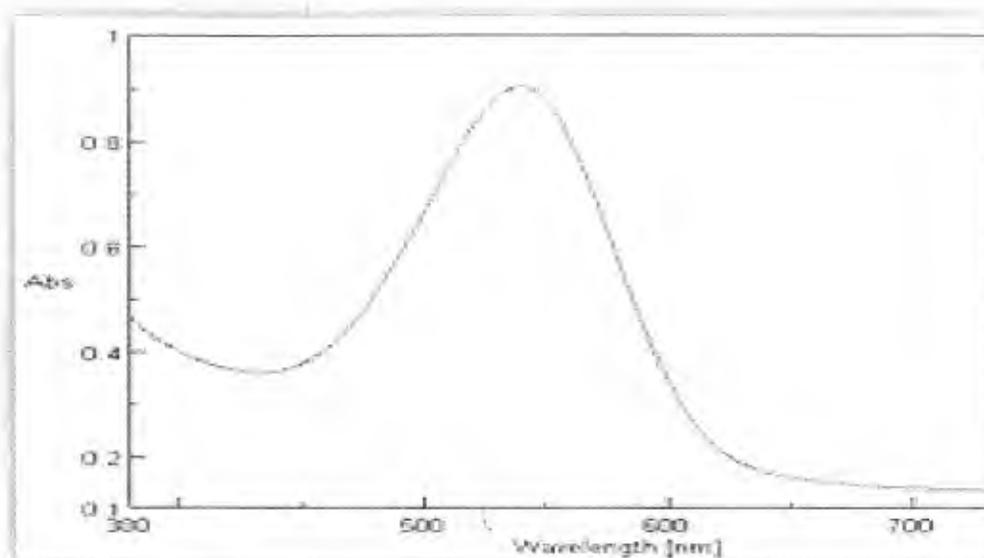


Figura A 106. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 120 días a 37 °C, lote 1.

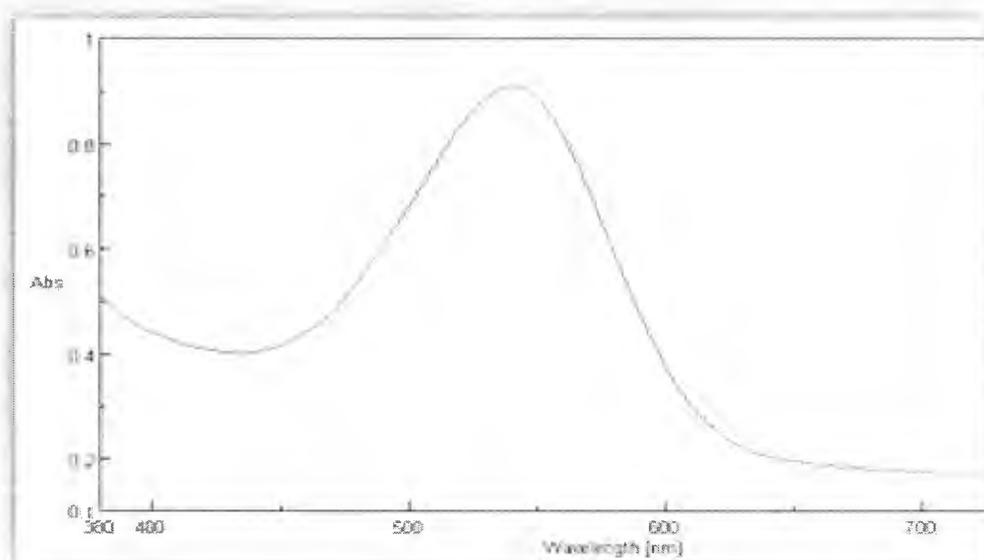


Figura A 107. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 120 días a 37 °C, lote 2.

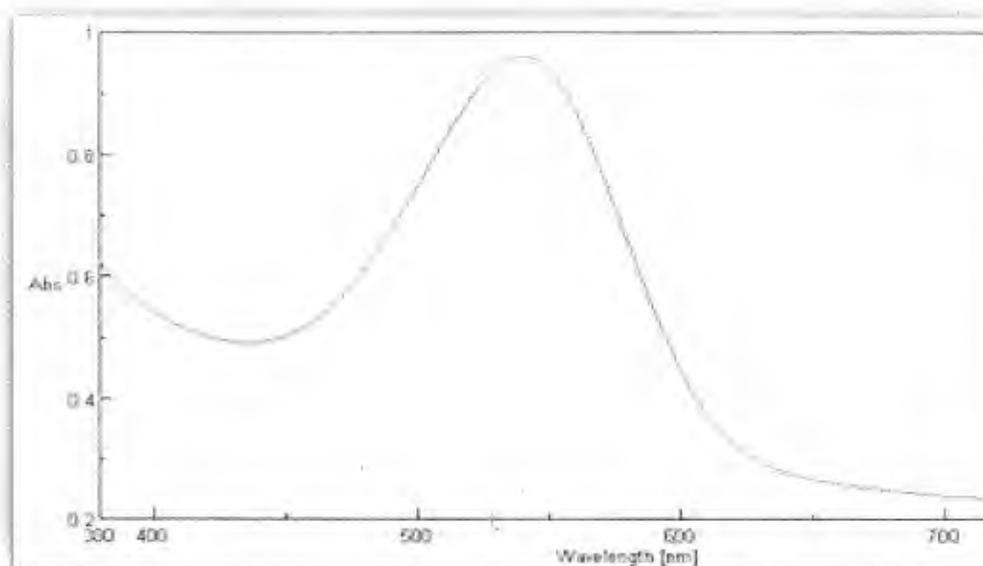


Figura A 108. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 120 días a 37 °C, lote 3.

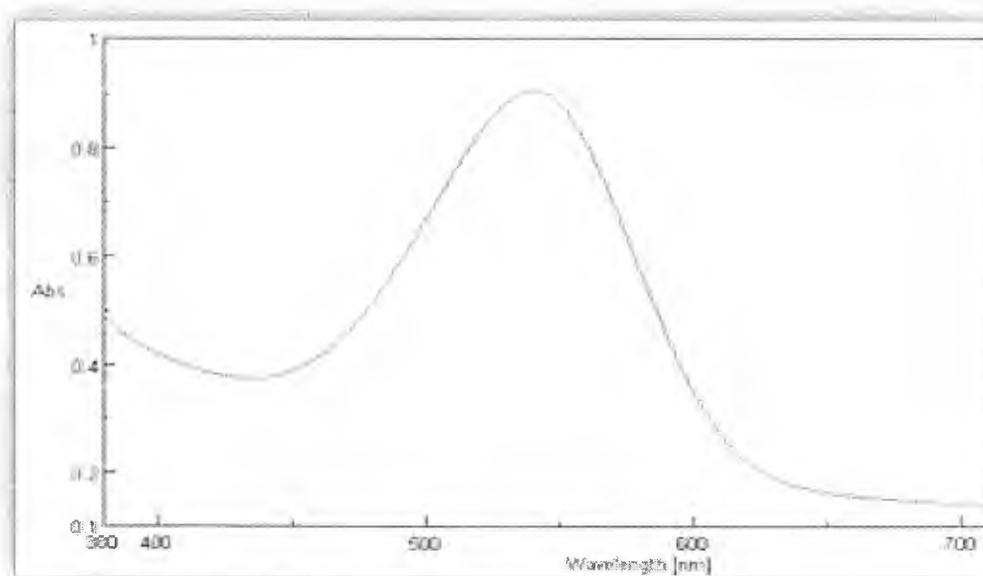


Figura A 109. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 183 días a 37 °C, lote 1.

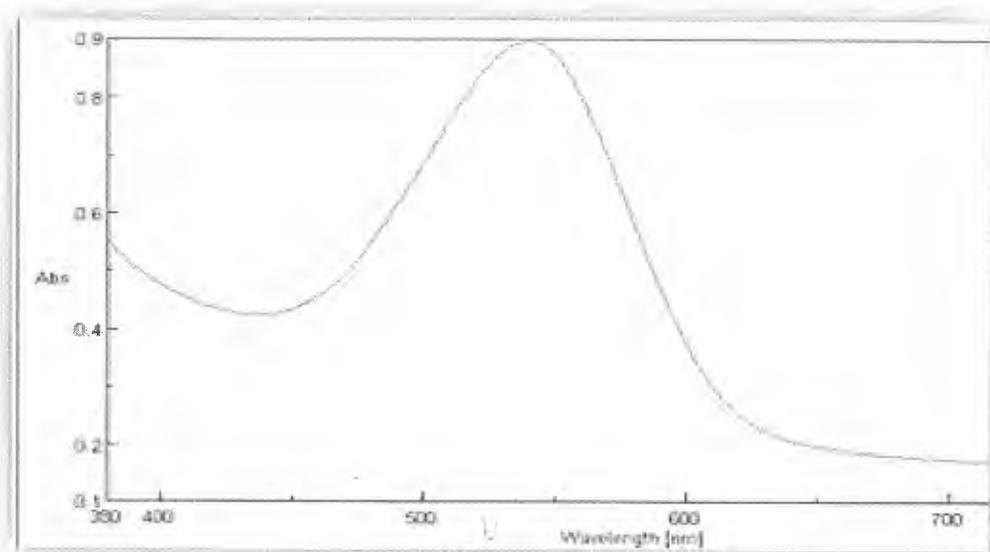


Figura A 110. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 183 días a 37 °C, lote 2.

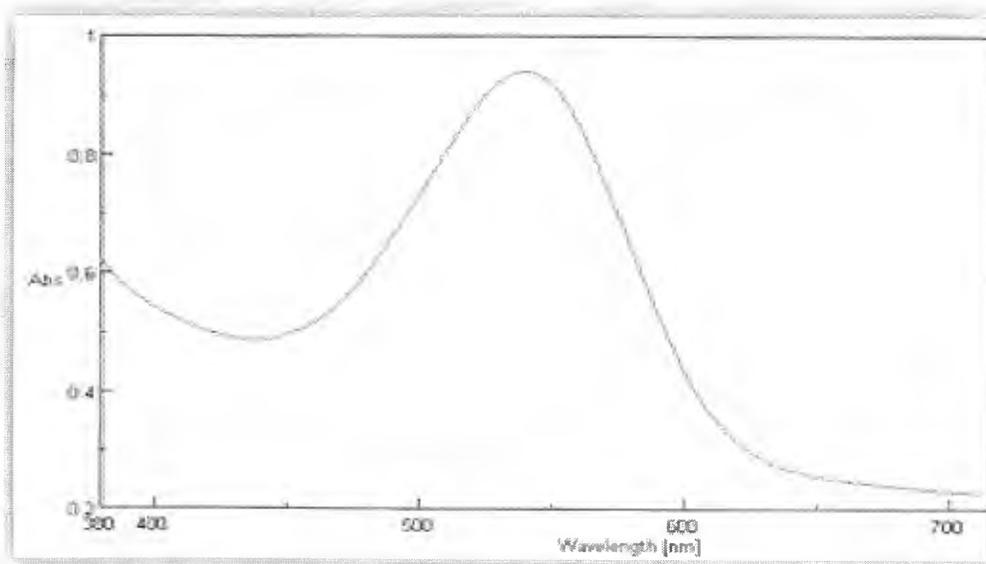


Figura A 111. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 183 días a 37 °C, lote 3.

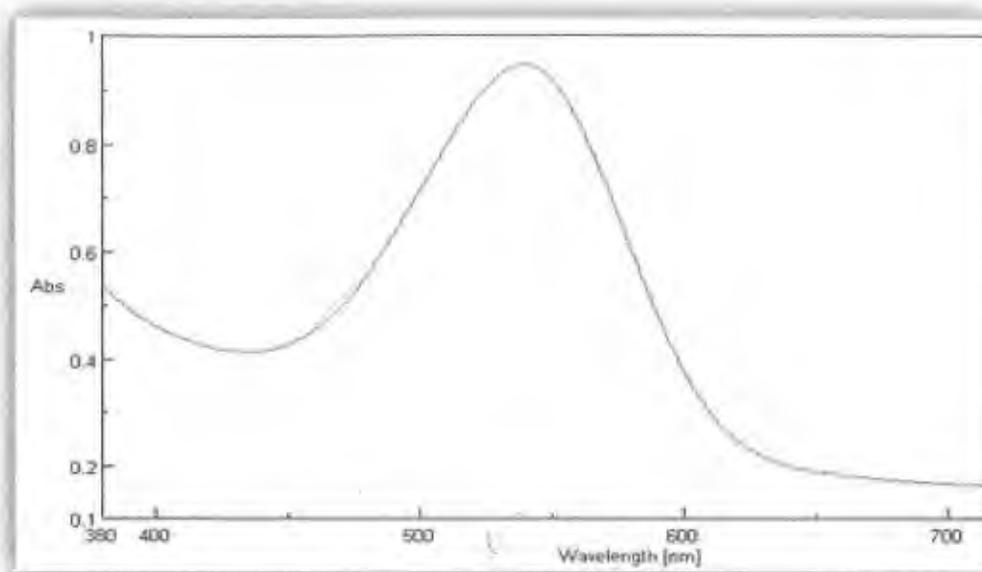


Figura A 112. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 248 días a 37 °C, lote 1.

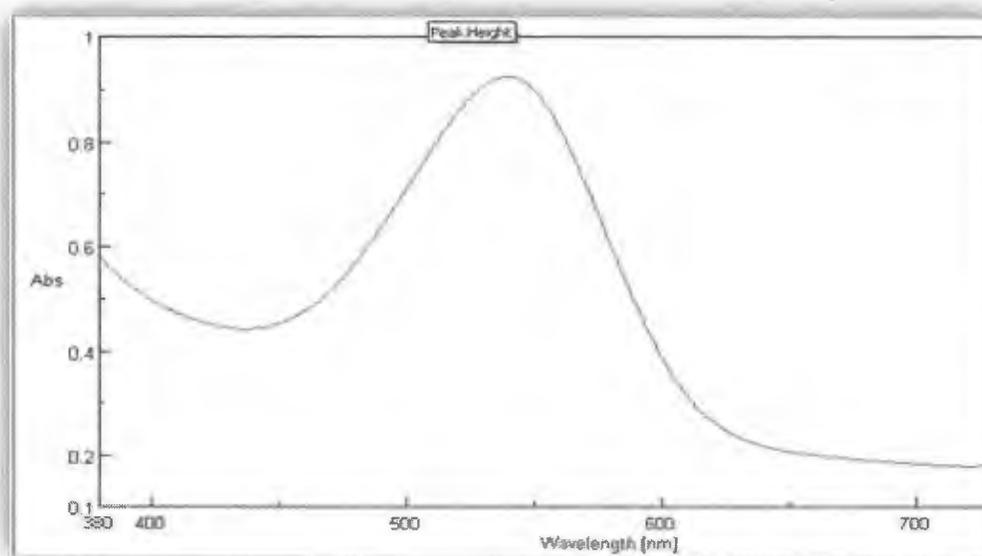


Figura A 113. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 248 días a 37 °C, lote 2.

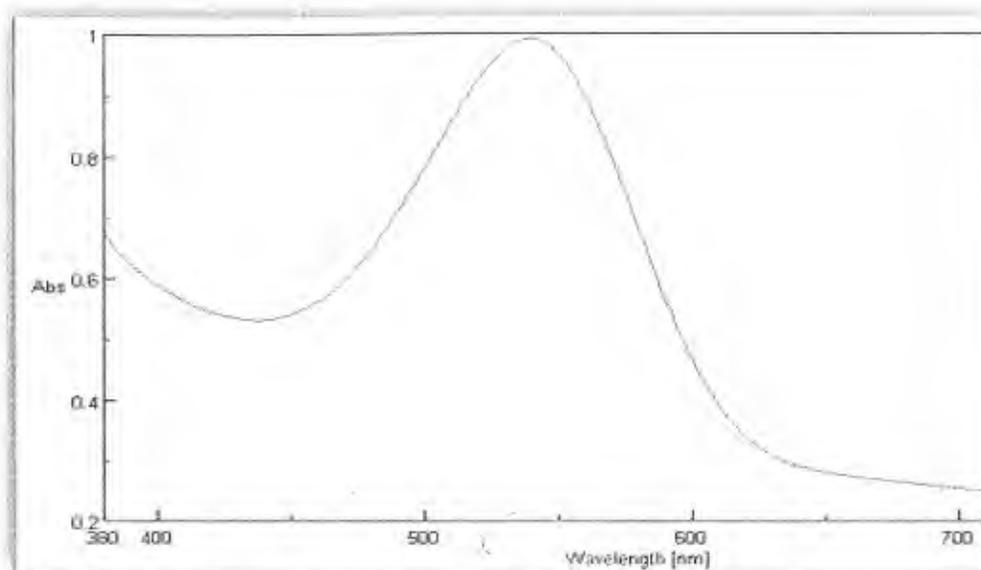


Figura A 114. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 248 días a 37 °C, lote 3.

