UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA

FACULTAD DE ZOOTECNIA Y ECOLOGÍA

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

EFECTO DE LA ADICIÓN DE EXTRACTO DE BETABEL (*Beta vulgaris*) LIOFILIZADO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS, ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE, CONTENIDO Y ESTABILIDAD DE BETALAINAS Y POLIFENOLES EN YOGURT BATIDO

POR:

I.Z.S.P. MARTHA AZUCENA FLORES MANCHA

TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA EN CIENCIAS

ÁREA MAYOR: TECNOLOGÍA DE PRODUCTOS DE ORIGEN ANIMAL

CHIHUAHUA, CHIH., MÉXICO **FEBRERO, 2020**

Efecto de la adición de extracto de betabel (*Beta vulgaris*) liofilizado sobre las características fisicoquímicas, la actividad antioxidante, contenido y estabilidad de betalaínas y polifenoles en yogurt batido. Tesis presentada por Martha Azucena Flores Mancha, como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias, ha sido aprobada y aceptada por:

Ph.D. Carlos Ortega Ochoa
Director de la Facultad de Zootecnia y Ecología

D.Ph. Agustín Corral Luna
Secretario de Investigación y Posgrado

Ph.D. Iván Adrián García Galicia
Coordinador Académico

Ph.D. América Chávez Martínez
Presidente

21 Febrero 2020.
Fecha

Comité:
Dr. Eduardo Santellano Estrada
Ph.D. Martha Graciela Ruiz Gutiérrez
Dr. Rogelio Sánchez Vega
Ph.D. Ana Luisa Rentería Monterrubio

© Derechos Reservados AUTOR.
MARTHA AZUCENA FLORES MANCHA
DIRECCIÓN: PERIFÉRICO FRANCISCO R. ALMADA KM. 1, CHIHUAHUA, CHIH., MÉXICO C.P. 31453
FEBRERO 2020

AGRADECIMIENTOS

A Dios por sus bendiciones y la oportunidad de cursar la Maestría en Ciencias.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca que me otorgó para la realización de mis estudios de Posgrado.

A los integrantes de mi comité de tesis Ph.D. Ana Rentería Monterubio, Ph.D. Martha Graciela Ruiz Gutiérrez, Ph.D. Eduardo Santellano Estrada, Dr. Rogelio Sánchez Vega; especialmente a mi asesora Ph.D. América Chávez Martínez, por brindarme su gran apoyo y guía durante la Maestría.

A mis profesores por haber compartido sus conocimientos y experiencias, así como a todo el personal de la Facultad de Zootecnia y Ecología.

A mis compañeros de maestría, doctorado y licenciatura por brindarme su amistad y por compartir conmigo gratas experiencias, así como su apoyo durante el trabajo experimental.

A mis amigas Juliana Juárez e Ivette Ramírez quienes siempre estuvieron disponibles y al pendiente, compartiendo platicas y horas de trabajo en el laboratorio.

A mi familia por el cariño y apoyo recibido a lo largo de este proyecto.

DEDICATORIA

Dedico mi esfuerzo y trabajo a todas y cada una de las personas que me han impulsado y apoyado en todo momento.

A Martha Mancha y Raúl Flores, mis padres por su gran amor y apoyo incondicional en todo sentido, siempre motivándome a emprender un vuelo cada vez más alto para alcanzar todos mis propósitos.

A mis hermanas, Yas y Sid que siempre han estado para mí y porque han compartido uno más de mis sueños, les recuerdo “Querer, es Poder”.

A ti que eres la persona más importante de mi vida, pues desde que te conocí has sido mi compañero y amigo incondicional en todo momento. Nunca olvides: “Los ojos pertenecen a quien los hace brillar, y los míos siempre brillaran por ti”.

A los maestros y compañeros que de manera directa e indirecta contribuyeron en mi formación como Maestro en Ciencias con Área Mayor en Tecnología de Productos de Origen Animal.

A la Facultad de Zootecnia y Ecología que a través de la Secretaria de Investigación y Posgrado me permitieron cursar la Maestría.

CURRICULUM VITAE

La autora nació el 04 de Diciembre de 1990 en San Buenaventura, Chihuahua.

2011-2016	Licenciatura en Ingeniero Zootecnista en Sistemas de Producción en la Universidad Autónoma de Chihuahua.
2014-2016	Prestador de Prácticas Profesionales y Servicio Social como Extensionista a través del Centro de Extensión e Innovación Rural del Noroeste (CEIR Noroeste).
2016-2017	Docente Académico en la Secundaria Estatal 3008, Centro Escolar “Benito Juárez García”.
2017-2019	Estudiante Graduado de Maestría en Ciencias de la Facultad de Zootecnia y Ecología de la Universidad Autónoma de Chihuahua.

Miembro del Colegio Nacional de Ingenieros Zootecnistas A.C (CONAIZ).

RESUMEN

El betabel es una fuente rica en betalaínas, las cuales, tienen propiedades antioxidantes. Debido a que las betalaínas son inestables a la temperatura, luz, oxígeno, etc., su encapsulación es una alternativa de preservación. El objetivo fue estudiar el efecto del encapsulante (maltodextrina e inulina) en la estabilidad de betalaínas adicionadas a yogurt. En los polvos se evaluó; temperatura de transición vítrea, índice de absorción y solubilidad en agua, mientras que en las mezclas yogurt-polvo se analizaron; grasa, proteína, ceniza, humedad, color, pH, sinéresis, actividad antioxidante, contenido total de polifenoles y betalaínas a través del tiempo. Se elaboraron cuatro tratamientos con tres repeticiones en un diseño completamente al azar; dos adicionados con extracto de betabel liofilizado, uno con jugo de betabel y un control. Los liofilizados de betabel fueron estadísticamente diferentes ($P<0.05$) en las variables analizadas. Los cuatro tratamientos tuvieron diferencias significativas ($P<0.05$) en el análisis fisicoquímico y bioactividad. El mayor contenido de betalaínas se observó en el tratamiento con jugo, seguido de la maltodextrina e inulina 209.490 ± 14.911, 18.652 ± 1.012 y 12.962 ± 0.551, respectivamente ($P<0.05$). La mayor actividad antioxidante se observó en el yogurt con jugo después de 14 días ($ABTS^{\cdot}$ 0.819 mM TE/100 g y $DPPH^{\cdot}$ 0.343 mM TE/100 g). La adición de betalaínas aumentó significativamente la actividad antioxidante en el yogurt. La encapsulación del extracto de betabel mediante liofilización es un método eficiente para estabilizar betalaínas, aunque, no es posible determinar cuál de los agentes, es mejor, debido a que depende del tiempo de almacenamiento.

ABSTRACT

Beet is a source rich in betalains, which have antioxidant properties; encapsulation is a preservation alternative because betalains are unstable in temperature, light, oxygen, etc. The objective was to study the effect of the encapsulant (maltodextrin and inulin) on the stability of betalains added to yogurt. In the powders it was evaluated; glass transition temperature, water absorption and solubility index, while yogurt-powder mixtures were analyzed; fat, protein, ash, moisture, color, pH, syneresis, antioxidant activity, total content of polyphenols and betalains over time. Four treatments were developed with three repetitions in a completely randomized design; two added with lyophilized beet extract, one with beet juice and a control. Beet lyophilisates were statistically different ($P < 0.05$) in the variables analyzed. The four treatments had significant differences ($P < 0.05$) in the physicochemical analysis and bioactivity. The highest betalaine content was observed in the juice treatment, followed by maltodextrin and inulin 209,490 ± 14,911, 18,652 ± 1,012 and 12,962 ± 0.551, respectively ($P < 0.05$). The highest antioxidant activity was observed in the juice after 14 days ($ABTS^{\cdot}$ 0.819 mM TE / 100 g and $DPPH^{\cdot}$ 0.343 mM TE / 100 g). The addition of betalains significantly increased the antioxidant activity in yogurt. Encapsulation of beet extract by lyophilization is an efficient method to stabilize betalains, although it is not possible to determine which of the agents is better, because it depends on the storage time.

CONTENIDO

RESUMEN vi
ABSTRACT vii
LISTA DE CUADROS xi
LISTA DE CUADROS DEL APÉNDICE xii
LISTA DE GRÁFICAS xiii
LISTA DE GRÁFICAS DEL APÉNDICE xiv
LISTA DE FIGURAS xv
INTRODUCCIÓN 1
REVISIÓN DE LITERATURA 3
Producción de Leche en México 3
Yogurt 3
Propiedades Funcionales del Yogurt 3
Frutas y Hortalizas 4
Betabel (*Beta vulgaris* sp.) 4
Betalaínas 6
Estructura química de las betalaínas 8
Estabilidad de las betalaínas 8
Propiedades funcionales de las betalaínas 15
Polifenoles 16
Estructura de los polifenoles 16
Estabilidad de los polifenoles 20
Propiedades funcionales de los polifenoles 20
Encapsulación 20
Métodos de encapsulación 22
Agentes encapsulantes 24
Encapsulación de betalaínas 25
Encapsulación de polifenoles 26
Radicales Libres 26
Antioxidantes 30
Actividad Antioxidante 30
MATERIALES Y MÉTODOS 33

Localización del Área de Estudio 33
Descripción del Diseño y de los Tratamientos 33
Descripción de las Materias Primas 35
Elaboración de los Extractos Liofilizados de Betabel 35
Obtención del jugo de betabel, encapsulación y liofilización 35
Obtención de extracto acuoso 37
Caracterización de los Liofilizados 37
Índice de absorción y solubilidad en agua 37
Temperatura de transición vítrea 38
Elaboración de los Tratamientos 38
Análisis Fisicoquímicos 39
Composición química 39
Color 39
pH 41
Sinéresis 41
Obtención del Extracto Acuoso de los Yogures 42
Curva de Calibración Actividad Antioxidante (Trolox) 42
Actividad Antioxidante (AA) por ABTS$^{\cdot}$ 42
Actividad Antioxidante (AA) por DPPH$^{\cdot}$ 43
Curva de Calibración Polifenoles Totales (Acido Gálico) 44
Polifenoles Totales 44
Extracción de Betalaínas 45
Betalaínas Totales 45
Curva de Calibración Concentración Total de Proteína (BSA) 46
Concentración Total de Proteína 47
Análisis Estadístico 47
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 49
Caracterización de los Extractos Liofilizados de Betabel 49
Análisis Fisicoquímico 53
Color 58
Actividad Antioxidante 63
Polifenoles Totales 67
Betalaínas Totales 69

Concentración Total de Proteína 72
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 76
LITERATURA CITADA 77
APÉNDICE A 92
APÉNDICE B 93
APÉNDICE C 94
APÉNDICE D 95
APÉNDICE E 96
APÉNDICE F 97
APÉNDICE G 98
APÉNDICE H 99

LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Propiedades funcionales de las betalaínas…….	17
2	Condiciones de encapsulación y agentes encapsulantes utilizados para estabilizar betalaínas mediante secado por atomización ……..	27
3	Condiciones de encapsulación y agentes encapsulantes utilizados para estabilizar betalaínas mediante liofilización…	29
4	Descripción de los tratamientos de yogurt adicionado con extracto líquido y liofilizado de betabel (*Beta vulgaris* sp.)…	34
5	Composición fisicoquímica de la leche utilizada en los tratamientos de yogurt adicionado con extracto líquido y liofilizado de betabel (*Beta vulgaris* sp.)……..	36
6	Caracterización fisicoquímica de los extractos liofilizados de betabel (*Beta vulgaris* sp.)……	50
7	Coeficiente de correlación y su nivel de significancia (*P-value)* entre las variables de respuesta de los extractos liofilizados de betabel (*Beta vulgaris* sp.)……..….	51
8	Análisis proximal de yogurt adicionado con extracto líquido y liofilizado de betabel (*Beta vulgaris* sp.)……	55
9	Valores de color L*, a*, b*, C*, h° y ∆E de yogurt adicionado con extracto líquido y liofilizado de betabel (*Beta vulgaris* sp.)……..……...……	59
10	Correlación entre las variables de respuesta del yogurt adicionado con extracto líquido y liofilizado de betabel (*Beta vulgaris* sp.)……..…	64

LISTA DE CUADROS DEL APÉNDICE

Cuadro		Página
11	Concentraciones utilizadas para la curva de calibración de actividad antioxidante (ABTS$^{\bullet}$ y DPPH$^{\bullet}$)……..	92
12	Concentraciones utilizadas para la curva de calibración de polifenoles totales (Ácido Gálico) por el método de Folin-Ciocalteu……	95
13	Concentraciones utilizadas para la curva de calibración de la concentración peptídica (BSA) por el método de Bradford.....	97
14	Valores de los parámetros analizados en los tratamientos……...	99

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica		Página
1	Potencial de hidrógeno (pH) de yogurt adicionado con extracto de betabel……..…….....	56
2	Porcentaje de sinéresis de yogurt adicionado con extracto de betabel…….……	57
3	Luminosidad de yogurt adicionado con extracto de betabel...	60
4	Valor de a* de yogurt adicionado con extracto de betabel.....	61
5	Valor de b de yogurt adicionado con extracto de betabel….....	62
6	Actividad antioxidante (método ABTS$^{\cdot}$) con yogurt adicionado con extracto de betabel……	65
7	Actividad antioxidante (método DPPH$^{\cdot}$) con yogurt adicionado de extracto de betabel…….	66
8	Contenido de polifenoles totales de yogurt adicionado con extracto de betabel……..…….	68
9	Contenido de betalaínas totales de yogurt adicionado con extracto de betabel ……..	70
10	Contenido de Betacianinas de yogurt adicionado con extracto de betabel……..……..	73
11	Contenido de Betaxantinas de yogurt adicionado con extracto de betabel……..……..	74
12	Concentración total de proteína de yogurt adicionado con extracto de betabel……..…….	75

LISTA DE GRÁFICAS DEL APÉNDICE

Gráfica		Página
13	Curva de calibración y ecuación de regresión para la determinación de la concentración de mE Trolox por el método de ABTS$^{\cdot}$…….……..……..	93
14	Curva de calibración y ecuación de regresión para la determinación de la concentración de mE Trolox por el método de DPPH$^{\cdot}$…….……..……..	94
15	Curva de calibración y ecuación de regresión para la determinación de la concentración de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu ……..…….....	96
16	Curva de calibración y ecuación de regresión para la determinación de la concentración total de proteína (BSA) por el método de Bradford……	98

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Especies que contienen betalaínas……	7
2	Estructura del ácido betalámico y grupos estructurales de las betalaínas……..……..	9
3	Estructura química de las betalaínas presentes en *Beta vulgaris* sp…...…….……..	10
4	Factores que influyen en la estabilidad de las betalaínas…...	11
5	Estructura química del ácido fenico y de los polifenoles……..	21
6	Esquema de los métodos de encapsulación……..……..	23
7	Interacción entre radicales libres y antioxidantes…….	31
8	Proceso de elaboración de yogurt batido……..	40

INTRODUCCIÓN

En los últimos años ha aumentado el interés respecto a las propiedades funcionales del betabel (*Beta vulgaris* sp.) (Kapadia *et al.*, 1996). Se ha demostrado su actividad anticancerígena (Kapadia *et al.*, 2003), antiinflamatoria (Winkler *et al.*, 2005), antidiabética (Bolkent *et al.*, 2000) y antioxidante (Kanner *et al.*, 2001). Los extractos betalámicos del *Beta vulgaris* sp. surgieron como fuentes prometedoras de colorantes alimentarios rojos y amarillos (Stintzing *et al.*, 2005). Se cree que los beneficios funcionales del betabel provienen de sus propiedades antioxidantes relacionadas a los compuestos fenólicos y betalaínas (betacianinas-BC y betaxantinas-BX) (Netzel *et al.*, 2005; Stintzing *et al.*, 2006; Kujawska *et al.*, 2009).

El yogurt, al igual que el betabel, es un alimento funcional ya que posee propiedades benéficas para mantener o conservar la salud (Parra-Huertas, 2013).

Los Alimentos Funcionales (AF) son alimentos que presentan uno o varios componentes que promueven un efecto fisiológico, genético o psicológico más allá de su valor nutritivo tradicional (Araya y Lutz, 2003; Fuentes-Berrio *et al.*, 2015; Cortés *et al.*, 2005). Por tanto, los AF pueden contribuir a la prevención y/o tratamiento de enfermedades (Araya y Lutz, 2003; Silveira Rodríguez *et al.*, 2003; Rodriguez-Barona *et al.*, 2016).

En la actualidad las personas han mostrado una clara preferencia por los alimentos naturales, ya que se han asociado a ellos características nutritivas y saludables; se considera que esta tendencia se mantendrá en el futuro (Winkler

et al., 2005). Por lo que los alimentos funcionales, representan una parte importante, innovadora y de rápido crecimiento del mercado alimentario (Vulić *et al.*, 2014).

El objetivo general de este estudio fue evaluar el efecto de la adición de extracto de betabel (*Beta vulgaris* sp.) encapsulado con diferentes agentes sobre las características fisicoquímicas, actividad antioxidante, contenido total y estabilidad de betalaínas y polifenoles del yogurt durante la vida en anaquel.

Los objetivos específicos fueron:

En los extractos liofilizados (polvos) de betabel:

- Evaluar el índice de absorción y solubilidad en agua y la temperatura de transición vítrea.
- Cuantificar el contenido total de betalaínas y polifenoles, la concentración total de proteína y la actividad antioxidante, en el extracto liofilizado de betabel.

En los tratamientos de yogurt:

- Evaluar la composición química de los tratamientos (grasa, proteína, ceniza, humedad) al día 1.
- Evaluar las características físicas (color, pH, sinéresis) de los tratamientos a través del tiempo (día 1, día 7 y día 14).
- Cuantificar el contenido total de betalaínas y polifenoles, la concentración total de proteína y la actividad antioxidante en los tratamientos a través del tiempo (día 1, día 7 y día 14).
- Realizar un análisis de correlación entre las variables analizadas.

REVISIÓN DE LITERATURA

Producción de Leche en México

La producción de leche es uno de los sistemas con mayor presencia y aporte económico, por lo que se considera prioritario en México, dada su importancia como sector proveedor de alimentos y generador de empleo. Asimismo, la leche es el tercer producto alimenticio más consumido en los hogares mexicanos (SIAP-SAGARPA, 2017).

Según el SIAP-SAGARPA (2019), la producción nacional de leche en el año 2018 ascendió a los 12, 008,239 miles de litros. En Chihuahua se estima que la producción en el mismo periodo alcanzó los 1, 128,405 miles de litros. Parte de la producción nacional de leche se transformó en yogurt (110,952 ton), con un valor en el mercado de 2, 331,326 miles de pesos.

Yogurt

El yogurt es un alimento lácteo funcional (ALF), que se obtiene de la fermentación de la leche con bacterias ácido lácticas. Según la NOM-181-SCFI-2010, el yogurt se define como el producto obtenido de la fermentación de leche, estandarizada o no, por acción de microorganismos *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii* subespecie *bulgaricus*, teniendo como resultado la reducción del pH.

Propiedades Funcionales del Yogurt

Desde la antigüedad son conocidos los efectos benéficos que este producto lácteo presenta en la salud humana (Parra-Huertas, 2013). El consumo

de leches fermentadas disminuye el colesterol (Dilmi-Bouras, 2006; Lee *et al.*, 2010). Asimismo, Wohlgemuth *et al.* (2010), mencionan que el yogurt puede ejercer efectos positivos sobre los sistemas inmune y digestivo (Taranto *et al.*, 2005; Ramírez *et al.*, 2011).

Además, se ha demostrado que los alimentos lácteos funcionales previenen diferentes tipos de cáncer (Parra-Huertas, 2013); tales como: colo-rectal (Parvez *et al.*, 2006; Ajmal y Ahmed, 2009), vesical (Larsson *et al.*, 2008) y de seno (Adolfsson, 2004), entre otros (Parra-Huertas, 2013).

Frutas y Hortalizas

El consumo de frutas y hortalizas se ha correlacionado con una menor incidencia de enfermedades crónico degenerativas (Kapadia *et al.*, 1996; Virgili *et al.*, 2001), entre las que se encuentran: el cáncer, enfermedades cardiovasculares y cerebrovasculares (Escribano *et al.*, 1998; Kapadia *et al.*, 2003; Perez-Vizcaino *et al.*, 2009; Gandía-Herrero *et al.*, 2016; Rodriguez-Barona *et al.*, 2016; Gonzalez-Gomez, 2012). El efecto protector de estos alimentos se ha atribuido a los compuestos bioactivos (Steinmetz y Potter, 1996; Oude Griep *et al.*, 2011; Winkler *et al.*, 2005; Pugliese *et al.*, 2013), donde destacan cuatro grupos de compuestos fitoquímicos: terpénicos, fenólicos, azufrados y nitrogenados (Tomás-Barberán, 2003).

Betabel (*Beta vulgaris* sp.)

El betabel o remolacha roja (*Beta vulgaris rubra*), es miembro de la familia *Chenopodiaceae* (Kapadia y Subba, 2013). Esta familia agrupa importantes cultivos alimenticios como la acelga (*Beta vulgaris cicla*) y espinaca (*Spinacia*

oleracea) (Ninfali y Angelino, 2013). El betabel es un alimento nutritivo que generalmente se consume en ensaladas, jugos, conservas en vinagre, o cocido (Guadarrama-Lezana *et al.*, 2014). Vulić *et al.*, (2014) indicaron que la pulpa de betabel puede considerarse una fuente potencial de nutrientes y puede usarse como un ingrediente para la elaboración de alimentos funcionales.

Además de otros compuestos químicos activos, el betabel contiene una clase única de antioxidantes: las betalaínas (Netzel *et al.*, 2005) (Netzel *et al.*, 2005; Mikołajczyk-Bator y Pawlak, 2016); que incluyen dos clases de compuestos, betacianinas (rojas) y betaxantinas (amarillas) (Pasch y Von Elbe, 1979; Von Elbe y Schwartz, 1996; Kanner *et al.*, 2001).

El extracto de betabel se ha empleado exitosamente como colorante en productos tales como: caramelos duros, malvaviscos (Basulto *et al.*, 2014), postres de gelatina (Güneşer, 2016), yogures y helados (Khan, 2016a), productos cárnicos (Georgiev *et al.*, 2010), aderezos para ensaladas (Khan, 2016b), mezclas de pastel (Khan y Giridhar, 2014), mezclas de bebidas en polvo, refrescos (Kapadia *et al.*, 2003) y mermeladas (Tellez, 2010). Un colorante es cualquier químico ya sea natural o sintético que imparte color, mientras que los pigmentos son sustancias naturales en las células y tejidos de las plantas y/o animales que imparten color (Von Elbe y Schwartz, 1996).

Por otro lado, el betabel ha tenido aplicación como pigmento en cosméticos, arte decorativo, pinturas y en la industria farmacéutica (Kapadia y Subba, 2013; Mereddy *et al.*, 2017) también se ha utilizado como un medicamento para enfermedades hepáticas y renales (Kapadia *et al.*, 2003), para

la estimulación del sistema inmune y hematopoyético (Lu *et al.*, 2009; Szaefer *et al.*, 2014), como tratamiento dietético especial del cáncer (Kanner *et al.*, 2001) y otras enfermedades comunes (El-Gamal *et al.*, 2014).

Hoy en día, el extracto de betabel es un color aprobado bajo el código 73.40 por la Administración de Drogas y Alimentos de EUA (FDA) (Martínez *et al.*, 2006; Rodriguez, 2016) y por la Unión Europea (UE) designado con el número E162 (Kapadia y Subba, 2013; EFSA-ANS, 2015; Carocho *et al.*, 2015).

Betalaínas

Las betalaínas son los principales pigmentos de la raíz del betabel (*Beta vulgaris* sp.) y de otras especies, como la espinaca malabar (*Basella* sp.) el amaranto (*Amaranthus* sp.), la pitaya (*Cereus, Hylocereus y Selenicereus* sp.) y la pera del cactus (*Opuntia* sp.) comúnmente conocida como tuna (Figura 1, Stintzing *et al.*, 2003; Kumar *et al.*, 2014; Güneşer, 2016; Celli y Brooks, 2017; Ciriminna *et al.*, 2018).

La raíz del betabel representa la principal fuente comercial de betalaínas (Delgado-Vargas *et al.*, 2000; Soriano-Santos *et al.*, 2007; Rodriguez-Amaya, 2016; Rodriguez-Amaya, 2018). En las últimas décadas se han estudiado las propiedades funcionales que estos compuestos confieren a la salud, entre las que se destacan su actividad antioxidante (AA), antidiabética, antiinflamatoria y anticancerígena (Kanner *et al.*, 2001; Kapadia *et al.*, 2003; Gandía-Herrero *et al.*, 2013; Kapadia y Subba, 2013; Gandía-Herrero *et al.*, 2016; Mikołajczyk-Bator y Pawlak, 2016; Ciriminna *et al.*, 2018).

a) Betabel (*Beta vulgaris rubra*)

b) Pitahaya (*Hylocereus* sp.)

c) Espinaca (*Basella alba.*)

d) Amaranto (*Amaranthus* sp.)

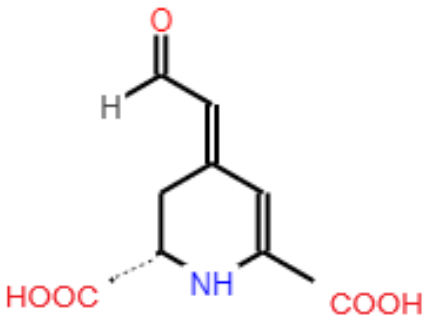
e) Tuna (*Opuntia* sp.)

f) Acelga (*Beta vulgaris cicla*)

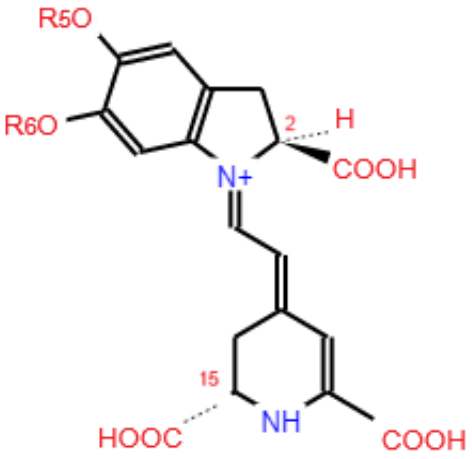
Figura 1. Especies que contienen betalaínas.

Estructura química de las betalaínas. Las betalaínas son pigmentos nitrogenados solubles en agua, derivados del ácido betalámico (AB) (Badui, 1990; Fennema, 1996; Tesoriere *et al.*, 2004a, 2004b; Rodriguez-Amaya, 2016; Mereddy *et al.*, 2017) y están compuestas de dos grupos estructurales (Figura 2): betacianinas (BC) y betaxantinas (BX) (Lee *et al.*, 2005; Azeredo *et al.*, 2007). Las BC contienen un residuo de ciclodopa-5-*O*-glucosido (CDG) (Penfield y Campbell, 1990; Stintzing y Carle, 2006; Tesoriere *et al.*, 2004b; Moreno *et al.*, 2008), y exhiben una coloración rojo-violeta (Gandía-Herrero *et al.*, 2009; Carocho *et al.*, 2015; Chranioti *et al.*, 2015), incluyen betanina, isobetanina y neobetanina (Figura 3) (Ahia, 2008). Las BX contienen diferentes cadenas laterales de aminoácidos o aminas (Tesoriere *et al.*, 2004b) y exhiben una coloración amarillo-naranja (Kanner *et al.*, 2001; Stintzing *et al.*, 2002, 2006, Azeredo, 2009), e incluyen indicaxantina y vulgaxantina I y II (Figura 3) (Penfield y Campbell, 1990; Ahia, 2008). Las betaxantinas difieren de las betacianinas en que el núcleo de las primeras es remplazado por un aminoácido (Von Elbe y Schwartz, 1996; Azeredo, 2009; Azeredo *et al.*, 2009).

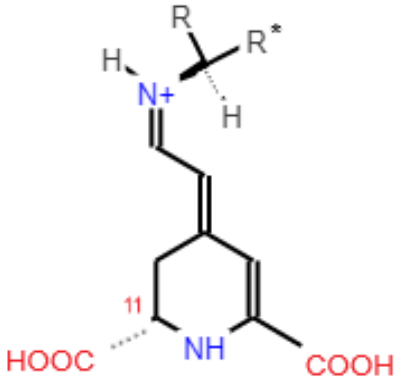
Estabilidad de las betalaínas. Las betalaínas por naturaleza son inestables (Figura 4) en presencia de luz (Von Elbe *et al.*, 1974), altas temperaturas (Huang y Von Elbe, 1985), pH alcalinos (Penfield y Campbell, 1990), actividad enzimática (Slimen *et al.*, 2017), y presencia de oxígeno y/o metales (Von Elbe y Schwartz, 1996; Wong y Siow, 2015). Y debido a la baja estabilidad se ha restringido su uso en alimentos (Serris y Biliaderis, 2001; Herbach *et al.*, 2006a, 2006b, 2006c; Stintzing *et al.*, 2006; Martins *et al.*, 2017; Flores-Mancha *et al.*, 2019).



a) Ácido betalámico

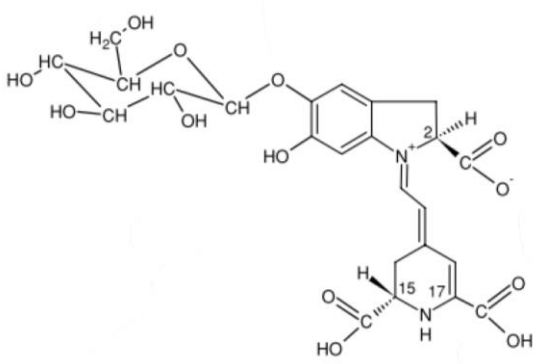


b) Betacianinas

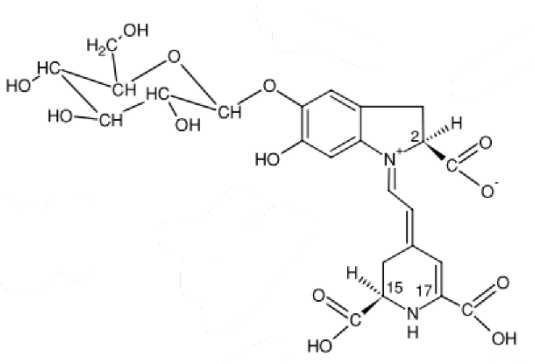


b) Betaxantinas

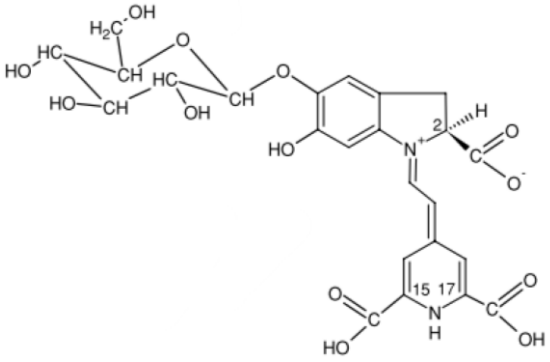
Figura 2. Estructura del ácido betalámico y grupos estructurales de las betalaínas. Adaptado de Stintzing y Carle, (2004) y Slimen *et al.,* (2017)



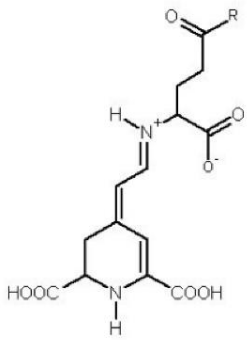
a) Betanina



b) Isobetanina



c) Neobetanina



d) Vulgaxantina I (R:NH2) y II (R:OH)

Figura 3. Estructura química de las betalaínas de *Beta vulgaris* sp. Adaptado de Herbach *et al.*, (2006b) y Ninfali y Angelino, (2013).

