



*Instituto Tecnológico Superior de Acatlán de Osorio*

**SEP      TecNM**

**DIVISIÓN DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS  
ALIMENTARIAS**

**OPCIÓN**

*“Tesis”*

**Proyecto**

**“Evaluación de compuestos antioxidantes y actividad antidiabética  
en una bebida funcional en polvo de pitaya amarilla (*Stenocereus  
griseus*) y tamarindo (*Tamarindus indica* L.)”**

**Que para obtener el título de:**

*Ingeniero en Industrias Alimentarias*

**Presenta**

*Sindia Liliana Vazquez Vazquez*

**160712036**

**Acatlán de Osorio, Pue., Diciembre de 2021**



Instituto Tecnológico Superior de Acatlán de Osorio  
Organismo Público Descentralizado del Gobierno del Estado de Puebla

**ASUNTO:** Aprobación de Trabajo de Titulación.

Acatlán de Osorio, Pue., a 23 de noviembre de 2021.

**I.I.A. ELEODORO GABILÁN LINARES  
JEFE DE DIVISIÓN DE LA CARRERA DE  
INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS  
P R E S E N T E.**

Por este medio hago de su conocimiento que el documento bajo el esquema: **OPCIÓN: TESIS PROFESIONAL**, que lleva por nombre **“Evaluación de compuestos antioxidantes y actividad antidiabética en una bebida funcional en polvo de pitaya amarilla (*Stenocereus griseus*) y tamarindo (*Tamarindus indica L.*)”**, que presenta la candidata a Titulación: **C. SINDIA LILIANA VAZQUEZ VAZQUEZ** con número de control **160712036** de la carrera de Ingeniería en Industrias Alimentarias, fue revisada y aprobada para su impresión por la comisión revisora conformada por: **M.C. VÍCTOR INOCENCIO PACHECO CONTRERAS, DR. RAÚL SALAS CORONADO e I.A. GABRIELA FORTUNATA LARA RUIZ.**

Sin más por el momento, quedo de usted.

**A T E N T A M E N T E**

**“CONOCIMIENTO COMO GUÍA DEL DESARROLLO”**

**ING. GABRIELA FORTUNATA LARA RUIZ  
PRESIDENTE DE ACADEMIA DE LA CARRERA  
DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Vo.Bo.

M.C. VÍCTOR INOCENCIO PACHECO  
CONTRERAS

Vo. Bo.

DR. RAÚL SALAS CORONADO

Vo. Bo.

I.A. GABRIELA FORTUNATA LARA  
RUIZ

c. c. p.-Archivo.



CACEI



## **AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS**

Todo lo que encierra este trabajo se lo dedico a mi madre por ser la persona que me ha acompañado durante todo mi proyecto estudiantil y de vida. Por siempre estar presente en cada uno de mis logros y por inducirme a cumplir mis sueños sin importar los obstáculos que se presenten en la vida.

Agradezco profundamente al Dr. Raúl Salas Coronado por su apoyo que me brindó en el desarrollo de mi tesis, por sus observaciones puntuales, pero sobre todo por la enseñanza de sus valiosos conocimientos que me hicieron crecer día a día profesionalmente. Así como también agradezco a las doctoras, Norma Francenia Santos Sánchez y Beatriz Hernández Carlos, que me permitieron realizar parte de las actividades experimentales relacionadas con el proyecto de tesis en el Laboratorio de Principios Bioactivos. Así como a Angélica López Luis por el apoyo en el suministro de los materiales, disolventes y reactivos.

Finalmente, agradezco al M.C. Víctor Inocencio Pacheco Contreras, por abrirme las puertas para realizar dicha investigación y a cada uno de mis profesores que contribuyeron en mi desarrollo profesional.

## ÍNDICE

RESUMEN .....	X
ABSTRACT .....	XI
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS .....	3
2.1 Objetivo general .....	3
2.2 Objetivos específicos .....	3
2.3 Hipótesis .....	3
3. REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
3.1 Generalidades de <i>Stenocereus griseus</i> .....	4
3.2 Composición química de la pitaya .....	6
3.3 Comercialización regional de la pitaya .....	8
3.4 Usos de la pitaya .....	9
3.4.1 Como producto alimenticio. ....	9
3.4.2 Como colorante .....	10
3.5 Generalidades del tamarindo .....	11
3.5.1 Origen y distribución .....	11
3.5.2 Clasificación taxonómica .....	12
3.5.3 Descripción morfológica. ....	12
3.5.4 Requerimientos agroecológicos .....	14
3.5.5 Producción de tamarindos. ....	15
3.5.6 Análisis bromatológico de tamarindo y pulpa. ....	15
3.5.7 Composición nutrimental de la pulpa de tamarindo. ....	17
3.5.8 Procesamiento del tamarindo .....	18
3.5.9 Propiedades atribuidas .....	19
3.5.10 Usos del tamarindo. ....	19
4. MATERIALES Y MÉTODOS .....	22
4.1 Materia vegetal .....	22
4.2 Selección y almacenamiento .....	22
4.3 Contenido de humedad de las materias primas .....	23
4.4 Deshidratación de la materia prima .....	24
4.5 Obtención de polvos .....	25
4.6 Determinación de fenoles totales .....	26
4.7 Cuantificación de la actividad antirradicalar .....	27