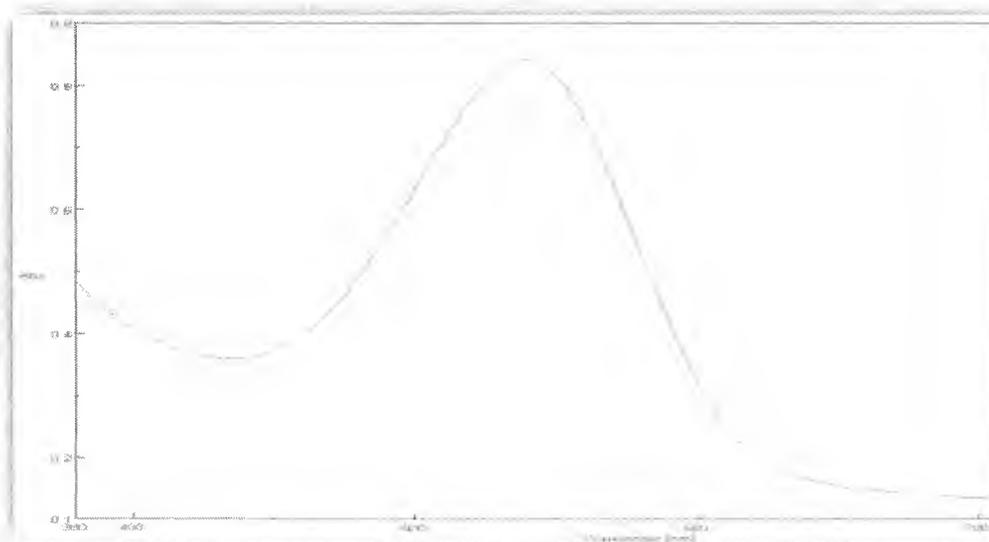


Figura A 115. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 304 días a 37 °C, lote 1.

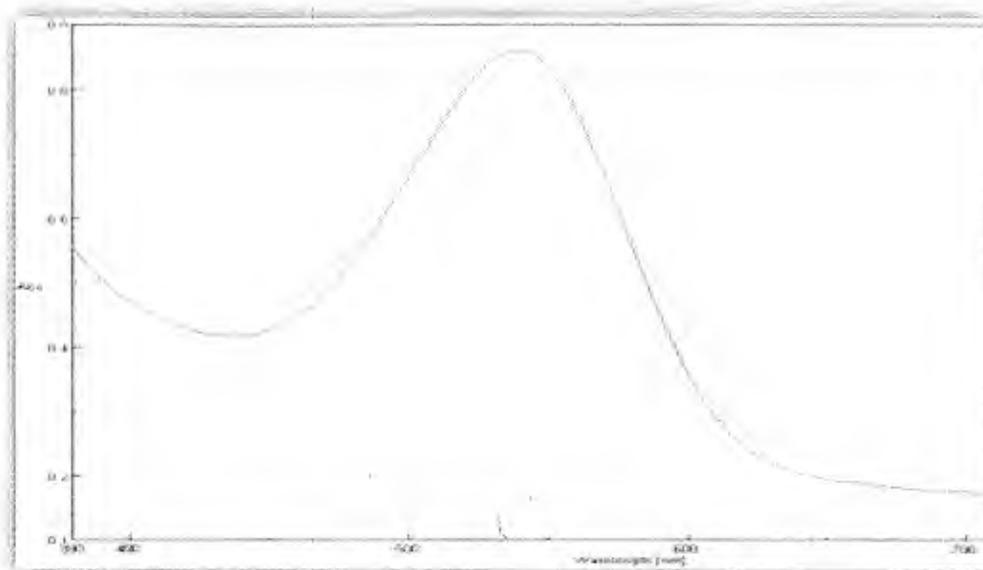


Figura A 116. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 304 días a 37 °C, lote 2.

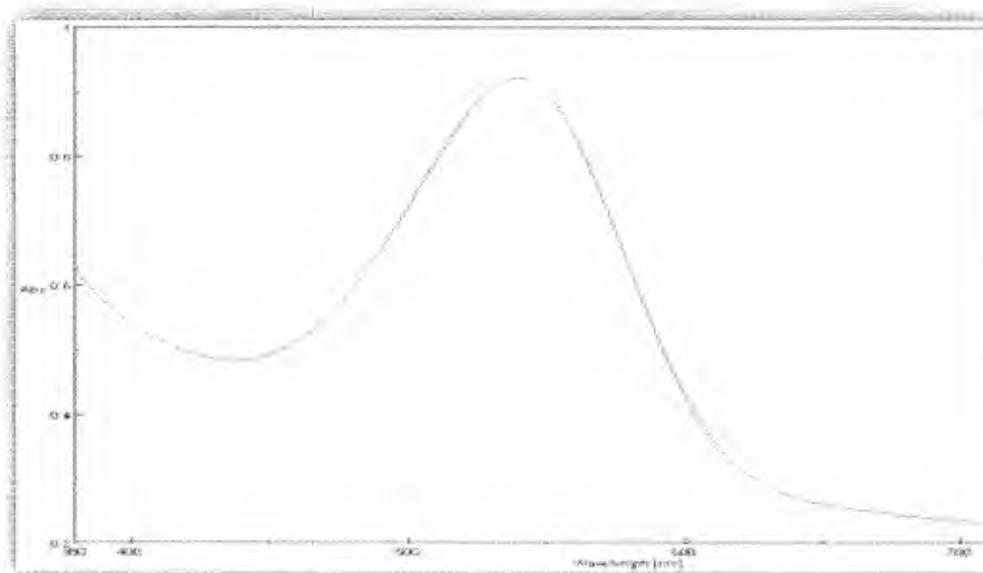


Figura A 117. Espectro de absorción del concentrado de pitaya almacenado durante 304 días a 37 °C, lote 3.

Resultados obtenidos para el análisis de la estabilidad de la pulpa de pitaya con la adición de agentes copigmentantes

Cuadro A 20. Contenido de betalaínas de la pulpa de pitaya con agentes copigmentantes almacenado a 25°C, según tiempo de almacenamiento.

Tiempo (días)	Lote	Control	Acido Cafeico	Acido ferúlico
0	1	69,3 ± 0,1	67,1 ± 0,8	68 ± 3
0	2	63 ± 1	63,7 ± 0,6	64 ± 3
0	3	70 ± 2	70 ± 2	70 ± 2
2	1	48,3 ± 0,1	49 ± 1	47,7 ± 0,5
2	2	40 ± 1	40 ± 1	38 ± 4
2	3	27,9 ± 0,9	33 ± 1	30 ± 1
4	1	39 ± 1	40,2 ± 0,6	37,8 ± 0,9
4	2	30,3 ± 0,7	32 ± 1	28,8 ± 0,4
4	3	19,1 ± 0,2	27 ± 0,4	20,8 ± 0,1
7	1	24,7 ± 0,3	27 ± 2	24,7 ± 0,5
7	2	17 ± 0,3	23,3 ± 0,9	18 ± 1
7	3	13,7 ± 0,6	19,9 ± 0,4	15,6 ± 0,3
9	1	19,61 ± 0,03	24,6 ± 0,7	16,53 ± 0,08
9	2	14,11 ± 0,02	18,8 ± 0,3	14,33 ± 0,03
9	3	9,68 ± 0,07	16,87 ± 0,09	13,1 ± 0,1
11	1	14,1 ± 0,2	20 ± 0,9	14 ± 1
11	2	9,63 ± 0,05	14,9 ± 0,6	10,2 ± 0,05
11	3	7,88 ± 0,08	14,7 ± 0,9	8,78 ± 0,03

Cuadro A 21. Efecto de los factores tiempo, presencia de ácidos orgánicos y la interacción tiempo*ácidos sobre la concentración de betalaínas presentes en la pulpa de pitaya de pitaya.

Variable	Efecto	Grados de libertad	Valor de F	Prob > F1 ⁵
Concentración de betalaínas (mg/L)	Tiempo	1	230,7220	<0,0001*
	Acido Orgánico	2	1,1276	0,3326
	Tiempo* ácido	2	0,3489	0,7073

⁵ Probabilidad mayor que 0,05 indica que no existen diferencias significativas en los factores analizados.

Cuadro A 22. Variables de color: a*, b*, C*, L* y h° para la pulpa de pitaya control, según tiempo de almacenamiento.

Tiempo (días)	Lote	a*	b*	L*	C*	h°
0	1	58,56 ± 0,08	20,5 ± 0,4	23,36 ± 0,04	62 ± 0,1	19,3 ± 0,3
0	2	58,9 ± 0,1	31,6 ± 0,6	25,04 ± 0,09	66,9 ± 0,3	28,2 ± 0,4
0	3	58,1 ± 0,1	30,8 ± 0,4	24,07 ± 0,05	65,7 ± 0,2	27,9 ± 0,3
2	1	59,08 ± 0,02	40,6 ± 0,2	26,31 ± 0,06	71,7 ± 0,1	34,5 ± 0,1
2	2	60,67 ± 0,04	46,9 ± 0,2	28,43 ± 0,01	76,7 ± 0,1	37,7 ± 0,1
2	3	60,15 ± 0,05	50,8 ± 0,2	30,26 ± 0,06	78,7 ± 0,2	40,2 ± 0,1
4	1	60,69 ± 0,03	46,6 ± 0,2	29,02 ± 0,05	76,5 ± 0,1	37,5 ± 0,1
4	2	62,29 ± 0,05	52,1 ± 0,1	31,02 ± 0,03	81,22 ± 0,09	39,92 ± 0,05
4	3	60,63 ± 0,06	56,6 ± 0,1	33,75 ± 0,24	82,95 ± 0,09	43,04 ± 0,05
7	1	61,17 ± 0,04	53,58 ± 0,09	32,46 ± 0,06	81,32 ± 0,09	41,21 ± 0,03
7	2	61,94 ± 0,02	59,1 ± 0,3	35,22 ± 0,01	85,6 ± 0,2	43,7 ± 0,2
7	3	58,17 ± 0,03	63,7 ± 0,1	37,89 ± 0,01	86,22 ± 0,07	47,58 ± 0,07
9	1	61,4 ± 0,06	56,91 ± 0,08	35,49 ± 0,02	83,72 ± 0,05	42,83 ± 0,06
9	2	61,14 ± 0,05	63,2 ± 0,3	38,52 ± 0,03	87,9 ± 0,2	45,9 ± 0,2
9	3	56,59 ± 0,08	65,8 ± 0,2	40,13 ± 0,05	86,8 ± 0,1	49,3 ± 0,1
11	1	60,74 ± 0,06	63,7 ± 0,2	39,15 ± 0,01	88 ± 0,1	46,4 ± 0,1
11	2	58,78 ± 0,05	67,4 ± 0,2	41,47 ± 0,07	89,4 ± 0,2	48,9 ± 0,1
11	3	56,59 ± 0,08	65,8 ± 0,2	40,13 ± 0,05	86,8 ± 0,1	49,3 ± 0,1

Cuadro A 23. Variables de color: a*, b*, C*, L* y h° para la pulpa de pitaya con ácido cafeico, según tiempo de almacenamiento.

Tiempo (días)	Lote	a*	b*	L*	C*	h°
0	1	57,7 ± 0,1	23,26 ± 0,09	23,47 ± 0,06	62,2 ± 0,1	21,94 ± 0,04
0	2	58,5 ± 0,1	33,0 ± 0,1	24,69 ± 0,09	67,1 ± 0,2	29,4 ± 0,1
0	3	57,6 ± 0,04	30,4 ± 0,1	23,66 ± 0,06	65,14 ± 0,08	27,83 ± 0,09
2	1	58,872 ± 0,003	39,6 ± 0,2	26,31 ± 0,01	71 ± 0,1	34 ± 0,1
2	2	60,17 ± 0,01	45,46 ± 0,04	28,14 ± 0,02	75,41 ± 0,02	37,07 ± 0,03
2	3	60,11 ± 0,06	48,2 ± 0,2	28,7 ± 0,03	77,06 ± 0,09	38,7 ± 0,1
4	1	60,82 ± 0,01	46,5 ± 0,2	28,35 ± 0,01	76,6 ± 0,1	37,4 ± 0,1
4	2	61,63 ± 0,02	50,4 ± 0,2	30,4 ± 0,05	79,63 ± 0,09	39,3 ± 0,1
4	3	60,6 ± 0,08	51,4 ± 0,1	30,83 ± 0,06	79,44 ± 0,07	40,28 ± 0,09
7	1	61,42 ± 0,04	51,38 ± 0,02	31,08 ± 0,03	80,08 ± 0,03	39,92 ± 0,02
7	2	61,67 ± 0,08	55 ± 0,1	33,13 ± 0,01	82,6 ± 0,2	41,71 ± 0,04
7	3	60,66 ± 0,04	55,6 ± 0,3	33,21 ± 0,02	82,3 ± 0,1	42,5 ± 0,1
9	1	61,85 ± 0,02	53,4 ± 0,2	32,94 ± 0,01	81,72 ± 0,08	40,81 ± 0,09
9	2	61,66 ± 0,02	57,6 ± 0,2	35,38 ± 0,02	84,4 ± 0,1	43,06 ± 0,08
9	3	59,737 ± 0,003	56,9 ± 0,1	35,04 ± 0,09	82,5 ± 0,1	43,61 ± 0,07
11	1	62,17 ± 0,05	58,4 ± 0,2	35,9 ± 0,03	85,3 ± 0,2	43,2 ± 0,1
11	2	60,88 ± 0,01	61 ± 0,1	37,75 ± 0,01	86,2 ± 0,1	45,06 ± 0,06
11	3	60,17 ± 0,07	61,9 ± 0,2	37,248 ± 0,003	86,3 ± 0,2	45,8 ± 0,1

Cuadro A 24. Variables de color: a*, b*, C*, L* y h° para la pulpa de pitaya con ácido ferúlico, según tiempo de almacenamiento.

Tiempo (días)	Lote	a*	b*	L*	C*	h°
0	1	58,22 ± 0,05	24,4 ± 0,1	23,4 ± 0,02	63,13 ± 0,01	22,7 ± 0,1
0	2	58,4 ± 0,1	32,4 ± 0,2	24,95 ± 0,05	66,8 ± 0,03	29 ± 0,2
0	3	58 ± 0,1	30,3 ± 0,3	24 ± 0,06	65,4 ± 0,07	27,6 ± 0,3
2	1	59,5 ± 0,1	41,7 ± 0,2	26,62 ± 0,02	72,65 ± 0,04	35 ± 0,2
2	2	60,77 ± 0,05	47,28 ± 0,07	28,822 ± 0,003	77 ± 0,08	37,88 ± 0,03
2	3	60,31 ± 0,05	50,6 ± 0,1	30,06 ± 0,04	78,7 ± 0,1	40 ± 0,08
4	1	61,1 ± 0,04	47,7 ± 0,3	28,98 ± 0,05	77,5 ± 0,1	38 ± 0,2
4	2	61,97 ± 0,03	52,2 ± 0,2	31,2 ± 0,05	81 ± 0,1	40,1 ± 0,1
4	3	61,09 ± 0,07	54,9 ± 0,1	32,58 ± 0,05	82,2 ± 0,1	41,96 ± 0,08
7	1	61,88 ± 0,02	54,2 ± 0,3	32,66 ± 0,04	82,3 ± 0,2	41,2 ± 0,2
7	2	61,66 ± 0,08	58,8 ± 0,1	35,06 ± 0,03	85,2 ± 0,03	43,6 ± 0,1
7	3	59,11 ± 0,02	59,8 ± 0,2	36,14 ± 0,01	84,1 ± 0,2	45,4 ± 0,1
9	1	61,61 ± 0,01	58,4 ± 0,3	35,66 ± 0,03	84,9 ± 0,2	43,5 ± 0,1
9	2	60,84 ± 0,01	62,4 ± 0,2	37,7 ± 0,02	87,2 ± 0,1	45,74 ± 0,09
9	3	58,13 ± 0,09	64 ± 0,2	38,87 ± 0,04	86,5 ± 0,1	47,76 ± 0,09
11	1	61,06 ± 0,06	62,88 ± 0,05	38,29 ± 0,03	87,65 ± 0,03	45,84 ± 0,05
11	2	58,51 ± 0,07	66,4 ± 0,2	40,82 ± 0,04	88,5 ± 0,2	48,6 ± 0,1
11	3	56,13 ± 0,04	67,7 ± 0,2	41,19 ± 0,02	88 ± 0,2	50,36 ± 0,09

Cuadro A 25. Efecto de los factores tiempo, presencia de ácidos orgánicos y la interacción tiempo*ácidos sobre los valores de a^* , b^* , L^* , C^* y h° para la pulpa almacenada por 11 días.