Alto contenido de pigmento		Bajo contenido de pigmento
Alto grado de glucosilación		Bajo grado de glucosilación
Alto grado de acilación		Bajo grado de acilación
Baja a_w		Alto a_w
Agentes quelatantes		Enzimas degradantes
pH 3 - 7	**+ Estabilidad Betalaínas -**	pH <3 o > 7
Antioxidantes		Cationes de metal
Baja temperatura		Alta temperatura
Ausencia de luz		Presencia de luz
Ausencia de O_2		Presencia de O_2
Atmósfera de nitrógeno		Presencia H_2O_2

Figura 4. Factores que influyen en la estabilidad de las betalaínas (Mayor estabilidad columna izquierda, menor estabilidad columna derecha). Adaptado de Herbach *et. al*. (2006a) y Esatbeyoglu *et al.*, 2015).

Temperatura. La degradación de las betalaínas depende en gran medida de la temperatura y sigue una cinética de reacción de primer orden, que depende del pH (Huang y Von Elbe, 1985; Castellar *et al.*, 2003; Azeredo, 2009). El factor más importante en la estabilidad de las betalaínas durante el proceso y almacenamiento de los alimentos es la temperatura (Huang y Von Elbe, 1985; Herbach *et al.*, 2005; Azeredo, 2009; Reshmi *et al.*, 2012). Durante los procesos térmicos las betalaínas pueden degradarse por desglicosilación, isomerización, hidrólisis, descarboxilación y deshidrogenación (Von Elbe *et al.*, 1974; Schwartz y Von Elbe, 1983; Huang y Von Elbe, 1985; Von Elbe y Schwartz, 1996; Stintzing *et al.*, 2005; Herbach *et al.*, 2006a, 2006b, 2006c; Azeredo, 2009; Castillo-Garrido, 2013), el cambio en la reducción de color es gradual, de color rojo característico de estos pigmentos hasta llegar a color marrón claro (Huang y Von Elbe, 1985).

Se ha demostrado que las betalaínas tienen mayor estabilidad a temperaturas bajas (Herbach *et al.*, 2005; Stintzing *et al.*, 2005), siendo 4°C la que permite mantener la estabilidad de los compuestos betalámicos comparado con temperaturas más altas (Herbach *et al*., 2005; González *et. al.*, 2010; Janiszewska, 2014).

El AB (amarillo brillante) y CDG (sin color) son productos resultantes de la descarboxilación de la betanina durante tratamientos térmicos (Huang y Von Elbe, 1985). Cuando la betanina pierde átomos de hidrógeno (deshidrogenación) entonces se genera otro compuesto betalámico llamado neobetanina, observándose un cambio de color rojo hasta amarillo (Reshmi *et al.*, 2012).

Así mismo, el proceso térmico del jugo de betabel causa la degradación de las betalaínas dando como resultado diferentes tipos de BC; monocarboxiladas, dicarboxiladas y tricarboxiladas (Wybraniec, 2005).

pH. Los compuestos betalámicos son estables en un rango de pH de 3.0 a 6.0 por encima de este rango las betalaínas se degradan rápidamente, dicho proceso es acompañado de una pérdida de color (Delgado-Vargas *et al.*, 2000; Castellar *et al.*, 2003; Stintzing *et al.*, 2005; Gandía-Herrero *et al.*, 2007; Gandía-Herrero y García-Carmona, 2013). La betanina se degrada a AB y CDG en condiciones alcalinas (Von Elbe y Schwartz, 1996). Las BC se consideran con mayor estabilidad a pH ácido, mientras que las BX son más resistentes en medios neutros (Reshmi *et al.*, 2012). El pH ideal para la estabilidad de los pigmentos betalámicos es de 4.0-5.0 en condiciones anaerobias, pero si las betalaínas se encuentran en un medio con presencia de oxigeno el pH óptimo es de 5.5 a 5.8 (Huang y Von Elbe, 1985).

Luz. La estabilidad de las betalaínas depende de la presencia de luz, la degradación de color es causada por la absorción de luz en ondas UV (Manchali *et al.*, 2013; Janiszewska, 2014). Sin embargo, Herbach *et al.* (2004a, 2004b), señalan que la degradación de los pigmentos por la luz depende de la presencia de oxígeno, puesto que ésta no se da en condiciones anaerobias. Este tipo de degradación se puede evitar mediante la utilización de ácido ascórbico en diferentes niveles (Herbach *et al.*, 2005). La presencia de luz y oxígeno tienen un efecto sinérgico cuando ambos se encuentran presentes. La luz causa una

degradación de color del 15.6% y el oxígeno 14.6%, mientras que la combinación de ambos causa una degradación del 28.6% (Von Elbe *et al.*, 1974).

Manchali *et al.* (2013), mencionan que no todas las fuentes de luz generan la degradación de las betalaínas, sino que la luz de diferentes longitudes de onda puede causar un efecto aditivo de color en las betalaínas. De tal forma Shin *et al*. (2003), sugieren que la luz azul en combinación con la luz infrarroja inducen a una mayor acumulación de BC, pero también de azúcares totales y sacarosa.

Oxigeno. Las betalaínas reaccionan con oxígeno, cuando estas son almacenadas en presencia de oxígeno sufren una degradación de color (Von Elbe *et al.*, 1974; Herbach *et al.*, 2006a, 2006b, 2006c). Sin embargo, se ha demostrado que niveles bajos de oxígeno favorecen la recuperación del pigmento después de sufrir dicha degradación (Huang y Von Elbe, 1985, 1987). La eliminación de oxígeno disuelto aumenta la estabilidad de los compuestos betalámicos (Von Elbe *et al.*, 1974).

El oxígeno es un papel crucial en la degradación de las betalaínas, y más aún, si dichos compuestos se encuentran almacenados por encima de los 4ºC y en presencia de luz (Von Elbe *et al.*, 1974; Schwartz y Von Elbe, 1983; Herbach *et al.*, 2004a, 2004b; Azeredo, 2009; Manchali *et al.*, 2013).

Metales. Los metales son otro factor a considerar en la degradación de los pigmentos betalámicos, iones como cobre, hierro, aluminio y estaño afectan la estabilidad de la betanina acelerando la pérdida de su color (Pasch y Von Elbe, 1979; Von Elbe y Attoe, 1985). Para reducir la degradación de color en los

pigmentos por iones metálicos, algunos autores recomiendan utilizar ácido cítrico como agente quelatante (Stintzing y Carle, 2007).

Actividad de agua (a_w). La a_w afecta la estabilidad de los compuestos betalámicos puesto que el agua favorece la ruptura del enlace aldimina del compuesto (Serris y Biliaderis, 2001; Herbach *et al.*, 2006c). Se ha observado una mayor estabilidad de las betalaínas cuando la actividad de agua (a_w) es menor de 0.63 (Azeredo, 2009). Diversos autores reportan que la estabilidad de estos compuestos aumenta cuando se aplican métodos para reducir el contenido de agua, tales como liofilización y secado por atomización, entre otros (Serris y Biliaderis, 2001; Castellar *et al.*, 2003; Herbach *et al.*, 2004a, 2004b, 2005, 2006a, 2006b, 2006c; Pitalua *et al.*, 2010; Ruiz-Gutiérrez *et al.*, 2014).

Actividad enzimática. Otra causa de la inestabilidad de los compuestos betalámicos es la inactivación inadecuada de enzimas como las glucosidasas, polifenoloxidasas y peroxidasas (Herbach *et al.*, 2006b, 2006c; Castillo-Garrido, 2013). Las glucosidasas afectan la estabilidad de las betalaínas por la formación de agliconas, las peroxidasas forman radicales, las polifenoloxidasas oxidan principalmente los compuestos fenólicos incoloros, todo esto dando como resultado la inactivación de las betalaínas y por consiguiente la decoloración de los compuestos betalámicos (Von Elbe y Schwartz, 1996; Stintzing y Carle, 2007; Castillo-Garrido, 2013).

Propiedades funcionales de las betalaínas. Estos compuestos además de tener un color atractivo para la industria alimenticia, presentan propiedades anticancerígenas (Ninfali y Angelino, 2013; Kapadia *et al.*, 1996; Escribano *et al.*,

1998), antiinflamatorias (Winkler *et al.*, 2005; Tan *et al.*, 2015), antidiabéticas (Bolkent *et al.*, 2000) y antioxidantes (Kanner *et al.*, 2001; Vulić *et al.*, 2014). El Cuadro 1 resume las propiedades funcionales atribuidas a los compuestos betalámicos.

Polifenoles

Los polifenoles son los antioxidantes más abundantes en las plantas, frutas y hortalizas (Quiñones *et al.*, 2012; Valencia-Avilés *et al.*, 2017; Cutrim y Sloboda, 2018). El contenido de polifenoles en frutas y hortalizas puede variar de acuerdo a factores, como: especie, grado de madurez, condiciones ambientales (clima, suelo, ubicación geográfica, etc.) y condiciones de almacenamiento, entre otros (Haminiuk *et al.*, 2012; Valencia-Avilés *et al.*, 2017).

En las últimas décadas se ha demostrado que una dieta con alto contenido de polifenoles vegetales mejora la salud y ayuda a prevenir enfermedades (Schroeter *et al.*, 2006; Perez-Vizcaino *et al.*, 2009). Estos componentes son importantes en la alimentación humana debido a que ejercen diversas funciones tales como: la síntesis proteica, asimilación de nutrientes, actividad enzimática, formación de componentes estructurales, quelación de metales y su acción atrapadora de radicales libres (Manach *et al.*, 2004; Valencia-Avilés *et al.*, 2017).

Estructura de los polifenoles. Son compuestos químicos de alto peso molecular que contienen al menos un grupo hidroxilo (-OH) unido a uno o varios anillos aromáticos que caracteriza su estructura fenólica (Salas *et al.*, 2013; Peñarrieta *et al.*, 2014; Cutrim y Sloboda, 2018). Según el número de anillos que contienen se clasifican en: ácidos fenólicos, estilbenos, flavonoides, lignanos y

Cuadro 1. Propiedades funcionales de las betalaínas

Autores	Unidad Experimental	Tratamiento Dosis / Frecuencia / Duración / Administración	Resultado
Schwartz *et. al.,* 1983	Ratas	50 mg / kg betanina pura y 50 mg / kg BC / diario / 6-8 meses / dieta	Anticancerígena Evita la hepatocarcinogénesis
Kapadia *et. al*., 1996	Ratones	2.5-100 mg / mL de betanina / diario / 20 semanas/ agua potable	Anticancerígena Inhibición de cáncer de piel y pulmón
Kapadia *et. al.,* 2003	Ratones	2,5 mg de betanina / diario / 20 semanas / aplicación oral y tópica	Anticancerígena Supresión de tumores de piel y de hígado
Zhang *et. al*., 2013	Ratones	0.025-0.1 mg / mL de betanina / diario / 20 semanas / agua potable	Anticancerígena Disminución de la carga tumoral
Szaefer *et. al.,* 2014	Ratas	6.3 mg de BX y 12.7 mg de BC kg / peso corporal / diario / 4 semanas / sonda nasogástrica	Anticancerígena Disminución de cáncer de pulmón y glándula mamaria

Autores	Unidad Experimental	Tratamiento Dosis / Frecuencia / Duración / Administración	Resultado
Kujawska *et. al.,* 2009	Ratas	8 mL / kg / diario/ 28 días / sonda nasogástrica	Anticancerígena y Antioxidante Reducción de la, multiplicidad y retraso del tumor. Disminución del estrés oxidativo inducido por xenobióticos
Tan *et. al.,* 2015	Ratas	25 y 100 mg / kg / tres días antes y dos días después de la administración del inductor / sonda nasogástrica	Anticancerígena, Antiinflamatoria y Antioxidante Protección contra el daño renal agudo inducido debido a la inhibición del estrés oxidativo y la inflamación.
Lee *et. al*., 2005	Ratas	10-150 ppm µg / mL de betanina / diario / 2 meses / dieta	Hepatoprotectora Inductor de quinona reductasa
Agarwal *et al.* (2006)	Ratas	1000, 2000 y 4000 mg / kg extracto etanólico de betabel / diario/ 7 días/ dieta	Hepatoprotectora Inductor de quinona reductasa
Lu *et. al.,* 2009	Ratones	20 mg / kg pv / día / 33 p / sonda nasogástrica	Radioprotectora
Winkler *et. al., 2005*	Humanos	0.5 µg / mL betanina / 48 h / NA / NA	Antiinflamatoria Supresión de la producción de neopterina
Kanner *et. al.,* 2001	Humanos	300 mL jugo de betabel -120 mg de betanina / 1 día / NA /oral	Antioxidante Inhibición la peroxidación lipídica

Autores	Unidad Experimental	Tratamiento Dosis / Frecuencia / Duración / Administración	Resultado
Netzel *et. al.,* 2005	Humanos	500 mL de jugo de betabel / 1 día / NA / oral	Antioxidante Aumenta compuestos antioxidantes en la excreción urinaria
Vulic *et. al.,* 2014	Ratas	1-3 mL / kg extracto de betabel de peso corporal / diario / 7 días / vía intraperitoneal	Antioxidante Supresión producción excesiva de radicales libres inducida
Josef *et al.* (1973)	Humanos	100 g / diario / 14 días / dieta	Antidiabética Disminución del contenido de azúcar en la sangre
Yoshikawa *et al.* (1996)	Ratas	5 mL / kg de peso corporal / NA /NA / oral	Antidiabética Reducción de glucosa en sangre
Bolkent *et. al.,* 2000	Ratas	2 g / kg de peso corporal / diario / 28 días / vía intraperitoneal	Antidiabética Reducción de glucosa en sangre

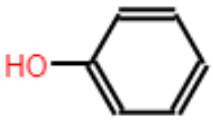
taninos (Figura 5) (Martínez-Florez *et al.*, 2002; Haminiuk *et al.*, 2012; Gonçalves *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2015). Existe gran variedad de polifenoles, entre los cuales se incluyen pigmentos naturales, de diversas tonalidades, como amarillo, naranja, rojo y azul, así como otros compuestos relacionados con sabor y olor de los alimentos (Cutrim y Sloboda, 2018).

Estabilidad de los polifenoles. Es preciso tener en cuenta que los polifenoles tienen baja estabilidad, reaccionando con otros compuestos y se deterioran fácilmente a altas temperaturas, presencia de luz y oxígeno, entre otros factores (Pulido y Beristain, 2010; Busso-Casati y Baeza, 2016; Diaz *et al.*, 2017; Baeza *et al.*, 2019). El pH también es un factor importante a considerar, se ha demostrado una mayor estabilidad en pH por debajo de 5.0, porque la acidez tiene un efecto protector sobre la molécula (Busso-Casati y Baeza, 2016; Baeza *et al.*, 2019), mientras que en medios alcalinos ocurre una rápida degradación oxidativa (Reyes-Aguilar, 2014).

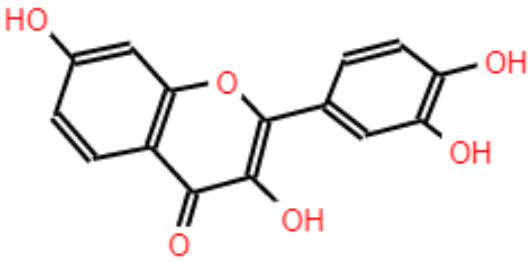
Propiedades funcionales de los polifenoles. Además de ser potentes antioxidantes, los polifenoles poseen propiedades funcionales como antimicrobianas, antiinflamatorias, antialergénicas, antitrombóticas, antihipertensivas, anticancerígenas y antineoplásicas (Schroeter *et al.*, 2006; Perez-Vizcaino *et al.*, 2009; Palacios *et al.*, 2011; Haminiuk *et al.*, 2012; Quiñones *et al.*, 2012; Moreno-Jimenez *et al.*, 2015; Cutrim y Sloboda, 2018).

Encapsulación

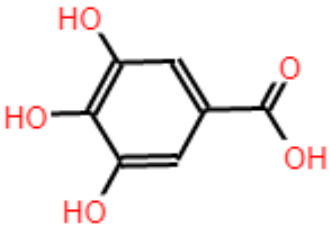
Estudios recientes han demostrado que la encapsulación de betalaínas y polifenoles en diferentes matrices comestibles pueden aumentar la estabilidad de



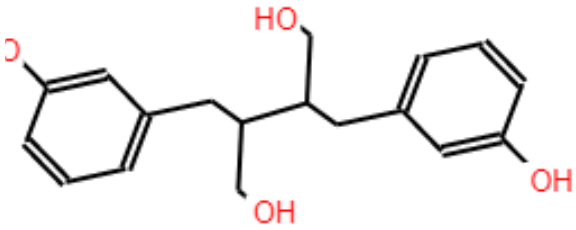
a) Fenol



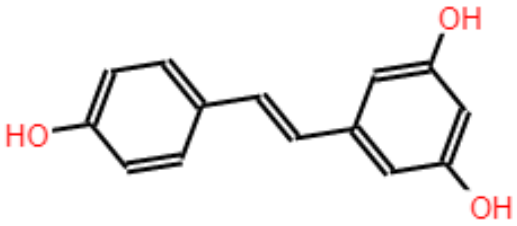
b) Flavonoide-Fisetina



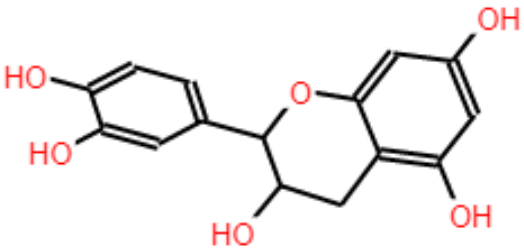
c) Ácido gálico



d) Lignano-Enterodiol



e) Estilbeno-Resveratol



f) Tanino-Catequina

Figura 5. Estructura química del ácido fenico y de los polifenoles. Adaptado de Haminiuk *et al*., (2012).

estos compuestos, y por ende conservan sus actividades antioxidantes y antirradicales (Gandía-Herrero *et al.*, 2009; López *et al.*, 2012). La encapsulación se ha utilizado para proteger los compuestos fitoquímicos (colorantes, saborizantes, antioxidantes, bactericidas, vitaminas, aceites esenciales, etc.) que contienen los alimentos (López *et al.*, 2012; Vergara, 2013; Xue *et al.*, 2013; Luna-Guevara *et al.*, 2016). Este es un proceso mediante el cual las sustancias bioactivas se recubren con una película delgada de un material protector (Parra-Huertas, 2011; Flores-Belmont y Jiménez-Munguía, 2013; Arrazola *et al.*, 2014; Gallo-Nunura y Cevallos-Vera, 2014; Manjunatha y Raju, 2015; Diaz *et al.*, 2017), que reduce su pérdida, aumenta la estabilidad, mejora la biodisponibilidad, incrementan la vida útil y además de ser más fáciles de manejar (Azeredo, 2005; Pitalua *et al.*, 2010; López *et al.*, 2012; Janiszewska, 2014; Ibraheem *et al.*, 2015; Diaz *et al.*, 2017).

Métodos de encapsulación. Existen una gran variedad de técnicas para llevar a cabo la encapsulación, algunos autores las han clasificado como químicas y físicas (Guevara-Breton y Jimenez-Munguia, 2008). En los métodos químicos se encuentran: la polimerización interfacial, gelificación iónica, cristalización, coacervación compleja, inclusión molecular, incompatibilidad polimérica y atrapamiento de liposomas (Pedroza-Islas, 2002; Azeredo, 2005; Flores-Belmont y Jiménez-Munguía, 2013). Dentro de las técnicas físicas o mecánicas aparecen: el secado en lecho fluidizado, extrusión, liofilización y secado por atomización (Figura 6) (Azeredo, 2005; Madene *et al.*, 2006), siendo estas últimas las más utilizadas (Azeredo, 2005; Oberoi y Sogi, 2015; Araujo-Diaz *et al.*, 2017;

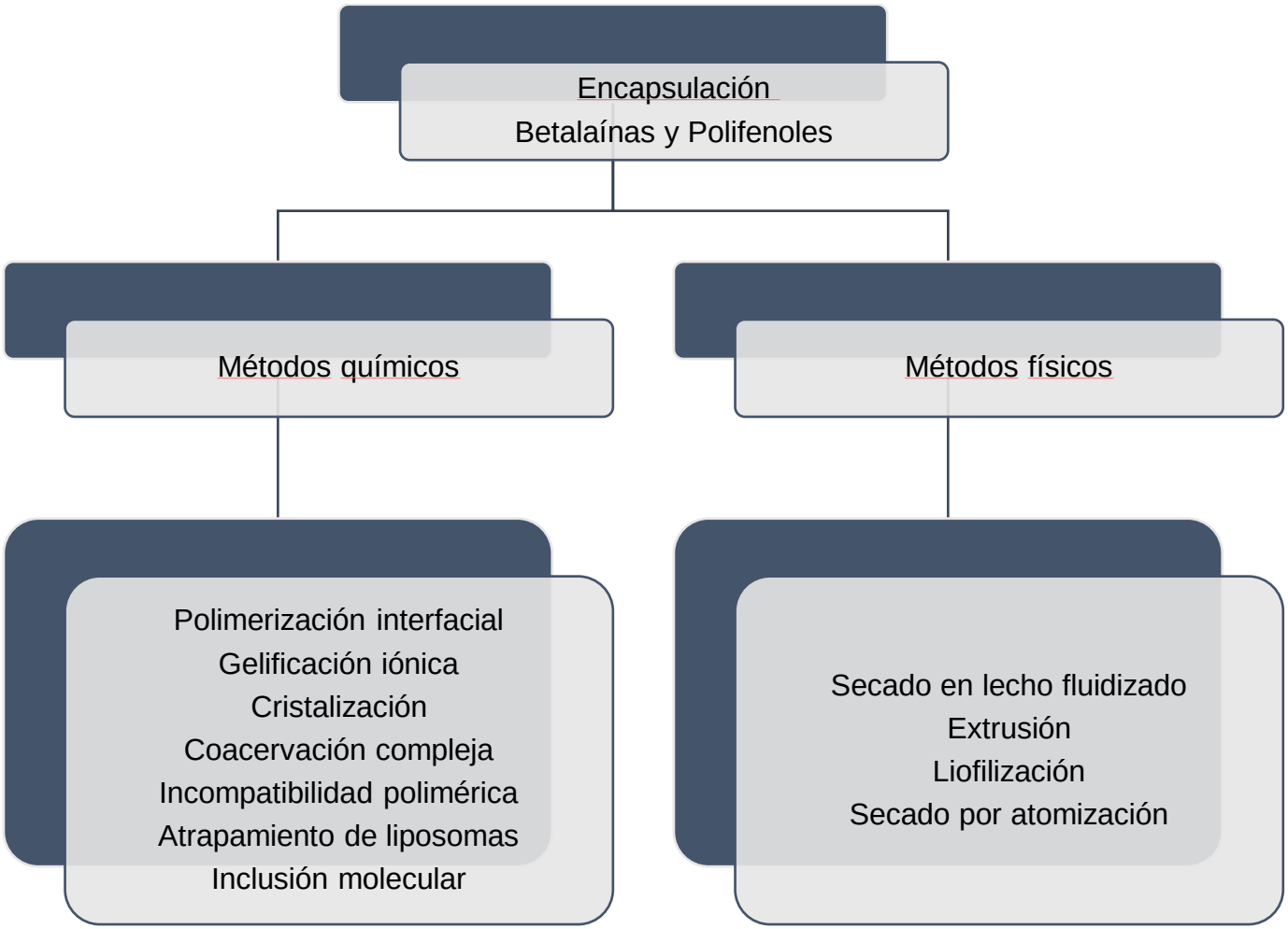


Figura 6. Esquema de los métodos de encapsulación. Adaptado de Parra-Huertas (2011) y Flores-Belmont y Jiménez-Munguía (2013).

(Shaaruddin *et al.*, 2017; Shishir y Chen, 2017). Al momento de la encapsulación se debe tomar en cuenta que existen complicaciones relacionadas con el apelmazamiento, aglomeración de partículas y pegajosidad, como resultado de la baja temperatura de transición vítrea (T_g) (Araujo-Diaz *et al.*, 2017), debido a lo anterior, es necesario utilizar agentes encapsulantes que aumenten dicho parámetro (alto peso molecular y baja viscosidad) (Diaz *et al.*, 2017).

Agentes encapsulantes. Existen diferentes tipos de agentes encapsulantes (Sandoval-Peraza *et al.*, 2016) también llamados acarreadores, entre estos se encuentran: carbohidratos, lípidos, proteínas y polímeros de grado alimenticio (Guevara-Breton y Jimenez-Munguia, 2008; Gallo-Nunura y Cevallos-Vera, 2014; Ibraheem *et al.*, 2015; Antigo *et al.*, 2017). En el grupo de los carbohidratos se localizan: los almidones, alginatos, carrageninas, goma arábiga, goma guar, goma xantana, sacarosa, glucosa, maltodextrina, inulina, jarabe de maíz, pectina, carboximetil celulosa y quitosano, entre otros (Barbosa *et al.*, 2005; Ravichandran *et al.*, 2014; Manjunatha y Raju, 2015; Diaz *et al.*, 2017; Shishir y Chen, 2017; Slimen *et al.*, 2017). Entre los lípidos se ubican las ceras de abeja, carnauba y candelilla, diestearato de glicerol y grasas naturales y modificadas (Pedroza-Islas *et al.*, 1999; Sandoval-Peraza *et al.*, 2016). En las proteínas se pueden destacar como agentes encapsulantes la gelatina, caseínas como el caseinato de sodio, proteínas del suero, soja y trigo (Gandía-Herrero y García-Carmona, 2013). En los polímeros de grado alimenticio se destaca el polipropileno, polivinilacetato, poliestireno y el polibutadieno entre otros (Guevara-Breton y Jimenez-Munguia, 2008). Cada grupo de materiales acarreadores tienen ventajas y desventajas, es

por esto que los recubrimientos en su mayoría son formulaciones compuestas de todos los anteriores (Apintanapong y Noomhorm, 2003; Madene *et al.*, 2006).

Encapsulación de betalaínas. Gandía-Herrero *et al.* (2013), reportan que la estabilidad de las betalaínas aumenta cuando son encapsuladas con maltodextrina, manteniendo la coloración rojo-púrpura de los polvos. Azeredo *et al.* (2007) indican que el uso de diferentes proporciones de maltodextrina en la encapsulación mediante el secado por atomización de BC aumenta su estabilidad. Una investigación realizada por Serris y Biliaderis (2001), sugiere que la mezcla de maltodextrina con pululano es una opción viable para la encapsulación (secado por atomización o liofilización) de compuestos alimentarios como las betalaínas. Por su parte, Ravichandran *et al.* (2014), mencionan que la encapsulación de las betalaínas con diferentes mezclas [(maltodextrina con pectina (6%), maltodextrina con goma arábiga (6%), y maltodextrina con goma xantana (21%)] y con secado por pulverización incrementa la estabilidad de éstas en comparación con el uso exclusivo de maltodextrina. Así mismo, éste estudio señala que las betalaínas encapsuladas por liofilización con goma de xantana aumenta su concentración hasta en un 65% en comparación con el control (únicamente maltodextrina). De igual forma, Antigo *et al.* (2017) indican que la liofilización de extracto de betabel mezclado con maltodextrina y goma de xantana produce una mayor estabilidad de las betalaínas, en relación a cuando se emplea el secado por pulverización.

Por otro lado, se ha demostrado que la estabilidad de las betalaínas aumenta cuando se utiliza como agente encapsulante la goma arábiga en

relación con la maltodextrina, esto debido a su menor higroscopicidad (Pitalua *et al.*, 2010; Guadarrama-Lezana *et al.*, 2014; Janiszewska, 2014). También, se ha determinado que el uso de inulina como agente acarreador, aumenta la estabilidad de BC en contraste con el extracto sin agentes acarreadores (Omae et al., 2017). Estos métodos y agentes de encapsulación han sido utilizados para diversas fuentes de betalaínas tales como *Beta vulgaris*, *Opuntia* spp. y *Amaranthus*, entre otras (Cuadro 2 y 3)

Encapsulación de polifenoles. Diaz *et al.* (2017), reportaron que el empleo de maltodextrina como agente acarreador prolonga la estabilidad de los compuestos fenólicos en un 200%. Así mismo, Antigo *et al.* (2017) mencionan que la encapsulación de compuestos bioactivos con maltodextrina y goma de xantana presentan una mayor estabilidad en contenido de polifenoles. En otros estudios, se afirma que la encapsulación de polifenoles con maltodextrina proporciona un efecto protector, disminuyendo la constante de velocidad de degradación de dichos compuestos durante el almacenamiento (Robert *et al.*, 2010; Araujo-Diaz *et al.*, 2017). Por su parte, Saénz *et al.* (2009) obtuvieron un incremento en el contenido de compuestos fenólicos utilizando maltodextrina e inulina como agentes encapuslantes.

Radicales Libres

Los radicales libres son partículas inestables que perdieron un electrón y son altamente reactivas (Halliwell y Gutteridge, 1990; Coronado *et al.*, 2015), destruyen las paredes celulares, debilitan el sistema inmunitario, inactivan enzimas y dañan el material genético-hereditario; pueden ser causantes de

Cuadro 2. Condiciones de encapsulación y agentes encapsulantes utilizados para estabilizar betalaínas mediante secado por atomización.