4.8	Formulado a partir de los polvos .....	34
4.9	Inhibición de los extractos de la muestra mezclada y muestra comercial TANG <sup>TM</sup> en presencia de $\alpha$ -amilasa .....	34
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	37
5.1	Estimación de rendimiento de los frutos tamarindo y pitaya .....	37
5.2	Determinación de humedad de la pulpa de tamarindo, cáscara y semilla de pitaya .....	39
5.3	Contenido de fenoles totales en polvos de tamarindo .....	40
5.4	Contenido de fenoles totales en polvos de cáscara y semilla de pitaya.....	41
5.5	Actividad antirradicalar frente al radical DPPH en el formulado y polvos de pitaya amarilla y tamarindo .....	43
5.6	Obtención de amilosa y amilopectina a partir de almidón comercial de arroz.....	45
5.7	Inhibición de los extractos en presencia de la $\alpha$ -amilasa.....	46
6.	CONCLUSIONES.....	49
6.	PERSPECTIVAS.....	50
8	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	51
9	APÉNDICES .....	55

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación taxonómica de <i>Stenocereus griseus</i> .....	6
Tabla 2 Composición porcentual en base seca del fruto íntegro y de la pulpa de <i>S. griseus</i> . ....	6
Tabla 3 Comparación de la composición porcentual en base seca de la cáscara, pulpa y semilla de <i>S. griseus</i> .....	7
Tabla 4 Composición química de cinco variedades diferentes de pitaya. ....	7
Tabla 5 Número de plantas en desarrollo y producción de “pitaya” y “xoconostle”. ....	8
Tabla 6 Clasificación taxonómica de <i>Tamarindus indica</i> .....	12
Tabla 7 Composición química del tamarindo.....	16
Tabla 8 Composición nutrimental de la pulpa de tamarindo por cada 100 g de porción comestible.....	18
Tabla 9 Mediciones para determinar el rendimiento. ....	37
Tabla 10 Mediciones para determinar el rendimiento.....	38
Tabla 11 Rendimiento de polvos de pulpa de tamarindo, cáscara y semillas de pitaya. ....	40
Tabla 12 Contenido de fenoles totales en pulpa de tamarindo.....	41
Tabla 13 Contenido de compuestos fenólicos presentes en distintas especies de pitaya amarilla. ....	43
Tabla 14 Actividad antirradicalar frente al radical DPPH en las muestras estudiadas.....	44
Tabla 15 Almidón desengrasado obtenido a partir de almidón de arroz comercial. ....	45
Tabla 16 Cantidad de amilopectina y amilosa obtenida.....	46
Tabla 17 Porcentaje de inhibición máxima en presencia de $\alpha$ -amilasa.....	47
Tabla 18 Resultados finales del producto en polvo estudiado vs producto en polvo comercializado.....	47

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Planta, flor y fruto respectivamente, de <i>Stenocereus griseus</i> .....	5
Figura 2. Estructura química de las betalaínas. ....	10
Figura 3. Estructura química de las betaxantinas. ....	11
Figura 4. Descripción morfológica de <i>Tamarindus indica</i> L. ....	13
Figura 5. <i>Descripción morfológica de flores y fruto</i> . ....	14
Figura 6. Descripción morfológica de semillas de tamarindo. ....	14
Figura 7. Formulado a base de mezclas de polvos de pulpa de tamarindo, cáscara y semilla de pitaya versus formulado comercial. ....	48

## SÍMBOLO Y/O ABREVIATURAS

BHT	Butilhidroxitolueno
DPPH•	Radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidracilo
EAG	Equivalentes a ácido gálico
EtOH	Etanol
FT	Fenoles totales
HCl	Ácido clorhídrico
MeOH	Metanol
MS	Masa seca
NaOH	Hidróxido de sodio
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Carbonato de sodio
ppm	Partes por millón
rpm	Revoluciones por minuto