Variable	Factor	Grados de libertad	Valor de F	Prob \geq F1
a^*	Tiempo	1	2,9931	0,0903
	Ácidos	2	0,8904	0,4175
	Tiempo*ácidos	2	2,9324	0,0633
b^*	Tiempo	1	303,0326	<0,0001*
	Ácidos	2	2,7777	0,0726
	Tiempo*ácidos	2	1,3006	0,2822
L^*	Tiempo	1	1711,703	<0,0001*
	Ácidos	2	25,4802	<0,0001*
	Tiempo*ácidos	2	10,4969	0,0002*
C^*	Tiempo	1	288,8092	<0,0001*
	Ácidos	2	2,2580	0,1160
	Tiempo*ácidos	2	0,4335	0,6509
h°	Tiempo	1	227,0576	<0,0001*
	Ácidos	2	2,0053	0,1462
	Tiempo*ácidos	2	1,3707	0,2641

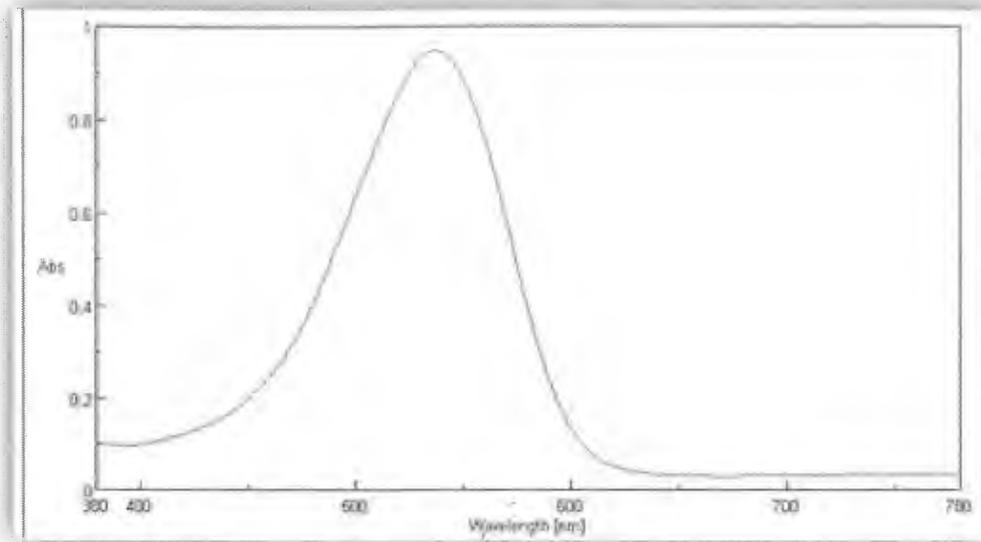


Figura A 118. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya control recién elaborada (tiempo 0 días), lote 1.

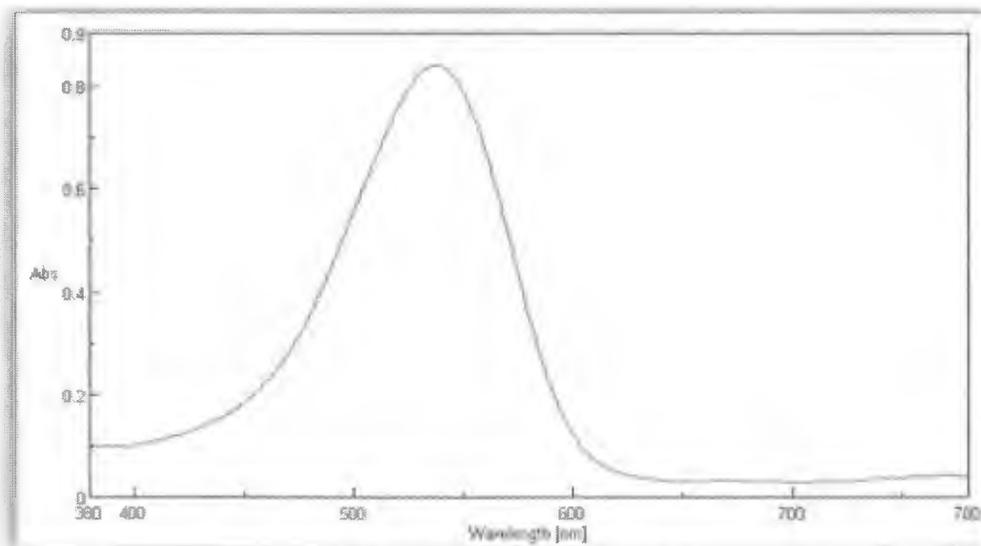


Figura A 119. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya control recién elaborada (tiempo 0 días), lote 2.

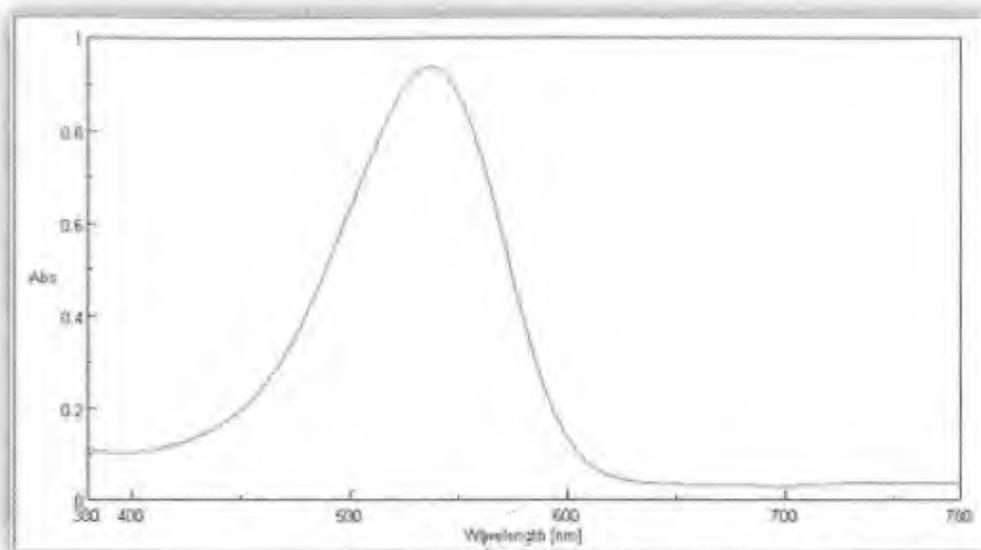


Figura A 120. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya control recién elaborada (tiempo 0 días), lote 3.

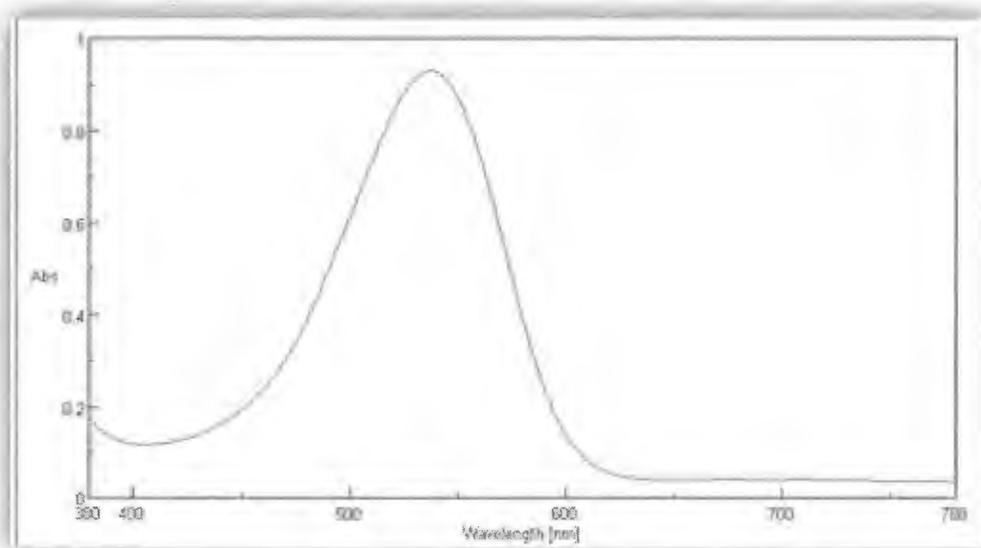


Figura A 121. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya con ácido cafeico recién elaborada (tiempo 0 días), lote 1.

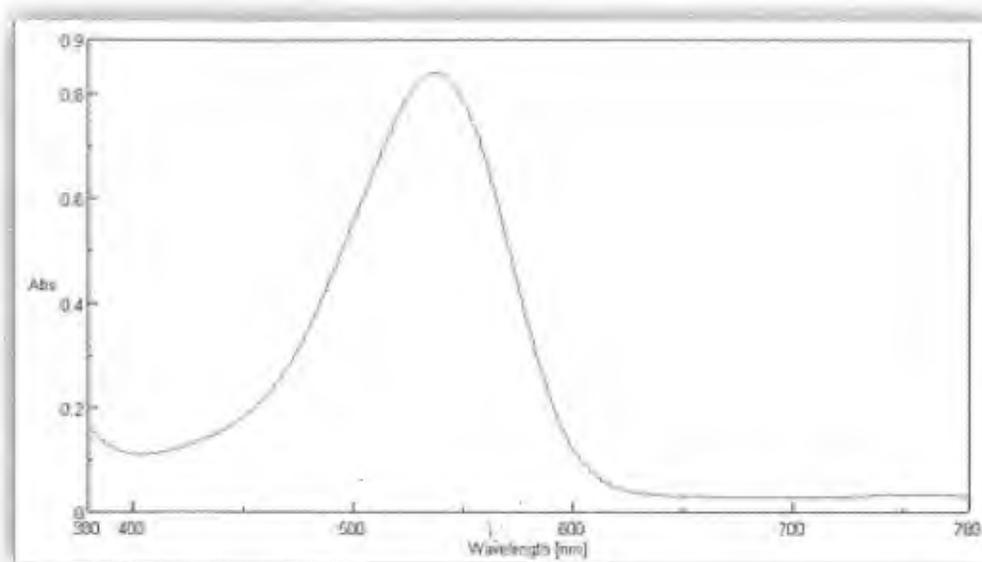


Figura A 122. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya con ácido cafeico recién elaborada (tiempo 0 días), lote 2.

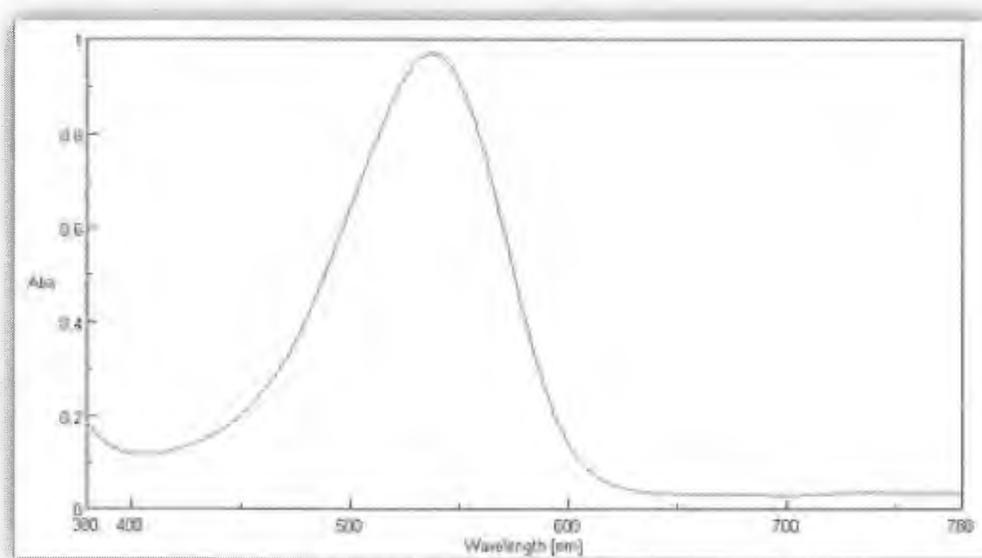


Figura A 123. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya con ácido cafeico recién elaborada (tiempo 0 días), lote 3.

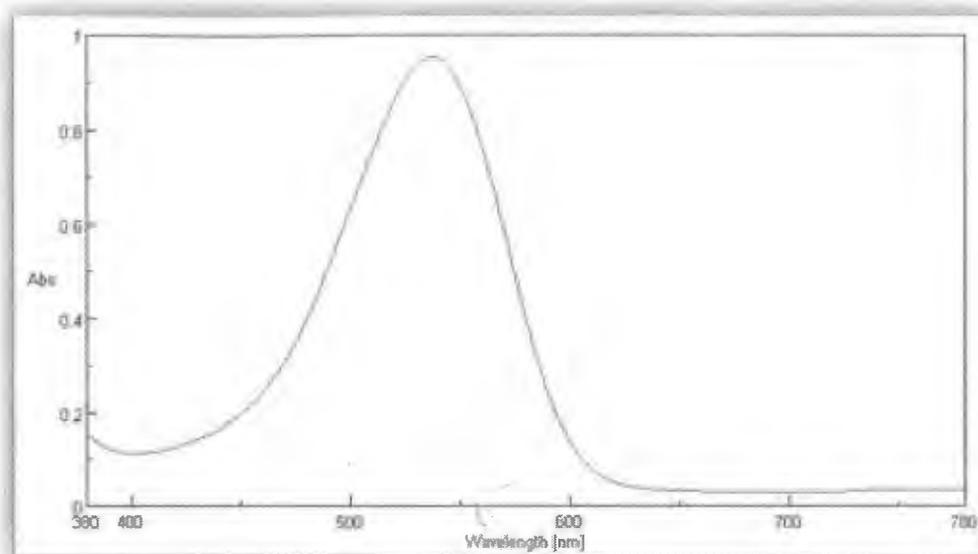


Figura A 124. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya con ácido ferúrico recién elaborada (tiempo 0 días), lote 1.

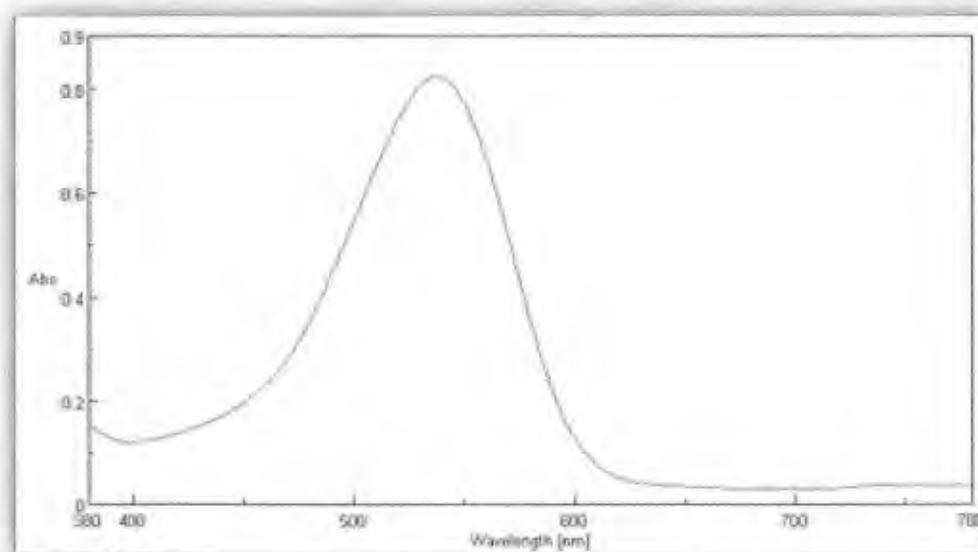


Figura A 125. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya con ácido ferúrico recién elaborada (tiempo 0 días), lote 2.

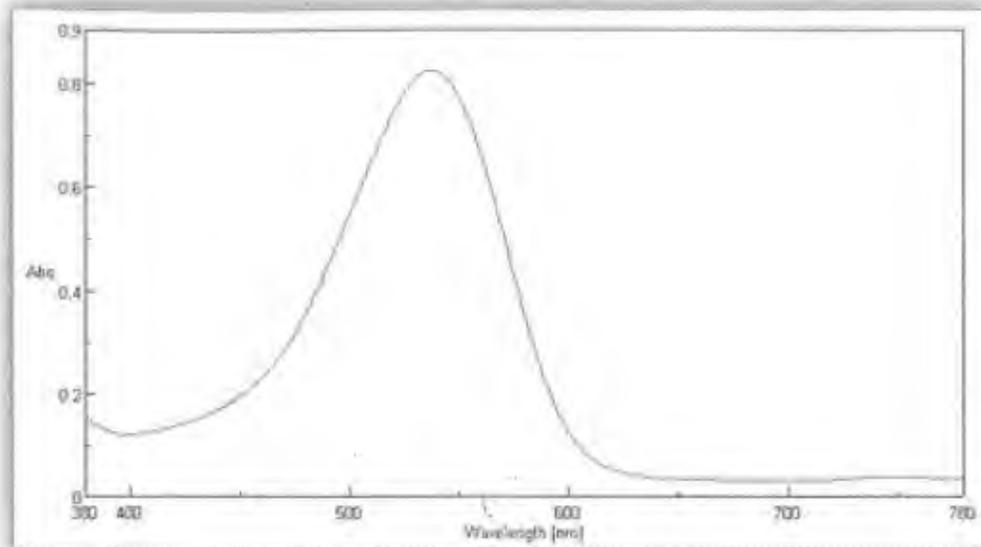


Figura A 126. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya con ácido ferúrico recién elaborada (tiempo 0 días), lote 3.