Referencia	Fuente de betalaínas	Agente encapsulante	Condiciones de encapsulación (Temperatura de entrada, Flujo de aire, Tasa de alimentación, Tasa de aspiración, Presión)	Aplicación en alimentos
Antigo *et al.* (2017)	*Beta vulgaris*	Maltodextrina y Goma xantana	150°C, 0.6 L / h, NE, 3.8 m^3 / h, 0.08 - 0.14 bar	-
Omae *et al.* (2017)	*Beta vulgaris*	Inulina	120°C, 600 L / h, 10 mL / min, NE, 20 psi	Adición a sorbete
Castro-Muñoz *et al.* (2015)	*Opuntia stricta*	Maltodextrina y Gelatina	110 - 140°C, NE, 1 mL / min, 32 m^3 / h, 40 kg / cm2	-
Guadarrama-Lezana *et al.* (2014)	*Beta vulgaris*	Goma arábiga	135 -145°C, 40 mL / min, NE, NE, 4 bar	-
Janiszewska (2014)	*Beta vulgaris*	Maltodextrina y Goma arábiga	160°C, NE, NE, 0.055 m^3 / s, NE	-
Ravichandran *et al.* (2014)	*Beta vulgaris*	Maltodextrina, Goma guar, Goma arábiga, Pectina y Goma xantana	90 - 102°C, 700 L / h, 10 mL / min, NE, 25psi	-
Ruiz-Gutiérrez *et al.* (2014)	*Opuntia ficus-indica*	Fibra soluble (β-D-glucano)	160 - 200°C, NE, NE, NE, 4.5 bar	-
Castillo-Garrido (2013)	*Opuntia ficus-indica*	Capsul y K-4484	110 - 133°C, 600 L / h, 5%, 100%, 5 bar	Adición a bebida refrescante

Referencia	Fuente de betalaínas	Agente encapsulante	Condiciones de encapsulación (Temperatura de entrada, Flujo de aire, Tasa de alimentación, Tasa de aspiración, Presión)	Aplicación en alimentos
Gandía-Herrero *et al.* (2013)	*Beta vulgaris*	Quitosano y Maltodextrina	140°C, 246 L / h, 2.5 mL / min, 36 m^3/h, NE	-
Vergara (2013)	*Opuntia ficus-indica*	Capsul y K-4484	110 - 219°C, 600 L / h, 3 mL / min, NE, 5 bar	Adición a bebida refrescante
Gandía-Herrero *et al.* (2010)	*Opuntia*	Maltodextrina	120 -210°C, 246 L / h, 2.5 mL / min, 36m^3/h, NE	-
Pitalua *et al.* (2010)	*Beta vulgaris*	Goma arábiga	175 - 185°C, NE , NE, NE, 5 bar	-
Obón *et al.* (2009)	*Opuntia stricta*	Jarabe de glucosa	80 – 160°C, 0.36 – 0.72 L / h, NE, 36 m^3/h,	Adición a yogurt y bebida refrescante
Saénz *et al.* (2009)	*Opuntia ficus-indica*	Maltodextrina e Inulina	120 - 160°C, 600 L / h, 10 mL / min, NE, 20 psi	-
Azeredo *et al.* (2007)	*Beta vulgaris*	Maltodextrina	120°C, 0.4 L / h, NE, NE, NE	Adición a yogurt natural
Díaz-Sánchez *et al.* (2006)	*Opuntia lasiacantha*	Maltodextrina	150°C, NE, 15%, NE, NE	-
Moßhammer *et al.* (2006)	*Opuntia ficus-indica*	Maltodextrina	165°C, NE, NE, NE, NE	-
Cai y Corke (2000)	*Amaranthus*	Maltodextrina	150 – 210°C, NE, 390 – 530 g/h, 56 m^3 / h, 1.4 – 1.5 bar	-

NE= No especifica. Adaptado de Flores-Mancha *et al.* (2019).

Cuadro 3. Condiciones de encapsulación y agentes encapsulantes utilizados para estabilizar betalaínas mediante liofilización.

Referencia	Fuente de betalaínas	Agente encapsulante	Condiciones de encapsulación (Congelación tiempo y temperatura; Liofilización tiempo, temperatura y presión)	Aplicación en alimentos
Antigo *et al.* (2017)	*Beta vulgaris*	Maltodextrina y Goma Xantana	48 h - 10°C; 48 h, -36°C, 1.09 Pa	-
Ravichandran *et al.* (2014)	*Beta vulgaris*	Maltodextrina, Goma guar, Goma arábiga, Pectina y Goma xantana	3 h, -18°C; 48 h, NE, NE	-
Díaz-Sánchez *et al.* (2006)	*Opuntia lasiacantha*	Maltodextrina	Congelación inmediata N_2; 24 h, NE, NE	-
Moßhammer *et al.* (2006)	*Opuntia ficus-indica*	Maltodextrina	NE, NE; 72 h, -25°C, NE	-
Serris y Biliaderis (2001)s	*Beta vulgaris*	Maltodextrina y Pululano	NE, -18°C; NE, NE, NE	-
Cai y Corke (2000)	*Amaranthus*	Maltodextrina	Congelación inmediata N_2; 24 h, NE, NE	-

NE= No especifica. Adaptado de Flores-Mancha *et al.* (2019).

diversas patologías tales como: asma, arteriosclerosis, padecimientos articulares crónicos, angiopatía diabética, trastornos del sistema nervioso central (Parkinson y Alzheimer), envejecimiento de la piel, cataratas, cáncer y anemia (Korc *et al.*, 1995; Valko *et al.*, 2006; Maldonado-Saavedra *et al.*, 2010; Corrales y Muñoz, 2012).

Antioxidantes

Los antioxidantes, son eliminadores de radicales libres (Winkler *et al.*, 2005), comprenden un gran número de clases de moléculas orgánicas como los fenoles, péptidos, fosfolípidos y polisacáridos (Azeredo, 2009). Una de las principales funciones de los antioxidantes es prevenir o retrasar la oxidación de las grasas, que a su vez beneficia la conservación de alimentos (Wootton-Beard y Ryan, 2011). Los antioxidantes pueden inhibir directamente el daño causado por reacciones proliferativas al donar el electrón necesario para estabilizar las especies reactivas de oxígeno y nitrógeno sin volverse reactivos a su vez (Figura 7) (Valko *et al.*, 2006; Maldonado-Saavedra *et al.*, 2010; Corrales y Muñoz, 2012). Los grupos fenólicos dentro de las betalaínas son donantes de electrones, lo que les otorga una capacidad alta para eliminar radicales libres (Herbach *et al.*, 2007; Stintzing y Carle, 2007; Tan *et al.*, 2015).

Actividad Antioxidante

El equilibrio entre la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) y especies reactivas de nitrógeno (RNS) (denominadas colectivamente RONS) (Wootton-Beard y Ryan, 2011) es importante para la correcta funcionalidad de las moléculas antioxidantes (Juarez-Moya, 2015) que protegen contra los efectos

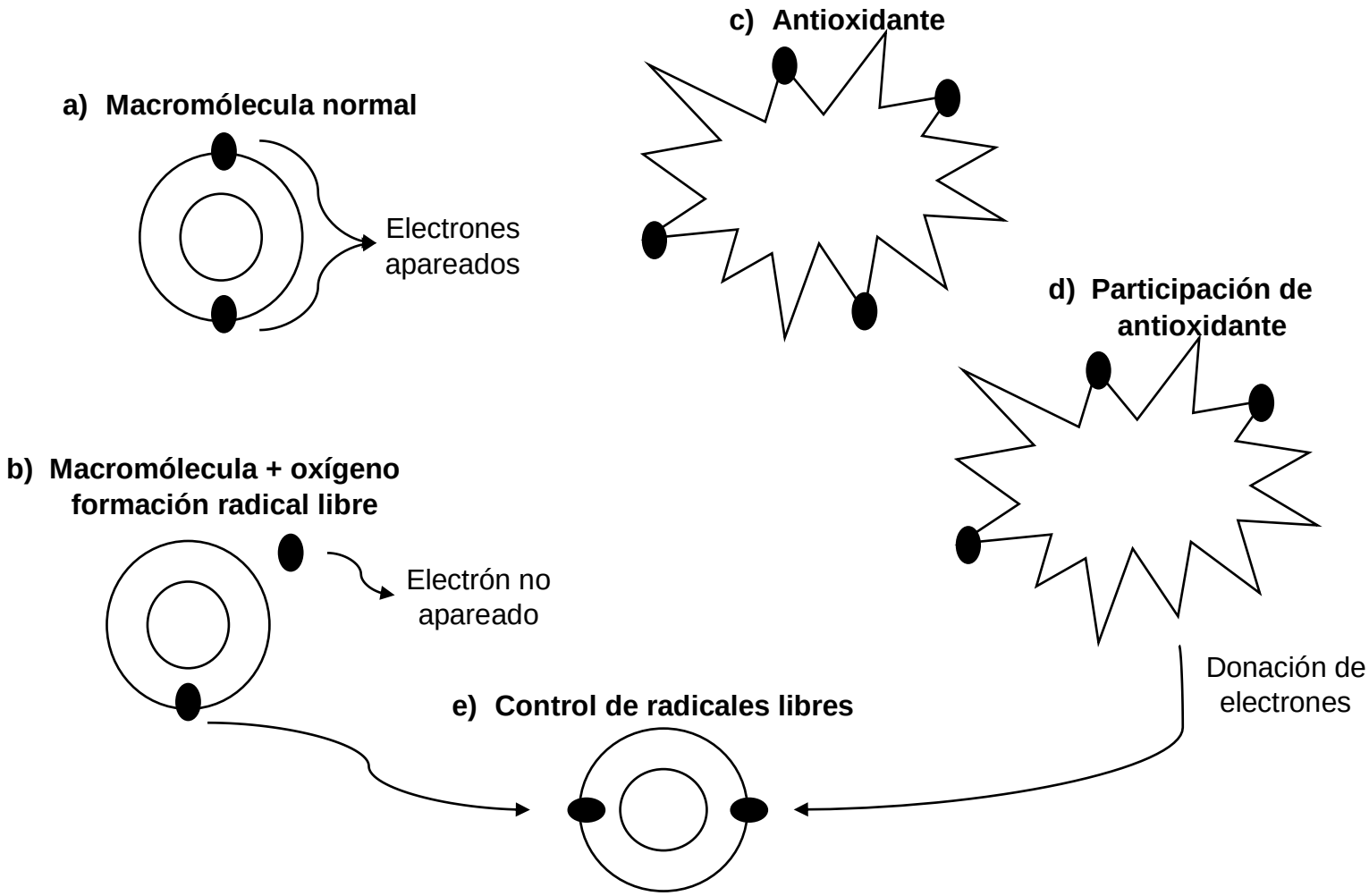


Figura 7. Interacción entre radicales libres y antioxidantes. Adaptado de Coronado *et al.* (2015).

potencialmente perjudiciales del estrés oxidativo (Valko *et al.*, 2006). El estrés oxidativo produce daño en las células debido a la oxidación de los lípidos, proteínas, ADN y enzimas (Venereo-Gutiérrez, 2002), lo que deriva en una reacción en cadena, que genera mayor producción de radicales libres y por lo tanto, aumento del daño celular (Venereo-Gutiérrez, 2002; Valko *et al.*, 2006; Mesa-Vanegas *et al.*, 2010). El exceso de producción de RONS, conduce a cambios bioquímicos en productos alimenticios (Azeredo, 2009), tales como: la modificación de las proteínas y oxidación de los lípidos (Alvarado-Carrasco y Guerra, 2010), lo que contribuye al desarrollo de trastornos patológicos (Escribano *et al.*, 1998), como el cáncer, enfermedades cardiovasculares y deterioro neurológico (Alvarado-Carrasco y Guerra, 2010; Wootton-Beard y Ryan, 2011).

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la adición de extracto de betabel (*Beta vulgaris*) encapsulado con diferentes agentes acarreadores sobre las características fisicoquímicas, color, estabilidad de las betalaínas y capacidad antioxidante del yogurt durante la vida en anaquel.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del Área de Estudio

El desarrollo experimental de esta investigación se efectuó en el Laboratorio de Biotecnología de Productos de Origen Animal en la Facultad de Zootecnia y Ecología (FZyE) ubicado en el Periférico Francisco R. Almada km 1 y el Laboratorio de Alimentos II de la Facultad de Ciencias Químicas ubicado en Circuito Vial Universitario, de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH) Chihuahua, Chih, México.

Descripción del Diseño y de los Tratamientos

El experimento consistió en dos etapas: 1) Elaboración y caracterización de los extractos de jugo de betabel (liofilizado y encapsulado), y 2) Elaboración de los tratamientos (yogurt a base de leche entera de vaca).

Se elaboraron cuatro tratamientos con tres repeticiones y tres replicas bajo un modelo estadístico completamente al azar. La descripción de los tratamientos se basó en la adición de betabel (líquido o liofilizado) y un tratamiento control (TC), sin adición de pigmentos (Cuadro 4).

Los tratamientos se mantuvieron en refrigeración (4°C), tomándose muestras a los días 1, 7 y 14 para evaluar el efecto de los tratamientos en el tiempo sobre las variables de respuesta, tales como: color, pH, sinéresis, contenido de betalaínas, contenido de polifenoles y actividad antioxidante. Al día 1, se determinó contenido de grasa, proteína, humedad y cenizas en los yogures.

Cuadro 4. Descripción de los tratamientos de yogurt adicionado con extracto líquido y liofilizado de betabel (*Beta vulgaris*).

Tratamientos	Extracto de Betabel liquido	Extracto de Betabel encapsulado con Maltodextrina	Extracto de Betabel Encapsulado con Inulina
T1	0	0	0
T2	100 mL*	0	0
T3	0	600 mg*	0
T4	0	0	600 mg*

T1= Yogurt (Y) natural, T2= Y adicionado con jugo de betabel, T3= Y adicionado con extracto encapsulado con Maltodextrina y T4= Y adicionado con extracto encapsulado con Inulina. *Por cada litro de Yogurt.

Descripción de las Materias Primas

El yogurt se realizó según la metodología descrita por Tamime y Robinson (1999), con; leche entera (LALA®, composición fisicoquímica Cuadro, 5), crema entera (3%, LALA®), leche en polvo (8%, NIDO®), azúcar de mesa (3%) y como cultivo iniciador se utilizó yogurt natural (10%, LALA®). El betabel utilizado en esta investigación fue adquirido en el mercado local de Chihuahua, México, durante el periodo de marzo a julio del 2018. Como agentes encapsulantes se utilizaron maltodextrina (DE 10) e inulina ambos de la marca Sigma-Aldrich®.

Elaboración de los Extractos Liofilizados de Betabel

Obtención del jugo de betabel, encapsulación y liofilización. Se extrajo el jugo del betabel con un extractor doméstico (Cold Press). El agente acarreador (Maltodextrina-M e Inulina-I) se adicionó al jugo de betabel (JB) en un 30%, a temperatura ambiente, se homogeneizaron las mezclas durante 10 minutos (Ultra-Turrax IKA T18 básico) con una herramienta de dispersión (S18N-19G, IKA Works Inc.), y a continuación, cada mezcla se liofilizó (Labconco Niro Mobile Minor DK-2860, GEA Company) a -85ºC con 0.035 mbar de presión. Se obtuvieron tres liofilizados: betabel puro (B), betabel encapsulado con maltodextrina (M), betabel encapsulado con inulina (I). Los polvos se almacenaron (12 ± 3ºC) para su posterior caracterización.

Los extractos liofilizados o polvos se caracterizaron en términos de: Índice de absorción y solubilidad en agua, temperatura de transición vítrea, actividad antioxidante por los métodos de $ABTS^{\cdot}$ y $DPPH^{\cdot}$, betalaínas totales, betacianinas, betaxantinas, polifenoles totales y concentración total de proteína.

Cuadro 5. Composición fisicoquímica de la leche utilizada para los tratamientos de yogurt adicionado con extracto líquido y liofilizado de betabel (*Beta vulgaris* sp.)

Parámetro	Media ± Error Estándar
Grasa	3.247 ± 0.031 %
Solidos no grasos	7.887 ± 0.050 %
Proteína	2.937 ± 0.021 %
Lactosa	4.227 ± 0.031 %
pH	6.567 ± 0.012
Punto de congelación	-0.489 ± 0.004 °C
Densidad	26.050 ± 0.177 g / mL
Conductividad	4.483 ± 0.021 mS / cm

Obtención de extracto acuoso. Los extractos utilizados para la determinación del contenido de polifenoles totales y de la actividad antioxidante se obtuvieron de acuerdo con el método descrito por Pitalua *et al.* (2010), con modificaciones. Brevemente, se dispersó un total de 0.5 g de polvo en 10 mL de metanol y agua desionizada (1:1 v / v). Las dispersiones se homogeneizaron durante 15 s utilizando un vortex Ultra-Turrax IKA T18 básico con una herramienta de dispersión (S18N-19G, IKA Works Inc.). La mezcla se centrifugó a 3,000 x g durante 10 minutos en una Centrífuga Centra (Avanti® J-26 XPI. Beckman Coluter®, EUA). Los sobrenadantes se filtraron con un filtro de polietileno con poros de 0.22 µm (Millipore Corp., Bedford, MA, EUA), y se almacenaron congelados hasta su análisis.

Caracterización de los Liofilizados

Índice de absorción y solubilidad en agua. El índice de absorción en agua (IAA) e índice de solubilidad en agua (ISA) se determinaron según el método descrito por Anderson *et al.* (1970) con modificaciones. Se pesaron 0.5 g de muestra en una balanza analítica (PA214C, OHAUS Pioneer, EUA), se adicionaron 6 mL de agua desionizada a 30°C y se incubaron en un baño maría de recirculación (WBC22, WiseCircu, Alemania) durante 30 min. Posteriormente, se centrifugó a 2800 x g, por 20 min (Avanti J-26 XPI, Beckman Coulter, EUA). Se decantó el sobrenadante en una cápsula a peso constate, se registró el nuevo peso (cápsula + sobrenadante); se secó en un horno a 85°C durante 24 horas y posteriormente se volvió a pesar. El IAA se calculó como el peso del sedimento obtenido después de la eliminación del sobrenadante por unidad de peso de los

sólidos originales como base seca. El ISA es el porcentaje de materia seca recuperada después de evaporar el sobrenadante obtenido del IAA. Cada determinación se realizó por triplicado y se obtuvo un valor promedio para cada muestra.

Temperatura de transición vítrea. La temperatura de transición vítrea (T_g) se determinó siguiendo el método de Ahmed *et al.* (2010) mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC), en un equipo TA Instruments (DSC Q-2000, Crawley, RU). Se colocaron 6 mg de muestra en las celdas de aluminio de 40 μL y se sellaron. Posteriormente, se sometieron a diferentes ciclos de calentamiento y enfriamiento todos a una rampa de calentamiento de 15°C / min. El primer ciclo fue de temperatura ambiente hasta 0°C, el segundo ciclo de 0°C hasta 120°C, el tercer ciclo de 120°C hasta 0°C y el cuarto ciclo de 0°C hasta 120°C. Se utilizó una celda vacía como referencia para todas las mediciones. Como resultado se obtuvieron los termogramas en los cuales se observa una gráfica del flujo de calor (eje Y) contra la temperatura (eje X), estos se analizaron con el software Universal Analysis, para obtener la T_g) generada en el cuarto ciclo de calentamiento. Cada determinación se realizó por duplicado y se obtuvo un valor promedio para cada muestra.

Elaboración de los Tratamientos

La leche se calentó a 95°C durante cinco minutos, se enfrió a 45ºC para adicionar la leche en polvo (8%), crema (3%), azúcar (3%) y el inóculo (10%). Los tratamientos se incubaron en una incubadora (Thermo Fisher Scientific, Modelo 3721, EUA) a 42ºC aproximadamente por 4:30 h, hasta llegar a un pH de 4.2. Se

realizó el batido del yogurt y se almacenó a 4°C durante 12 horas. Posteriormente, se adicionaron los extractos liofilizados (polvos) de betabel al yogurt (Figura 8). Las muestras se almacenaron a 4°C por 14 días.

Análisis Fisicoquímicos

Composición química. Se determinó por triplicado en las muestras de yogurt correspondientes al día 1. El contenido de humedad, cenizas, grasa y proteína se realizaron de acuerdo a los métodos establecidos por la AOAC (926.08, 935.42, 989.05 y 991.20 respectivamente).

Color. El color se midió con un colorímetro Modelo CR-410 (Konica Minolta®, Japón) evaluándose los parámetros L*, a* y b*. Donde L* es un indicador de luminosidad (de negro a blanco), a* es un indicador que va del color verde (valores negativos) al rojo (valores positivos) y b* indica tonalidades desde el color azul (valores negativos) hasta el amarillo (valores positivos). Las muestras se colocaron en recipientes de plástico con una capacidad de 200 mL. Las determinaciones se realizaron por triplicado y los valores L*, a* y b* fueron utilizados para calcular Chroma* (C*), ángulo Hue (h°) y ∆E.

El valor de Chroma indica la intensidad o saturación de color, y se determinó utilizando la siguiente ecuación (Ruiz-Gutiérrez *et al.*, 2014):

$$\boldsymbol{Chroma} = (\boldsymbol{a}^{*\mathbf{2}} + \boldsymbol{b}^{*\mathbf{2}})^{\mathbf{1/2}}$$

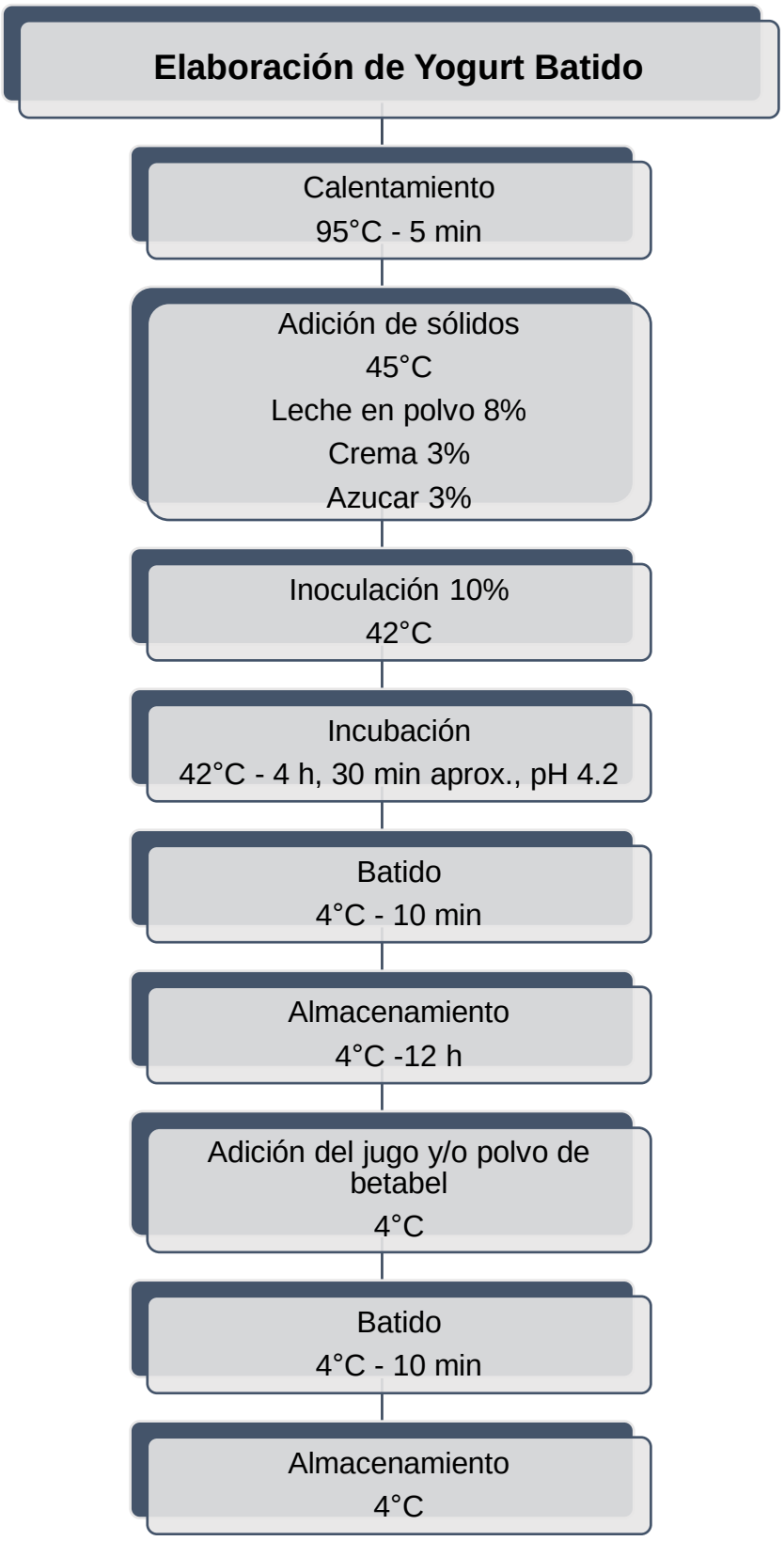


Figura 8. Proceso de elaboración del yogurt batido.

El ángulo Hue se refiere a las tonalidades y puede variar entre 0° (rojo puro), 90° (amarillo puro), 180° (verde puro) y 270° (azul puro). Dicho parámetro se calculó utilizando la siguiente ecuación (Ruiz-Gutiérrez *et al.*, 2014):

$$\boldsymbol{Hue}° = \boldsymbol{arctan}\,(\boldsymbol{b}^{*} + \boldsymbol{a}^{*})$$

Para la diferencia de color del yogurt (representada como ΔE*) en cada uno de los tratamientos se utilizó el promedio de las lecturas de los parámetros L*, a* y b* utilizando la siguiente ecuación y el tratamiento control fue la referencia de las lecturas (Aportela-Palacios *et al.,* 2005).

$$\Delta \boldsymbol{E} = \sqrt{(\boldsymbol{L_s} - \boldsymbol{L_c})^2 + (\boldsymbol{ah_s} - \boldsymbol{ah_c})^2 + (\boldsymbol{bh_s} - \boldsymbol{bh_c})^2}$$

Donde:

L_c, ah_c y bh_c = parámetros controles

L_s, ah_s y bh_s = parámetros para los diferentes tratamientos

pH. El pH se midió en 20 g de cada muestra con un potenciómetro digital (Orion Versa Star) previamente calibrado.

Sinéresis. Se evaluó mediante el método descrito por Özturk y Óner (1999). Se tomaron 10 g de yogurt (4 ± 1°C) se colocaron en tubos Corning UHP (50 mL) y se centrifugaron (centrifuga Modelo Avanti J-26 XPI Beckman Coulter®, EUA) a 2,800 x g durante 10 min, a 4 ± 1ºC. Se pesó el sobrenadante y se expresó en porcentaje en relación al peso inicial del yogurt.

Obtención del Extracto Acuoso de los Yogures

Para obtener el extracto acuoso se siguió la metodología reportada por Torres-Llanez *et al.* (2011), con la modificación (o eliminación) de la preparación o acondicionamiento de la muestra. Se colocaron 50 mL de cada tratamiento en tubos de plástico (para centrífuga) y se centrifugaron (Avanti® J-26 XPI. Beckman Coluter®, EUA) a 10, 000 x g durante 30 minutos a 4°C. El sobrenadante (extracto acuoso) se filtró con papel filtro Whatman™ (GE Healtcare, RU) con diámetro de poro de 125 mm. Dicho extracto fue centrifugado nuevamente con las condiciones mencionadas anteriormente. Los sobrenadantes se filtraron a través de un filtro de polietileno con poros de 0.22 µm para la determinación de la capacidad antioxidante y contenido de polifenoles (Millipore Corp., Bedford, MA, EUA). Para determinar el contenido de betalaínas el extracto se filtró en papel con poro de 0.45 µm (Millipore Corp., Bedford, MA, EUA). Todos los extractos se almacenaron a -20ºC hasta su análisis.

Curva de Calibración Actividad Antioxidante (Trolox)

La curva estándar para $ABTS^{\cdot}$ y $DPPH^{\cdot}$, se realizó de acuerdo a lo reportado por Thaipong *et al.* (2006). Se preparó una solución stock, disolviendo 31.3 mg de Trolox (Ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico) en 10 mL de metanol (r^2= .99). Las diluciones utilizadas se muestran en el Apéndice A.

Actividad Antioxidante (AA) por $ABTS^{\cdot}$

Se llevó a cabo según lo establecido por Thaipong *et. al*. (2006). *Se* preparó una solución de $ABTS^{\cdot}$ (Acido 2,2´-azinobis {3-etilbenzotiazolino} -6-sulfononico) 7.4 mM, disolviendo 38.8 mg de sal amónica cristalizada de $ABTS^{\cdot}$

en 10 mL de agua destilada. Posteriormente se preparó una solución de persulfato de potasio 2.6 mM, disolviendo 6.6 mg en 10 mL con agua destilada. Para generar el radical ABTS$^{\cdot}$ se mezclaron estas dos soluciones y se dejó reposar en la oscuridad a temperatura ambiente durante 12 horas. Para la solución de trabajo de ABTS$^{\cdot}$ se mezcló 1 mL de la solución del radical libre ABTS$^{\cdot}$ con 60 mL de metanol para llegar a una absorbancia de 1.1 $\pm$ 0.02. Posteriormente, en una celda de plástico de 3 mL se colocaron 150 µL de muestra (o estándar: Trolox) y 2850 µL de la solución de trabajo ABTS$^{\cdot}$, se dejó reposar durante 2 horas en la oscuridad a temperatura ambiente y se leyó la absorbancia a 734 nm en un espectrofotómetro UV (UV-1800. Shimadzu, Japón). Las mediciones se realizaron por triplicado. Se reportó la capacidad antioxidante como mM equivalente Trolox (mM TE / 100 g), empleando la absorbancia obtenida y sustituyendo en la ecuación de la recta obtenida de la curva de calibración Trolox (Apéndice B)

Actividad Antioxidante (AA) por DPPH$^{\cdot}$

Se determinó la capacidad antioxidante por el método DPPH$^{\cdot}$ (2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo), según Thaipong *et al.* (2006), con ligeras modificaciones. Primero se preparó una solución stock de DPPH$^{\cdot}$ con 0.0240 g de DPPH$^{\cdot}$ en 100 mL de metanol para tener una concentración de 0.6 mM, la solución se almacenó en un frasco ámbar y se congeló a -20°C hasta su uso. A partir de esta solución se preparó la solución de trabajo, para la cual se tomaron 10 mL de la solución stock y se mezclaron con 45 mL de metanol, para obtener una concentración final

de 0.1 mM y una absorbancia de 1.1 ± 0.02. Posteriormente, en una celda de cuarzo de 3 mL se colocaron 150 µL de muestra (o estándar: Trolox) y 2850 µL de la solución de trabajo $DPPH^{\bullet}$. Se dejó reposar durante 3 horas en la oscuridad a temperatura ambiente y se leyó la absorbancia a 515 nm en un espectrofotómetro UV (UV-1800. Shimadzu, Japón). Las mediciones se realizaron por triplicado. Se reportó la capacidad antioxidante como mM equivalente Trolox (mM TE / 100 g), empleando la absorbancia obtenida y sustituyendo en la ecuación de la recta obtenida de la curva de calibración Trolox (Apéndice C).

Curva de Calibración Polifenoles Totales (Acido Gálico)

La curva estándar para polifenoles totales, se realizó de acuerdo a lo reportado por Xu y Chang (2007). Se preparó una solución stock, disolviendo 0.5 g de ácido gálico en 250 mL de agua destilada (r^2= .99). Las concentraciones utilizadas se muestran en el Apéndice D.

Polifenoles Totales

El contenido total de polifenoles (PT) se determinó siguiendo el método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu descrito por Singleton y Rossi (1965), con algunas modificaciones usando ácido gálico (AG) como estándar. Se preparó una mezcla combinando 50 µL de extracto de la muestra con 3 mL de agua destilada, 250 µL de reactivo de Folin-Ciocalteu y 750 µL de una solución de carbonato de sodio (7%). Las mezclas se agitaron durante 10 s y se reposaron por 8 min a temperatura ambiente. Posteriormente, se adicionaron 950 µL de agua destilada. Las mezclas se reposaron por 2 h a temperatura ambiente en la oscuridad. La

absorbancia fue medida a 765 nm en un espectrofotómetro UV (UV-1800. Shimadzu, Japón). Las mediciones se realizaron por triplicado. Los resultados de la absorbancia se linealizarón en la ecuación de regresión de la curva de calibración (Apéndice E) y se expresaron en mg de equivalente de ácido gálico (mg GAE / g) de polvo.