## RESUMEN

El presente trabajo consistió en elaborar una bebida funcional en polvo, rica en antioxidantes a partir de residuos del fruto de pitaya amarilla y pulpa de tamarindo. Para cumplir con el objetivo se evaluó el proceso de secado del fruto de tamarindo (*Tamarindus indica L.*) y del fruto de pitaya (*Stenocereus griseus*) en un secador de charolas giratorias a una temperatura de 50 °C y una velocidad de aire secante de 1.2 m/s. Posteriormente, se obtuvieron polvos de la pulpa del tamarindo junto con polvos de cáscara y semilla de pitaya. En el caso de la pulpa de tamarindo se utilizó maltodextrina como coadyuvante en una relación 1:1. A los polvos obtenidos, se les cuantificaron fenoles totales por el método colorímetro de Folin-Ciocalteu y la actividad antirradicalar frente al radical DPPH. El formulado se preparó mezclando polvos de pulpa de tamarindo, semillas y cáscara de pitaya en una relación 3:1:3 de acuerdo a la concentración de compuestos fenólicos determinados en cada uno. Tanto al formulado bajo estudio como al producto comercial (TANG™), además de la cuantificación de fenoles totales y evaluación de la actividad antirradicalar DPPH, también se les determinó la actividad para inhibir la enzima  $\alpha$ -amilasa. En el secado de la pulpa de tamarindo, cáscara y semilla de pitaya, se encontró un rendimiento del 23, 43.18 y 25.50 % respectivamente. Una cantidad de  $627 \pm 10.0$  y  $625 \pm 2.3$  EAG/100 g ms fueron encontrados en cáscara y semillas de calabaza, respectivamente; los cuales son superiores a lo encontrado en polvo de pulpa de tamarindo, de  $214.4 \pm 1.8$  EAG/100 g ms. La evaluación de la actividad antirradicalar DPPH indicó que los polvos de semillas de pitaya presentan mayor capacidad debido a que se requieren 0.153  $\mu\text{g/mL}$  de este polvo para reducir el 50 % del radical DPPH a diferencia de los polvos de cáscara de pitaya y pulpa de tamarindo, que se requieren 7.47 y 2.98  $\mu\text{g/mL}$  de muestra para reducir el 50 % del radical DPPH. Al estimar la actividad antirradicalar del formulado bajo estudio con respecto al producto comercial (TANG™), se encontró que éste último presenta mayor poder antioxidante, esta característica se atribuye a los ingredientes adicionales que constituyen el producto, en cambio al evaluar la actividad antidiabética, el formulado en polvo presenta mayor porcentaje de inhibición antidiabética, del 79.47 % de inhibición máxima de la enzima  $\alpha$ -amilasa con respecto al 67 % de inhibición que presenta el producto comercial. Los resultados mostraron que el formulado en polvo desarrollado en el presente estudio tiene propiedades antioxidantes similares a trabajos previos, también presenta una mayor actividad antidiabética que los polvos de TANG™ y la acarbosa, utilizada como control positivo.

**Palabras clave:** Formulado en polvo,  $\alpha$ -amilasa, Alimentos funcionales.

## ABSTRACT

The present work consists of preparing a functional drink in powder, rich in antioxidants from yellow pitaya fruit residues and tamarind pulp. To achieve this objective, drying process of tamarind fruit (*Tamarindus indica* L.) and pitaya fruit (*Stenocereus griseus*) was made in a rotating tray dryer at a temperature of 50 °C and a drying air velocity of 1.2 m/s. Subsequently, tamarind pulp powders were obtained together with peel and pitaya seed powders. In the case of tamarind pulp, maltodextrin was used as adjuvant in a 1:1 ratio. Total phenols by Folin-Ciocalteu reagent and antiradical activity against radical DPPH were evaluated in powders. The formulation was prepared by mixing tamarind pulp powders, seeds and pitaya peel in a 3:1:3 ratio according to phenolic compounds concentration measured in each one. Both formulated under study, and a commercial product (TANG™), in addition to total phenols quantification and antiradical DPPH activity evaluation,  $\alpha$ -amylase enzyme inhibition was also determined. Tamarind pulp and peel, and pitaya seed had a yield of 23, 43.18 and 25.50 %, respectively. A total phenol content of  $627 \pm 10.0$  and  $625 \pm 2.3$  GAE/100 g dry mass were found in peel and seeds pitaya, respectively; which are higher than that found in tamarind pulp powder,  $214.4 \pm 1.8$  GAE/100 g dry mass. The antiradical activity evaluation against DPPH radical indicated that pitaya seeds powders have a greater activity, because 0.153  $\mu\text{g/mL}$  of this powders were required to reduce 50% of DPPH radical, unlike powders of pitaya peel and tamarind pulp, which required 7.47 and 2.98  $\mu\text{g/mL}$  of sample to reduce 50 % of DPPH radical concentration. The antiradical activity of TANG™ powders was greater that formulated of tamarind pulp, and peel and seed pitaya powders. This behavior is attributed to ingredients (for example, vitamin C) that constitute product; on the other hand, when evaluating antidiabetic activity, formulated of pitaya peel and seed, and tamarind pulp, it has a percentage of maximum antidiabetic inhibition of 79.47% against  $\alpha$ -amylase enzyme with respect to the 67% of inhibition that showed TANG™ powders. The results showed that powdered formulation developed in the present study presents antioxidant properties similar to previous works, also presents greater antidiabetic activity compared to the commercial product and acarbose, which was used as a positive control.

**Keywords:** Formulated in powder,  $\alpha$ -amylase, functional foods.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la perspectiva de los alimentos y de la nutrición ha cambiado, el consumidor busca alimentos no solo para mejorar su nutrición, sino también su calidad de vida, poniendo especial interés en aquellos productos que proveen un beneficio a la salud, por esta razón la industria de los alimentos y bebidas han dirigido estudios para desarrollar los llamados alimentos funcionales, productos que aparte de cumplir con ciertas exigencias nutricionales, sensoriales y tecnológicas; proveen componentes bioactivos tales como flavonoides, carotenoides, taninos, compuestos fenólicos entre otros, que han sido reportados tener efecto sobre la prevención o disminución de riesgos de ciertas enfermedades degenerativas, como cáncer, padecimientos cardiovasculares, osteoporosis y diabetes, solo por mencionar algunas; quienes representan el 63 % de las muertes en el mundo, y México se ha visto seriamente afectada por estas enfermedades tanto que en la actualidad, es el segundo país latinoamericano y el sexto en el mundo en cuanto a la prevalencia de diabetes.