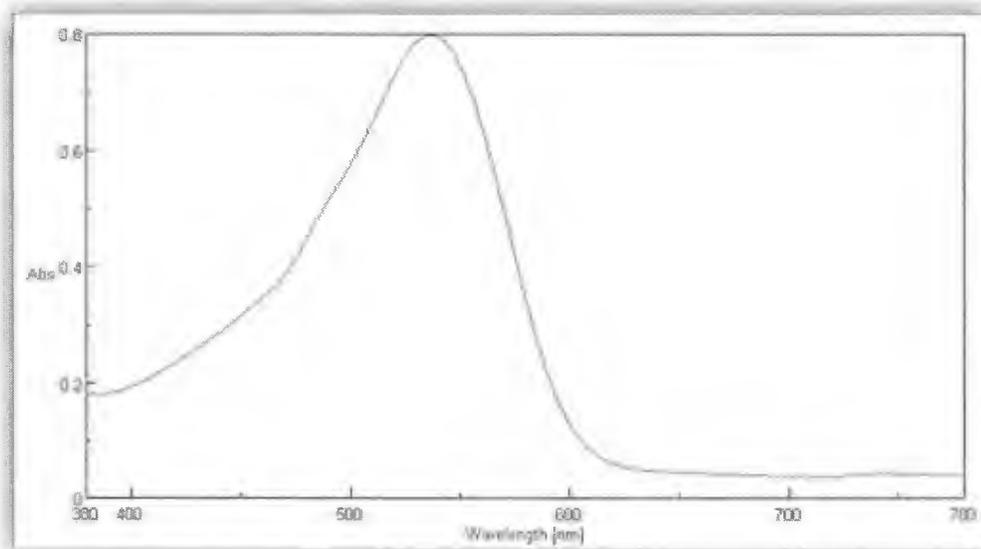


Figura A 127. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya control almacenada durante 2 días a 25 °C, lote 1.

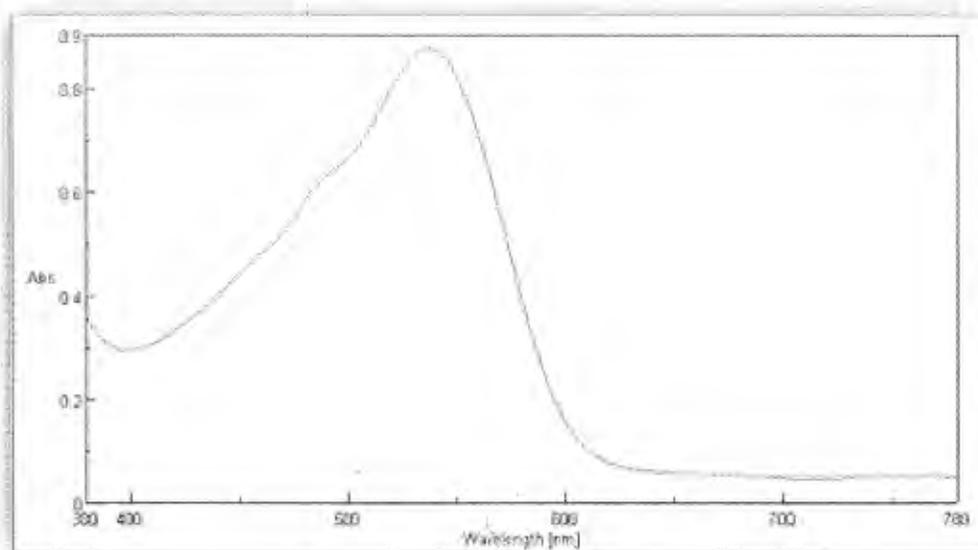


Figura A 128. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya control almacenada durante 2 días a 25 °C, lote 2.

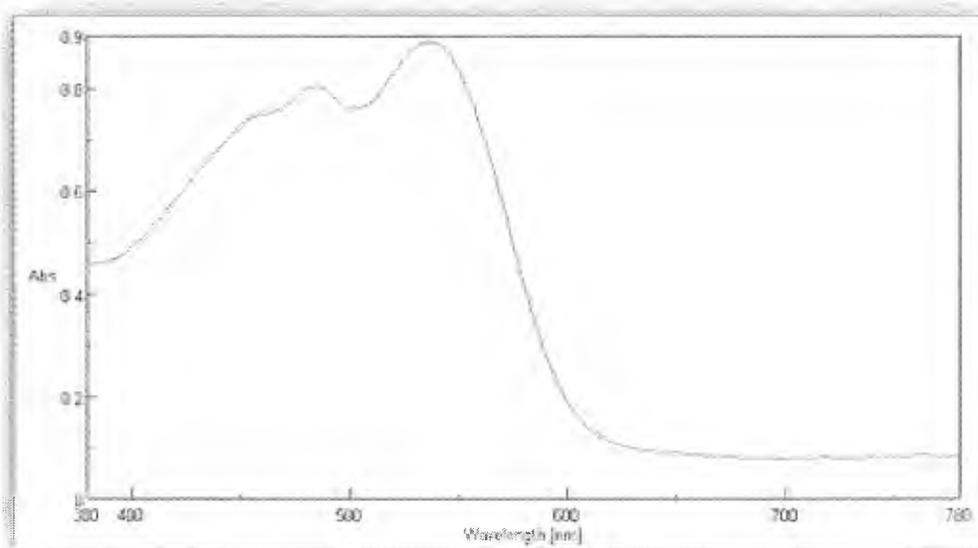


Figura A 129. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya control almacenada durante 2 días a 25 °C, lote 3.

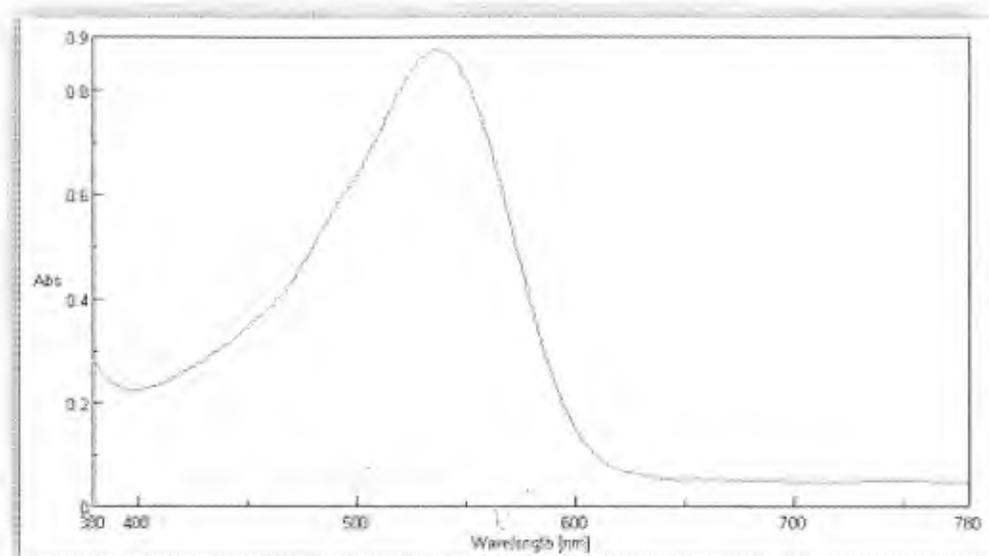


Figura A 130. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya con ácido cafeico almacenada durante 2 días a 25 °C, lote 1.

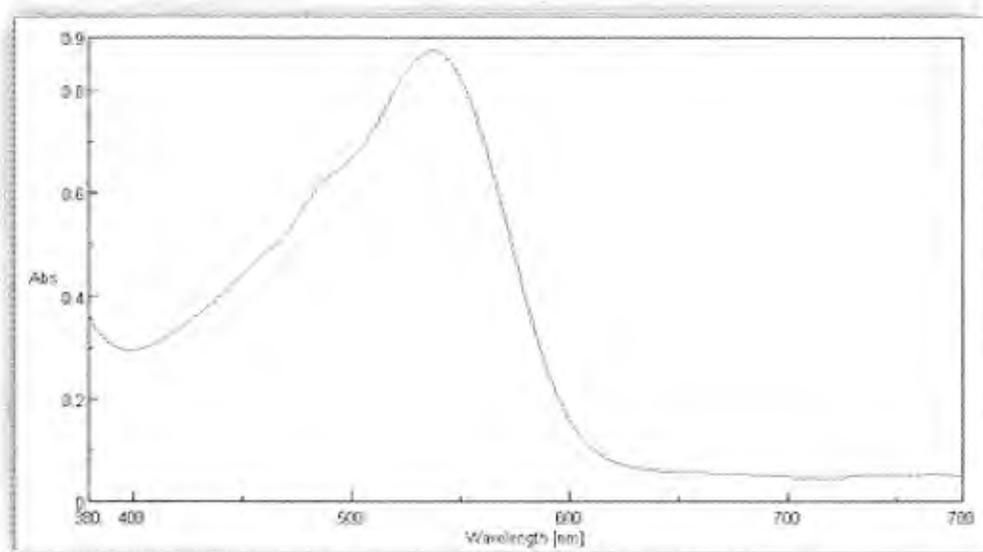


Figura A 131. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya con ácido cafeico almacenada durante 2 días a 25 °C, lote 2.

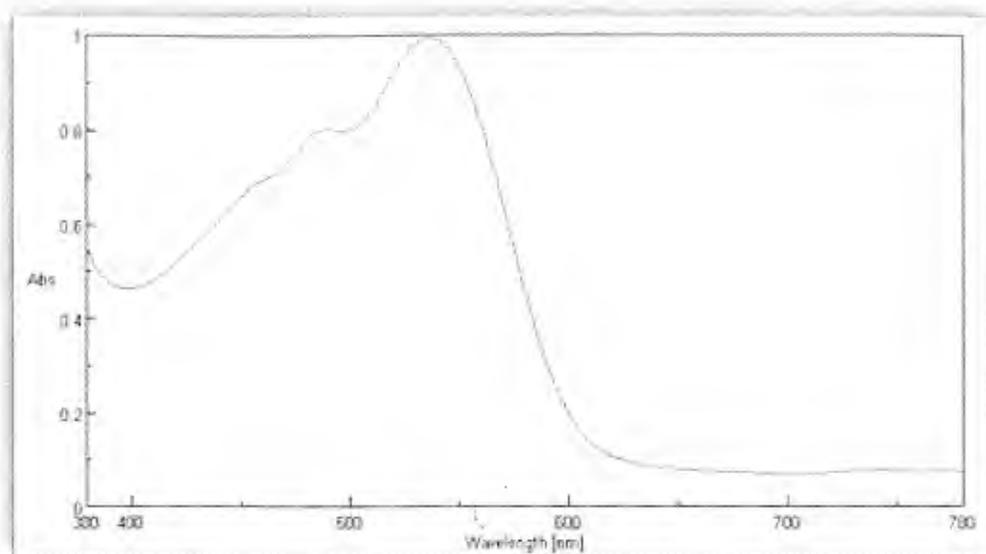


Figura A 132. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya con ácido cafeico almacenada durante 2 días a 25 °C, lote 3.

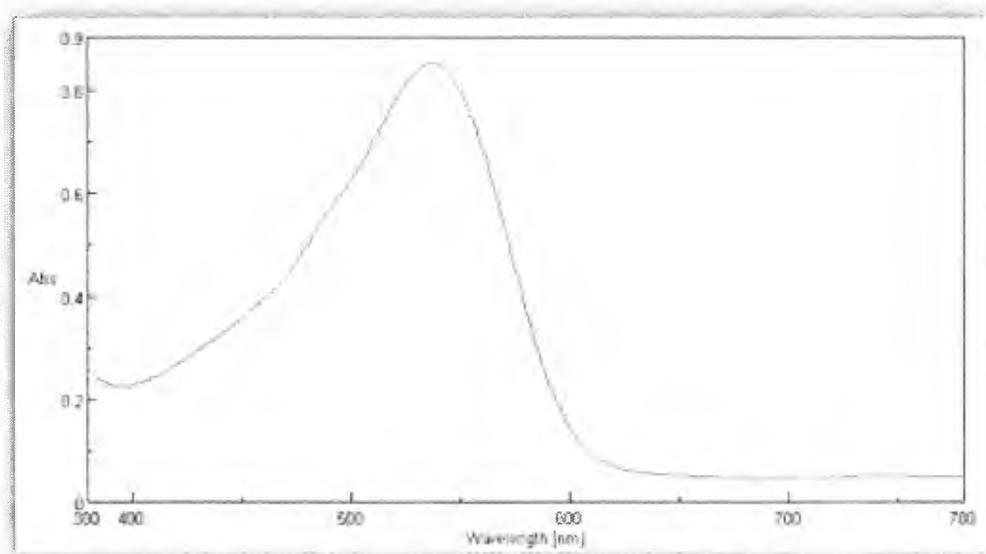


Figura A 133. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya con ácido ferúlico almacenada durante 2 días a 25 °C, lote 1.

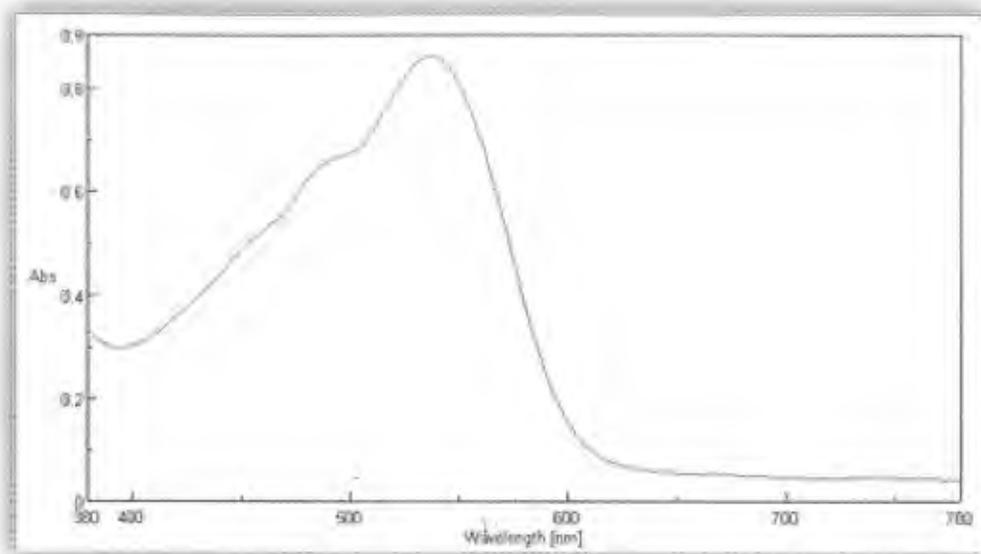


Figura A 134. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya con ácido ferúlico almacenada durante 2 días a 25 °C, lote 2.

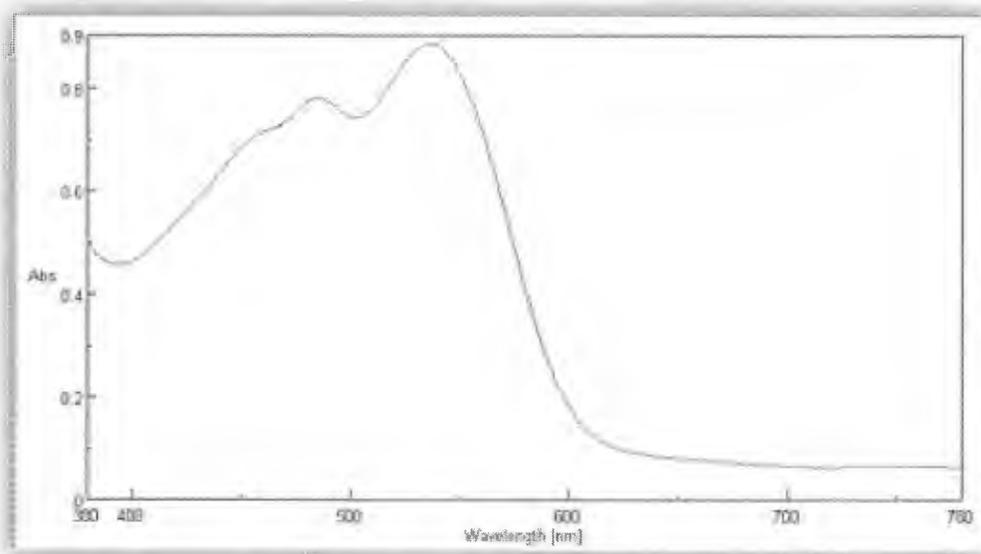


Figura A 135. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya con ácido ferúlico almacenada durante 2 días a 25 °C, lote 3.

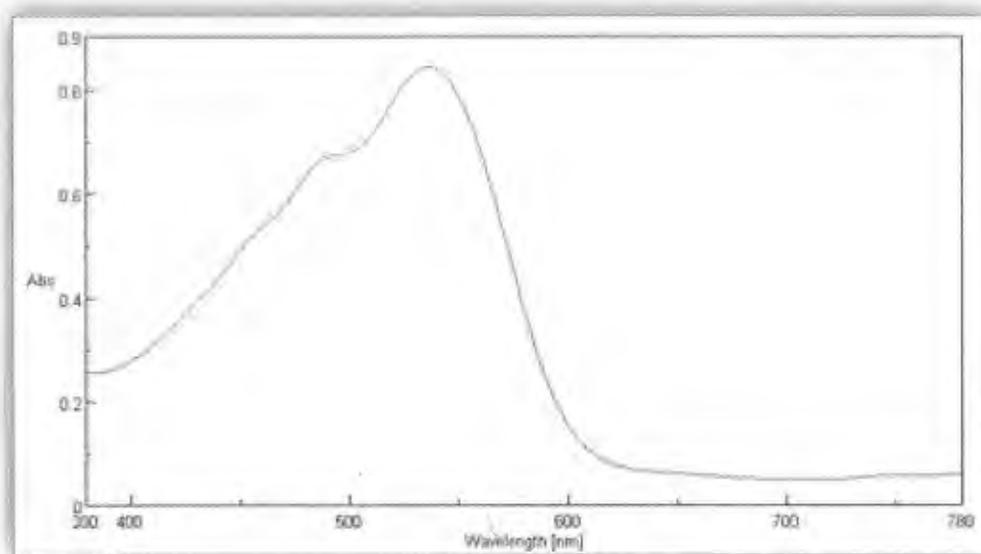


Figura A 136. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya control almacenada durante 4 días a 25 °C, lote 1.