Extracción de Betalaínas

Se realizó la extracción de betalaínas de acuerdo al método descrito por Güneşer (2016), para lo cual se utilizó una solución de ácido tricloroacético (TCA) al 4% en agua destilada. En tubos Corning se colocaron 4 mL de yogurt y se mezclaron con 4 mL de la solución de TCA, se homogenizó utilizando un vortex (Ultra-Turrax IKA T18 básico) durante 3 min y se centrifugó (Avanti® J-26 XPI. Beckman Coluter®, EUA) por 10 min a 4032 x g a 25 ˚C. El sobrenadante se filtró a través de un filtro de polietileno con poro de 0.45 µm (Millipore Corp., Bedford, MA, EUA). Las muestras se mantuvieron a -20 ˚C hasta su análisis.

Betalaínas Totales

La cuantificación fotométrica de betalaínas totales (BT) se determinó siguiendo el método descrito por Ruiz-Gutiérrez *et al.* (2014). Los extractos acuosos de los pigmentos del T2 se diluyeron con buffer McIlvaine (pH 6.5, citrato-fosfato) 1:10 respectivamente; sin embargo, para los T3 y T4 no se realizó dicha dilución, para obtener valores en sus respectivos máximos de absorción. El contenido de betalaínas se calculó como se describe a continuación:

$$BC\ [mg / g\ ] = [(A*DF*MW*V) / (\epsilon*L)]$$

Donde:

A = valor a la máxima absorción (534 para BC y 480 para BX, respectivamente) a 600 nm.

DF = factor de dilución

MW = peso molecular (550 g / mol para BC y 308 g / mol para BX).

V = volumen de la solución (1000 mL)

Є = coeficiente de extinción molar (60,000 L / mol*cm para BC y 48,000 L / mol*cm para BX).

L = longitud de la cubeta de lectura (1 cm)

La cuantificación de BC y BX se calcularon por separado, y para determinar el contenido de BT se sumaron estos dos resultados. Dichas mediciones se realizaron por triplicado y los resultados obtenidos se expresaron en mg / 100 g de yogurt.

Curva de Calibración Concentración Total de Proteína (BSA)

La curva de calibración correspondiente al perfil peptídico se realizó de acuerdo al método descrito por Bradford (1976). Se prepararon 5 estándares de albúmina de suero bovino (BSA), a diferentes concentraciones y se obtuvo la ecuación de regresión. Los resultados de la absorbancia se linealizarón en la ecuación de regresión de la curva de calibración y se analizó la concentración peptídica de cada uno de los tratamientos. Las diluciones utilizadas se muestran en el Apéndice F.

Concentración Total de Proteína

La concentración total de proteína (CTP) de determinó según el método de Bradford (1976). Las proteínas reaccionan con el colorante azul brillante y se obtiene un producto que absorbe intensamente a 595 nm. Para la CTP el se tomaron 0.1 mL de la muestra y 1 mL del reactivo de Bradford y se dejó reaccionar en la oscuridad por 45 minutos, una vez trascurrido este tiempo se tomó la lectura de la absorbancia a 595 nm en un espectrofotómetro (UV-1800 Shimadzu). Los resultados de la absorbancia se linealizaron en la ecuación de regresión de la curva de calibración y la concentración total de proteína se expresó en µg / mL de BSA (Apéndice G).

Análisis Estadístico

Se realizó un análisis de correlaciones entre pares de variables de respuesta, utilizando el procedimiento CORR de SAS 9.0 (Institute Inc. E.U.A., 2006), para determinar el tipo, fuerza y significancia de su asociación lineal.

Los resultados del análisis proximal de los tratamientos de yogurt y de la caracterización de los polvos (medidas una sola vez en el tiempo) se analizaron a través de un análisis de varianza utilizando el procedimiento ANOVA, a través del siguiente modelo:

$$\boldsymbol{Yij} = \mu + \boldsymbol{Ti} + \varepsilon\boldsymbol{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = variable de respuesta medida en la j-ésima repetición del i-ésimo tratamiento.

μ = media general común a todas las observaciones.

T_i = efecto del *i*-ésimo tratamiento.

ε_{ij}= error aleatorio medido en la j-ésima repetición del i-ésimo tratamiento; el cual se supone idéntica e independientemente distribuido de manera normal con media μ y varianza σ^2.

Cuando los tratamientos mostraron diferencias, se realizó una comparación múltiple de medias mediante las pruebas TUKEY y DUNCAN. El programa utilizado fue SAS 9.0 (Institute Inc. E.U.A., 2006).

Para el análisis de las características físicas (color, pH y sinéresis) y las bioactividades (antioxidante, betalaínas y polifenoles), medidas a través del tiempo, se llevó a cabo un análisis con el procedimiento MIXED de SAS 9.0 (Institute Inc. E.U.A., 2006), basándose en el siguiente modelo:

$$\boldsymbol{Yijk} = \mu + \boldsymbol{Ti} + \boldsymbol{Pj} + \varepsilon\boldsymbol{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = variable de respuesta medida en la *k*-ésima repetición del *i*-ésimo tratamiento evaluado en el j-ésimo tiempo de almacenamiento.

μ = media general común a todas las observaciones.

T_i = efecto del *i*-ésimo tratamiento.

P_j = efecto del *j*-ésimo tiempo de almacenamiento

ε_{ijk}= error aleatorio medido en la *k*-ésima repetición del *i*-ésimo tratamiento evaluado en el j-ésimo tiempo de almacenamiento; el cual se supone idénticamente distribuido de manera normal con media μ y varianza σ^2.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La liofilización del jugo de betabel es una alternativa simple y eficaz para mantener la estabilidad de los pigmentos betalámicos, en esta investigación se estudió el efecto de dos agentes encapsulantes (maltodextrina e inulina) sobre la estabilidad de las betalaínas adicionadas a un yogurt. En general, los tratamientos exhibieron resultados con diferencias significativas ($P<0.05$, Apéndice H) en las variables analizadas.

Caracterización de los Extractos Liofilizados de Betabel

Los polvos presentaron diferencias significativas ($P<0.05$) en IAA, ISA, T_g, AA ($ABTS^{\cdot}$ y $DPPH^{\cdot}$), PT, BT, BC, BX y CTP (Cuadro 6). Los valores de ISA fueron de 8.955 ± 0.023%, 9.051 ± 0.016% y 9.374 ± 0.014% para los extractos liofilizados de jugo de betabel, B, I y M, respectivamente. Lo que indica que al tener exposición al agua, el extracto con M solubilizó más en comparación con el que contenía B e I; dichos resultados son comparables con el ISA de la harina de cebada y de papa (Altan *et al.*, 2009). Sin embargo, otros estudios en donde se evaluó el ISA en polvos de tuna, trigo, y quinoa, variaron de 0.230% a 15.790% (Altan *et al.*, 2009; Rodriguez *et al.*, 2012; Ruiz-Gutiérrez *et al.*, 2014, 2016). Para el IAA se obtuvieron valores de 44.007, 27.095 y 30.684 para B, M e I respectivamente, por su parte Altan *et al.* (2009), Rodriguez *et al.* (2012), Ruiz-Gutiérrez *et al.* (2014, 2016) reportaron el IAA en un rango de 1.920 a 7.260; estos resultados pudieran atribuirse a la correlación negativa que existe entre el IAA y la T_g (Cuadro 7), ya que los extractos (B, M e I) comienzan a hidratarse a temperaturas relativamente bajas (18.34°C).

Cuadro 6. Caracterización fisicoquímica de extractos liofilizados de betabel (*Beta vulgaris* sp.) (Media ± Error Estándar)

Extracto	IAA	ISA	T_g (°C)	ABTS$^{\cdot}$ (mM TE / 100 g)	DPPH$^{\cdot}$ (mM TE / 100 g)
B	44.00 ± 1.00 ^{a}	9.05 ± 0.01 ^{b}	18.34 ± 0.953 ^{c}	0.90 ± 0.00 ^{a}	0.44 ±0.00 ^{a}
M	27.09 ± 6.09 ^{b}	9.37 ± 0.01 ^{a}	61.63 ± 1.261 ^{a}	0.74 ± 0.00 ^{b}	0.29 ±0.00 ^{b}
I	30.68 ± 3.42 ^{b}	8.95 ± 0.02 ^{c}	27.59 ± 0.382 ^{b}	0.64 ± 0.00 ^{c}	0.20 ±0.00 ^{c}

Extracto	PT (mg GAE / g)	BT (mg / 100 g)	BC (mg / 100 g)	BX (mg / 100 g)	CTP (µg / mL)
B	12.35 ± 0.01 ^{a}	382.35 ± 0.09 ^{a}	219.17 ± 0.09 ^{a}	163.17 ± 0.00 ^{a}	5.97 ±0.00 ^{a}
M	6.09 ± 0.00 ^{b}	15.71 ± 0.01 ^{b}	10.00 ± 0.00 ^{b}	5.71 ± 0.00 ^{b}	3.52 ±0.00 ^{c}
I	5.97 ± 0.00 ^{c}	10.11 ± 0.01 ^{c}	6.27 ± 0.00 ^{c}	3.83 ± 0.00 ^{c}	3.65 ±0.00 ^{b}

B= Extracto de betabel sin encapsular. M= Extracto de betabel encapsulado con Maltodextrina. I= Extracto encapsulado con Inulina. IAA= Índice de absorción, ISA= Índice de solubilidad, T_g= Temperatura de transición vítrea, Actividad antioxidante por ABTS$^{\cdot}$ y DPPH$^{\cdot}$, PT= Polifenoles totales, BT= Betalaínas totales, BC= Betacianinas, BX= Betaxantinas y CTP= Concentración total de proteína.

^{abc} Literales diferentes entre filas indican diferencia estadística significativa (P<0.05).

50

Cuadro 7. Coeficiente de correlación y su nivel de significancia (*P-value)* entre las variables de respuesta de los extractos liofilizados de betabel (*Beta vulgaris* sp.)

	ISA	T_g	ABTS$^{\bullet}$	DPPH$^{\bullet}$	PT	BT	BC	BX	CTP
IAA	-0.4519	-0.7410	0.8968	0.8963	0.8933	0.8882	0.8878	0.8887	0.8982
P-value	0.2220	0.0224	0.0011	0.0011	0.0012	0.0014	0.0014	0.0014	0.0010
ISA		0.9068	-0.6166	-0.6188	-0.3118	-0.2838	-0.2817	-0.2865	-0.3412
P-value		0.0007	0.0770	0.0756	0.4141	0.4593	0.4627	0.4549	0.3689
T_g			-0.8872	-0.8885	-0.6768	-0.6549	-0.6533	-0.6571	-0.6995
P-value			0.0014	0.0014	0.0453	0.0556	0.0564	0.0545	0.0360
ABTS$^{\bullet}$				1.0000	0.9398	0.9293	0.9285	0.9304	0.9500
P-value				<.0001	0.0002	0.0003	0.0003	0.0003	<.0001
DPPH$^{\bullet}$					0.9388	0.9283	0.9275	0.9293	0.9491
P-value					0.0002	0.0003	0.0003	0.0003	<.0001
PT						0.9996	0.9995	0.9997	0.9995
P-value						<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
BT							1.0000	1.0000	0.9982
P-value							<.0001	<.0001	<.0001
BC								1.0000	0.9980
P-value								<.0001	<.0001
BX									0.9983
P-value									<.0001

IAA= Índice de absorción en agua, ISA= Índice de solubilidad en agua, T_g= Temperatura de transición vítrea, ABTS$^{\bullet}$ y DPPH$^{\bullet}$= Actividad antioxidante, PT= Polifenoles totales, BT= Betalaínas totales, BC= Betacianinas, BX= Betaxantinas y CTP= Concentración total de proteína. *P-value* = Nivel de significancia de la correlación.

Los valores de T_g presentaron diferencia significativa ($P<0.05$) entre los polvos, con valores de 18.34 a 61.63 ºC. Esta propiedad es importante ya que está relacionada con la estabilidad del producto (Ruiz-Gutiérrez *et al*., 2014), valores bajos de T_g indican una alta higroscopicidad del polvo (Cai y Corke, 2000). En general, los valores obtenidos de T_g en esta investigación, fueron más bajos que los informados otros estudios, en los cuales la T_g se encuentra en un rango de 32.27 a 387.10 (Cai y Corke, 2000; Serris y Biliaderis, 2001; Guadarrama-Lezana *et al.*, 2014; Ruiz-Gutiérrez *et al.*, 2014; Janiszewska, 2014). Al igual que Janiszewska (2014), el resultado obtenido de la deshidratación de B no fue satisfactorio, ya que el polvo obtenido era pegajoso debido a su baja T_g (18.34 ± 0.95); por lo anterior B no se adicionó a la matriz, sino que se utilizó el jugo de betabel sin liofilizar para el T2.

El contenido promedio de betalaínas del betabel es aproximadamente de 130 mg / 100 g (Von Elbe *et al.*, 1972; Von Elbe, 1977); en cambio, Delgado-Vargas *et al.* (2000), mencionan que las nuevas variedades de betabel producen alrededor de 450 a 500 mg / 100 g de pigmentos betalámicos. El contenido de BT en B fue de 382.35 ± 0.092, siendo 219.17 ± 0.092 mg / 100 g de BC y 163.17 ± 0.001 mg / 100 g de BX, por encima de lo reportado por Janiszewska (2014), Azeredo *et al.* (2007) y Pitalua *et al.* (2010) en donde reportan 77.70 mg / 100 g, 28.82 mg / 100 g y 11.97 mg / 100 g de BT respectivamente. No obstante, el contenido de BT encapsuladas (M= 15.71 ± 0.016 mg / 100 g e I= 10.11 ± 0.016) en esta investigación no coincide con los resultados obtenidos por Antigo *et al.* (2017), en donde se reportó una concentración BT de 121.6 ± 1.4. Por otro lado, Janiszewska (2014) y Azeredo *et al.* (2007) indicaron un contenido de BT en un

rango de 90.71 a 135.98 mg / 100 g; pero, las condiciones de deshidratación fueron diferentes a las de este estudio, ya que dichos autores utilizaron secado por aspersión. Así mismo, el contenido de PT se encontró en un rango de 5.975 a 12.354 mg GAE / g en este estudio, y fue mayor que lo reportado por Antigo *et al.* (2017), en donde reportan 4.88 mg GAE / g (Cuadro 6). La AA de los polvos de betabel (B, M e I) se mantuvo en un rango de 0.647 a 0.907 mM TE / 100 g por el método de $ABTS^{\cdot}$ y de 0.208 ±0.001 a 0.447 ±0.001 mM TE / 100 g en $DPPH^{\cdot}$, con diferencias significativas ($P<0.05$) entre los polvos en ambas técnicas. También, se encontraron diferencias significativas ($P<0.05$) en la CTP, los valores fueron de 5.974 ± 0.001, 3.524 ±0.001 y 3.655 ±0.001 para B, M e I respectivamente. Los valores más altos de AA, PT, BT, BC, BX y CTP se encontraron en B, este resultado pudiera atribuirse a que dicho polvo es únicamente jugo de betabel y no una mezcla de jugo de betabel con agentes encapsulantes.

La AA de los polvos mostró un comportamiento similar que el observado para PT, BT, BC, BX y CTP. Se observó una correlación positiva ($r=0.9398$, $P<0.0002$) entre la AA y el PT. También se encontró una correlación positiva ($r=0.9500$, $P<0.0001$) entre la AA y CTP. Así mismo, se observó una correlación positiva ($r=0.9982$, $P<0.0001$) entre BT y CTP (Cuadro 7). Resultados similares se ha reportado en extracto de tuna roja (Castro-Muñoz *et al.*, 2015).

Análisis Fisicoquímico

Los tratamientos adicionados con extracto de betabel encapsulado (T3 y T4) presentaron mayor contenido de proteína (4.88 ± 0.22 y 4.84 ± 0.48,

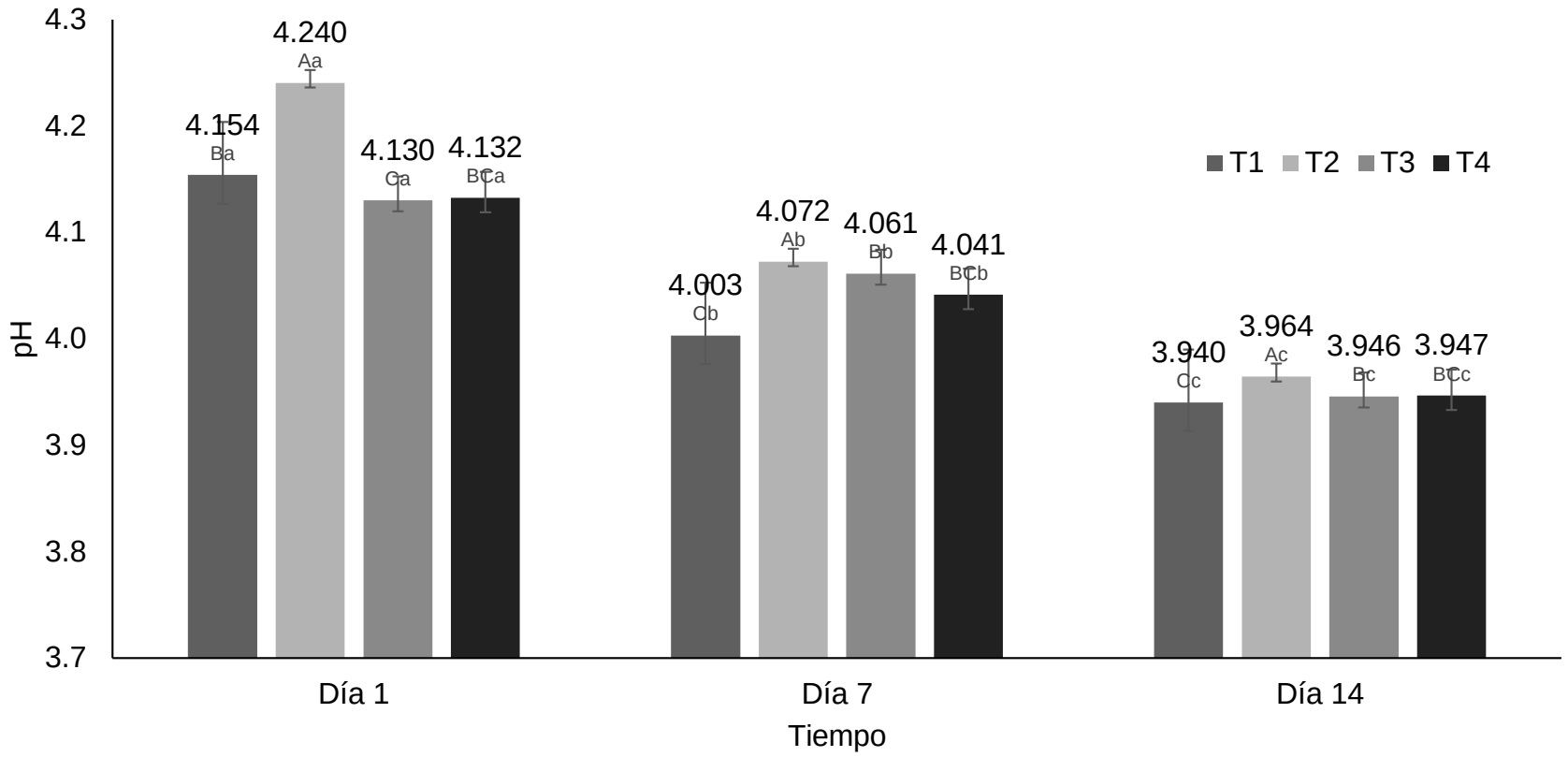
respectivamente), mostrando diferencia significativa (P<0.05), en comparación con el T1 (3.87 ± 0.31) y con el T2 (3.88 ± 0.36) (P<0.05). En cuanto al porcentaje de grasa los T3 (5.49 ± 0.81) y T4 (5.36 ± 0.32) tuvieron mayor contenido en contraste con el T1 (5.09 ± 0.45) y T2 (5.02 ± 0.86) (Cuadro 8); aunque, en esta determinación no hubo diferencia significativa (P>0.05) entre los tratamientos. Otros estudios señalan que yogures adicionados con concentrado de rubas, extracto de curuba, chocolate y avena también mostraron un incremento significativo en el contenido de proteína y grasa (Parra-Huertas, 2012; Sanchez *et al.*, 2013; Parra-Huertas, 2014; Parra-Huertas *et al.*, 2015). El porcentaje de humedad presentó diferencia significativa (P<0.05) en los cuatro tratamientos, dicho comportamiento pudiera atribuirse a que los aditivos fueron en diferente presentación (jugo o polvos), ya que en los tratamientos 3 y 4 adicionados con polvos el contenido de humedad fue menor (78.10± 0.17 y 78.60 ± 0.33) que en el T1 (78.94 ± 0.15), así mismo, el porcentaje de humedad del T2 fue mayor (79.92 ± 0.12) que el T1. En cuanto al porcentaje de cenizas no hubo diferencia significativa (P>0.05) entre los tratamientos. En los cuatro tratamientos se presentó una disminución de pH. Los valores fueron de 4.163 ± 0.052 al día 1, 4.044 ±0.030 para el día 7 y 3.949 ± 0.010 en el día 14 (Gráfica 1, Apéndice H), dicho decremento de pH pudiera atribuirse a la actividad microbiana por parte de las bacterias ácido lácticas presentes en el yogurt (Parra-Huertas, 2014; Hernández-Rodríguez y Salazar-Tijerino, 2017). El grado de sinéresis (Gráfica 2, Apéndice H), obtenido en este estudio varió de 18.01 hasta 35.32%, presentando diferencias significativas (P<0.05) entre los tratamientos y los días de almacenamiento. Dichas diferencias entre tratamientos pudieran atribuirse a que

Cuadro 8. Análisis proximal de yogurt adicionado con extracto líquido y liofilizado de betabel (*Beta vulgaris* sp.)

Tratamiento	% Grasa	% Proteína	% Humedad	% Cenizas
T1	5.09 ± 0.45 [a]	3.87 ± 0.31 [b]	78.94 ± 0.15 [b]	0.18 ± 0.01 [a]
T2	5.02 ± 0.86 [a]	3.88 ± 0.36 [b]	79.92 ± 0.12 [a]	0.18 ± 0.01 [a]
T3	5.49 ± 0.81 [a]	4.88 ± 0.22 [a]	78.10 ± 0.17 [d]	0.18 ± 0.02 [a]
T4	5.36 ± 0.32 [a]	4.84 ± 0.48 [a]	78.60 ± 0.33 [c]	0.19 ± 0.02 [a]

T1= Yogurt (Y) natural, T2= Y adicionado con jugo de betabel, T3= Y adicionado con extracto encapsulado con Maltodextrina y T4= Y adicionado con extracto encapsulado con Inulina.

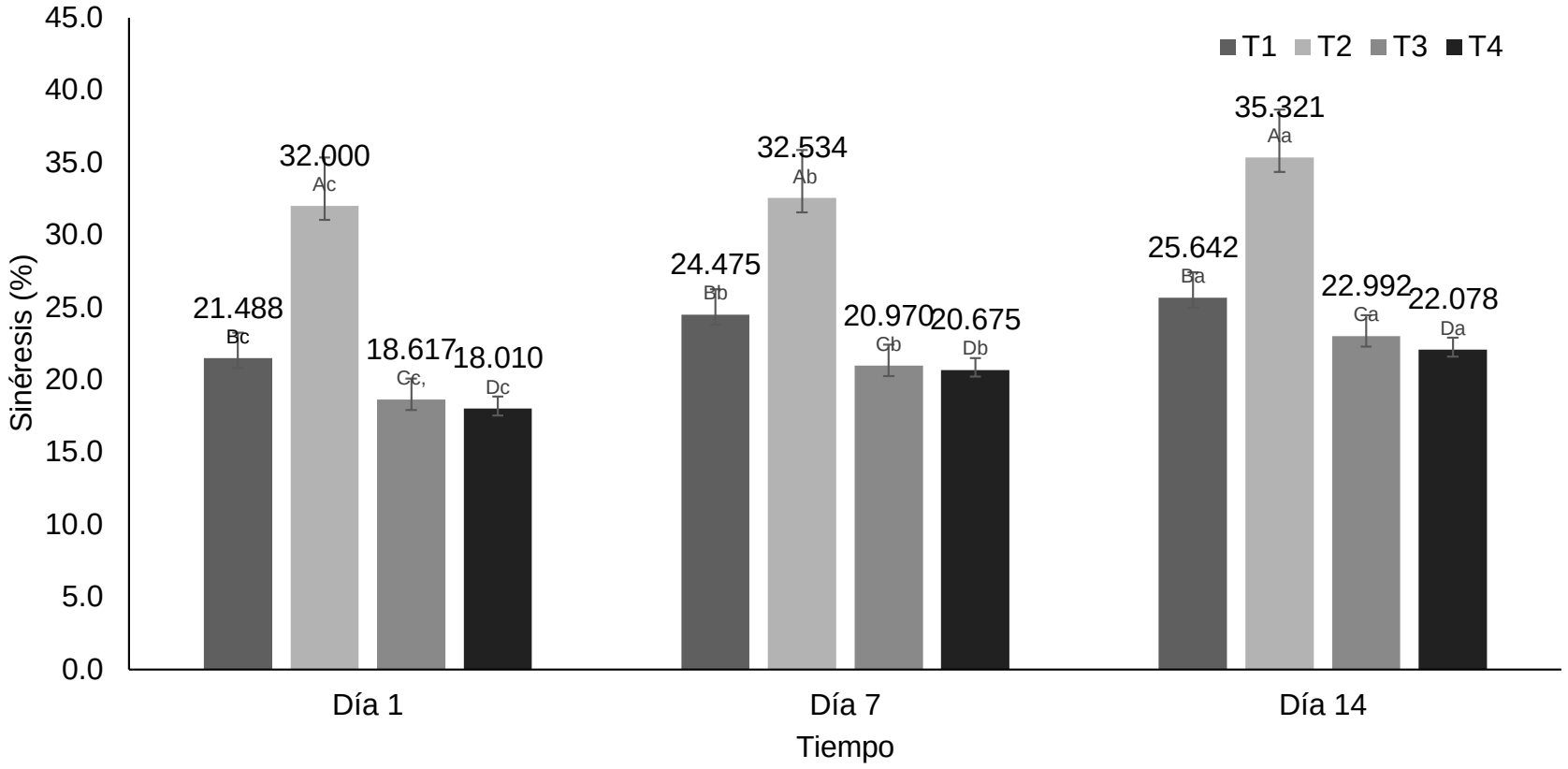
[abcd]. Valores con superíndice diferente entre filas indican diferencia estadística significativa entre tratamientos ($P<0.05$).



Gráfica 1. Potencial de hidrógeno (pH) de yogurt adicionado con extracto de betabel. T1= Yogurt (Y) natural, T2= Y adicionado con jugo de betabel, T3= Y adicionado con extracto encapsulado con Maltodextrina y T4= Y adicionado con extracto encapsulado con Inulina.

^{ABCD} Valores con superíndice diferente indican diferencia estadística significativa entre tratamientos ($P<0.05$).

^{abc} Valores con superíndice diferente indican diferencia estadística significativa a través del tiempo ($P<0.05$).



Gráfica 2. Porcentaje de sinéresis de yogurt adicionado con extracto de betabel. T1= Yogurt (Y) natural, T2= Y adicionado con jugo de betabel, T3= Y adicionado con extracto encapsulado con Maltodextrina y T4= Y adicionado con extracto encapsulado con Inulina.

^{ABCD} Valores con superíndice diferente indican diferencia estadística significativa entre tratamientos ($P<0.05$).

^{abc} Valores con superíndice diferente indican diferencia estadística significativa a través del tiempo ($P<0.05$).

los componentes de los polvos, específicamente la maltodextrina y la inulina, favorecieron la retención de agua, debido a que contribuyen al efecto de malla en la red tridimensional del gel formado en el yogurt (Macedo-Ramírez y Vélez-Ruíz, 2015). Además la sinéresis aumentó en todos los tratamientos durante el almacenamiento, posiblemente por la pérdida de estabilidad de los componentes del yogurt (Diaz-Jimenez *et al.*, 2004). Dicho comportamiento se debe también a la disminución en el pH durante el almacenamiento, ya que puede tener efecto de contracción en la matriz de la micela de caseína causando mayor eliminación de lactosuero (Achanta *et al.*, 2007).

Color

Los valores de los parámetros de color L*, a* y b* se pueden observar en el Cuadro 9. Los valores de L* (Gráfica 3) disminuyeron significativamente para T1, T3 y T4 (90.684, 79.466, 82.208, respectivamente), aunque este valor aumentó en el T2 (45.455). En relación al parámetro a* (Gráfica 4), este se redujo en el T3 después del almacenamiento, esta tendencia fue reportada por Antigo *et al.* (2017) en micro cápsulas de betabel utilizando M como vehículo (día 0 a*= 8.39, día 7 a*= 1.71); no obstante, los valores de a* para T1, T2 y T4 mostraron un incremento a través del tiempo ($P<0.05$). En general los valores de b* (Gráfica 5) también presentaron un aumento a través del tiempo ($P<0.05$). La degradación de las BC conduce a la formación de compuestos con un color amarillo, y esto es reflejado en el incremento en el parámetro b * (Herbach *et al.*, 2006c). La saturación de color (Chroma) y la tonalidad (ángulo Hue), indicaron diferencias ($P<0.05$) entre tratamientos y a través del tiempo, sin embargo, los tratamientos

.

Cuadro 9. Valores de color L*, a*, b*, C*, h° y ΔE de yogurt adicionado con extracto líquido y liofilizado de betabel (*Beta vulgaris* sp.)