Los compuestos bioactivos, se encuentran principalmente en el reino vegetal, siendo México un país reconocido por poseer una gran diversidad de especies vegetales, que en su mayoría no han sido aprovechadas el valor funcional potencial que poseen. Tal es el caso del tamarindo, que se caracteriza por los niveles altos de proteína, carbohidratos y minerales; 2.8, 62.7 y 2.5 g por cada 100 g; siendo la pulpa el componente principal que se ha aprovechado para elaborar principalmente dulces típicos, agua y refrescos o consumir directamente. De igual forma, la pitaya de mayo una cactácea columnar, originaria de México, se caracteriza por tener pulpa de color anaranjado, rojo o púrpura debido a la presencia de betalaínas, pigmentos naturales hidrosolubles que se clasifican en dos grupos: betacianinas, que brindan tonalidades

rojas y betaxantinas que proporcionan coloraciones amarillas; ha sido reportado ser una cactácea rico en compuestos fenólicos; sin embargo, las cactáceas son consideradas plantas exóticas, cultivadas como plantas ornamentales, su aprovechamiento económico ha sido únicamente, la comercialización en zonas de producción y consumo directo del fruto. Las cactáceas, por su valor funcional que ha sido reportado, la superficie sembrada ha ido en aumento, tan solo en 2015 para el caso de pitaya se registró una superficie sembrada de 1 484.78 hectáreas, con una producción de 4 077.54 toneladas, lo que significó un valor económico de 54 958.75 miles de millones de pesos, siendo los principales estados productores de este fruto, Oaxaca, Jalisco y Puebla, quienes tienen más del 97 % de la superficie total sembrada, destacando Oaxaca como principal productor con 42.9 % del total (SIAP, 2017).

En la alimentación, la tendencia actual es aumentar el consumo de productos naturales que sean sanos, nutritivos y que ayuden a reducir el riesgo de las enfermedades no transmisibles. Por tal motivo, en el objetivo del presente trabajo fue evaluar la calidad funcional de un formulado de una bebida funcional a base de polvos de pulpa de tamarindo, cáscara y semilla de pitaya amarilla.

## 2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

### 2.1 Objetivo general

Elaborar una bebida funcional antioxidante en polvo a partir de residuos del fruto de pitaya amarilla y pulpa de tamarindo.

### 2.2 Objetivos específicos

- Obtener polvos de pulpa de tamarindo, cáscara y semilla de pitaya amarilla mediante secado utilizando un deshidratador de charolas giratorias.
- Cuantificar fenoles totales y determinar la actividad antirradicalar DPPH en los polvos de pitaya y tamarindo.
- Cuantificar fenoles totales y determinar la actividad antirradicalar y antidiabética *in vitro* en el formulado y muestra comercial Tang™.

### 2.3 Hipótesis

La bebida formulada a base de polvos de cáscara y semilla de pitaya junto con polvos de pulpa de tamarindo, tienen un contenido de compuestos fenólicos, actividad antioxidante e inhibición de  $\alpha$ -amilasa mayor que una bebida comercial de tamarindo Tang™.

### 3. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1 Generalidades de *Stenocereus griseus*

*Stenocereus griseus* se caracteriza por ser una planta arborescente de 6 a 9 m de altura, ramosa, con tronco bien definido, con aproximadamente 35 cm de diámetro y con ramas desde la base. Dichas ramas son de color verde más o menos glauco, generalmente erectas; costillas de 8 a 10, areolas distantes entre sí de 2 a 3 cm de 8 mm de longitud, con fieltro moreno que con el tiempo cambia a grisáceo. Las espinas son subovaladas y radiales de 10 a 11 y de 6 a 10 mm de longitud. En el centro de las areolas se encuentran 3 espinas centrales más gruesas que las radiales y de 15 mm de longitud, al principio de color rojo claro con la punta oscura y después cambian a grisáceos (Sánchez, 2006).

Las flores adquieren forma de tubo o campana, miden hasta 12 cm de longitud y 6.5 cm de diámetro en la parte terminal, con segmentos exteriores del perianto rojizos y segmentos interiores del perianto blancos o verde amarillento, el botón floral es obtuso o redondeado, con el ápice cubierto por escamas obtusas y morenas (Figura 1). Específicamente en el género *Stenocereus* después de la fecundación o antes parte de la flor o perianto se marchita y cae, desprendiéndose arriba del pericarpelo y abajo del androceo dejando una cavidad umbilicada (Bravo, 1978). El fruto de la “pitaya de mayo” (*S. griseus*) se considera una baya unilocular polispérmica, que se origina de una flor con ovario ínfero, localizado dentro de la parte final de un tallo modificado. La forma del fruto generalmente es globosa a ligeramente ovoide de 6 a 11 cm de longitud y de 5 a 7 cm de diámetro. Está cubierto con una cáscara o pericarpio delgado y suave en la madurez, provisto de areolas con cerdas, espinas o pelos que caducan al madurar el fruto (Figura 1). El color del fruto varía desde el verde amarillento hasta el rojo púrpura. La pulpa es jugosa, rica en proteínas

y muy azucarada. En su contenido químico destaca la presencia de colorantes (betacianinas y betaxantinas) con las adecuadas propiedades bromatológicas para la elaboración de productos alimenticios (Arnaud et al., 1997).