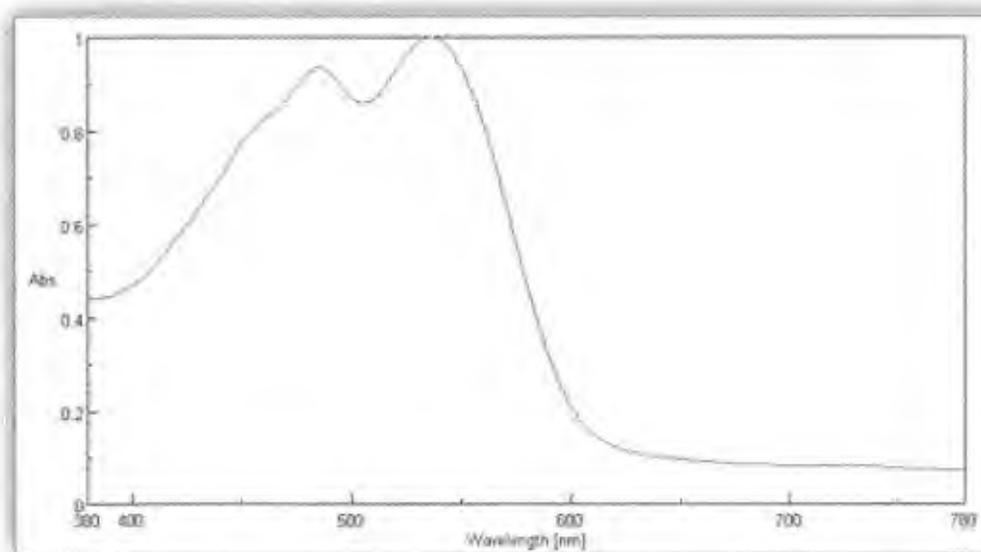


Figura A 137. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya control almacenada durante 4 días a 25 °C, lote 2.

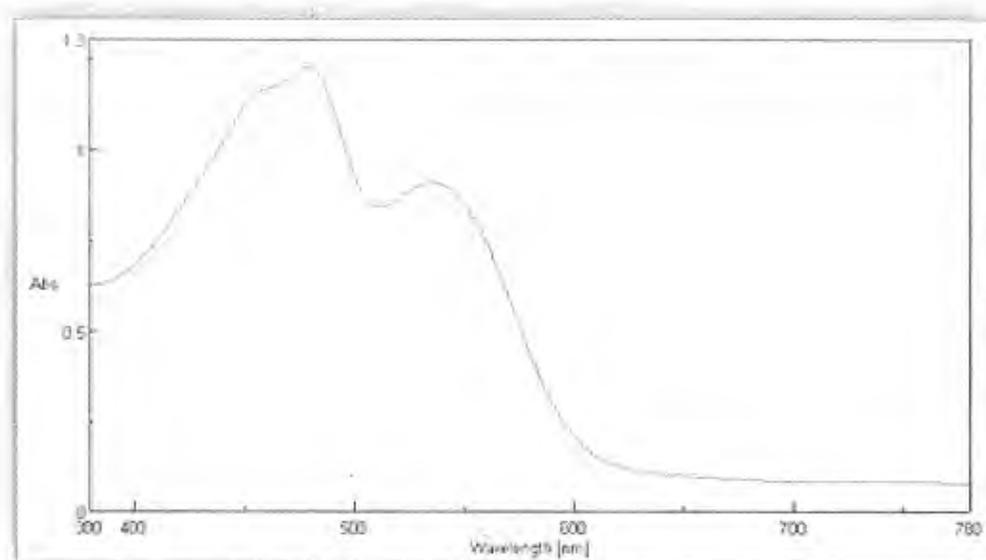


Figura A 138. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya control almacenada durante 4 días a 25 °C, lote 3.

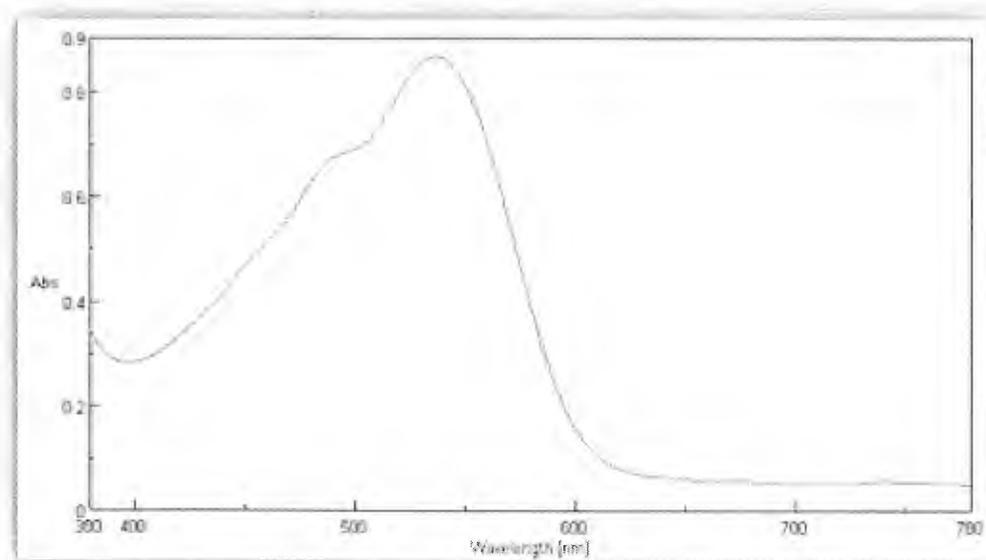


Figura A 139. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya con ácido cafeico almacenada durante 4 días a 25 °C, lote 1.

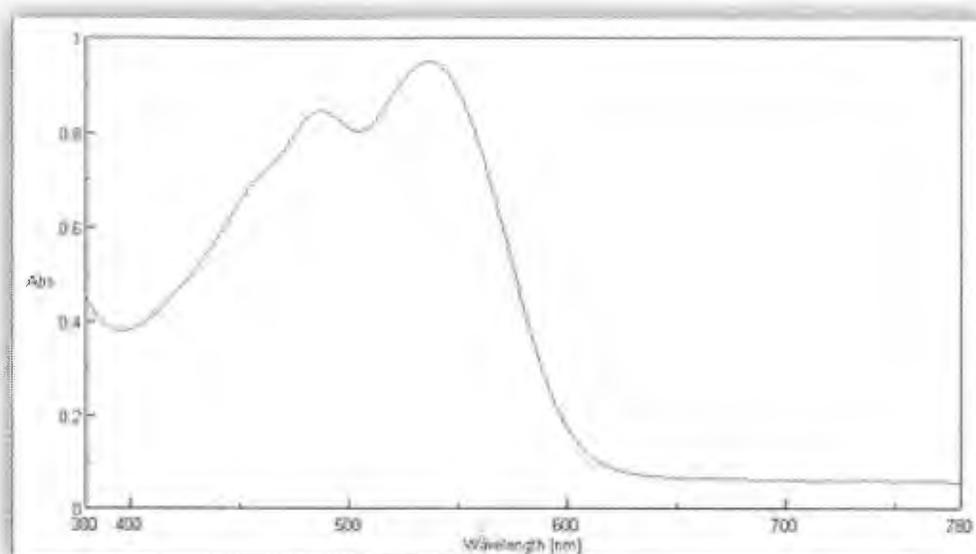


Figura A 140. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya con ácido cafeico almacenada durante 4 días a 25 °C, lote 2.

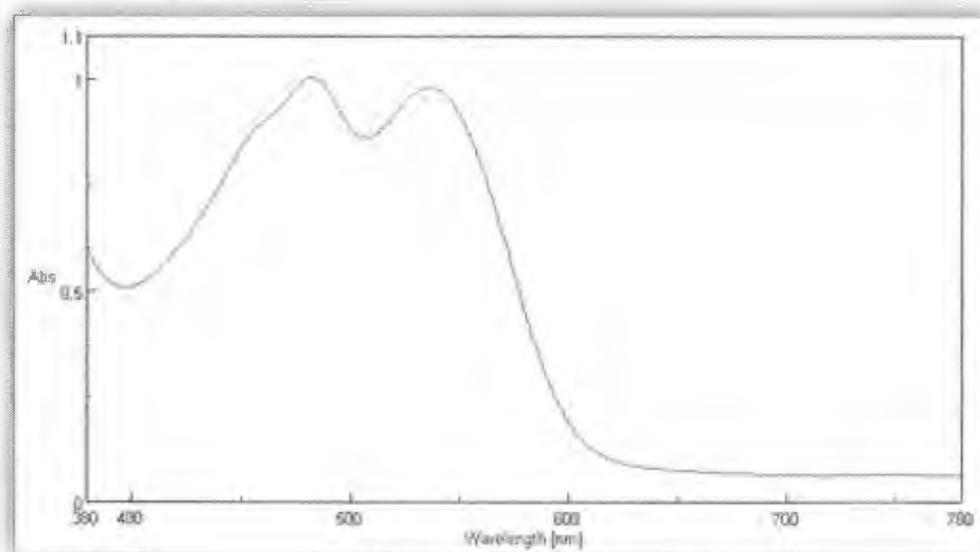


Figura A 141. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya con ácido cafeico almacenada durante 4 días a 25 °C, lote 3.

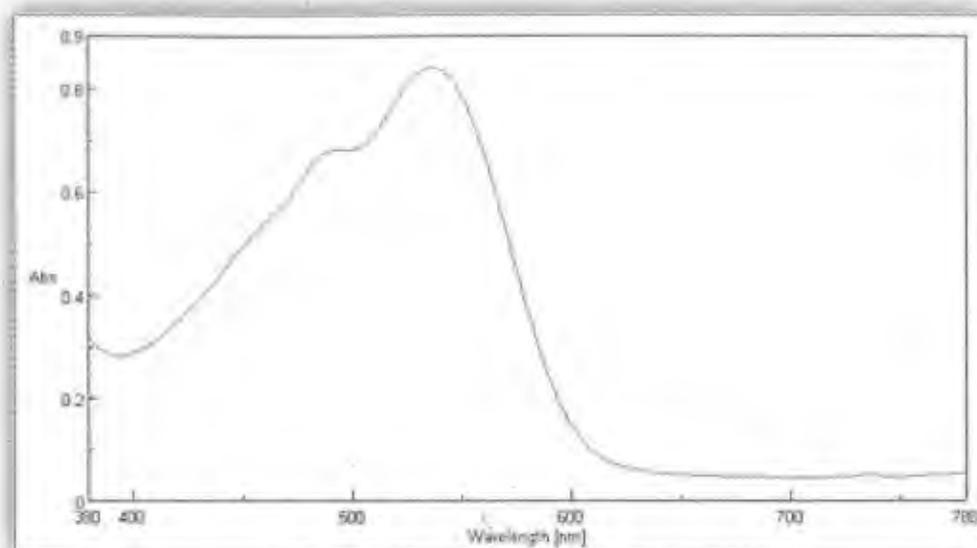


Figura A 142. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya con ácido ferúlico almacenada durante 4 días a 25 °C, lote 1.

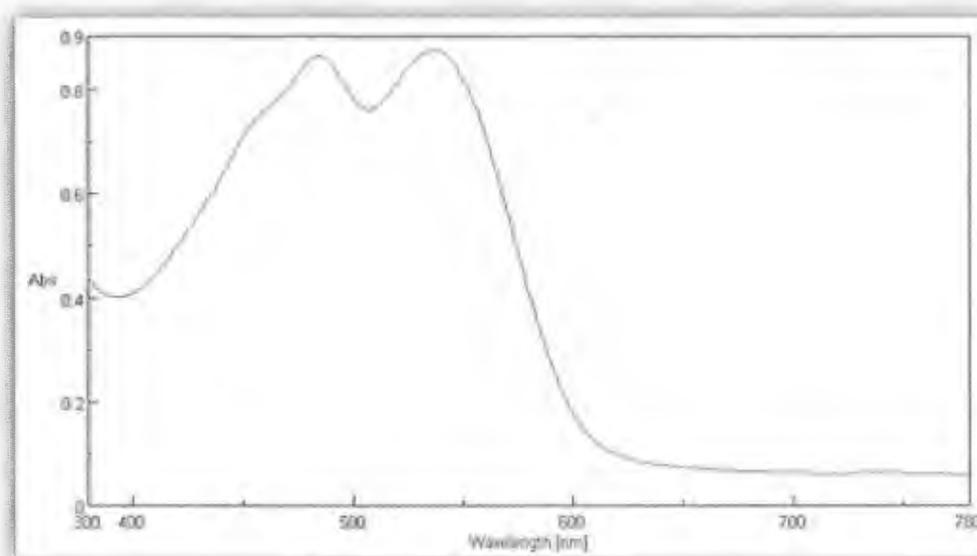


Figura A 143. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya con ácido ferúlico almacenada durante 4 días a 25 °C, lote 2.

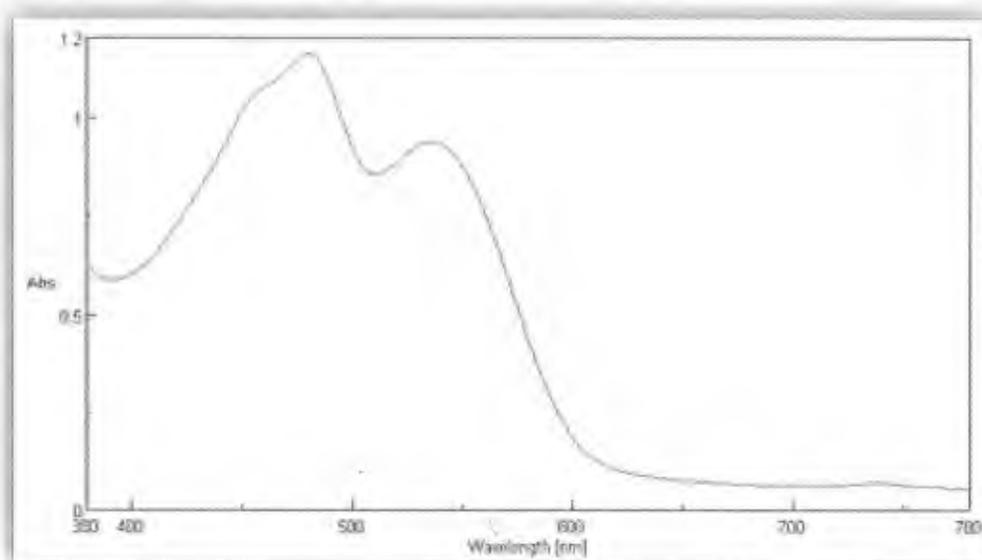


Figura A 144. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya con ácido ferúlico almacenada durante 4 días a 25 °C, lote 3.

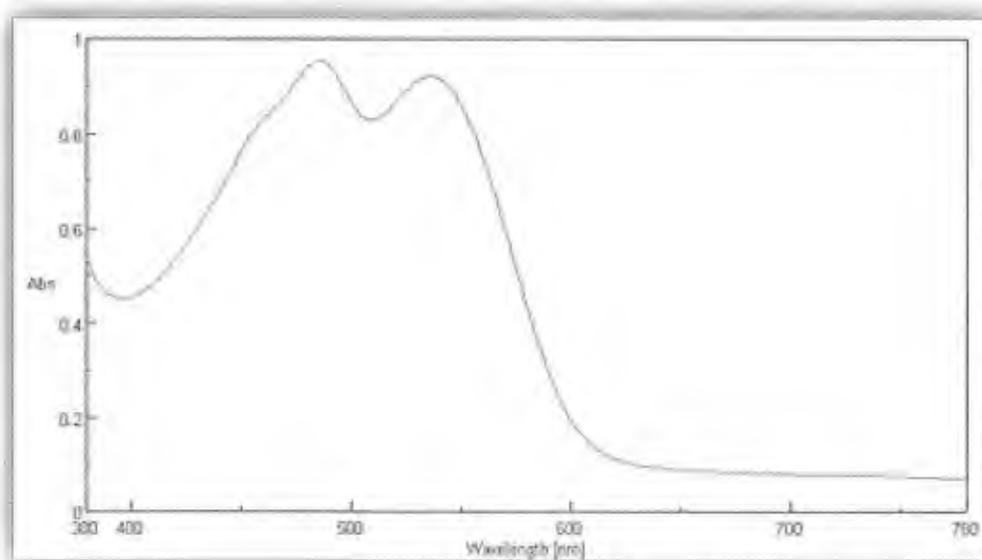


Figura A 145. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya control almacenada durante 7 días a 25 °C, lote 1.