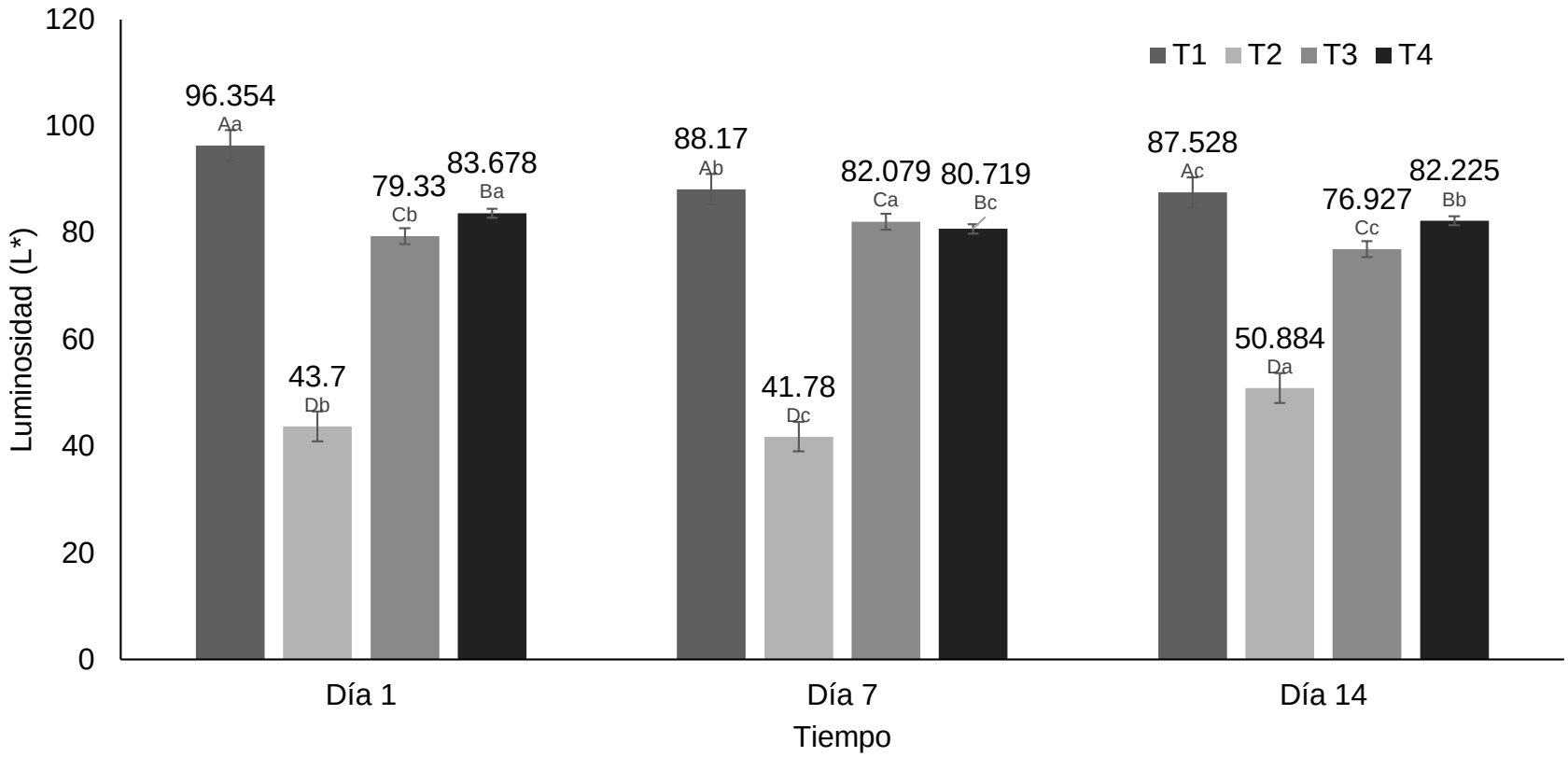
Parámetro	Día	T1	T2	T3	T4
L*	1	96.354 ±2.543 ^{Aa}	43.700 ±1.376 ^{Db}	79.330 ±1.441 ^{Cb}	83.678 ±0.659 ^{Ba}
	7	88.170 ±1.294 ^{Ab}	41.780 ±1.828 ^{Dc}	82.079 ±2.189 ^{Ca}	80.719 ±0.503 ^{Bc}
	14	87.528 ±2.448 ^{Ac}	50.884 ±1.742 ^{Da}	76.927 ±2.739 ^{Cc}	82.225 ±1.033 ^{Bb}
a*	1	-3.522 ±0.124 ^{Cb}	32.763 ±1.729 ^{Ab}	22.705 ±0.998 ^{Ba}	21.076 ±0.688 ^{Bb}
	7	-3.272 ±0.232 ^{Ca}	30.701 ±1.254 ^{Ab}	21.581 ±0.601 ^{Bb}	22.822 ±0.051 ^{Ba}
	14	-3.266 ±0.106 ^{Ca}	39.563 ±3.047 ^{Aa}	22.137 ±0.816 ^{Bb}	22.118 ±0.732 ^{Ba}
b*	1	8.612 ±0.303 ^{Ab}	2.174 ±0.209 ^{Bb}	0.617 ±0.097 ^{Db}	1.574 ±0.380 ^{Ca}
	7	9.533 ±0.281 ^{Aa}	3.254 ±0.077 ^{Ba}	1.344 ±0.248 ^{Da}	0.696 ±0.024 ^{Cb}
	14	9.037 ±0.132 ^{Aa}	3.527 ±0.414 ^{Ba}	1.182 ±0.117 ^{Da}	1.169 ±0.127 ^{Ca}
C*	1	9.305 ±0.278 ^{Cb}	32.835 ±1.735 ^{Ab}	22.713 ±0.998 ^{Ba}	21.135 ±0.673 ^{Bb}
	7	10.078 ±0.314 ^{Ca}	30.873 ±1.241 ^{Ab}	21.623 ±0.595 ^{Bb}	22.833 ±0.503 ^{Ba}
	14	9.609 ±0.134 ^{Cb}	39.720 ±3.067 ^{Aa}	22.169 ±0.819 ^{Bb}	22.149 ±0.732 ^{Ba}
h*	1	2.445 ±0.134 ^{Cc}	0.066 ±0.005 ^{Ac}	0.027 ±0.004 ^{Bc}	0.075 ±0.019 ^{Ba}
	7	2.913 ±0.168 ^{Ca}	0.106 ±0.006 ^{Aa}	0.062 ±0.012 ^{Ba}	0.030 ±0.002 ^{Bc}
	14	2.767 ±0.091 ^{Cb}	0.089 ±0.006 ^{Ab}	0.053 ±0.005 ^{Bb}	0.053 ±0.006 ^{Bb}
ΔE	1	-	64.268 ±1.584 ^{Aa}	32.273 ±1.803 ^{Ba}	28.553 ±1.059 ^{Ca}
	7	-	57.841 ±1.971 ^{Ab}	26.867 ±0.739 ^{Bb}	28.539 ±0.690 ^{Ca}
	14	-	56.635 ±2.469 ^{Ab}	28.626 ±1.782 ^{Bb}	27.099 ±1.012 ^{Cb}

T1= Yogurt (Y) natural, T2= Y adicionado con jugo de betabel, T3= Y adicionado con extracto encapsulado con Maltodextrina y T4= Y adicionado con extracto encapsulado con Inulina.

L*= luminosidad, a*= verde (-) y rojo (+), b*= azul (-) y amarillo (+), C*= chroma (saturación de color), h*= ángulo Hue (tono) y ΔE= diferencia de color.

^{ABCD} Valores en columnas con superíndice diferente indican diferencia estadística significativa entre tratamientos (P<0.05).

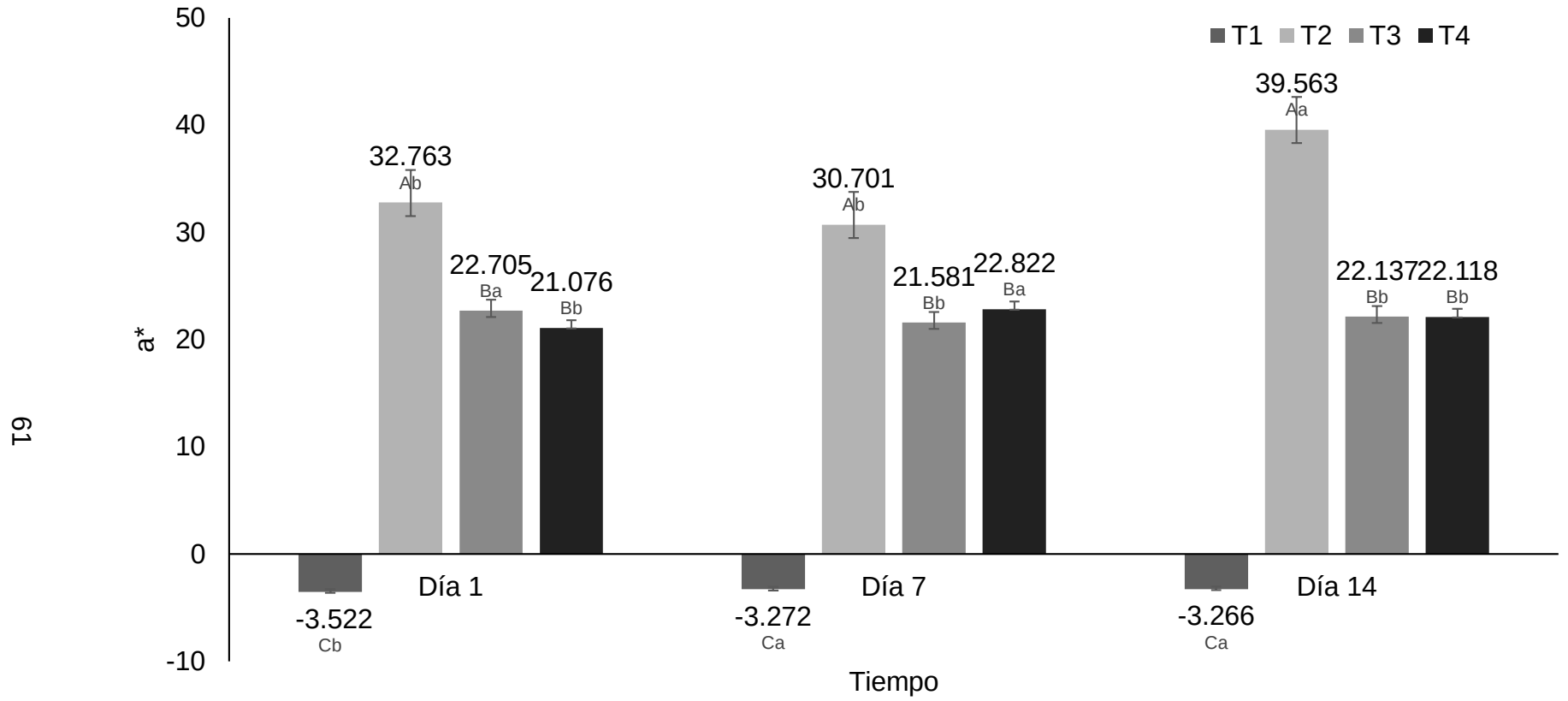
^{abc} Valores en renglones con superíndice diferente indican diferencia estadística significativa a través del tiempo (P<0.05).



Gráfica 3. Luminosidad de yogurt adicionado con extracto de betabel. T1= Yogurt (Y) natural, T2= Y adicionado con jugo de betabel, T3= Y adicionado con extracto encapsulado con Maltodextrina y T4= Y adicionado con extracto encapsulado con Inulina.

^{ABCD} Valores con superíndice diferente indican diferencia estadística significativa entre tratamientos ($P<0.05$).

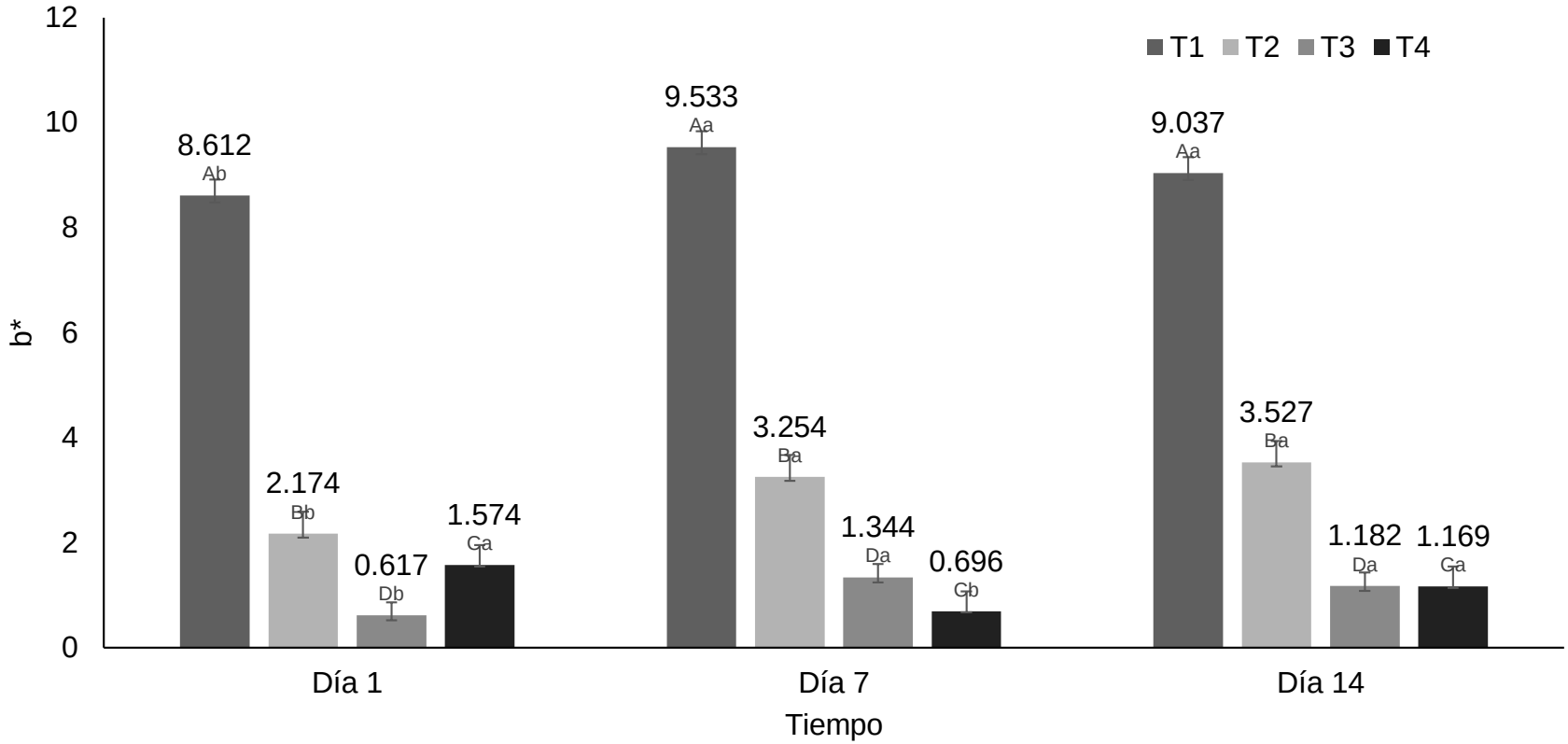
^{abc} Valores con superíndice diferente indican diferencia estadística significativa a través del tiempo ($P<0.05$).



Gráfica 4. Valor de a* de yogurt adicionado con extracto de betabel. T1= Yogurt (Y) natural, T2= Y adicionado con jugo de betabel, T3= Y adicionado con extracto encapsulado con Maltodextrina y T4= Y adicionado con extracto encapsulado con Inulina.

^{ABCD} Valores con superíndice diferente indican diferencia estadística significativa entre tratamientos (P<0.05).

^{abc} Valores con superíndice diferente indican diferencia estadística significativa a través del tiempo (P<0.05).



Gráfica 5. Valor de b* de yogurt adicionado con extracto de betabel. T1= Yogurt (Y) natural, T2= Y adicionado con jugo betabel, T3= Y adicionado con extracto encapsulado con Maltodextrina y T4= Y adicionado con extracto encapsulado con Inulina.

^{ABCD} Valores con superíndice diferente indican diferencia estadística significativa entre tratamientos ($P<0.05$).

^{abc} Valores con superíndice diferente indican diferencia estadística significativa a través del tiempo ($P<0.05$).

adicionados con polvo de betabel (T3 y T4) no mostraron diferencia (P>0.05). El cambio de color (∆E) entre tratamientos y días también fue diferente (P<0.05)

Así mismo, se encontró una fuerte correlación negativa (r=-0.9410, P<0.0001) entre L* y BT, y una alta correlación positiva (r=0.7054, P<0.0001) entre el valor de a* y BT (Cuadro 10). Lo que indica que a mayor contenido de BT, existe menor luminosidad y mayor concentración de color rojo; dichas correlaciones ya han sido reportadas en micro partículas de pulpa de tuna (Saénz *et al*., 2009; Castillo-Garrido, 2013; Vergara, 2013) y en polvos colorantes de pulpa de tuna (Obón *et al.*, 2009)

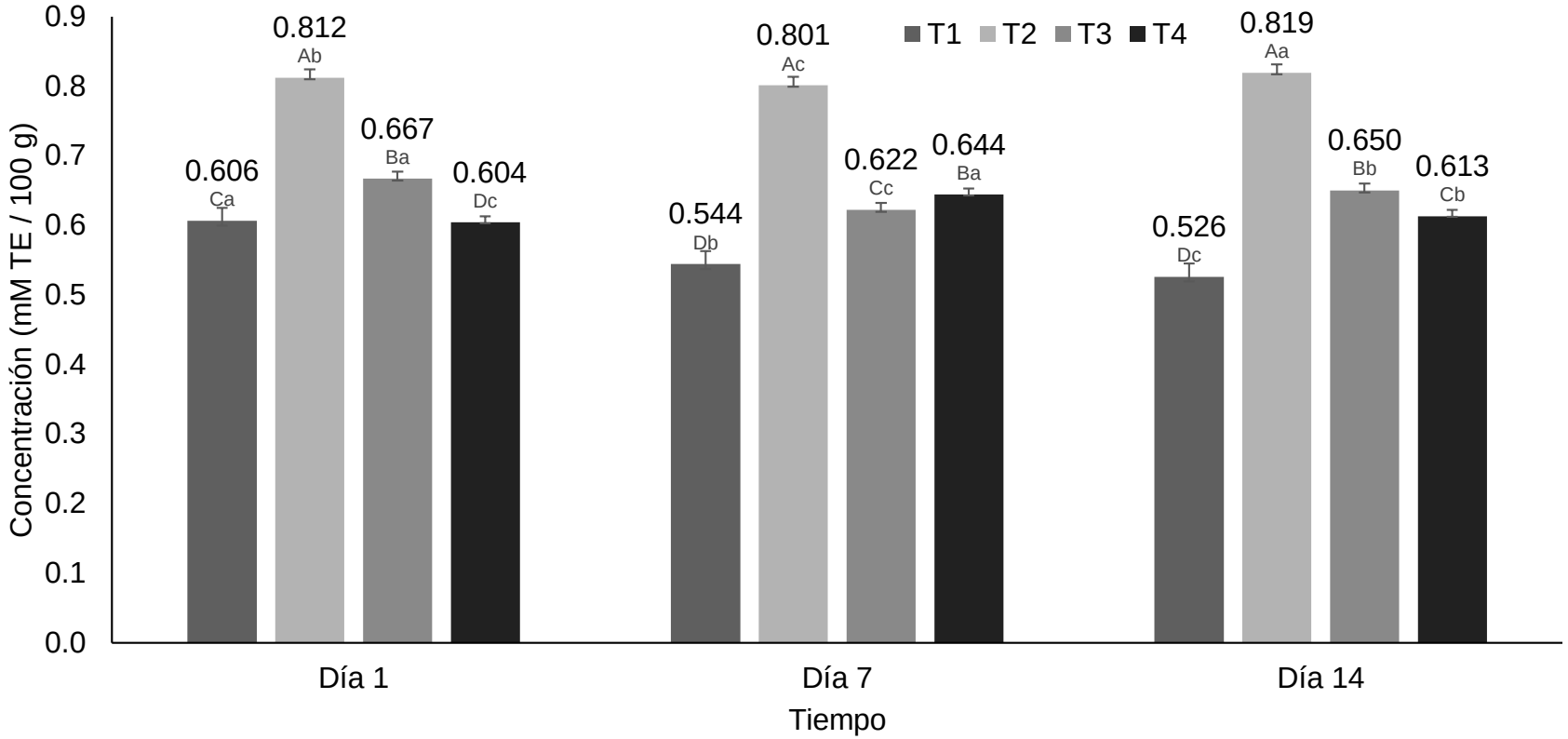
Actividad Antioxidante

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas para la variable de AA entre los tratamientos (P<0.05) en $ABTS^{\cdot}$ (Gráfica 6) y $DPPH^{\cdot}$ (Gráfica 7). La mayor AA se observó en el T2 después de 14 días ($ABTS^{\cdot}$ 0.819 mM TE / 100 g y $DPPH^{\cdot}$ 0.343 mM TE / 100 g), y la menor AA se encontró en el T1 al día 14 ($ABTS^{\cdot}$ 0.526 mM TE / 100 g y $DPPH^{\cdot}$ 0.094 mM TE / 100 g). Los tratamientos adicionados con extracto encapsulado, la mayor AA se encontró en T3 al día 1 ($ABTS^{\cdot}$ 0.667 mM TE / 100 g y $DPPH^{\cdot}$ 0.197 mM TE / 100 g); en cambio, el T4 presentó mayor AA al día 7 ($ABTS^{\cdot}$ 0.644 mM TE / 100 g y $DPPH^{\cdot}$ 0.145 mM TE / 100 g), es importante resaltar que para dicho tratamiento en el día 14 ($ABTS^{\cdot}$ 0.613 mM TE / 100 g y $DPPH^{\cdot}$ 0.136 mM TE / 100 g) la AA fue mayor incluso que en el día 1 ($ABTS^{\cdot}$ 0.604 mM TE / 100 g y $DPPH^{\cdot}$ 0.124 mM TE / 100 g) (Apéndice H). Así mismo, Pitalua *et al.* (2010) reportaron una disminución (450 – 230 mV),

Cuadro 10. Correlación entre las variables de respuesta del yogurt adicionado con extracto líquido y liofilizado de betabel (*Beta vulgaris* sp.).

	DPPH˙	PT	BT	BC	BX	CTP	L*	a*	b*	pH	SIN
ABTS˙	0.9652	0.8263	0.9281	0.9231	0.9361	0.8022	-0.9306	0.8322	-0.4192	0.3101	0.7143
P-value	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
DPPH˙		0.8002	0.9395	0.9355	0.9447	0.8128	-0.9463	0.8017	-0.3518	0.2469	0.7660
P-value		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
PT			0.8615	0.8621	0.8552	0.7917	-0.7921	0.4929	0.0126	0.2085	0.7890
P-value			<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.8217	0.0002	<.0001
BT				0.9994	0.9960	0.8822	-0.9410	0.7054	-0.1638	0.2006	0.8773
P-value				<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0031	0.0003	<.0001
BC					0.9924	0.8802	-0.9355	0.6979	-0.1525	0.1949	0.8802
P-value					<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0059	0.0004	<.0001
BX						0.8827	-0.9502	0.7214	-0.1927	0.2147	0.8645
P-value						<.0001	<.0001	<.0001	0.0005	<.0001	<.0001
CTP							-0.8939	0.5308	-0.0260	0.2972	0.8480
P-value							<.0001	<.0001	0.6416	<.0001	<.0001
L*								-0.7702	0.3215	-0.2102	-0.8032
P-value								<.0001	<.0001	0.0001	<.0001
a*									-0.7934	0.1319	0.4245
P-value									<.0001	0.0175	<.0001
b*										-0.1343	0.1679
P-value										0.0156	0.0024
pH											-0.0415
P-value											0.4562

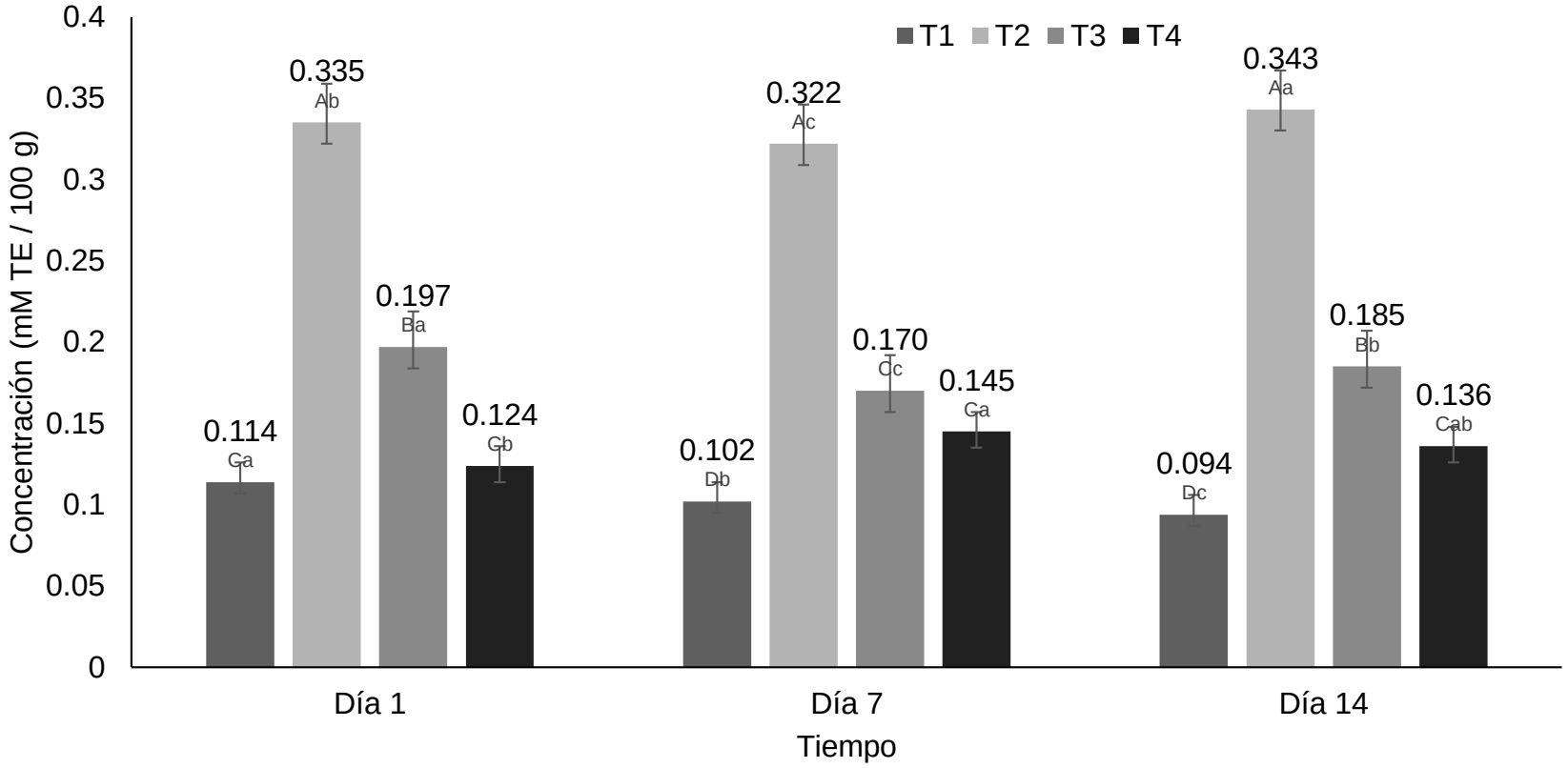
ABTS˙ y DPPH˙= Actividad antioxidante, PT= Polifenoles totales, BT= Betalaínas totales, BC= Betacianinas, BX= Betaxantinas, CTP= Concentración total de proteína, L*= Luminosidad, a* (tendencia al rojo), b* (tendencia al verde) y SIN= Sinéresis. *P-value* = Nivel de significancia de la correlación.



Gráfica 6. Actividad antioxidante (método ABTS$^{\cdot}$) de yogurt adicionado con extracto de betabel. T1= Yogurt (Y) natural, T2= Y adicionado con jugo de betabel, T3= Y adicionado con extracto encapsulado con Maltodextrina y T4= Y adicionado con extracto encapsulado con Inulina.

^{ABCD} Valores con superíndice diferente indican diferencia estadística significativa entre tratamientos ($P<0.05$).

^{abc} Valores con superíndice diferente indican diferencia estadística significativa a través del tiempo ($P<0.05$).



Gráfica 7. Actividad antioxidante (método DPPH$^{\cdot}$) de yogurt adicionado con extracto de betabel. T1= Yogurt (Y) natural, T2= Y adicionado con jugo de betabel, T3= Y adicionado con extracto encapsulado con Maltodextrina y T4= Y adicionado con extracto encapsulado con Inulina.

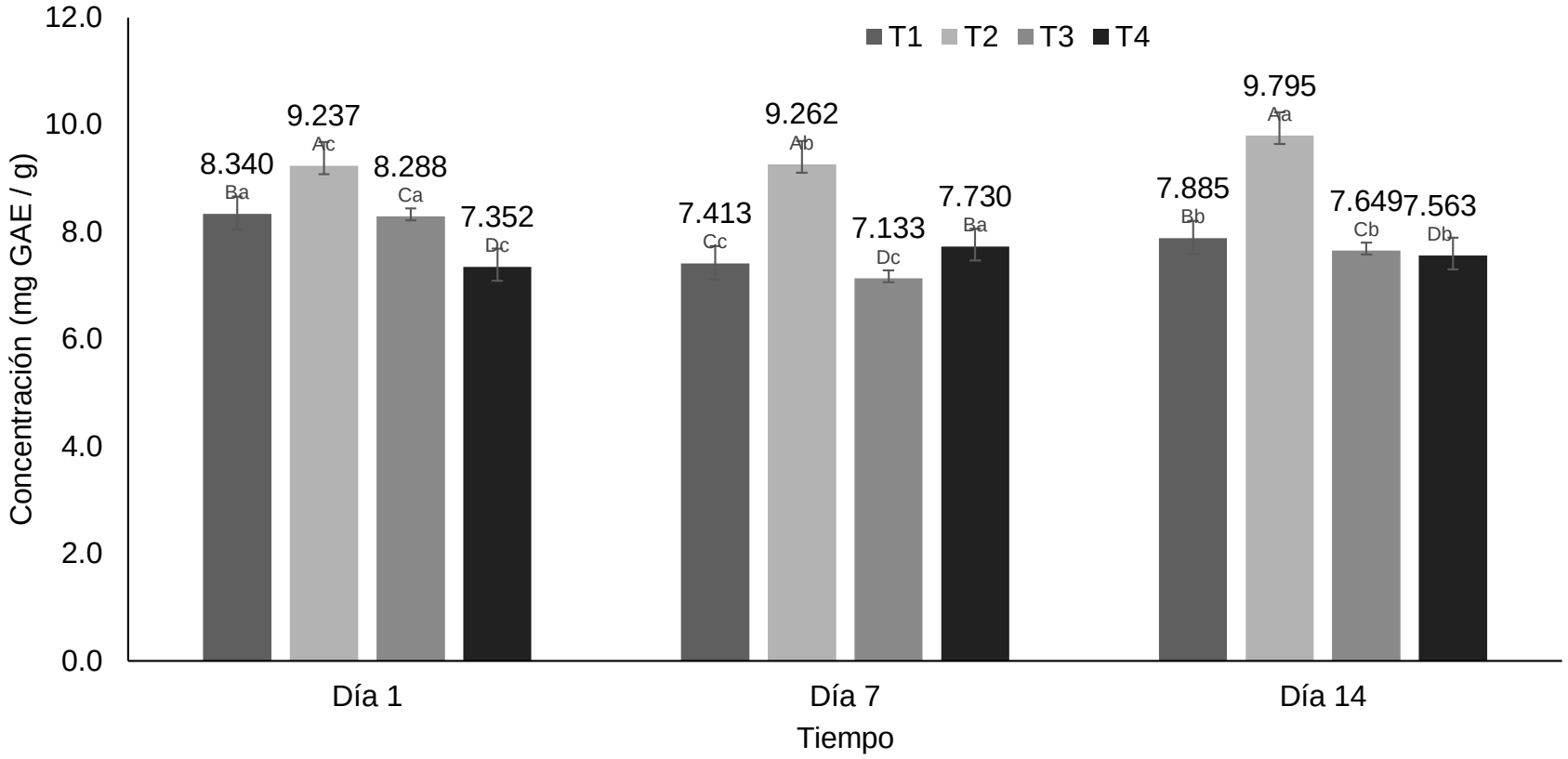
^{ABCD} Valores con superíndice diferente indican diferencia estadística significativa entre tratamientos ($P<0.05$).