Figura 1. Planta, flor y fruto respectivamente, de *Stenocereus griseus*.

Las semillas de los frutos del género *S. griseus* son muy pequeñas, de aproximadamente 2 a 2.5 mm de longitud por 1.1 a 1.5 mm de diámetro, de forma más o menos piriforme y de color negro o castaño oscuro. Constan en su estructura de un embrión, perisperma, testa, micrópilo e hilo. En el primordio de la planta, se encuentran esbozados los órganos fundamentales de la misma, es decir, el embrión. La testa de las semillas se origina y consta de dos tegumentos cada tegumento consta a su vez de dos capas de células que aumentan en la región micropilar. En el tegumento interno existe una pequeña abertura que es el micrópilo, sus células contienen abundantes taninos que son los responsables de la dureza y el color oscuro en la testa, se define como un poro pequeño por el cual sale la radícula del embrión en la germinación.

Tabla 1  
*Clasificación taxonómica de Stenocereus griseus.*

Nombre científico	<i>Stenocereus griseus</i>
Nombre común	Pitayo de Mayo
Familia	Cactaceae
Orden	Caryophyllales
Época de floración	Abril-Mayo

Fuente: Bravo, 1978.

### 3.2 Composición química de la pitaya

De los estudios bromatológicos que se le han realizado a la pitaya se ha encontrado que es un fruto importante desde el punto de vista nutricional ya que es rico en fibra y en proteína, en comparación con otros frutos. En la Tabla 2 se puede apreciar que el fruto íntegro y la pulpa de *S. griseus* son ricos en proteína y en fibra cruda (Bravo y Sánchez, 1991).

Tabla 2  
*Composición porcentual en base seca del fruto íntegro y de la pulpa de S. griseus.*

Componente	Fruto íntegro	Pulpa
Proteína	6.93	9.07
Fibra cruda	16.76	23.15
Cenizas	6.67	3.23
Grasas	1.00	0.84
Extracto libre de nitrógeno	68.64	63.71
(Humedad)	(84.13)	(85.79)

Fuente: Bravo y Sánchez, 1991.

En la tabla 3, se observa que la cáscara de pitaya tiene un contenido similar en proteína, fibra y grasa a la pulpa del fruto de *S. griseus*. En el caso de la semilla, el valor de la proteína

se incrementa casi tres veces con respecto al contenido en pulpa o cáscara.

Tabla 3

*Comparación de la composición porcentual en base seca de la cáscara, pulpa y semilla de S. griseus.*

<b>Porción</b>	<b>Proteína (%)</b>	<b>Fibra cruda (%)</b>	<b>Grasa (%)</b>
Cáscara	8.39	13.54	0.64
Pulpa	9.15	14.75	0.70
Semilla	21.75	5.09	1.69

Fuente: Martínez, 1993.

El principal componente tanto para la cáscara como para la pulpa es el agua con valores que varían de un 80 a un 86 %. El segundo componente mayoritario en el fruto de la pitaya es el contenido de carbohidratos asimilables que varían desde un 60 hasta un 70 % de la composición en base seca. En la Tabla 4 se muestra una comparación de la composición de azúcares (totales y reductores), pH, acidez y contenido de proteína en base húmeda para las diferentes variedades de la pitaya

Tabla 4

*Composición química de cinco variedades diferentes de pitaya.*

Variedad	pH	Acidez (%) (ácido cítrico)	Azúcares Totales (%)	Azúcares Reductores (%)	Proteína en pulpa (g/kg)
Amarilla	3.9	0.5	11	10	1.3
Blanca	4.7	0.18	11	11	0.2
Mamey	5.0	0.15	10	9	0.5
Morada	4.6	0.29	11	10	1.1
Roja	4.9	0.17	10	10	1.4

Fuente: Acosta, (2000).

La tabla 5, muestra la superficie total de las plantaciones establecidas, siendo el 54.53% de las plantas se encuentra en la etapa de desarrollo y el 45.47% restante ya se encuentra en etapa de producción.

Tabla 5  
*Número de plantas en desarrollo y producción de “pitaya” y “xoconostle”.*

<b>Especie</b>	<b>Desarrollo</b>	<b>Producción</b>	<b>Total</b>
<i>S. griseus</i> (“pitaya de mayo”)	78,201	65,187	143,338
<i>S. stellatus</i> (“xoconostle”)	18,817	15,681	34,498
Total	97,018	80,868	177,886

Fuente: Olvera 2001.

Por otro lado, existen diferentes niveles de producción a lo largo de la etapa productiva de la plantación dependiendo principalmente de la edad. Por ejemplo, se ha visto que cuando inician las primeras producciones, el rendimiento por hectárea es menor que cuando se encuentran en la plenitud de su etapa productiva y al final de dicha etapa sus rendimientos vuelven a bajar. Además, se debe considerar que, por condiciones ambientales, en ciertos años o temporales se incrementan o disminuyen los rendimientos.