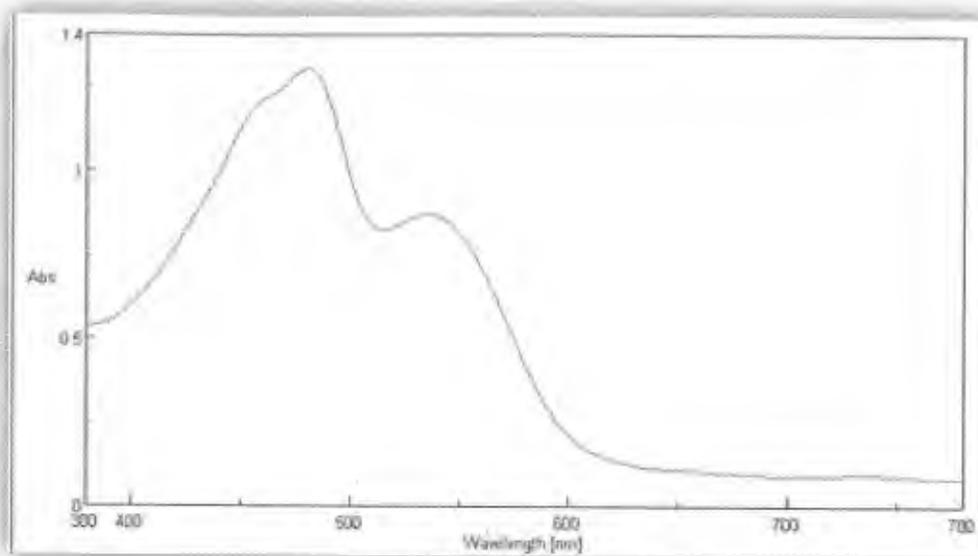


Figura A 146. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya control almacenada durante 7 días a 25 °C, lote 2.

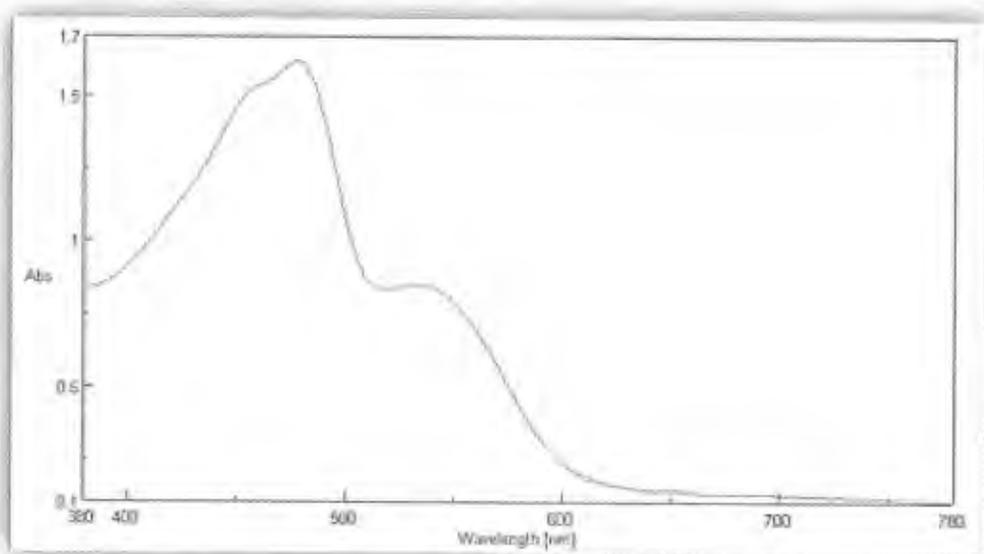


Figura A 147. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya control almacenada durante 7 días a 25 °C, lote 3.

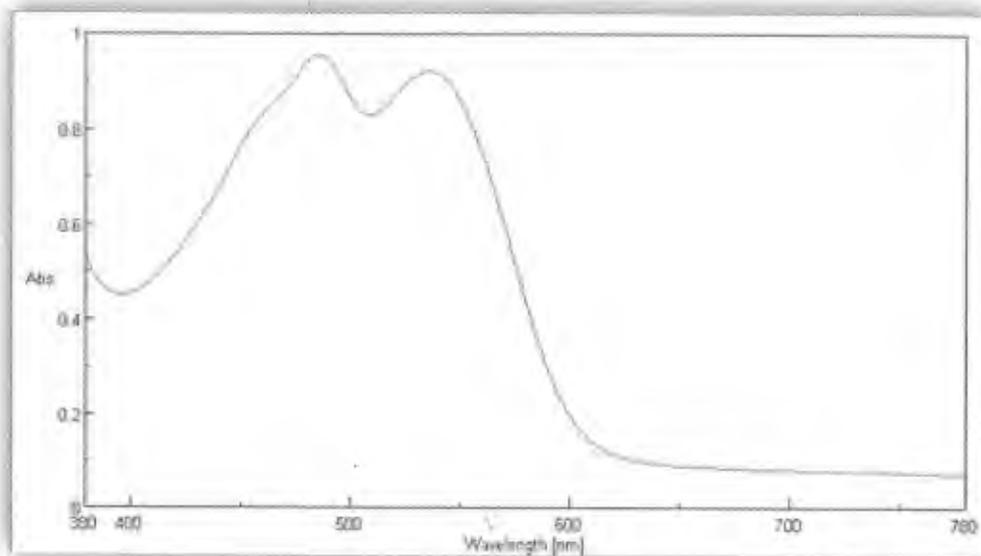


Figura A 148. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya con ácido cafeico almacenada durante 7 días a 25 °C, lote 1.

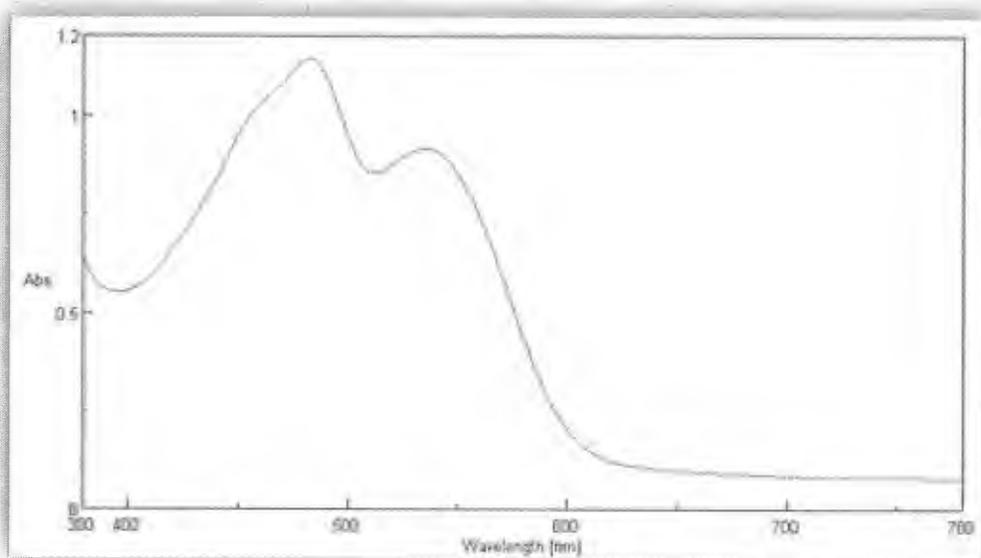


Figura A 149. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya con ácido cafeico almacenada durante 7 días a 25 °C, lote 2.

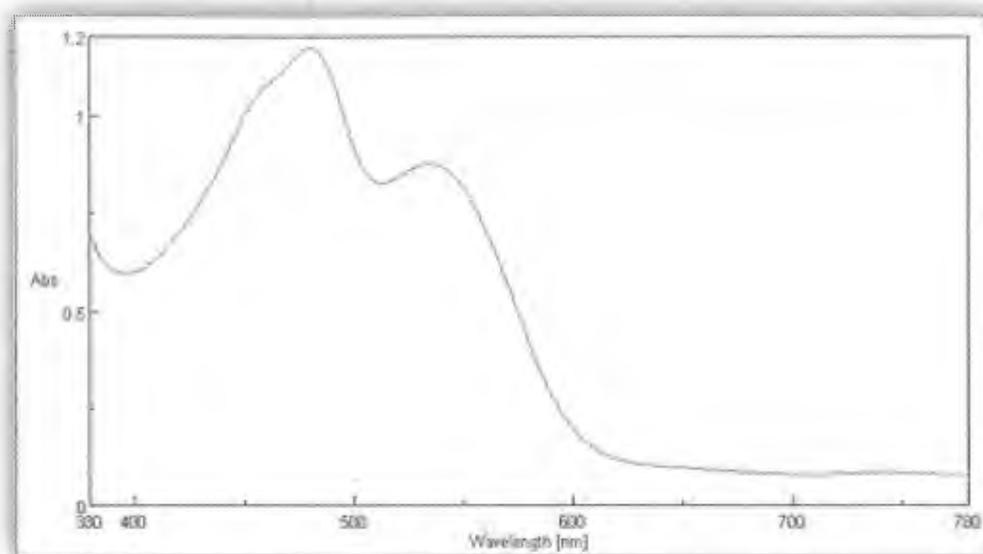


Figura A 150. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya con ácido cafeico almacenada durante 7 días a 25 °C, lote 3.

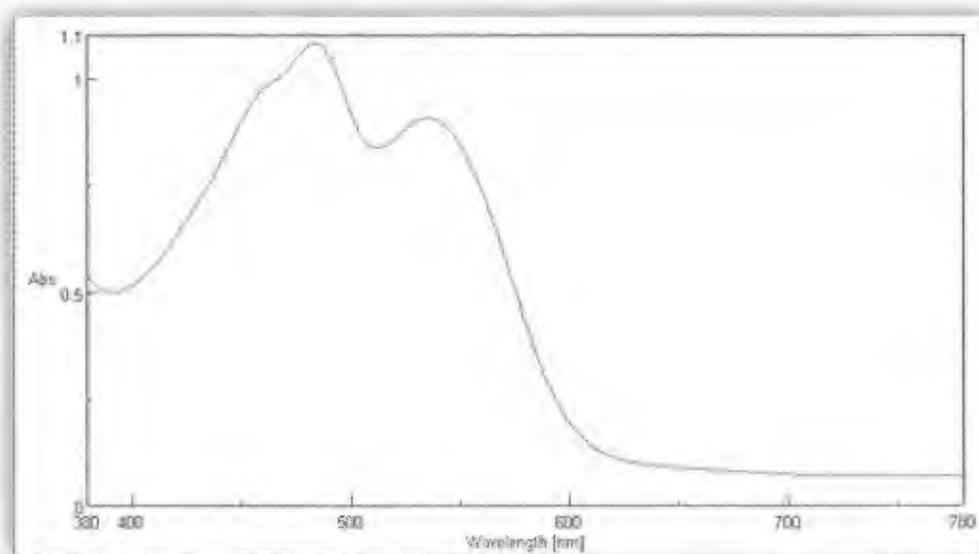


Figura A 151. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya con ácido ferúlico almacenada durante 7 días a 25 °C, lote 1.

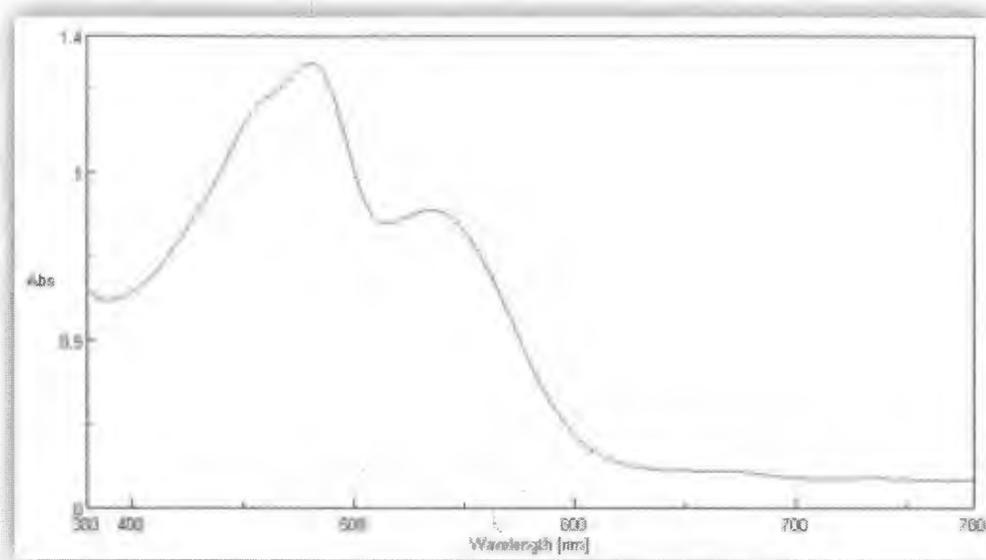


Figura A 152. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya con ácido ferúlico almacenada durante 7 días a 25 °C, lote 2.

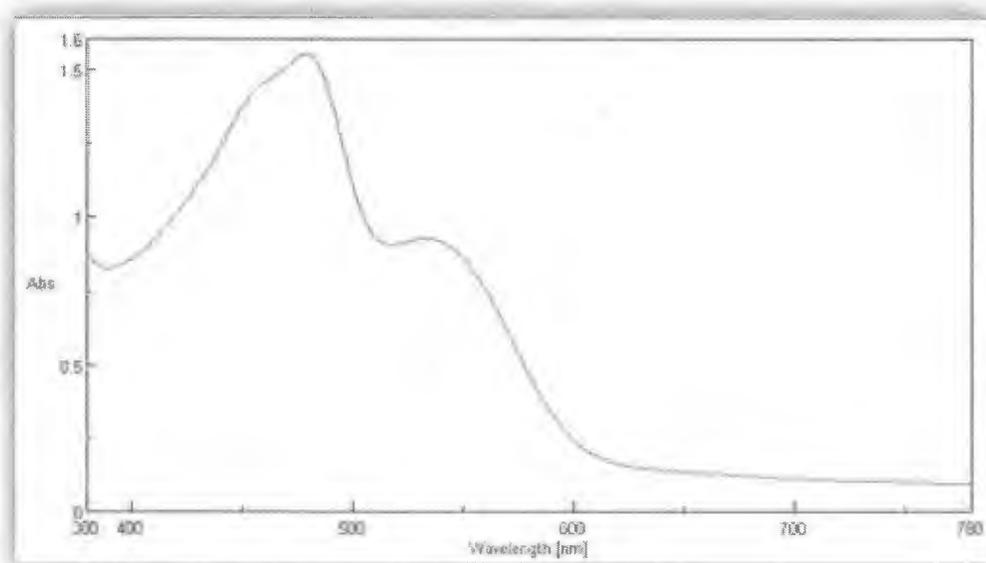


Figura A 153. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya con ácido ferúlico almacenada durante 7 días a 25 °C, lote 3.

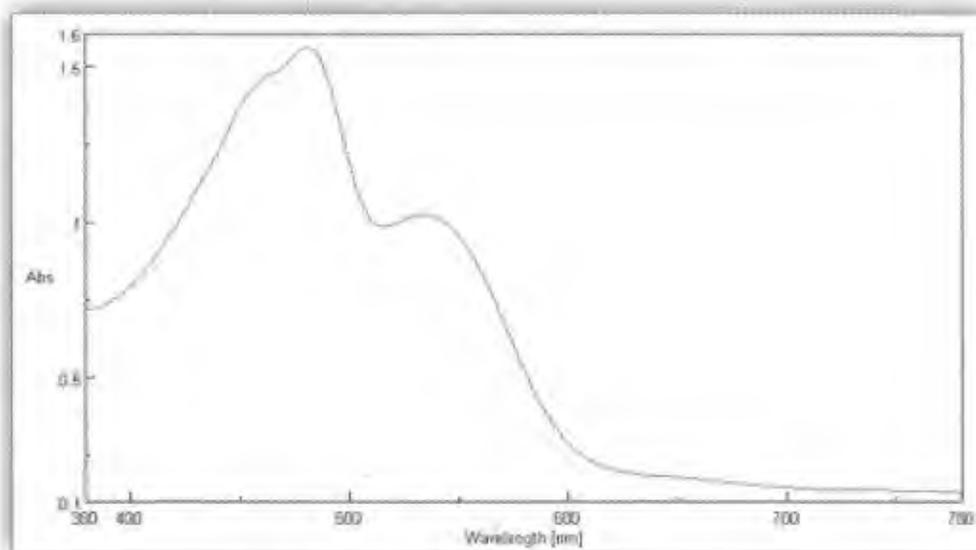


Figura A 154. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya control almacenada durante 9 días a 25 °C, lote 1.