^{abc} Valores con superíndice diferente indican diferencia estadística significativa a través del tiempo ($P<0.05$).

seguida de un período de estabilidad de 10 días y un incremento en la AA para el día 14 (430 mV). Dicho comportamiento pudiera deberse a compuestos con alta actividad antioxidante que se formaron o liberaron durante el almacenamiento debido a la adsorción de agua por la encapsulación, o a la interacción de algunos componentes en la muestra almacenada con el oxígeno u otros componentes de la muestra (Anese *et al.*, 2003). Además, se ha reportado que un mayor tiempo de almacenamiento y una mayor actividad de agua producen una mayor actividad antioxidante para extinguir los radicales (Pitalua *et al*., 2010). Por otra parte, se encontró una alta correlación positiva (r=0.7946, P<0.0001) entre BT y la AA, lo que pudiera deberse a la presencia del AB, ya que actúa como agente antioxidante; no obstante, si la molécula de ácido no presenta grupos hidroxilo, el ácido betalámico no presenta capacidad antioxidante (Castro-Muñoz *et al.*, 2015). Así mismo, se encontró una correlación positiva ($ABTS^{\bullet}$ r=0.8263 y $DPPH^{\bullet}$ r=0.8002, P<0.0001) entre AA y PT (Cuadro 10); el aumento de la AA durante el almacenamiento puede ocurrir debido a que en esos períodos, se liberan o forman nuevos compuestos fenólicos capaces de extinguir radicales (Nicoli *et al.,* 1999).

Polifenoles Totales

Se observó un alto contenido de PT (de 7.13 a 9.79 mg de GAE / g, (Gráfica 8) referente al reportado por Antigo *et al.* (2017) (4.88 mg de GAE / g); pero, en polvos de pera de cactus se han informado valores de 14.67 mg de GAE / g (Ruiz-Gutiérrez *et al.*, 2014). La concentración de PT (Apéndice H) mostró un comportamiento similar al que encontraron Saénz *et al.* (2009), en donde reportan



Gráfica 8. Contenido de polifenoles totales de yogurt adicionado con extracto de betabel. T1= Yogurt (Y) natural, T2= Y adicionado con jugo de betabel, T3= Y adicionado con extracto encapsulado con Maltodextrina y T4= Y adicionado con extracto encapsulado con Inulina.

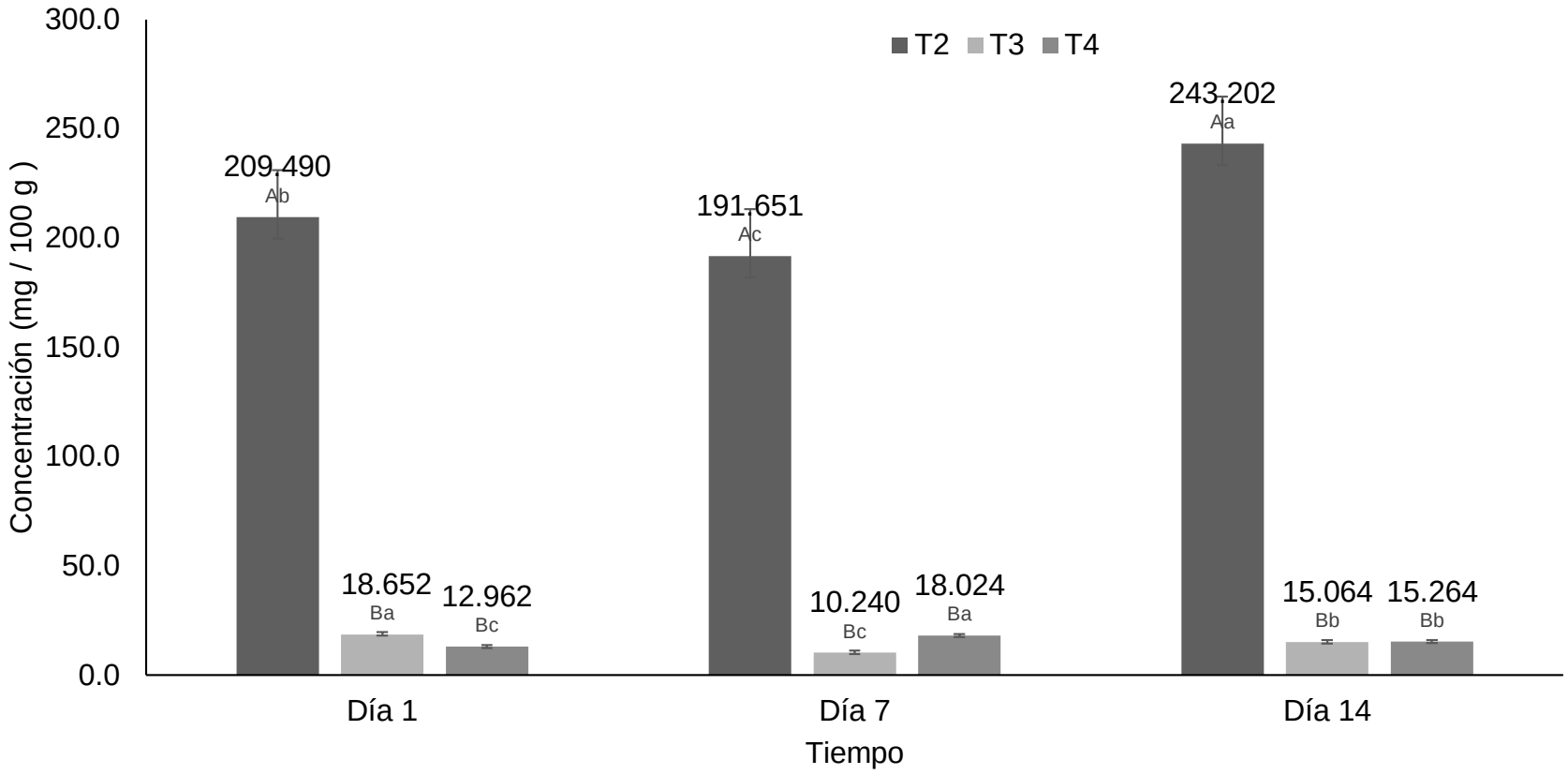
^{ABCD} Valores con superíndice diferente indican diferencia estadística significativa entre tratamientos ($P<0.05$).

^{abc} Valores con superíndice diferente indican diferencia estadística significativa a través del tiempo ($P<0.05$).

recuperaciones y formación de polifenoles de más del 100% con respecto al tiempo inicial, como consecuencia de la hidrólisis de los conjugados de polifenoles del betabel durante el almacenamiento. El almacenamiento con alta actividad de agua facilita las reacciones de oxidación, causando que los compuestos fenólicos reaccionen con el oxígeno y produzcan un medio enriquecido que posee fuertes propiedades de eliminación y reducción de radicales (Pitalua *et al.*, 2010), cabe mencionar que dichos estudios se realizaron únicamente en polvos. Al igual que Pitalua *et al.* (2010), se observó una fuerte correlación positiva ($r=0.8615$, $P<0.0001$) entre PT y BT (Cuadro 10); es importante resaltar que las betalaínas son los principales polifenoles presentes en el betabel (Antigo *et al.,* 2017), por lo tanto, se esperaba una asociación positiva entre ambas variables.

Betalaínas Totales

Se han realizado varias investigaciones sobre el uso de agentes encapsulantes para prevenir la degradación de las betalaínas (Serris y Biliaderis, 2001; Janiszewska, 2014; Castro-Muñoz *et al.*, 2015; Antigo *et al.*, 2017), sin embargo, la mayoría de los estudios de estabilidad fueron con muestras de polvos. En el presente estudio, se realizó la adición del polvo a un fluido no newtoniano. La estabilidad de los extractos se evaluó en los yogures en cuanto al contenido de BT (Gráfica 9), durante 14 días de almacenamiento a 4°C y ausencia de luz. El mayor contenido de pigmentos se observó en el T2 después de 14 días (243.20 mg / 100 g), se observaron diferencias estadísticamente significativas en el contenido de BT después de 7 (191.65 mg / 100 g) y 14 días



Gráfica 9. Contenido de betalaínas totales de yogurt adicionado con extracto de betabel. T2= Y adicionado con jugo de betabel, T3= Y adicionado con extracto encapsulado con Maltodextrina y T4= Y adicionado con extracto encapsulado con Inulina.

^{ABCD} Valores con superíndice diferente indican diferencia estadística significativa entre tratamientos (P<0.05).

^{abc} Valores con superíndice diferente indican diferencia estadística significativa a través del tiempo (P<0.05).

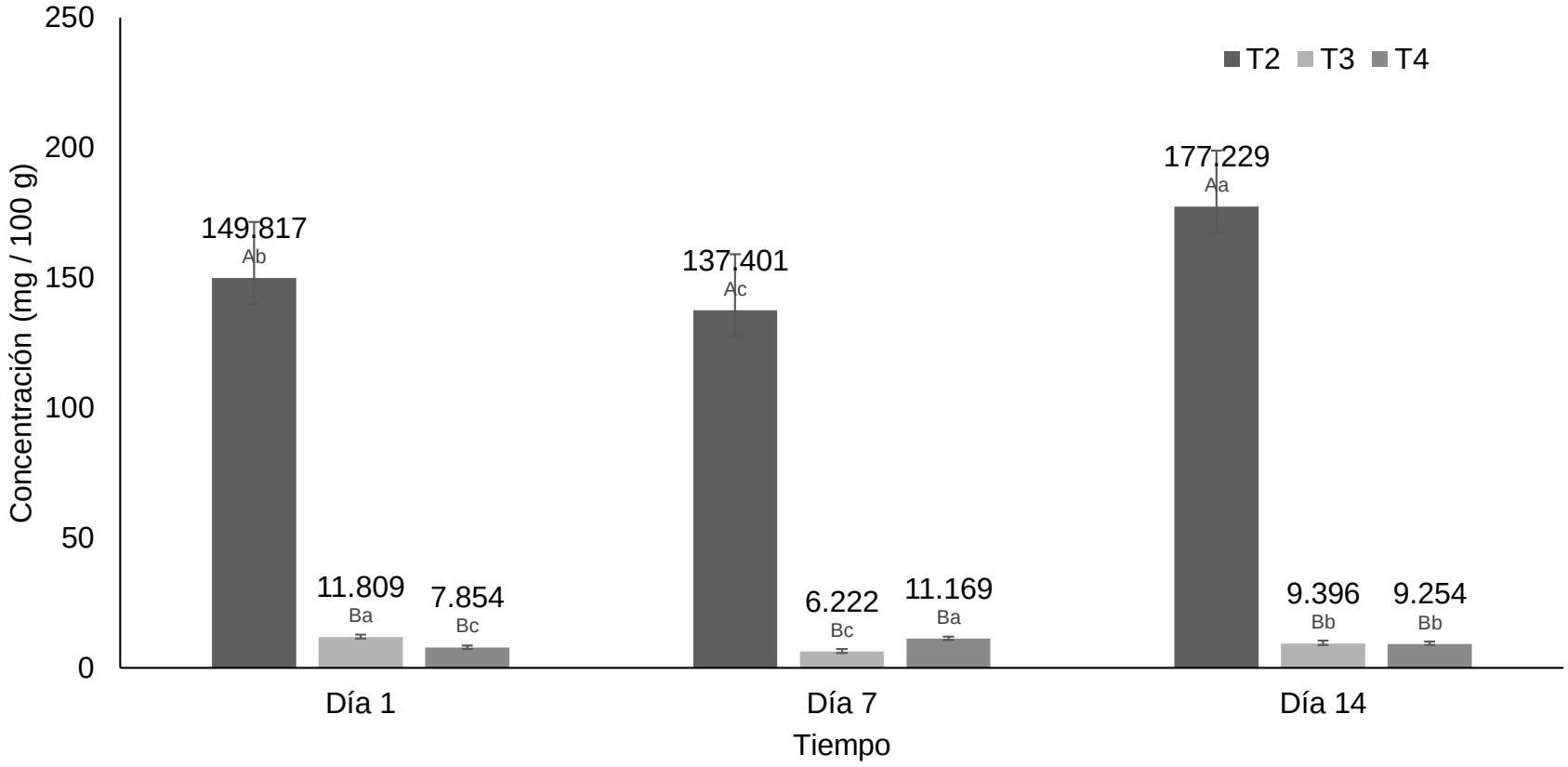
de almacenamiento en comparación con su contenido al día 1 (209.40 mg / 100 g). De los tratamientos adicionados con extracto encapsulado (T3 y T4), el mayor contenido de BT se encontró en el T3 el día 1 (18.652 mg / 100 g) y el mayor contenido de BT para el T4 fue en el día 7 (18.024 mg / 100 g); no obstante, mientras que el T3 mostro una disminución de BT en el día 7 (10.24 mg / 100 g) y posteriormente un aumento en el día 14 (15.06 mg / 100 g); el T4 tuvo un incremento de BT para el día 7 (18.02 mg / 100 g) y en el día 14 una disminución (15.26 mg / 100 g); aunque, es importante destacar que al día 14 la cuantificación de BT en el T4 fue mayor, incluso que el día 1 (12.96 mg / 100 g) (Apéndice H). De acuerdo con Azeredo *et al.* (2007), la encapsulación con M fue eficaz para estabilizar las betalaínas después de 14 días de almacenamiento. A diferencia de lo informado por Omae *et al.* (2017), en este estudio la adición de I, si aumentó la estabilidad de las BC durante el almacenamiento, y no se observó una relación lineal a partir de las gráficas del contenido de BT *versus* tiempo. Según estudios previos (Von Elbe *et al.,* 1974; Attoe y Von Elbe, 1984; Huang y Von Elbe, 1985, 1987), la degradación de las BC es el resultado de una reacción de hidrólisis que produce CDG y AB; esta reacción de degradación es reversible e implica una condensación de la base de Schiff de la amina de CDG con el aldehído del AB (Von Elbe y Attoe, 1985). Por otro lado, la degradación de pigmentos betalámicos derivados del betabel fue reportada por Pitalua *et al*. (2010), Janiszewska (2014), Omae *et al*. (2017) y Antigo *et a*l. (2017).

Se ha reportado que el betabel tiene mayores niveles de BC que de BX (Azeredo, 2009; Gandía-herrero et al., 2010; Ravichandran *et al*., 2014; Janiszewska, 2014); de acuerdo con lo anterior, en esta investigación se encontró

mayor contenido de BC en comparación con BX. Los contenidos de BC (6.22 a 11.809 mg / 100 g) y BX (4.01 a 6.85 mg / 100 g) (Gráfica 10 y Gráfica 11) en los tratamientos adicionados con extracto de betabel encapsulado (T3 y T4) en este estudio fueron menores que los reportados por Janiszewska (2014), y mayores que los reportados por Ravichandran *et al.* (2014), 118.0 mg / 100 g y 3.5 mg / L, respectivamente. Además, se obtuvieron correlaciones positivas ($r=0.9994$, $P<0.0001$) entre BT y BC, y entre BT y BX ($r=0.9960$, $P<0.0001$, Cuadro 10).

Concentración Total de Proteína

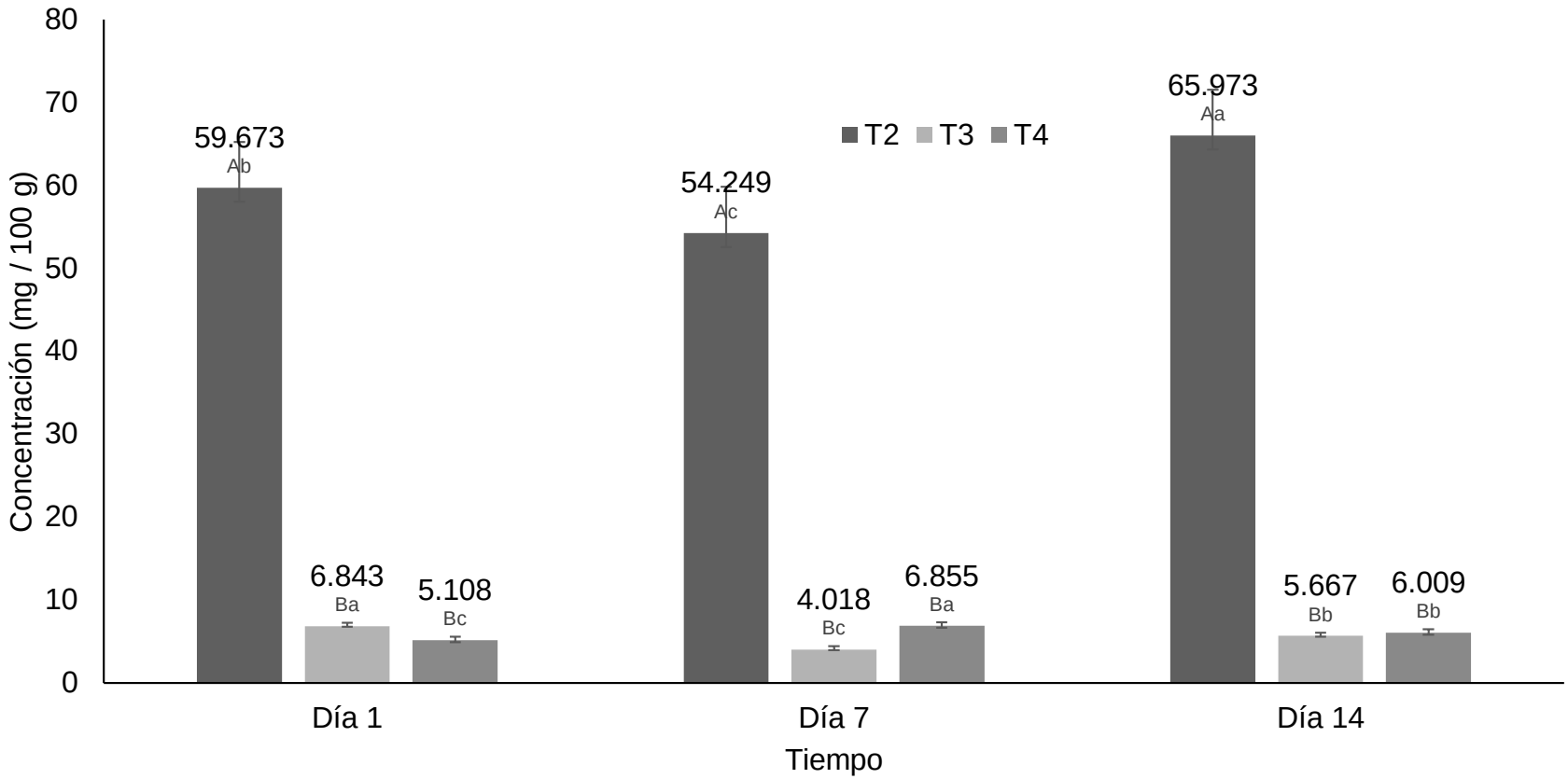
La concentración total de proteína (CTP, Gráfica 12) varió en un rango de 11.385 a 12.568 µg / mL; pero, tuvieron diferencia estadísticamente significativa ($P<0.05$, Apéndice H) entre tratamientos y a través del tiempo. Se encontró una correlación positiva entre la CTP y AA ($ABTS^{\cdot}r=0.8022$ y $DPPH^{\cdot}r=0.8126$, $P<0.0001$), CTP y PT ($r=0.7917$, $P<0.0001$) y entre la CTP y BT ($r=0.8822$ $P<0.0001$, Cuadro 10). Dicha correlación puede deberse a que los azúcares y las proteínas generan productos que tienen una alta AA (Wang *et al.*, 2011), y esta AA se puede observar a pesar de presencia de betalaínas (Castro-Muñoz *et al.*, 2015).



Gráfica 10. Contenido de Betacianinas de yogurt adicionado con extracto de betabel. T2= Y adicionado con jugo de betabel, T3= Y adicionado con extracto encapsulado con Maltodextrina y T4= Y adicionado con extracto encapsulado con Inulina.

^{ABCD} Valores con superíndice diferente indican diferencia estadística significativa entre tratamientos (P<0.05).

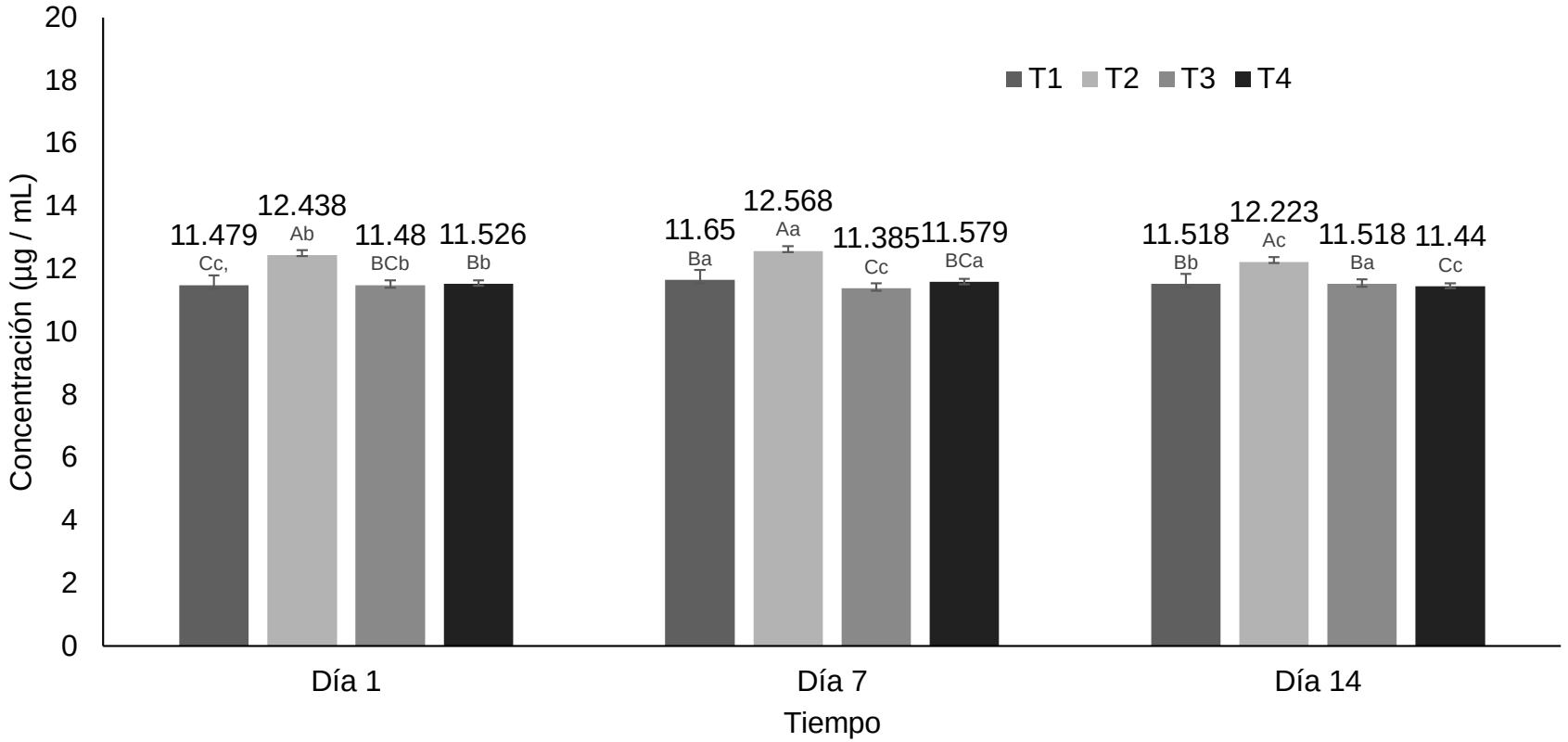
^{abc} Valores con superíndice diferente indican diferencia estadística significativa a través del tiempo (P<0.05).



Gráfica 11. Contenido de Betaxantinas de yogurt adicionado con extracto de betabel. T2= Y adicionado con jugo de betabel, T3= Y adicionado con extracto encapsulado con Maltodextrina y T4= Y adicionado con extracto encapsulado con Inulina.

[ABCD] Valores con superíndice diferente indican diferencia estadística significativa entre tratamientos (P<0.05).

[abc] Valores con superíndice diferente indican diferencia estadística significativa a través del tiempo (P<0.05).



Gráfica 12. Concentración total de proteína de yogurt adicionado con extracto de betabel. T1= Yogurt (Y) natural, T2= Y adicionado con jugo de betabel, T3= Y adicionado con extracto encapsulado con Maltodextrina y T4= Y adicionado con extracto encapsulado con Inulina.

^{ABCD} Valores con superíndice diferente indican diferencia estadística significativa entre tratamientos (P<0.05).

^{abc} Valores con superíndice diferente indican diferencia estadística significativa a través del tiempo (P<0.05).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De los resultados mostrados, su análisis y discusión, se pueden obtener las siguientes conclusiones sobre la estabilidad de betalaínas, polifenoles totales y actividad antioxidante en el yogurt batido adicionado con extracto liofilizado de betabel:

a) La adición del extracto de betabel aumentó significativamente la actividad antioxidante en el yogurt; siendo las betalaínas y otros polifenoles los principales compuestos encargados de dicha bioactividad.
b) La encapsulación del extracto de betabel mediante liofilización resultó ser un método eficiente para estabilizar las betalaínas; sin embargo, no fue posible determinar si maltodextrina o inulina es mejor como agente encapsulante, debido a que esto varía a través del tiempo de almacenamiento.

Se recomienda se realice otro estudio en el cual se adicione al yogurt el mismo contenido de betalaínas (extracto líquido y / o liofilizado), para obtener resultados comparables entre sí. Además, se recomienda que se amplíe el tiempo de almacenamiento del producto, para observar el comportamiento de las betalaínas y polifenoles en el yogurt después de 14 días.

LITERATURA CITADA

Achanta, K., K.J. Aryana y C.A. Boeneke. 2007. Fat free plain set yogurts fortified with various minerals. LWT - Food Sci. Technol. 40: 424-429.

Adolfsson, O., S. Meydani y R. Russell. 2004. Yogurt and gut function. Am. J. Clin. Nutr. 80: 245-256.

Agarwal, M., V.K. Srivastava, K.K. Saxena y A. Kumar. 2006. Hepatoprotective activity of *Beta vulgaris* against CCl4-induced hepatic injury in rats. Fitoterapia 77: 91-93.

Ahia, E.L.M.Y. 2008. Identification and Quantification of Betalains from the Fruits of 10 Mexican Prickly Pear Cultivars by High-Performance Liquid Chromatography and Electrospray Ionization Mass Spectrometry. 56: 5758-5764.

Ahmed, M., M.S. Akter y J.B. Eun. 2010. Impact of α-amylase and maltodextrin on physicochemical, functional and antioxidant capacity of spray-dried purple sweet potato flour. J. Sci. Food Agric. 90: 494-502.

Ajmal, S. y N. Ahmed. 2009. Probiotic potential of lactobacillus strains in human infections. African J. Microbiol. Res. 3: 851-855.

Altan, A., K.L. McCarthy y M. Maskan. 2009. Effect of extrusion cooking on functional properties and in vitro starch digestibility of barley-based extrudates from fruit and vegetable by-products. J. Food Sci. 74: 77-86

Alvarado-Carrasco, C. y M. Guerra. 2010. Lactosuero como fuente de péptidos bioactivos Whey as a source of bioactive peptides. An. Venez. Nutr. 23: 42-49.

Anderson, R.A., H.F. Conway y A.J. Peplinski. 1970. Gelatinization of Corn Grits by Roll Cooking, Extrusion Cooking and Steaming. J. Cereal Sci. Today 22: 130-135.

Anese, M., S. Calligaris, M.C. Nicoli y R. Massini. 2003. Influence of total solids concentration and temperature on the changes in redox potential of tomato pastes. Int. J. Food Sci. Technol. 38: 55-61.

Antigo, J.L.D., R. de C. Bergamasco y G.S. Madrona. 2017. Effect of ph on the stability of red beet extract (*Beta vulgaris*) microcapsules produced by spray drying or freeze drying. Food Sci. Technol. 38: 72-77.

AOAC. *Official Methods of Analysis of AOAC*, *1984*,

Apintanapong, M. y A. Noomhorm. 2003. The use of spray drying to microencapsulate 2-acetyl-1-pyrroline, a major flavour component of aromatic rice. Int. J. Food Sci. Technol. 38: 95-102.

Aportela-Palacios, A., M.E. Sosa-Morales y J.F. Vélez-Ruiz. 2005. Rheological and physicochemical behavior of fortified yogurt, with fiber and calcium. J. Texture Stud. 36: 333-349.

Araujo-Diaz, S., C. Leyva-Porras, P. Aguirre-Bañuelos y C. Alvarez-Salas. 2017. Evaluation of the physical properties and conservation of the antioxidants content , employing inulin and maltodextrin in the spray drying of blueberry juice. Carbohydr. Polym. 167: 317-325.

Araya, H. y M. Lutz. 2003. Alimentos Funcionales y Saludables. Rev. Chil. Nutr. 30: 8-14.

Arrazola, G., I. Herazo y A. Alvis. 2014. Microencapsulación de Antocianinas de Berenjena (S*olanum melongena L*) mediante Secado por Aspersión y Evaluación de la Estabilidad de su Color y Capacidad Antioxidante. Inf. Tecnológica 25: 31-42.

Attoe, E.L. y J.H. Von Elbe. 1984. Oxygen involvement in betanin degradation - Oxygen uptake and influence of metal ions. Z. Lebensm. Unters. Forsch. 179: 232-236.

Azeredo, H., A. Santos, A. Souza, K. Mendes y M.I. Andrade. 2007. Betacyanin stability during processing and storage of a microencapsulated red beetroot extract. Am. J. Food Technol. 2: 307-312.

Azeredo, H.M.C. 2005. Encapsulação: aplicação a tecnologia de alimentos. Aliment. e Nutr. 16: 89-97.

Azeredo, H.M.C. 2009. Betalains: Properties, sources, applications, and stability - A review. Int. J. Food Sci. Technol. 44: 2365-2376.

Azeredo, H.M.C., A.C. Pereira, A.C.R. De Souza, S.T. Gouveia y K.C.B. Mendes. 2009. Study on efficiency of betacyanin extraction from red beetroots. Int. J. Food Sci. Technol. 44: 2464-2469.

Badui, D. 1990. Química de los Alimentos. Color. Alhambra Mex. : D.F., México. 379:403.

Baeza, R., C.I. Busso-casati y S. Virginia. 2019. Estabilidad de polifenoles , antocianinas y color en jugos de frutos rojos. : 2-4.

Barbosa, M.I.M.J., C.D. Borsarelli y A.Z. Mercadante. 2005. Light stability of spray-dried bixin encapsulated with different edible polysaccharide preparations. Food Res. Int. 38: 989-994.