### **3.3 Comercialización regional de la pitaya**

En la región Mixteca Oaxaqueña existen dos vías principales de comercialización mediante las cuales los productores colocan a la pitaya: 1) en un centro de acopio formado por la Unión de Ejidos y Comunidades “Dichi Cuaha” y 2) en el canal de comercialización de los intermediarios.

El centro de acopio es utilizado solamente por los socios de la unión, en donde el mercado de venta es generalmente la Central de Abastos en la ciudad de México y en los mercados regionales como son en las ciudades de Huajuapán de León, Tehuacán, Izúcar de Matamoros y Acatlán de Osorio. El intermediario define sus proveedores de materia prima en cada comunidad de la región, ya que maneja varios centros de distribución o mercado destino. Comúnmente entregan el fruto aún con espinas cada tercer día en su comunidad de origen en canastos de carrizo o cajas de madera. Se pesa y se le proporciona al productor una boleta especificando la cantidad vendida, la cual se pagará en la próxima visita del intermediario. Por ejemplo, el volumen que se comercializó en el año 2000 fue de 638.5 ton (60% de la producción) de las cuales el principal canal de comercialización fue sin duda el intermediario. Para la región de la Mixteca existen aproximadamente 20 intermediarios, los cuales en conjunto comercializan 622.5 ton, es decir, en promedio un intermediario comercializa alrededor de 31 ton durante la época de cosecha (mes de mayo). Dentro de los principales destinos destacan las ciudades de Tehuacán, Acatlán y Huajuapán, con un volumen aproximado de 478.5 ton (75 %). Por lo que se puede concluir que la comercialización de la pitaya es meramente regional, ya que sólo el 7.2 % del volumen es comercializado en las ciudades de México y Puebla (Ventura, 2001).

### **3.4 Usos de la pitaya**

#### **3.4.1 Como producto alimenticio.**

Las cactáceas son plantas que tienen numerosos y variados usos; sin embargo, se han aprovechado principalmente como alimento, ya sea utilizando sus frutos (tuna o pitaya), sus tallos (nopales y dulces de biznaga) o sus flores las cuales se emplean como verdura. Por

ejemplo, los Seris consumían raíces de la cactácea *Neovancia striata* como verdura en época de escasez de alimento y aprovechaban las semillas de varias cactáceas del desierto de Sonora como el sahuaro (*Carnegie gigantea*), el cardón (*Pachycereus pringlei*) y la pitaya agria (*Machaerocereus gummosus*) (Ventura, 2001). En el caso del pitayo, la principal parte comestible corresponde a los frutos que produce, conocidos como pitayas. Estos frutos se consumen generalmente en forma fresca o se pueden utilizar para la preparación de aguas frescas, helados o nieves. También, se han desarrollado algunos productos como son licores, concentrados de pitaya que se venden como base de productos de panificación y lácteos.

### 3.4.2 Como colorante.

Los principales pigmentos presentes en las cactáceas son las clorofilas, los carotenoides y los compuestos fenólicos. Se ha encontrado que el color de las flores, frutos y en ocasiones de los tallos de dichas plantas, se debe a la presencia principalmente de pigmentos nitrogenados del grupo llamado betalainas (rojas) o betaxantinas (amarillas) (Martínez, 1993).

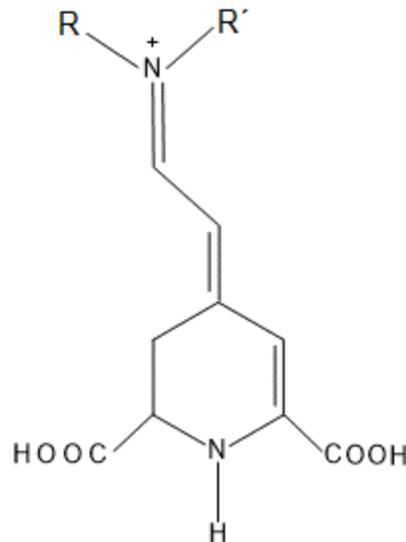


Figura 2. Estructura química de las betalainas.

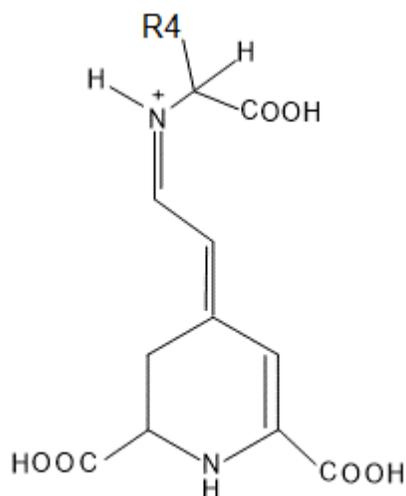


Figura 3. Estructura química de las betaxantinas.

Estudios realizados por Lugo (1997) reportan que la pulpa de la pitaya (*Stenocereus* spp.) contiene por lo menos 78 pigmentos hidrosolubles que van desde el blanco hasta el rojo carmesí, predominando las betalaínas. Incluso se ha visto que estos pigmentos pueden ser utilizados como colorantes tanto para la industria alimenticia como en la farmacéutica (Acosta, 2000).