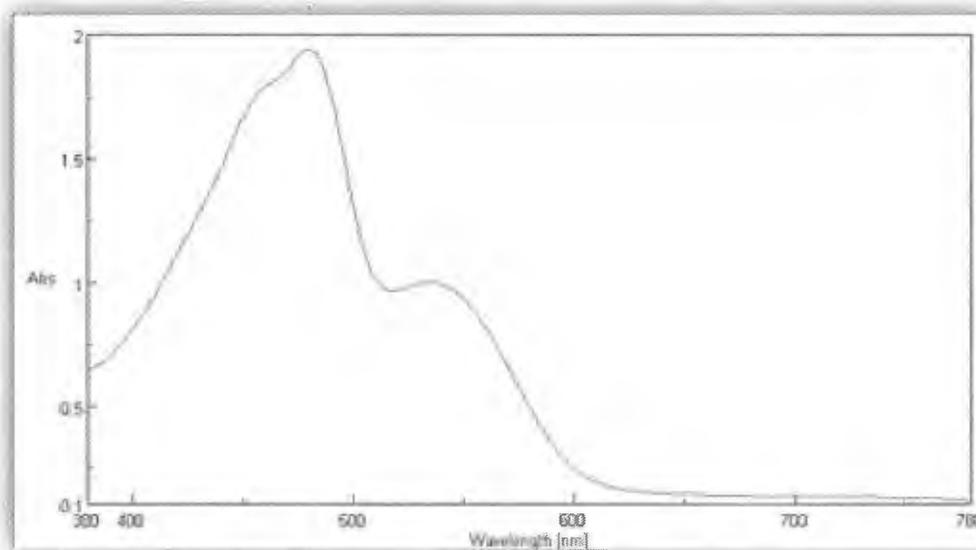


Figura A 155. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya control almacenada durante 9 días a 25 °C, lote 2.

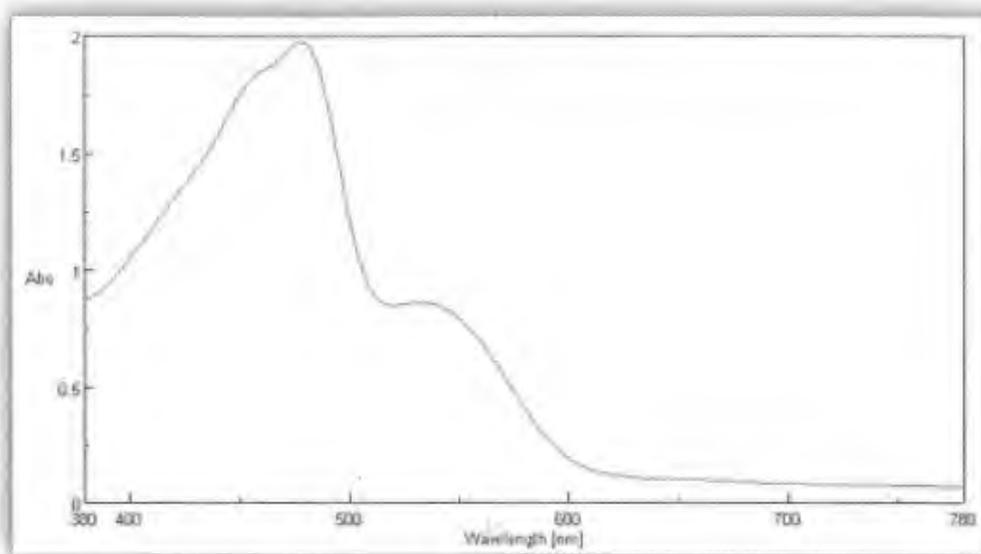


Figura A 156. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya control almacenada durante 9 días a 25 °C, lote 3.

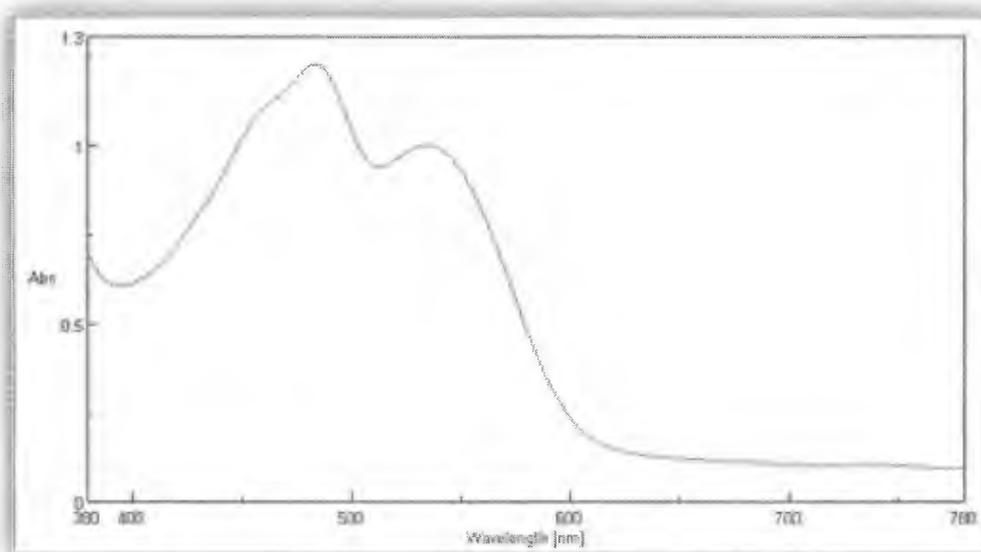


Figura A 157. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya con ácido cafeico almacenada durante 9 días a 25 °C, lote 1.

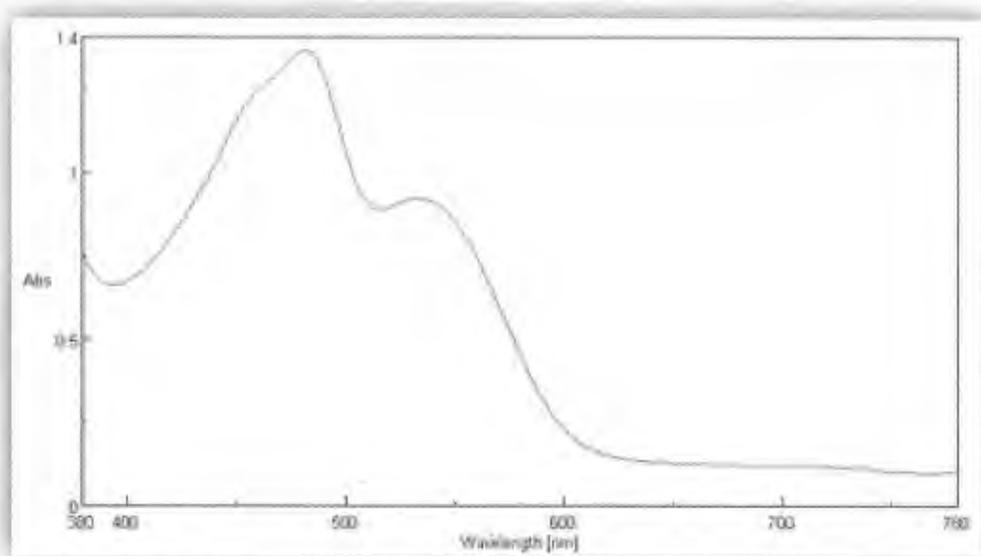


Figura A 158. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya con ácido cafeico almacenada durante 9 días a 25 °C, lote 2.

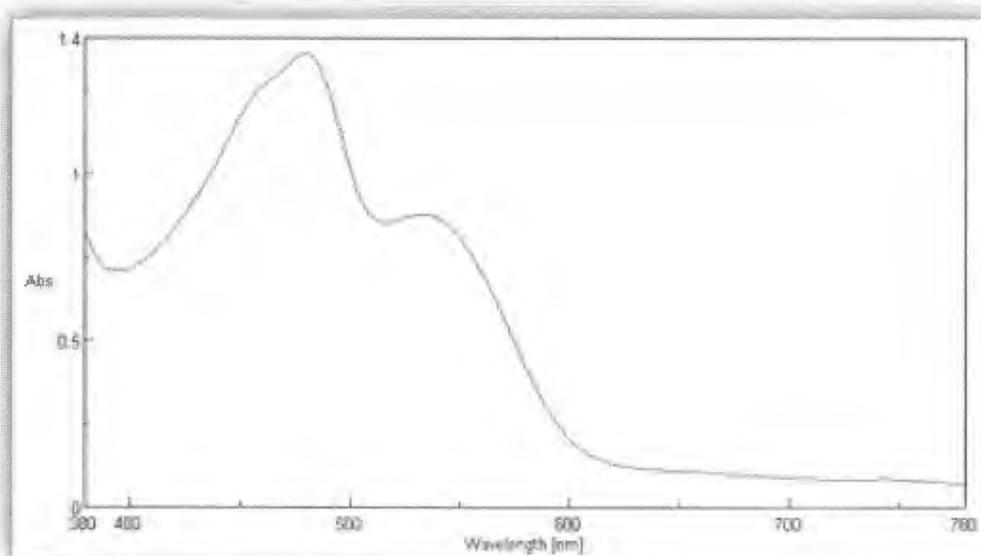


Figura A 159. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya con ácido cafeico almacenada durante 9 días a 25 °C, lote 3.

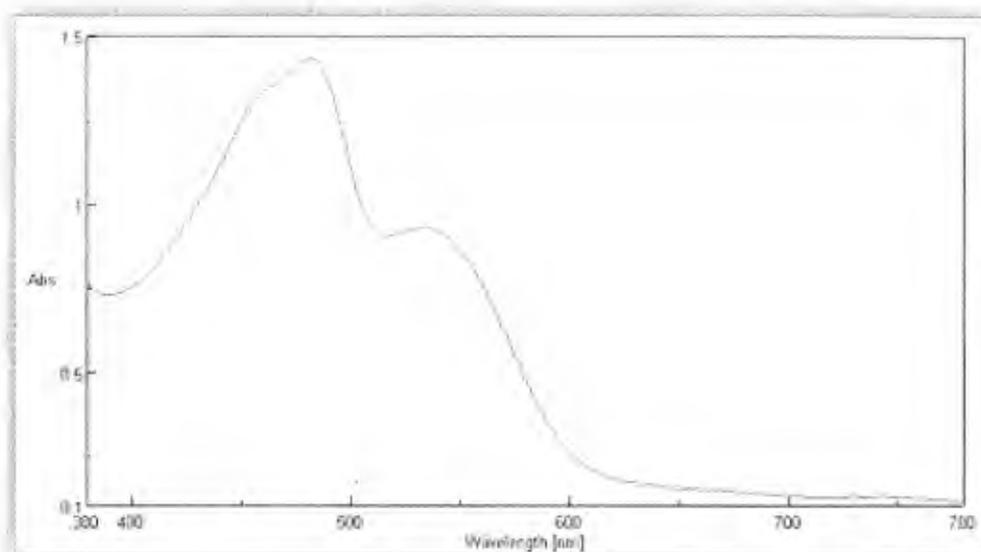


Figura A 160. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya con ácido ferúlico almacenada durante 9 días a 25 °C, lote 1.

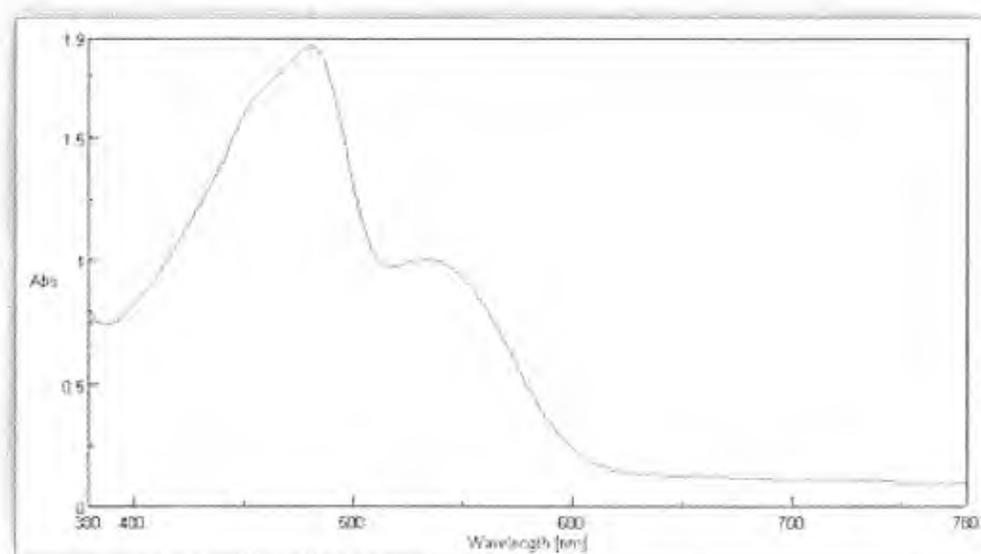


Figura A 161. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya con ácido ferúlico almacenada durante 9 días a 25 °C, lote 2

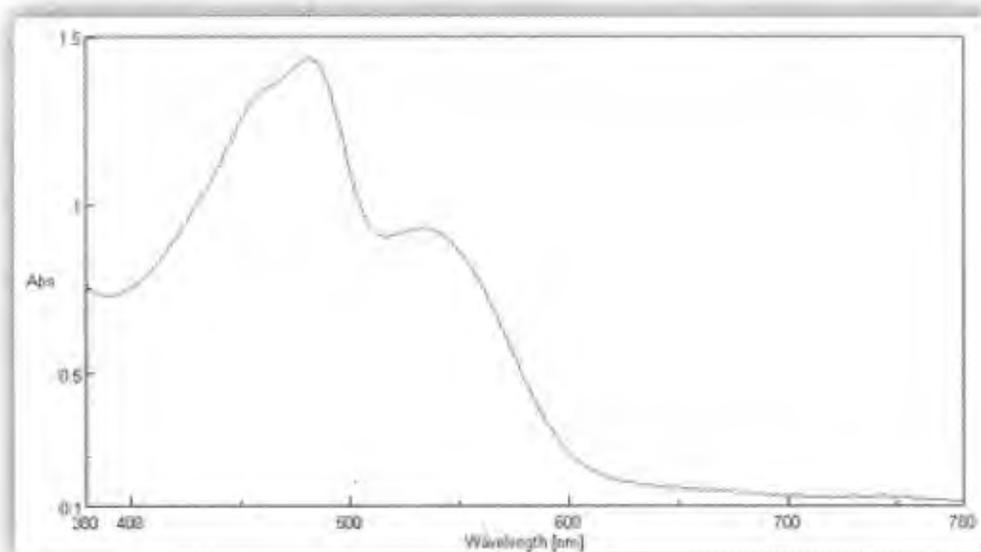


Figura A 160. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya con ácido ferúlico almacenada durante 9 días a 25 °C, lote 1.

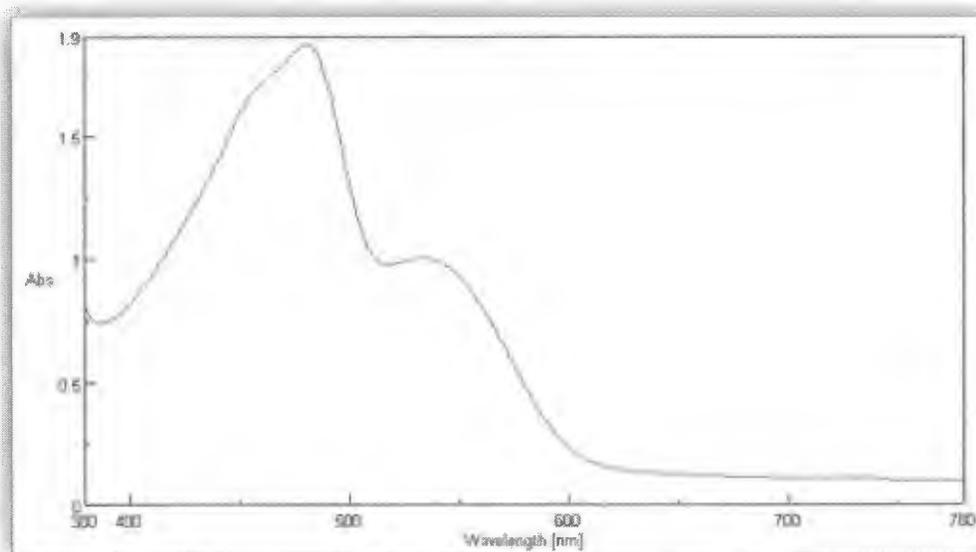


Figura A 161. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya con ácido ferúlico almacenada durante 9 días a 25 °C, lote 2

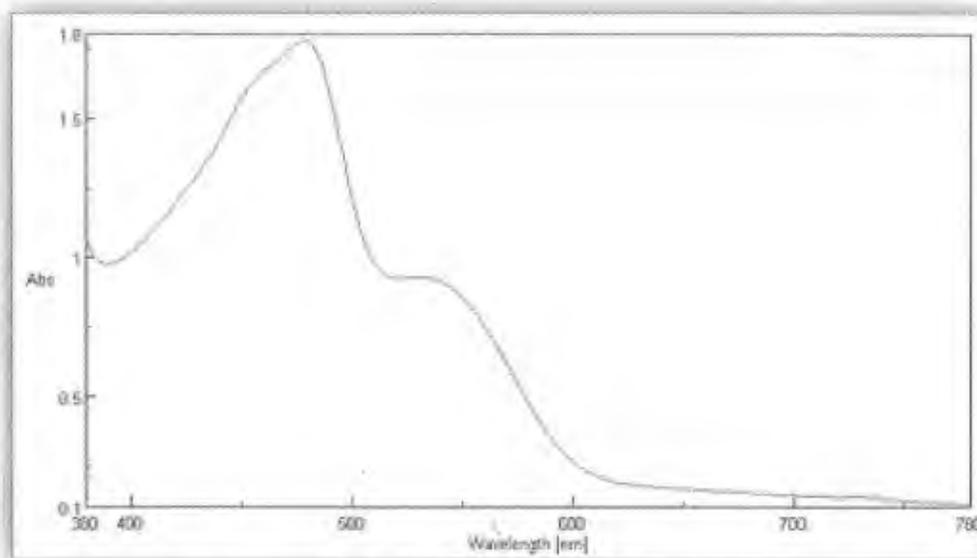


Figura A 162. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya con ácido ferúlico almacenada durante 9 días a 25 °C, lote 3.