Basulto, J., M. Moñino, A. Farran, E. Baladia, M. Manera, J. Bonany, V. Gelabert, J.M. Ballesteros, A. Martínez, M. Alonso, F. Riquelme, I. Polanco y F. Rodríguez-artalejo. 2014. Nutrición Humana y Dietética. 18: 100-115.

Bolkent, S., R. Yanardag, A. Tabakoglu-Oguz y O. Ozsoy-Sacan. 2000. Effects of chard (*Beta vulgaris L*. var. *cicla*) extract on pancreatic B cells in streptozotocin-diabetic rats: A morphological and biochemical study. J.

Ethnopharmacol. 73: 251-259.

Busso-Casati, C.I. y R. Baeza. 2016. Estabilidad de polifenoles y caracterización físico-química y sensorial en pulpas de frutos rojos en relación a los procesos tecnológnicos para la obtención de alimentos e ingredientes alimenticios. Argentina

Cai, Y. y H. Corke. 2000. Production and Properties of Spray - dried Amaranthus Betacyanin Pigments. J. Food Sci. 65: 1248-1252.

Carocho, M., P. Morales y I.C.F.R. Ferreira. 2015. Natural food additives: Quo vadis? Trends Food Sci. Technol. 45: 284-295.

Castellar, R., J. Obón, M. Alacid y J. Fernández-López. 2003. Color properties and stability of betacyanins from Opuntia fruits. J. Agric. Food Chem. 51: 2772-2776.

Castillo-Garrido, I.C. 2013. Estabilidad de betalainas en una mezcla seca para bebidas refrescantes, a base de pulpa y extracto de tuna purpura (*Opuntia ficus-indica*) microencapsuladas.

Castro-Muñoz, R., B. Barragán-Huerta y J. Yáñez-Fernández. 2015. Use of gelatin-maltodextrin composite as an encapsulation support for clari fi ed juice from purple cactus pear (*Opuntia stricta*). LWT - Food Sci. Technol. 62: 242-248.

Celli, G.B. y M.S.L. Brooks. 2017. Impact of extraction and processing conditions on betalains and comparison of properties with anthocyanins — A current review. Food Res. Int. 100: 501-509.

Ciriminna, R., A. Fidalgo, C. Danzì, G. Timpanaro, L.M. Ilharco y M. Pagliaro. 2018. Betanin: A Bioeconomy Insight into a Valued Betacyanin. ACS Sustain. Chem. Eng. 6: 2860-2865.

Coronado, M., S. Vega y León, R. Gutierrez, M. Mazquez y C. Radilla. 2015. Antioxidantes : perspectiva actual para la salud humana Antioxidants : present perspective for the human health. Rev. Chil. Nutr. 42(7): 206-212.

Corrales, L.C. y M.M. Muñoz. 2012. Estrés oxidativo: origen, evolución y consecuencias de la toxicidad del oxígeno. Nov. - Publicación Científica en Ciencias Biomédicas 10: 135-250.

Cortés, M., A. Chirlat y L. Puente. 2005. Alimentos Funcionales: Una historia con muco presente y futuro. Rev. la Fac. Quiíica Farm. 12(1): 5-14.

Cutrim, C.S. y M.A. Sloboda. 2018. A review on polyphenols : Classi fi cation , bene fi cial effects and their application in dairy products. Int. J. Dairy Technol. 71: 564-578.

Delgado-Vargas, F., A.R. Jiménez y O. Paredes-López. 2000. Natural Pigments: Carotenoids, Anthocyanins, and Betalains — Characteristics, Biosynthesis, Processing, and Stability. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 40: 173-289.

Diaz-Jimenez, B., M. Sosa-Morales y J. Velez-Ruiz. 2004. Efecto de la adición de fibra y la disminución de grasa en las propiedades fisicoquímicas del yogur. Rev. Mex. Ing. Química 3: 287-305.

Díaz-Sánchez, F., E.-M. Santos-López, S.F. Kerstupp, R. Villagómez-Ibarra y L. Scheinvar. 2006. Betalain, betanin, spray drying, food colorant, red prickly pear. Electron. J. Environ. Agric. Food Chem. 2: 1330-1337.

Diaz, Y.L., L.S. Torres y J.A. Serna. 2017. Efecto de la Encapsulación en Secado por Atomización de Biocomponentes de Pitahaya Amarilla con Interés Funcional Encapsulation Effect on Spray Drying of Yellow Pitahaya Biocomponents of Functional Interest. 28: 23-34.

Dilmi-Bouras, A. 2006. Assimilation (in vitro) of cholesterol by yogurt bacteria. Ann. Agric. Environ. Med. 13: 49-53.

EFSA-ANS, P. (European F.S.A.P. on F.A. and N.S. added to F. 2015. Scientific Opinion on the re-evaluation of beetroot red (E 162) as a food additive. Eur. Food Saf. Auth. J. 13: 1-56.

El-Gamal, A.A., M.S. AlSaid, M. Raish, M. Al-Sohaibani, S.M. Al-Massarani, A. Ahmad, M. Hefnawy, M. Al-Yahya, O.A. Basoudan y S. Rafatullah. 2014. Beetroot (*Beta vulgaris L*.) Extract Ameliorates Gentamicin-Induced Nephrotoxicity Associated Oxidative Stress, Inflammation, and Apoptosis in Rodent Model. Mediators Inflamm. 2014: 1-12.

Esatbeyoglu, T., A.E. Wagner, V.B. Schini-Kerth y G. Rimbach. 2015. Betanin-A food colorant with biological activity. Mol. Nutr. Food Res. 59(1): 36-47.

Escribano, J., M.A. Pedreño, F. García-Carmona y R. Muñoz. 1998. Characterization of the antiradical activity of betalains from *Beta vulgaris L*. roots. Phytochem. Anal. 9: 124-127.

Fennema, O.R. 1996. Food Chemistry. Colorants. Marcel Dekker : New York, E.U.A. 651:722.

Flores-Belmont, I. y M. Jiménez-Munguía. 2013. Microencapsulación de compuestos activos con quitosano. Temas Sel. Ing. Aliment. 7: 48-56.

Flores-Mancha, M.A., A.L. Renteria-Monterubio, R. Sanchez-Vega y A. Chavez-Martinez. 2019. Estructura y estabilidad de las betalainas. Investig. Cienc. 44: 318-325.

Fuentes-Berrio, L., D. Acevedo-Correa y V.M. Gelvez-Ordoñez. 2015. Alimentos funcionales: Impacto y Retos para el desarrollo y bienestar de la sociedad colombiana. 13: 140-149.

Gallo-Nunura, M. y M. Cevallos-Vera. 2014. Estudio comparativo de la deshidratacion del aguaymanto (*Physalis peruvianum*) mediante atomización y liofilización utilizando agentes encapsulantes en la retención de la vitamina C. Lambayeque

Gandía-Herrero, F., J. Cabanes, J. Escribano, F. García-Carmona y M. Jiménez-Atiénzar. 2013. Encapsulation of the most potent antioxidant betalains in edible matrixes as powders of different colors. J. Agric. Food Chem. 61: 4294-4302.

Gandía-Herrero, F., J. Escribano y F. García-Carmona. 2007. Characterization of the activity of tyrosinase on betanidin. J. Agric. Food Chem. 55: 1546-1551.

Gandía-Herrero, F., J. Escribano y F. García-Carmona. 2009. The role of phenolic hydroxy groups in the free radical scavenging activity of betalains. J. Nat. Prod. 72: 1142-1146.

Gandía-Herrero, F., J. Escribano y F. García-Carmona. 2016. Biological Activities of Plant Pigments Betalains Biological Activities of Plant Pigments Betalains. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 56: 937-945.

Gandía-Herrero, F. y F. García-Carmona. 2013. Biosynthesis of betalains: Yellow and violet plant pigments. Trends Plant Sci. 18(6): 334-343.

Gandía-Herrero, F., M. Jiménez-Atiénzar, J. Cabanes, F. García-Carmona y J. Escribano. 2010. Stabilization of the bioactive pigment of *Opuntia* fruits through maltodextrin encapsulation. J. Agric. Food Chem. 58: 10646-10652.

Georgiev, V.G., J. Weber, E.M. Kneschke, P.N. Denev, T. Bley y A.I. Pavlov. 2010. Antioxidant activity and phenolic content of betalain extracts from intact plants and hairy root cultures of the red beetroot *Beta vulgaris* cv. Detroit Dark Red. Plant Foods Hum. Nutr. 65: 105-111.

Gonçalves, L.C.P., B.M. Di Genova, F.A. Dörr, E. Pinto y E.L. Bastos. 2013. Effect of dielectric microwave heating on the color and antiradical capacity of betanin. J. Food Eng. 118: 49-55.

Gonzalez-Gomez, D. 2012. Alimentos funcionales: propiedades saludables, análisis y distribución en alimentos. Aldaba 36: 35-49.

Guadarrama-Lezana, A.Y., J. Cruz-Olivares, S.L. Martínez-Vargas, H. Carrillo-Navas, A. Román-Guerrero y C. Pérez-Alonso. 2014. Determination of the minimum integral entropy, water sorption and glass transition temperature to establishing critical storage conditions of beetroot juice microcapsules by spray drying. Rev. Mex. Ing. Química 13: 405-416.

Guevara-Breton, N.A. y M.T. Jimenez-Munguia. 2008. Materiales utilizados en la encapsulacion. Temas Selectos de Ingenieria de Alimentos 2: 22-27.

Güneşer, O. 2016. Pigment and color stability of beetroot betalains in cow milk during thermal treatment. Food Chem. 196: 220-227.

Halliwell, B. y J.M.C. Gutteridge. 1990. Role of Free Radicals and Catalytic Metal Ions in Human Disease: An Overview. Methods Enzymol. 186: 1-85.

Haminiuk, C.W.I., G.M. Maciel, M.S. V Plata-oviedo y R.M. Peralta. 2012. Invited review Phenolic compounds in fruits – an overview. Int. J. Food Sci. Technol.

47: 2023-2044.

Hatano T., H., Kagawa, T., Yasuhara y T., O. 1988. Constituents Radical Effects. 36: 2090-2097.

Herbach, K., F. Stintzing y R. Carle. 2006a. Betalain Stability and Degradation — . J. Food Sci. 71: 41-50.

Herbach, K.M., C. Maier, F.C. Stintzing y R. Carle. 2007. Effects of processing and storage on juice colour and betacyanin stability of purple pitaya (Hylocereus polyrhizus) juice. Eur. Food Res. Technol. 224: 649-658.

Herbach, K.M., M. Rohe, F.C. Stintzing y R. Carle. 2006b. Structural and chromatic stability of purple pitaya (*Hylocereus polyrhizus* [Weber] Britton & Rose) betacyanins as affected by the juice matrix and selected additives. Food Res. Int. 39: 667-677.

Herbach, K.M., F.C. Stintzing y R. Carle. 2004a. Impact of thermal treatment on color and pigment pattern of red beet ({*Beta*} *vulgaris* {L}.) preparations. J. Food Sci. 69: C491--C498.

Herbach, K.M., F.C. Stintzing y R. Carle. 2005. Identification of heat-induced degradation products from purified betanin, phyllocactin and hylocerenin by high-performance liquid chromatography/ electrospray ionization mass spectrometry. Rapid Commun. Mass Spectrom. 19: 2603-2616.

Herbach, K.M., F.C. Stintzing y R. Carle. 2006c. Stability and color changes of thermally treated betanin, phyllocactin, and hylocerenin solutions. J. Agric. Food Chem. 54: 390-398.

Herbach, M.K., F.C. Stintzing y R. Carle. 2004b. Thermal degradation of betacyanins in juices from purple pitaya [*Hylocereus polyrhizus* (Weber) Brittonv & Rose] monitored by high-performance liquid chromatography-tandem mass spectometric analyses. Eur. Food Res. Technol. 219: 377-385.

Hernández-Rodríguez, G. y M. Salazar-Tijerino. 2017. Efecto de las betalaínas y fenoles solubles totales de pitahaya (*Hylocereus polyrhizus*) como antioxidantes en yogur. Honduras

Huang, A. y J. Von Elbe. 1985. Kinetics of the degradation and regeneration of betanine. J. Food Sci. 50: 1115–1120.

Huang, A. y J. Von Elbe. 1987. Effect of pH on the degradation and regeneration of betanine. J. Food Sci. 52: 1689-1693.

Ibraheem, A.A., K.R. Makpoul y A.M. Shokry. 2015. Improving Red Color of Some Food Products using Red Beet Powder. Int. J. Sci. Res. 5: 798-805.

Janiszewska, E. 2014. Microencapsulated beetroot juice as a potential source of betalain. Powder Technol. 264: 190-196.

Josef, V., I. Schusselbergstrasse y M. Bergstrasse. 1973. Antidiabetic composition of beet roots and horseradish. USA: Google Patents. : 1973.

Juarez-Moya, J. 2015. Efecto del Ultrasonido de Potencia Alta en el Perfil de Textura y la Actividad Antioxidante en el Queso Fresco de Cabra.

Kanner, J., S. Harel y R. Granit. 2001. Betalains: A New Class of Dietary Cationized Antioxidants Betalains s A New Class of Dietary Cationized Antioxidants. J. Agric. Food Chem 49: 5178-5185.

Kapadia, G.J., M.A. Azuine, R. Sridhar, Y. Okuda, A. Tsuruta, E. Ichiishi, T. Mukainake, M. Takasaki, T. Konoshima, H. Nishino y H. Tokuda. 2003. Chemoprevention of DMBA-induced UV-B promoted, NOR-1-induced TPA promoted skin carcinogenesis, and DEN-induced phenobarbital promoted liver tumors in mice by extract of beetroot. Pharmacol. Res. 47: 141-148.

Kapadia, G.J. y R.G. Subba. 2013. Red Beet Biotechnology.

Kapadia, G.J., H. Tokuda, T. Konoshima y H. Nishino. 1996. Chemoprevention of lung and skin cancer by *Beta vulgaris* (beet) root extract. Cancer Lett. 100: 211-214.

Khan, M.I. 2016a. Plant Betalains: Safety, Antioxidant Activity, Clinical Efficacy, and Bioavailability. Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. 15: 316-330.

Khan, M.I. 2016b. Stabilization of betalains: A review. Food Chem. 197: 1280-1285.

Khan, M.I. y P. Giridhar. 2014. Enhanced chemical stability, chromatic properties and regeneration of betalains in Rivina humilis L. berry juice. LWT - Food Sci. Technol. 58: 649-657.

Korc, I., M. Bidegain y M. Martell. 1995. Radicales libres Bioquímica y sistemas antioxidantes Implicancia en la patología neonatal. Rev. médica del Uruguay 11: 121-135.

Kujawska, M., E. Ignatowicz, M. Murias, K. Miko y J. Jodynis-liebert. 2009. Protective Effect of Red Beetroot against Carbon Tetrachloride- and N -Nitrosodiethylamine-Induced Oxidative Stress in Rats Protective Effect of Red Beetroot against Carbon Tetrachloride- and N -Nitrosodiethylamine-Induced Oxidative Stress in Rats. J. Agric. … : 2570-2575.

Kumar, S., P. Manoj, N. Shetty, M. Prakash y P. Giridhar. 2014. Characterization of major betalain pigments -gomphrenin, betanin and isobetanin from Basella rubra L. fruit and evaluation of efficacy as a natural colourant in product (ice cream) development. J. Food Sci. Technol. 52(8): 4994-5002.

Larsson, S.C., S. Andersson, J. Johansson y A. Wolk. 2008. Cultured milk , yogurt , and dairy intake in relation to bladder cancer risk in a prospective study of Swedish women and men 1: 1-3.

Lee, C.-H., M. Wettasinghe, B.W. Bolling, L.-L. Ji y K.L. Parkin. 2005. Betalains, Phase II Enzyme-Inducing Components From Red Beetroot (*Beta vulgaris L.*) Extracts. Nutr. Cancer 53: 91-103.

Lee, J., Y. Kim, H. Sun Yun, J.G. Kim, S. Oh y S.H. Kim. 2010. Genetic and proteomic analysis of factors affecting serum cholesterol reduction by Lactobacillus acidophilus A4. Appl. Environ. Microbiol. 76: 4829-4835.

López, A., L. Deladino, S. Navarro y M. Martino. 2012. E ncapsulación de compuestos bioactivos con alginatos para la industria de alimentos. Aliment. Cienc. y Tecnol. Aliment. 10: 18-27.

Lu, X., Y. Wang y Z. Zhang. 2009. Radioprotective activity of betalains from red beets in mice exposed to gamma irradiation. Eur. J. Pharmacol. 615: 223-227.

Luna-Guevara, J., J. López-Fuentes y O. Jiménez-Gónzalez. 2016. Microencapsulación de algunos compuestos bioactivos mediante secado por aspersión Microencapsulation of some bioactive compounds through spray drying. Rev. Iberoam. las Ciencias Biológicas y Agropecu. 5:

Macedo-Ramírez, R.C. y J.F. Vélez-Ruíz. 2015. Propiedades fisicoquímicas y de flujo de un yogur asentado enriquecido con microcápsulas que contienen ácidos grasos omega 3. Inf. Tecnol. 26: 87-96.

Madene, A., M. Jacquot, J. Scher y S. Desobry. 2006. Flavour encapsulation and controlled release - A review. Int. J. Food Sci. Technol. 41: 1-21.

Maldonado-saavedra, O., E. Jiménez-vazquez, M. Guapillo-vargas, G. Ceballos-reyes y Méndez-bolaina. 2010. Radicales libres y su papel en las enfermedades crónico-degenerativas. Rev. Medica Univ. Veracruzana 272: 32-39.

Manach, C., A. Scalbert, C. Morand, C. Rémésy y L. Jime. 2004. Polyphenols: food sources and bioavailability 1,2.

Manchali, S., K. Chidambara, S. Nagaraju y B. Neelwarne. 2013. Red Beet Biotechnology Food and Pharmaceutical Applications. Stability of Betalain Pigments of Red Beet. Springer Sci. New York,: 55:74.

Manjunatha, S.S. y P.S. Raju. 2015. Rheological characteristics of reconstituted spray dried beetroot (*Beta vulgaris L*.) juice powder at different solid content, temperatures and carrier materials. Int. Food Res. J. 22: 2333-2345.

Martínez-Florez, S., J. González-Gallego, J.M. Culebras y M.J. Tuñón. 2002. Los flavonoides : propiedades y acciones antioxidantes. : 271-278.

Martínez, L., I. Cilla, J.A. Beltrán y P. Roncalés. 2006. Comparative effect of red yeast rice (*Monascus purpureus*), red beet root (*Beta vulgaris*) and betanin (E-162) on colour and consumer acceptability of fresh pork sausages packaged in a modified atmosphere. J. Sci. Food Agric. 86: 500-508.

Martins, N., C. Roriz, P. Morales, L. Barrosa y I. Ferreira. 2017. Coloring attributes of betalains: a key emphasis on stability and future applications. Food Funct. 8: 1357-1372.

Mereddy, R., A. Chan, K. Fanning, N. Nirmal y Y. Sultanbawa. 2017. Betalain rich functional extract with reduced salts and nitrate content from red beetroot (Beta vulgaris L.) using membrane separation technology. Food Chem. 215: 311-317.

Mesa-Vanegas, A.M., C.A. Gaviria, F. Cardona, J.A. Sáez-Vega, S.B. Trujillo y B.A. Rojano. 2010. Antioxidant activity and total phenols content from some species of Calophyllum genus. Rev. Cuba. Plantas Med. 15: 13-26.

Mikołajczyk-Bator, K. y S. Pawlak. 2016. The effect of thermal treatment on antioxidant capacity and pigment contents in separated betalain fractions. Acta Sci. Pol. Technol. Aliment. 15: 257-265.

Moreno-Jimenez, M.R., F. Trujillo-Esquivel, M.A. Gallegos-Corona, R. Reynoso-Camacho, R.F. González-Laredo, J.A. Gallegos-Infante, N.E. Rocha-Guzmán y M. Ramos-Gomez. 2015. Antioxidant , anti-inflammatory and anticarcinogenic activities of edible red oak (*Quercus* spp) infusions in rat colon carcinogenesis induced by 1 , 2-dimethylhydrazine. 80: 144-153.

Moßhammer, M.R., F.C. Stintzing y R. Carle. 2006. Cactus Pear Fruits (*Opuntia* spp.): A Review of Processing Technologies and Current Uses. J. Prof. Assoc. Cactus Dev. : 1-25.

Netzel, M., F.C. Stintzing, D. Quaas, G. Straß, R. Carle, R. Bitsch, I. Bitsch y T. Frank. 2005. Renal excretion of antioxidative constituents from red beet in humans. Food Res. Int. 38: 1051-1058.

Nicoli, M., M. Anese y M. Parpinel. 1999. Influence of processing on the antioxidant properties of fruit and vegetables. Trends Food Sci. Technol. 10: 94-100.

Ninfali, P. y D. Angelino. 2013. Nutritional and functional potential of *Beta vulgaris* cicla and rubra. Fitoterapia 89: 188-199.

Norma Oficial Mexicana. 2010. NOM-181-SCFI-2010, Yogurt-Denominación, especificaciones fisicoquímicas y microbiológicas, información comercial y métodos de prueba. : 1-6.

Oberoi, D.P.S. y D.S. Sogi. 2015. Effect of drying methods and maltodextrin concentration on pigment content of watermelon juice powder. J. Food Eng. 165: 172-178.

Obón, J.M., M.R. Castellar, M. Alacid y J.A. Fernández-lópez. 2009. Production of a red-purple food colorant from *Opuntia stricta* fruits by spray drying and its application in food model systems. J. Food Eng. 90: 471-479.

Omae, J.M., P.A. Goto, L.M. Rodrigues, S. Santos, C.M. Paraiso, G.S. Madrona y D.C. Bergamasco. 2017. Beetroot Extract Encapsulated in Inulin : Storage Stability and Incorporation in Sorbet. Chem. Eng. Trans. 57: 1843-1848.

Oude Griep, L.M., W.M.M. Verschuren, D. Kromhout, M.C. Ocké y J.M. Geleijnse. 2011. Raw and processed fruit and vegetable consumption and 10-year

stroke incidence in a population-based cohort study in the Netherlands. Eur. J. Clin. Nutr. 65: 791-799.

Özturk, B. y M. Óner. 1999. Production and evaluation of yogurt with concentrated grape juice. J. Food Sci. 64: 530-532.

Palacios, I., M. Lozano, C. Moro, M.D. Arrigo, M.A. Rostagno, J.A. Martínez, A. García-Lafuente, E. Guillamón y A. Villares. 2011. Antioxidant properties of phenolic compounds occurring in edible mushrooms. Food Chem. 128: 674-678.

Parra-Huertas, R. 2011. Revisión : Microencapsulación de Alimentos. Rev. Fac. Nac. Agric. Medellín 63: 5669-5684.

Parra-Huertas, R. 2012. Evaluacion fisicoquimica, proximal y sensorial de una bebida lactea fermentada con concentrado de rubas (*Ullucus tuberosus*). Vitae 19: 225-227.

Parra-Huertas, R. 2014. Chocolate En Refrigeración Physicochemical , Sensory , Proximal and Microbiological Characteristics of Yoghurt With. Temas Agrar. 19: 146-158.

Parra-Huertas, R., L. Barrera-Rojas y D. Rojas-Parada. 2015. Evaluación de la adición de avena , mango y estevia en un yogur elaborado a partir de una mezcla de leche semidescremada de cabra y de vaca. Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu. 16: 167-179.

Parra-Huertas, R.A. 2013. Yogur en la salud humana. Rev. Lasallista Investig. 9: 162-177.

Parvez, S., K.A. Malik, S. Ah Kang y H.Y. Kim. 2006. Probiotics and their fermented food products are beneficial for health. J. Appl. Microbiol. 100: 1171-1185.

Pasch, J. y J. Von Elbe. 1979. Betanine stability in buffered solutions containing organic acids, metal cations, antioxidans, or sequestrants. J. Food Sci. 44: 72-74.

Pedroza-Islas, R. 2002. Alimentos Microencapsulados : Particularidades de los Procesos para la Microencapsulación de Alimentos para Larvas de Especies Acuícolas. Av. en Nutr. Acuícola VI. Memorias del VI Simp. Int. Nutr. Acuícola : 438-447.

Pedroza-Islas, R., E.J. Vernon-Carter, C. Durán-Domínguez y S. Trejo-Martínez. 1999. Using biopolymer blends for shrimp feedstuff microencapsulation - I. Microcapsule particle size, morphology and microstructure. Food Res. Int. 32: 367-374.

Peñarrieta, J., L. Tejeda, P. Mollinedo, J. Vila y J. Bravo. 2014. Compuestos fenólicos y su presencia en alimentos. Boliv. J. Chem. 31: 68-81.

Penfield, M. y A. Campbell. 1990. Experimental Food Science. Fruits and

Vegetables. Acad. Press : San Diego, California. 294:330.

Perez-Vizcaino, F., J. Duarte, R. Jimenez, C. Santos-Buelga y A. Osuna. 2009. Antihypertensive effects of the flavonoid quercetin. : 67-75.

Pitalua, E., M. Jimenez, E.J. Vernon-Carter y C.I. Beristain. 2010. Antioxidative activity of microcapsules with beetroot juice using gum Arabic as wall material. Food Bioprod. Process. 88: 253-258.

Pulido, A. y C.I. Beristain. 2010. Encapsulación de ácido ascórbico mediante secado por aspersión, utilizando quitosano como material de pared. Rev. Mex. Ing. Química 2: 189-195.

Quiñones, M., M. Miguel y A. Aleixandre. 2012. Los polifenoles , compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. Nutr. Hosp. 27: 76-89.

Ramírez, J.C., P. Ulloa, M. Velázquez, J. Ulloa y F. Arce. 2011. Bacterias lácticas: Importancia en alimentos y sus efectos en la salud. Rev. Fuente 7

Ravichandran, K., R. Palaniraj, N. Min, M. Thaw, A.M.M. Gabr, A.R. Ahmed, D. Knorr y I. Smetanska. 2014. Effects of different encapsulation agents and drying process on stability of betalains extract. J. Food Sci. Technol. 51: 2216-2221.

Reshmi, S.K., K.M. Aravindhan y P.S. Devi. 2012. The effect of light, temperature, ph on Stability of Betacyanin Pigments in Basella alba fruit. Asian J. Pharm. Clin. Res. 5: 5-8.

Reyes-Aguilar, S.L. 2014. Efecto de procesamiento sobre la estabilidad de polifenoles en extracto de mango (*Mangifera indica L*.).

Robert, P., T. Gorena, N. Romero, E. Sepulveda, J. Chavez y C. Saenz. 2010. Encapsulation of polyphenols and anthocyanins from pomegranate (*Punica granatum*) by spray drying. Int. J. Food Sci. Technol. 45: 1386-1394.

Rodriguez-Amaya, D.B. 2016. Natural food pigments and colorants. Curr. Opin. Food Sci. 7: 20-26.

Rodriguez-Amaya, D.B. 2018. Update on natural food pigments - A mini-review on carotenoids , anthocyanins , and betalains. Food Res. Int. 0-1.

Rodriguez-Barona, S., D. Paz-Saavedra y G. Giraldo-Gómez. 2016. Alimentos Funcionales: Las Frutas Como Vehículos de Bioactivos.

Rodriguez, E., A. Lascano y G. Sandoval. 2012. Influencia De La Sustitucion Parcial De La Harina De Trigo Por Harina De Quinua Y Papa En Las Propiedades Termomecanicas Y De Panificacion De Masas. Artic. Cient. 15: 199-207.

Ruiz-Gutiérrez, M.G., C.A. Amaya-Guerra, A. Quintero-Ramos y E. Pérez-Carrillo. 2016. Propiedades fisicoquimicas de cereal pigmentado con polvo de tuna roja. Investig. y Desarro. en Cienc. y Tecnol. Aliment. 1: 710-716.

Ruiz-Gutiérrez, M.G., C.A. Amaya-Guerra, A. Quintero-Ramos, T.D.J. Ruiz-Anchondo, J.A. Gutiérrez-Uribe, J.G. Baez-González, D. Lardizabal-Gutiérrez y K. Campos-Venegas. 2014. Effect of Soluble Fiber on the Physicochemical Properties of Cactus Pear (*Opuntia ficus indica*) Encapsulated Using Spray Drying. 23: 755-763.

Saénz, C., S. Tapia, J. Chávez y P. Robert. 2009. Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). Food Chem. 114: 616-622.

Salas, M.G., A.Z. Cruz, S. Yesenia, S. Belmares, B. Valdivia, R.R. Herrera, C. Noé, A. González y J.M. Chávez. 2013. Actividad Anticancerígena del Ácido Gálico en Modelos Biológicos in vitro. : 5-11.

Sanchez, N., J. Sepulveda y B. Rojano. 2013. Desarrollo de una bebida lactea con extractos de curuba (*Passiflora mollissima Bailey*) como antioxidante natural. Biotecnol. en el Sect. Agropecu. y Agroindustrial 11: 164-173.

Sandoval-Peraza, V.M., T. Cu-Cañetas, G. Peraza-Mercado y P.O.M. Acereto-Escoffi. 2016. Introducción en los procesos de encapsulación de moléculas nutracéuticas. Aliment. Funcionales Hoy Barcelona,: 181-218.

Schroeter, H., C. Heiss, J. Balzer, P. Kleinbongard, C.L. Keen, N.K. Hollenberg, H. Sies, C. Kwik-uribe, H.H. Schmitz y M. Kelm. 2006. Epicatechin mediates beneficial effects of flavanol-rich cocoa on vascular function in humans. PNAS 103: 1024-1029.

Schwartz, S.J. y J.H. Von Elbe. 1983. Identification of betanin degradation products. Z. Lebensm. Unters. Forsch. 176: 448-453.

Serris, G.S. y C.G. Biliaderis. 2001. Degradation kinetics of beetroot pigment encapsulated in polymeric matrices. J. Sci. Food Agric. 81: 691-700.

Shaaruddin, S., H.M. Ghazali, S.H. Mirhosseini y K. Muhammad. 2017. LWT - Food Science and Technology Stability of betanin in pitaya powder and confection as affected by resistant maltodextrin. LWT - Food Sci. Technol. 84: 129-134.

Shin, K., H. Murthy, J. Heo y K. Paek. 2003. Induction of betalain pigmentation in hairy roots of red beet under different radiation sources. Biol. Plantarium 47: 149-152.

Shishir, M. y W. Chen. 2017. Trends of spray drying : A critical review on drying of fruit and vegetable juices. Trends Food Sci. Technol. 65: 49-67.

SIAP-SAGARPA. 2017. Boletín de la leche en México.

SIAP-SAGARPA. 2019. Boletín de la leche en México.

Silveira Rodríguez, M.B., S. Monereo Megías y B. Molina Baena. 2003. Alimentos funcionales y nutrición óptima. ¿Cerca o lejos? Rev. Esp. Salud Publica 77: 317-331.

Singleton, V. y J. Rossi. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. Am. J. Enol. Vitic 16: 144-158.

Slimen, I.B., T. Najar y M. Abderrabba. 2017. Chemical and antioxidant properties of betalains. J. Agric. Food Chem. 65: 675-689.