### 3.5 Generalidades del tamarindo

#### 3.5.1 Origen y distribución

*Tamarindus indica* L. es un árbol de gran tamaño, larga vida y usualmente siempre verde, perennifolio bajo óptimas condiciones o sub caducifolio, nativo de las sabanas secas del África tropical, desde Sudán, Etiopía, Kenia y Tanzania, hacia el oeste a través del África sub-Saheliana hasta Senegal. El árbol fue introducido a Egipto, el Medio Oriente y Asia por comerciantes árabes en tiempos antiguos, actualmente el árbol se ha plantado y naturalizado extensamente en las regiones tropicales y subtropicales, incluyendo la región del Caribe, América Central y el norte de América del Sur. El tamarindo se ha adaptado a regiones que

poseen estaciones secas de larga duración, en las regiones tropicales húmedas con precipitación continua los árboles tienden a crecer de manera pobre y generalmente sin producción de fruta, las plántulas son sensibles a las heladas, pero pueden soportar las sequías (Pérez, 2016).

### 3.5.2 Clasificación taxonómica

La clasificación taxonómica del tamarindo citado por Pérez, (2016) es la siguiente:

Tabla 6

*Clasificación taxonómica de Tamarindus indica.*

Nombre científico	<i>Tamarindus indica</i> L.
Nombre común	Tamarindo
Familia	Leguminosae
Orden	Fabales
Genero	Tamarindus
Reino	Vegetal
Clase	Angiospermae

### 3.5.3 Descripción morfológica.

Los árboles maduros crecen comúnmente hasta una altura de 25 m, con diámetros del tronco de hasta 150 cm, se caracterizan por una copa redondeada, esparcida y densa con cobertura de aproximadamente 6 a 10 m. Sus ramas son bajas y ampliamente extendidas, con las ramillas en forma de zigzag (Figura 4). Las hojas son alternas, paripinadas, cortopercioladas, de 5 a 15 cm de largo; con 10 a 20 pares de pinnas enteras, oblongas, con la base oblicua y el ápice redondeado, casi sésiles, con longitud fluctuante de 0.3 a 2.5 cm y un ancho de 2 a 8 mm, de color verde pálido. La corteza es gruesa, gris y con fisuras profundas (Figura 4).



Figura 4. Descripción morfológica de *Tamarindus indica* L.

Presenta también inflorescencias, en racimos cortos y laxos, axilares o terminales, pendulosos, de 5 a 10 cm de largo por 2.2 cm de diámetro, con 8 a 14 flores. Flores zigomórficas, vistosas (los botones, rojos o rosas); cáliz 4-lobulado, blanco amarillento con tonos rojizos; corola con 5 pétalos de diferentes tamaños, 2 reducidos y escamiformes y 3 grandes, oblanceolados, glabros, de color amarillo pálido matizados de naranja o rojo, de 0.5 a 1 cm de largo y unidos a la mitad (Figura 5).

El fruto es una vaina indehisciente, oblonga o linear, algo comprimida lateralmente y comúnmente curvada, con una capa externa delgada color pardo (epicarpio, crustácea seca y escamosa (se quiebra irregularmente al secarse), una capa mediana (mesocarpio) pulposa combinada con fibras y una capa coriácea interna (endocarpio) estada entre las semillas, de 1.7 a 15 cm de largo por 2 a 3.5 cm de ancho y 1.5 cm de espesor; conteniendo de 1 a 12 semillas (Figura 5).



Figura 5. Descripción morfológica de flores y fruto.

Las semillas son indehiscentes, ovaladas, comprimidas lateralmente, lisas, con la testa café lustrosa, de 1 cm de largo y unidas entre sí, carecen de endospermo como reserva nutritiva, presentan un par de cotiledones gruesos y la radícula es pequeña y recta (Figura 6). El sistema radicular del tamarindo es muy profundo y extenso, lo cual lo hace tolerante a ráfagas o vientos fuertes, así como a condiciones de sequía.



Figura 6. Descripción morfológica de semillas de tamarindo.

#### **3.5.4 Requerimientos agroecológicos.**

El tamarindo es un cultivo ampliamente adaptado a las regiones semiáridas de los trópicos; prospera en lugares con clima cálido semiseco, con invierno y primavera secos y sin una estación invernal definida. Bajo estas condiciones, la producción de fruta es excelente, tanto en cantidad y calidad de los frutos (Parrotta, 1990).

El tamarindo requiere de suelos bien drenados y crece mejor en suelos aluviales profundos. La especie puede prosperar en una variedad de suelos, incluyendo las arenas costeras y los suelos rocosos, aunque se ha reportado un crecimiento pobre en sitios caracterizados por capas inferiores sólidas, calcáreas y poco profundas (Pérez, 2016).