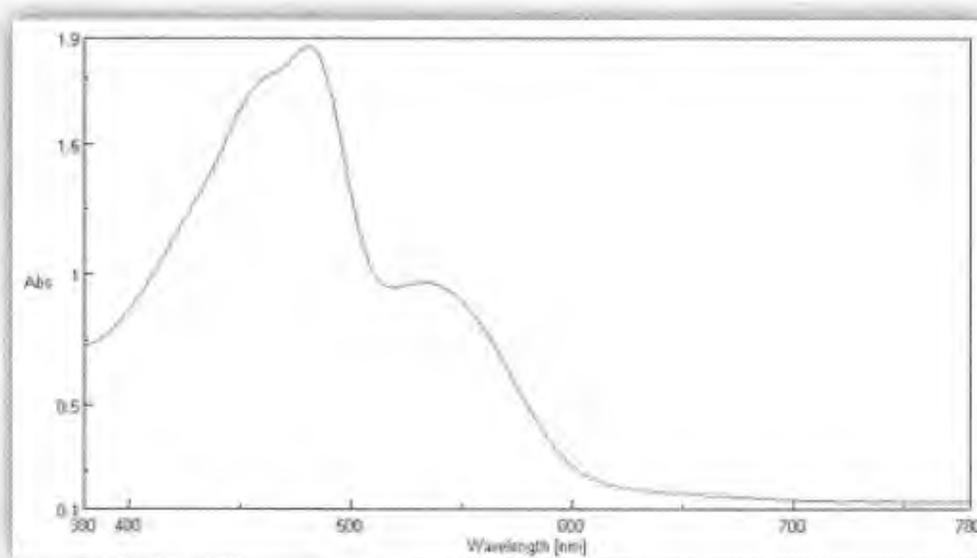


Figura A 163. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya control almacenada durante 11 días a 25 °C, lote 1.

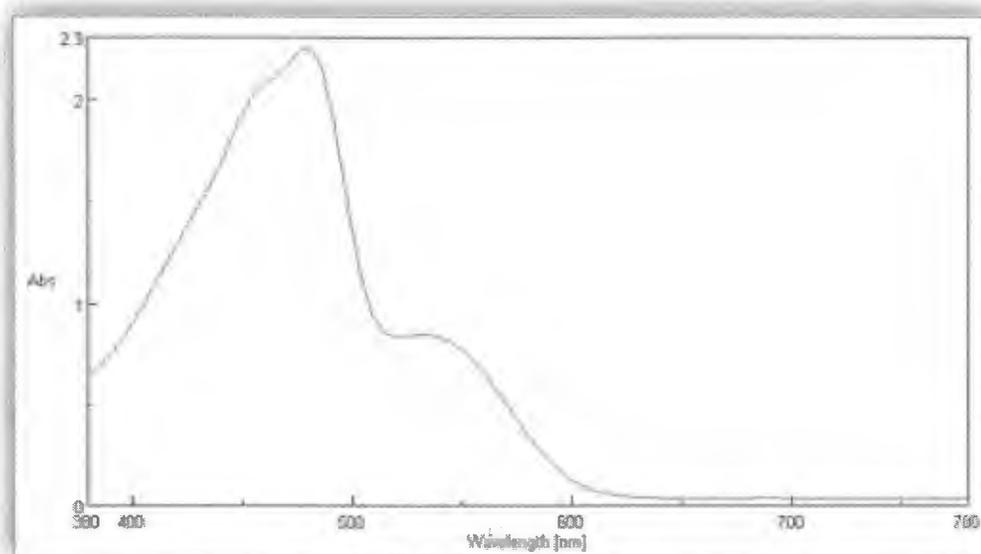


Figura A 164. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya control almacenada durante 11 días a 25 °C, lote 2.

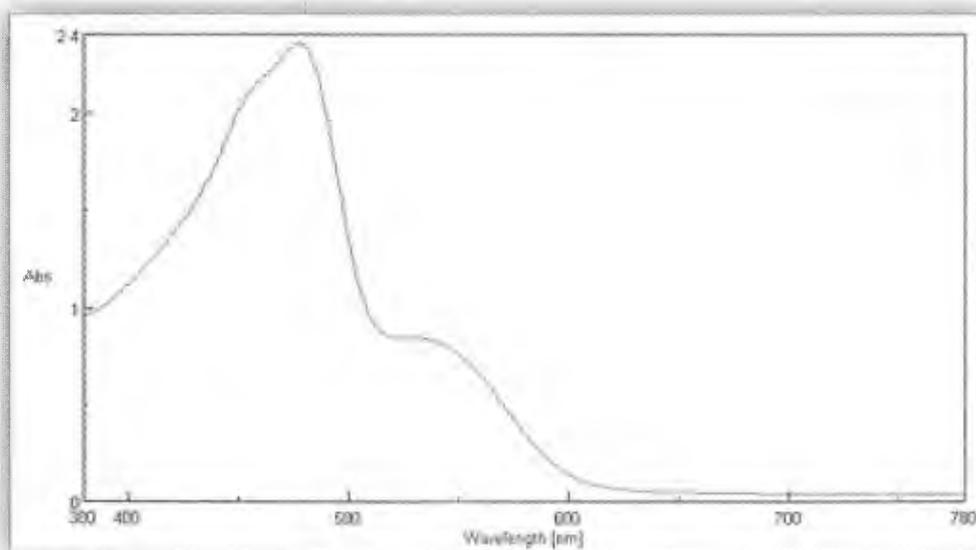


Figura A 165. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya control almacenada durante 11 días a 25 °C, lote 3.

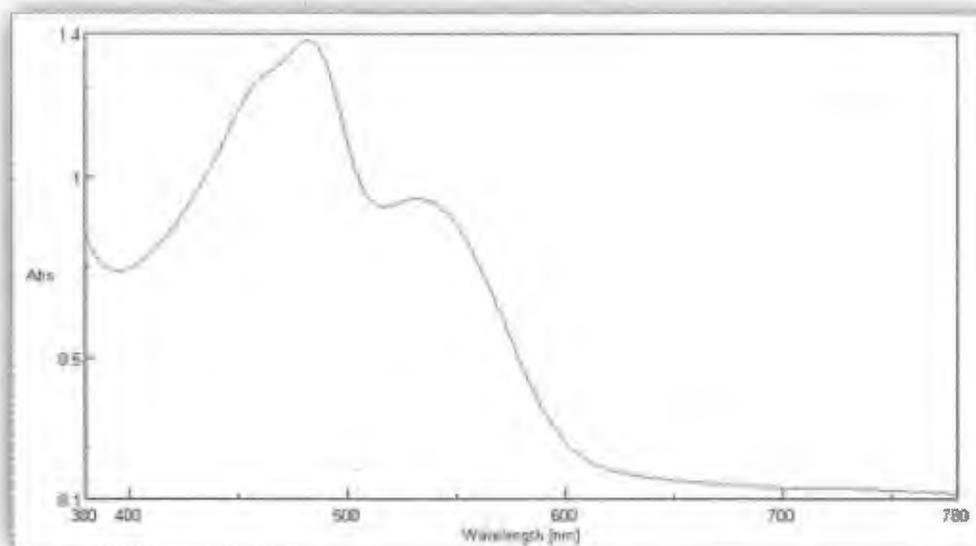


Figura A 166. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya con ácido cafeico almacenada durante 11 días a 25 °C, lote 1.

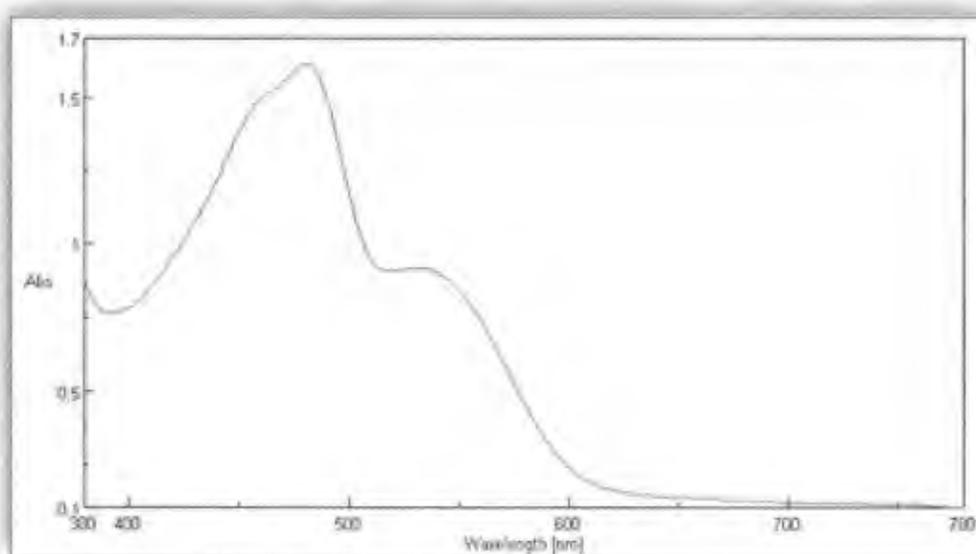


Figura A 167. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya con ácido cafeico almacenada durante 11 días a 25 °C, lote 2.

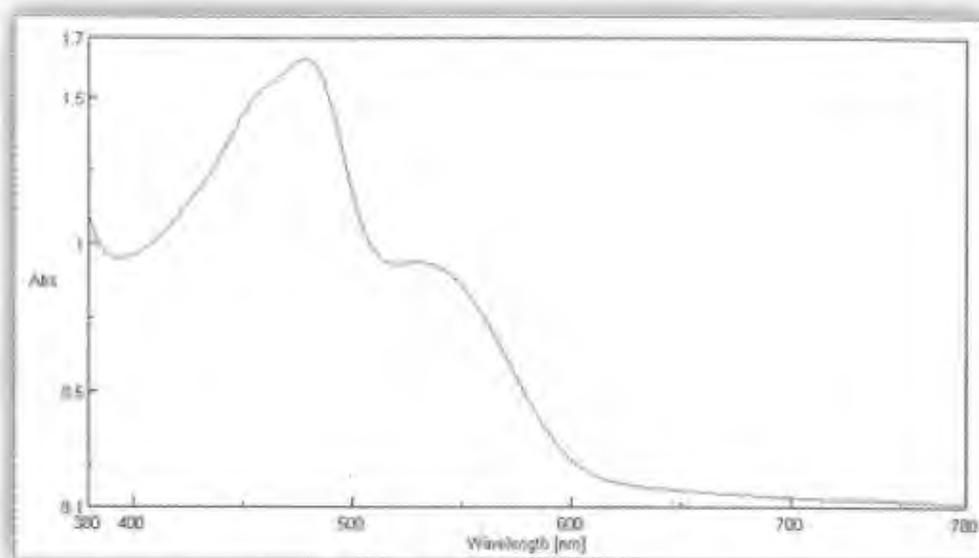


Figura A 168. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya con ácido cafeico almacenada durante 11 días a 25 °C, lote 3.

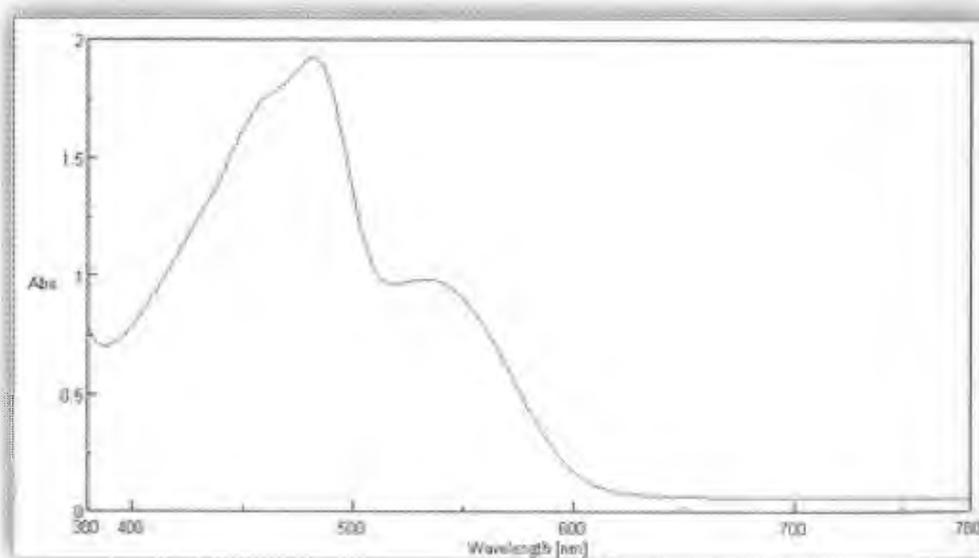


Figura A 169. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya con ácido ferúlico almacenada durante 11 días a 25 °C, lote 1.

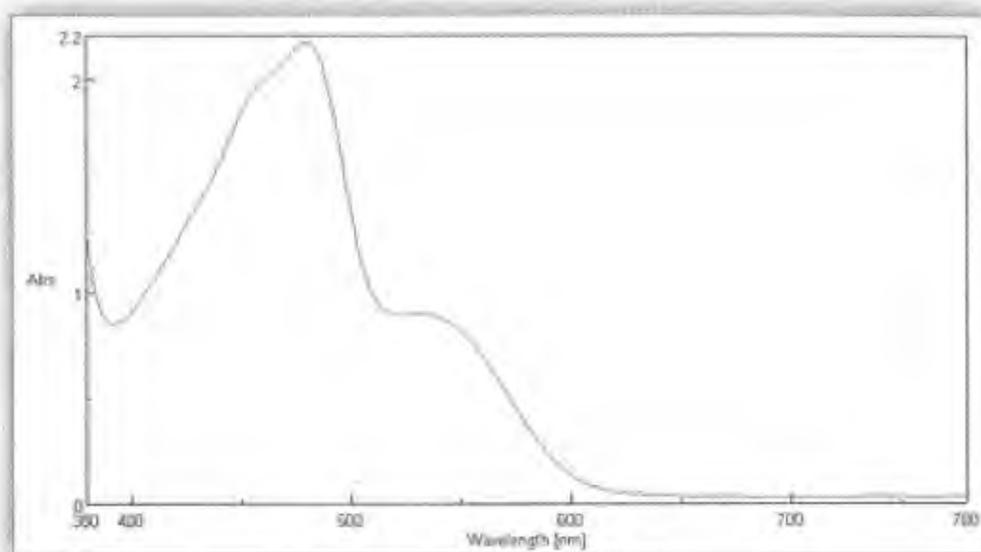


Figura A 170. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya con ácido ferúlico almacenada durante 11 días a 25 °C, lote 2

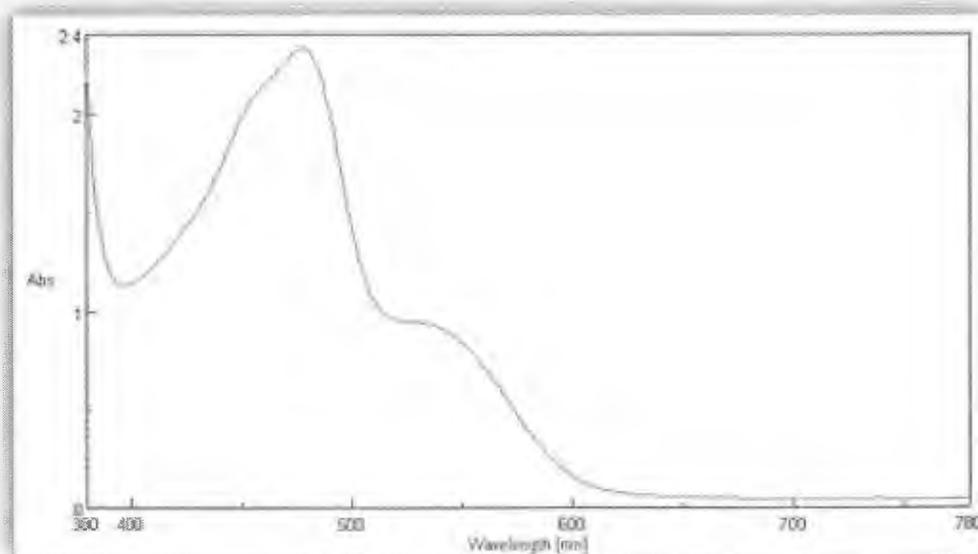


Figura A 171. Espectro de absorción de la pulpa de pitaya con ácido ferúlico almacenada durante 11 días a 25 °C, lote 3