Soriano-Santos, J., M. Franco-Zavaleta, C. Pelayo-Zaldivar, M. Armella-Villalpando, M. Yañez-López y I. Guerrero-Legarreta. 2007. Caracterizacion parcial del pigmento rojo del fruto de la «Jiotilla» (*Escontria chiotilla* [Weber] Britton & Rose). Rev. Mex. Ing. Química 6: 19-25.

Stintzing, F.C. y R. Carle. 2004. Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition. Trends Food Sci. Technol. 15: 19-38.

Stintzing, F.C. y R. Carle. 2007. Betalains - emerging prospects for food scientists. Trends Food Sci. Technol. 18: 514-525.

Stintzing, F.C., K.M. Herbach, M.R. Mosshammer, R. Carle, W. Yi, S. Sellappan, C.C. Akoh, R. Bunch y P. Felker. 2005. Color, betalain pattern, and antioxidant properties of cactus pear (*Opuntia* spp.) clones. J. Agric. Food Chem. 53: 442-451.

Stintzing, F.C., A. Schieber y R. Carle. 2002. Identification of betalains from yellow beet (*Beta vulgaris* L.) and cactus pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.] by high-performance liquid chromatography-electrospray ionization mass spectrometry. J. Agric. Food Chem. 50: 2302-2307.

Stintzing, F.C., A. Schieber y R. Carle. 2003. Evaluation of colour properties and chemical quality parameters of cactus juices. Eur. Food Res. Technol. 216: 303-311.

Stintzing, F.C., J. Trichterborn y R. Carle. 2006. Characterisation of anthocyanin-betalain mixtures for food colouring by chromatic and HPLC-DAD-MS analyses. Food Chem. 94: 296-309.

Szaefer, H., V. Krajka-Kuźniak, E. Ignatowicz, T. Adamska y W. Baer-Dubowska. 2014. Evaluation of the effect of beetroot juice on DMBA-induced damage in liver and mammary gland of female sprague-dawley rats. Phyther. Res. 28: 55-61.

Tamime, A.Y. y R.K. Robinson. 1999. Yogurt: Science and Technology. CRC Press

Tan, D., Y. Wang, B. Bai, X. Yang y J. Han. 2015. Betanin attenuates oxidative stress and inflammatory reaction in kidney of paraquat-treated rat. Food Chem. Toxicol. 78: 141-146.

Taranto, M., M. Médici y G. Font de Valdez. 2005. Alimentos funcionales probióticos Dras . María Pía Taranto , Marta Médici y Graciela Font de Valdez * Probiotic functional foods. Aliment. Pharmacol. Ther. 4: 26-34.

Tesoriere, L., D. Butera, A.M. Pintaudi, M. Allegra y M. a Livrea. 2004a. Supplementation with cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) fruit decreases oxidative stress in healthy humans: a comparative study with vitamin C. Am. J. Clin. Nutr. 80: 391-5.

Tesoriere, L., L. Tesoriere, M. Allegra, D. Butera y M.A. Livrea. 2004b. Absorption , excretion , and distribution of dietary antioxidant betalains in LDLs : Potential health effects of betalains in humans betalains in LDLs : potential health effects of betalains in humans 1 – 3. Am. J. Clin. Nutr. 80: 941-945.

Thaipong, K., U. Boonprakob, K. Crosby, L. Cisneros-Zevallos y D. Hawkins Byrne. 2006. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. J. Food Compos. Anal. 19: 669-675.

Tomás-Barberán, F. 2003. Los polifenoles de los alimentos y la salud. 10: 41-53.

Torres-Llanez, M.J., B. Vallejo-Cordoba, M.E. Díaz-Cinco, M.A. Mazorra-Manzano y A.F. González-Córdova. 2011. Characterization of the natural microflora of artisanal Mexican Fresco cheese. Food Control 17: 683-690.

Valencia-Avilés, E., I. Ignacio-Figueroa, E. Sosa-Martínez y M.C. Bartolomé-Camacho. 2017. Polifenoles : propiedades antioxidantes y toxicológicas Polyphenols : antioxidant and toxicological properties. : 15-29.

Valko, M., C.J. Rhodes, J. Moncol, M. Izakovic y M. Mazur. 2006. Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. Chem. Biol. Interact. 160: 1-40.

Venereo-Gutiérrez, J. 2002. Daño oxidativo, radicales libres y antioxidantes. Rev. Cuba. Med. Mil. 31: 126-133.

Vergara, C. 2013. Extracción y Estabilización de Betalaínas de tuna púrpura (*Opuntia ficus-indica*) mediante tecnología de membranas y microencapsulación, como colorante alimentario.

Virgili, F., C. Scaccini, P. Hoppe, K. Kramer y L. Packer. 2001. Plant Phenols and Cardiovascular Disease: Antioxidants and Modulators of Cell Response.

Von Elbe, J. y E. Attoe. 1985. Oxygen involvement in betanine degradation – Measurement of active oxygen species and oxidationreduction potentials. Food Chem. 16: 49-67.

Von Elbe, J., I. Maing y C. Amundson. 1974. Colour stability of betanin. J. Food Sci. 39: 334-337.

Von Elbe, J. y S. Schwartz. 1996. Food Chemistry. Colorants. Marcel Dekker : New York, E.U.A. 651:722.

Von Elbe, J.H. 1977. The betalaines. Furia, E. T., Ed., Curr. Asp. Food Color. CRC Press Inc. 29-39.

Von Elbe, J.H., S.H. SY, I.Y. Maing y W.H. Gabelman. 1972. Quantitative analysis

of fetacyanins in red table beets (*Beta vulgaris*). J. Food Sci. 37(6): 932-934.

Von Elbe, J.H., I. Young Maing y C.H. Amundson. 1974. Color Stability os betanin. J. Food Sci. 39: 334-337.

Vulić, J.J., T.N. Ćebović, J.M. Ćanadanović-Brunet, G.S. Ćetković, V.M. Čanadanović, S.M. Djilas y V.T. Tumbas Šaponjac. 2014. In vivo and in vitro antioxidant effects of beetroot pomace extracts. J. Funct. Foods 6: 168-175.

Wang, H.Y., H. Qian y W.R. Yao. 2011. Melanoidins produced by the Maillard reaction: Structure and biological activity. Food Chem. 128: 573-584.

Winkler, C., B. Wirleitner, K. Schroecksnadel, H. Schennach y D. Fuchs. 2005. In vitro Effects of Beet Root Juice on Stimulated and Unstimulated Peripheral Blood Mononuclear Cells. Am. J. Biochem. Biotechnol. 1: 180-185.

Wohlgemuth, S., G. Loh y M. Blaut. 2010. Recent developments and perspectives in the investigation of probiotic effects. Int. J. Med. Microbiol. 300: 3-10.

Wong, Y.M. y L.F. Siow. 2015. Effects of heat, pH, antioxidant, agitation and light on betacyanin stability using red-fleshed dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) juice and concentrate as models. J. Food Sci. Technol. 52: 3086-3092.

Wootton-Beard, P.C. y L. Ryan. 2011. A beetroot juice shot is a significant and convenient source of bioaccessible antioxidants. J. Funct. Foods 3: 329-334.

Wybraniec, S. 2005. Formation of decarboxylated betacyanins in heated purified betacyanin fractions from red beet root (*Beta vulgaris* L.) monitored by LC-MS/MS. J. Agric. Food Chem. 53: 3483-3487.

Xu, B.J. y S.K.C. Chang. 2007. A comparative study on phenolic profiles and antioxidant activities of legumes as affected by extraction solvents. J. Food Sci. 72.

Xue, F., C. Li, Y. Liu, X. Zhu, S. Pan y L. Wang. 2013. Encapsulation of tomato oleoresin with zein prepared from corn gluten meal. J. Food Eng. 119: 439-445.

Yoshikawa, M., T. Murakami, M. Kadoya, H. Matsuda, O. Muraoka, J. Yamahara y N. Murakami. 1996. Medicinal foodstuff. III. Sugar beet.(1): Hypoglycemic oleanolic acid oligoglycosides, betavulgarosides I, II, III, and IV, from the root of Beta vulgaris L. (Chenopodiaceae). Chem. Pharm. Bull. 44: 1212.

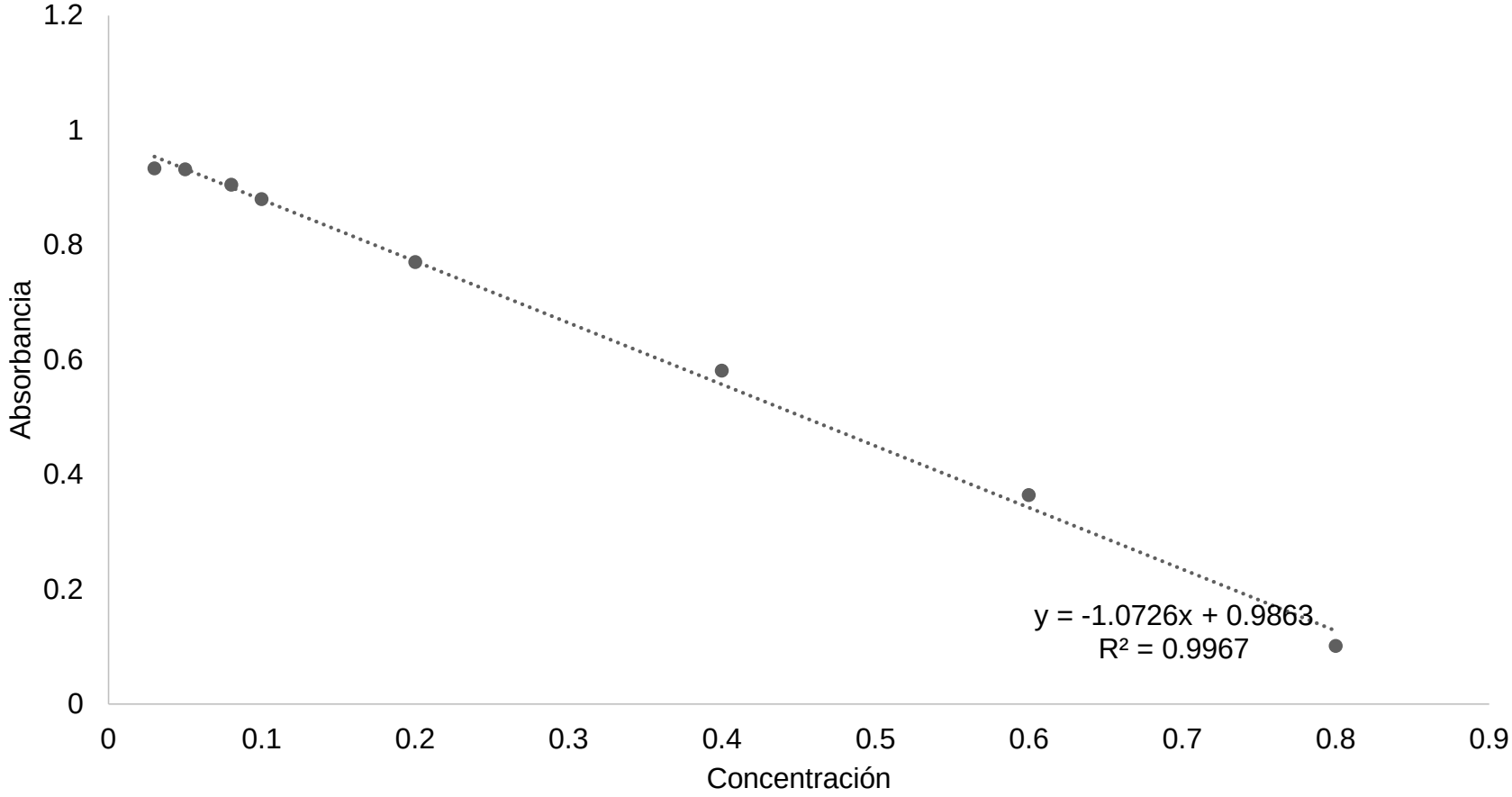
Zhang, B., J. Cai, C. Duan, M.J. Reeves y F. He. 2015. A Review of Polyphenolics in Oak Woods. : 6978-7014.

APÉNDICE A

Cuadro 11. Concentraciones utilizadas para la curva de calibración de actividad antioxidante ($ABTS^{\cdot}$ y $DPPH^{\cdot}$).

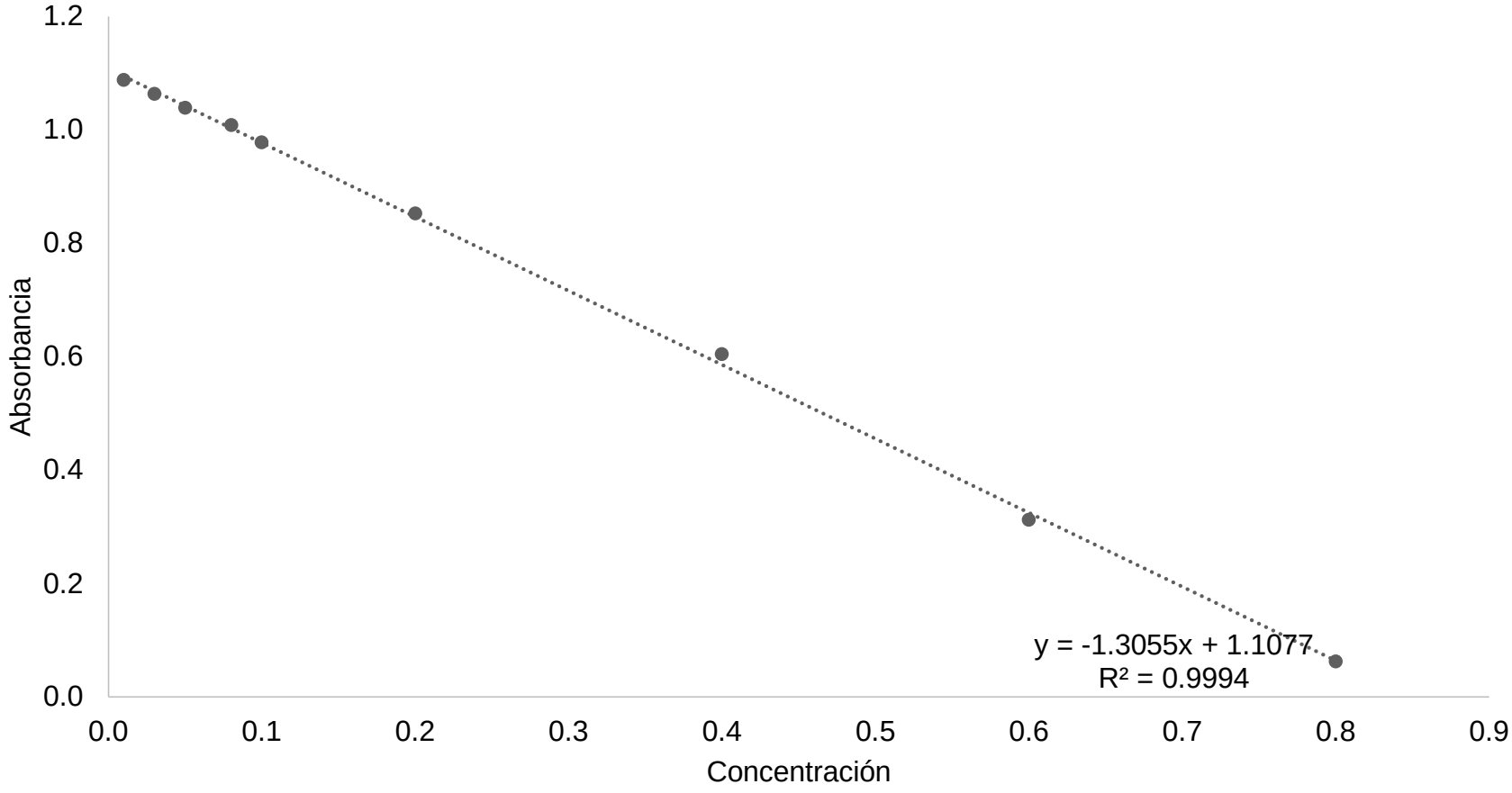
Concentración mM	Trolox (mL)	Metanol (mL)
1.20	2.880	0.120
1.00	2.400	0.600
0.80	1.920	1.080
0.60	1.440	1.560
0.40	0.960	1.040
0.20	0.480	2.520
0.10	0.240	2.760
0.08	0.192	2.808
0.05	0.120	2.880
0.03	0.072	2.928
0.01	0.024	2.976

APÉNDICE B



Gráfica 13. Curva de calibración y ecuación de regresión para la determinación de la concentración de mE Trolox por el método de ABTS$^{\bullet}$.

APÉNDICE C



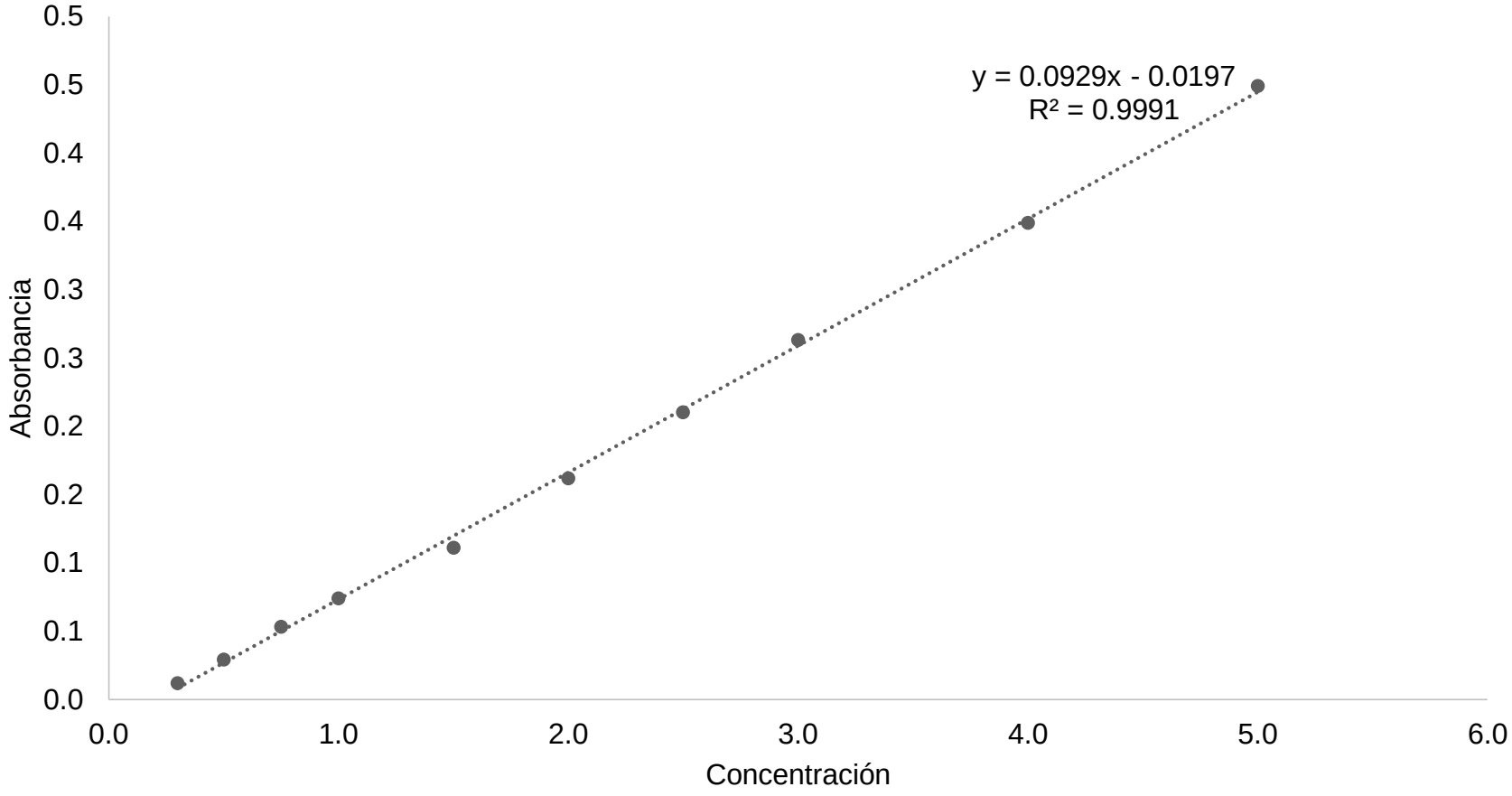
Gráfica 14. Curva de calibración y ecuación de regresión para la determinación de la concentración de mE Trolox por el método de DPPH˙.

APÉNDICE D

Cuadro 12. Concentraciones utilizadas para la curva de calibración de polifenoles totales (Ácido Gálico) por el método de Folin-Ciocalteu.

Concentración ppm	Ácido Gálico (mL)	Agua Destilada (mL)
400	2.00	8.00
300	1.50	8.50
200	1.00	9.00
150	0.75	9.25
100	0.50	9.50
80	0.40	9.60
60	0.30	9.70
40	0.20	9.80
20	0.10	9.90

APÉNDICE E



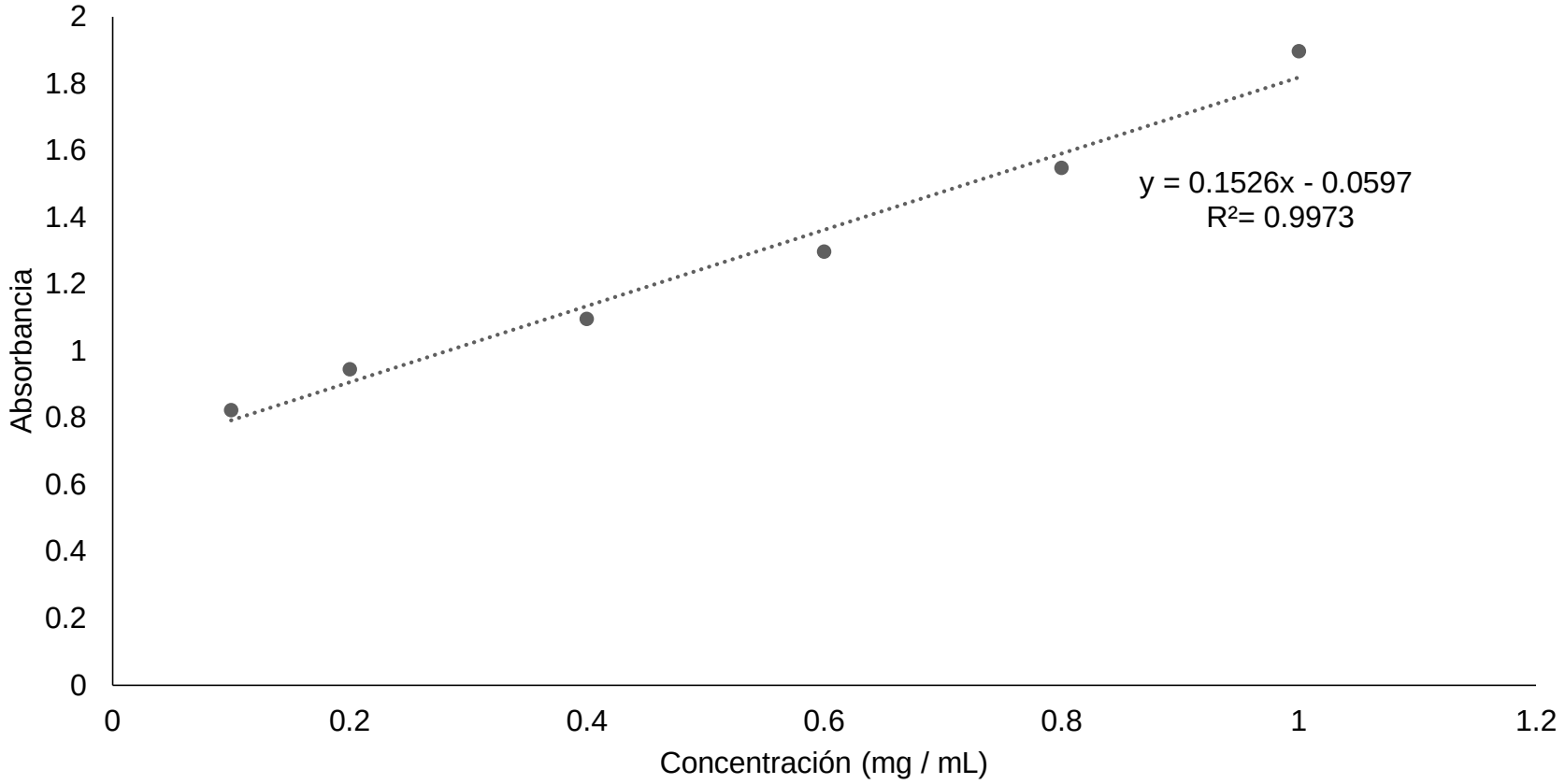
Gráfica 15. Curva de calibración y ecuación de regresión para la determinación de la concentración de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu

APÉNDICE F

Cuadro 13. Concentraciones utilizadas para la curva de calibración de la concentración peptídica (BSA) por el método de Bradford.

Concentración mM	BSA (mg / mL)	Solución Salina 15 M (mL)
1.00	2.400	0.600
0.80	1.920	1.080
0.60	1.440	1.560
0.40	0.960	1.040
0.20	0.480	2.520
0.10	0.240	2.760

APÉNDICE G



Gráfica 16. Curva de calibración y ecuación de regresión para la determinación de la concentración de la concentración total de proteína (BSA) por el método de Bradford.

APÉNDICE H

Cuadro 14. Valores de los parámetros analizados en los tratamientos de yogurt adicionado con extracto líquido y liofilizado de betabel (*Beta vulgaris* sp.) (media + desviación estándar).

Parámetro	Día	T1	T2	T3	T4
ABTS$^{\cdot}$	1	0.606 ± 0.019 ^{Ca}	0.812 ± 0.002 ^{Ab}	0.667 ± 0.007 ^{Ba}	0.604 ± 0.002 ^{Dc}
	7	0.544 ± 0.007 ^{Db}	0.801 ± 0.012 ^{Ac}	0.622 ± 0.010 ^{Cc}	0.644 ± 0.001 ^{Ba}
	14	0.526 ± 0.010 ^{Dc}	0.819 ± 0.004 ^{Aa}	0.650 ± 0.003 ^{Bb}	0.613 ± 0.009 ^{Cb}
DPPH$^{\cdot}$	1	0.114 ± 0.007 ^{Da}	0.335 ± 0.014 ^{Aab}	0.197 ± 0.013 ^{Ba}	0.124 ± 0.012 ^{Cb}
	7	0.102 ± 0.007 ^{Dab}	0.322 ± 0.024 ^{Ab}	0.170 ± 0.020 ^{Bb}	0.145 ± 0.010 ^{Ca}
	14	0.094 ± 0.012 ^{Db}	0.343 ± 0.013 ^{Aa}	0.185 ± 0.022 ^{Bab}	0.136 ± 0.012 ^{Cab}
PT	1	8.340 ± 0.319 ^{Ba}	9.237 ± 0.158 ^{Ac}	8.288 ± 0.125 ^{Ca}	7.352 ± 0.304 ^{Dc}
	7	7.413 ± 0.310 ^{Cc}	9.262 ± 0.363 ^{Ab}	7.133 ± 0.068 ^{Dc}	7.730 ± 0.334 ^{Ba}
	14	7.885 ± 0.300 ^{Bb}	9.795 ± 0.436 ^{Aa}	7.649 ± 0.149 ^{Cb}	7.563 ± 0.261 ^{Db}
BT	1	--	209.490 ± 14.911 ^{Ab}	18.652 ± 1.012 ^{Ba}	12.962 ± 0.551 ^{Bc}
	7	--	191.651 ± 9.870 ^{Ac}	10.240 ± 0.880 ^{Bc}	18.024 ± 0.608 ^{Ba}
	14	--	243.202 ± 21.522 ^{Aa}	15.064 ± 0.530 ^{Bb}	15.264 ± 0.825 ^{Bb}
BC	1	--	149.817 ± 12.401 ^{Ab}	11.809 ± 0.711 ^{Ba}	7.854 ± 0.273 ^{Bc}
	7	--	137.401 ± 9.395 ^{Ac}	6.222 ± 0.717 ^{Bc}	11.169 ± 0.448 ^{Ba}
	14	--	177.229 ± 18.343 ^{Aa}	9.396 ± 0.484 ^{Bb}	9.254 ± 0.739 ^{Bb}

Parámetro	Día	T1		T2		T3		T4	
BX	1		--	59.673	± 5.538 ^{Ab}	6.843	± 0.363 ^{Ba}	5.108	± 0.471 ^{Bc}
	7		--	54.249	± 1.689 ^{Ac}	4.018	± 0.374 ^{Bc}	6.855	± 0.231 ^{Ba}
	14		--	65.973	± 5.543 ^{Aa}	5.667	± 0.106 ^{Bb}	6.009	± 0.215 ^{Bb}
CTP	1	11.479	± 0.209 ^{Cc}	12.438	± 0.036 ^{Ab}	11.480	± 0.084 ^{BCb}	11.526	± 0.082 ^{Bb}
	7	11.650	± 0.315 ^{Ba}	12.568	± 0.075 ^{Aa}	11.385	± 0.152 ^{Cc}	11.579	± 0.104 ^{BCa}
	14	11.518	± 0.110 ^{Bb}	12.223	± 0.151 ^{Ac}	11.518	± 0.120 ^{Ba}	11.440	± 0.064 ^{Cc}
pH	1	4.154	± 0.027 ^{Ba}	4.240	± 0.012 ^{Aa}	4.130	± 0.022 ^{Ca}	4.132	± 0.017 ^{BCa}
	7	4.003	± 0.047 ^{Cb}	4.072	± 0.004 ^{Ab}	4.061	± 0.014 ^{Bb}	4.041	± 0.024 ^{BCb}
	14	3.940	± 0.050 ^{Cc}	3.964	± 0.011 ^{Ac}	3.946	± 0.011 ^{Bc}	3.947	± 0.014 ^{BCc}
SIN	1	21.488	± 0.747 ^{Bc}	32.000	± 0.975 ^{Ac}	18.617	± 0.728 ^{Cc}	18.010	± 0.701 ^{Dc}
	7	24.475	± 0.690 ^{Bb}	32.534	± 1.107 ^{Ab}	20.970	± 1.463 ^{Cb}	20.675	± 0.825 ^{Db}
	14	25.642	± 1.758 ^{Ba}	35.321	± 3.321 ^{Aa}	22.992	± 1.384 ^{Ca}	22.078	± 0.475 ^{Da}

T1= Yogurt (Y) natural, T2= Y adicionado con jugo de betabel, T3= Y adicionado con extracto encapsulado con Maltodextrina, T4= Y adicionado con extracto encapsulado con Inulina, PT= Polifenoles totales, BT= Betalaínas totales, BC= Betacianinas, BX= Betaxantinas, CTP= Concentración total de proteína.

^{ABCD} Valores en columnas con superíndice diferente indican diferencia estadística significativa entre tratamientos (P<0.05).

^{abc} Valores en renglones con superíndice diferente indican diferencia estadística significativa a través del tiempo (P<0.05).