### **3.5.5 Producción de tamarindos.**

Los países productores más importantes de tamarindo son: India, México, Brasil, Belice, Guatemala, Costa Rica y otros países de América Central, Sudamérica, Asia y África, donde los climas son cálidos semiáridos o húmedos. En la República Mexicana el tamarindo se encuentra en 21 entidades federativas, tanto en forma silvestre como en cultivo, principalmente en las costas del Pacífico y del Golfo de México (Orozco, 2001). La superficie sembrada en 2009 fue de 8 599.43 hectáreas, de las cuales 25.5% era superficie de riego y sólo 83.43% era cosechada, con una producción de 38,390.07 ton y un valor de 145 millones de pesos

El principal productor de tamarindo en México es Colima, con una superficie de 2,075 hectáreas establecidas (53% de riego), lo cual representa el 35% de la superficie total nacional. En segundo lugar, se encuentra Guerrero con 1,929 hectáreas, Oaxaca con 513, Michoacán con 330, Chiapas con 298, Jalisco con 265 y Veracruz con 205 hectáreas (Orozco, 2001).

### **3.5.6 Análisis bromatológico de tamarindo y pulpa.**

La composición del tamarindo básicamente está dada por aproximadamente 30% de cáscara, 40% de pulpa y un 40% restante compuesto por la semilla (Tabla 7).

Tabla 7  
*Composición química del tamarindo.*

<b>Compuesto</b>	<b>Tamarindo</b>	<b>Pulpa de Tamarindo</b>
Agua (%)	12.6 -34.2	28 – 42
Proteína (%)	1.4 – 3.3	1.0 – 1.5
Lípidos (%)	0.6 – 1	0.4 – 0.8
Carbohidratos (%)	59.7 –71.8	27 – 48
Fibra (%)	-	-
Cenizas (%)	1.5 – 4.5	1.0 – 3.5
Pectina (%)	3 – 5	2 – 2.6

\*Por 100 g de porción comestible. Fuente: National Academy of Sciences (1979).

El tamarindo es de las frutas tropicales con los niveles más bajos de agua y probablemente como una consecuencia tiene los niveles más altos de proteína, carbohidratos y minerales que ninguna otra fruta (Hasan et al., 1972). Sin embargo, la característica más sobresaliente del tamarindo es su elevado valor de acidez expresado como ácido tartárico, el cual no es común en las frutas tropicales. Aunque existen otras frutas con contenido de ácido tartárico tales como uva, toronja y frambuesa, estas no presentan tan elevados niveles como el tamarindo (Hasan et al., 1972). Otra característica importante es su contenido alto en azúcares, siendo la segunda de mayor contenido de azúcares totales entre las frutas.

Lewis et al. (1961), reportaron que cerca de la mitad del ácido tartárico presente en el tamarindo se encuentra como bitartrato de potasio (también conocido como crémor tártaro) y en menor proporción compuesto por tartrato de calcio; además del ácido tartárico, el tamarindo cuenta con otros ácidos orgánicos, aunque en mucho menor proporción entre los que figuran los ácidos málico, oxálico y acético; es una fruta con contenidos bajos de

vitaminas C y A. Los niveles de vitamina C o ácido ascórbico difieren con la variedad y las características de crecimiento y postcosecha de la fruta, oscilando entre 2 y 20 mg/100 g. La acidez de la pulpa (11.32%) se debe a la presencia del ácido tartárico que es el de mayor contenido cuyo porcentaje es del 90% de la acidez total del tamarindo, siendo el cítrico el segundo en cantidad con el 5% y el resto de la acidez de la fruta son de cantidades menores de ácido ascórbico, ácido acético y ácido tánico, dándole un interés especial a la fruta debido a que contiene una gran cantidad de ácidos orgánicos, que junto con el alto porcentaje de azúcares muestran una relación que no se da en ninguna otra fruta (Jiménez, 1983).

La pulpa de la fruta se extrae principalmente introduciendo a la fruta en un baño de vapor durante varias horas y con un periodo de agitación se obtiene un líquido denso el cual se tamiza y homogeniza para después procesarlo térmicamente mediante un pasteurizado, su pH oscila entre 2 y 4 (National Academy of Sciences, 1979). La pulpa de la fruta, que comprende alrededor de la mitad del peso de la vaina y de sabor agridulce, contiene además de los azúcares y ácidos orgánicos, sustancias tales como pectinas, vitaminas y minerales (Lewis y Neelakantan, 1964).

### **3.5.7 Composición nutrimental de la pulpa de tamarindo.**

El análisis nutrimental de la pulpa de tamarindo (Tabla 8) indica un contenido alto de minerales, especialmente potasio y fósforo, un contenido alto en carbohidratos (62.7 % de porción comestible) donde el azúcar mayoritario presente es la glucosa, muy bajo en lípidos como la mayoría de las frutas tropicales, y no obstante de tener bajos valores de vitamina C y de vitaminas del complejo B, es un producto rico en hierro, además de que su

contenido proteico es alto comparado con otras pulpas de fruta (Saavedra, 2016).

Tabla 8

*Composición nutrimental de la pulpa de tamarindo por cada 100 g de porción comestible.*

Agua (g) 31.4	Sodio (mg) 28
Proteínas (g) 2.8	Potasio (mg) 628
Grasas (g) 0.6	Calcio (mg) 74
Cenizas (g) 2.5	Fosforo (mg) 113
Carbohidratos (g) 62.7	Hierro (mg) 2.8
Ácidos grasos saturados (g) 0.3	Zinc (mg) 0.1
Vitaminas A U.I. 45	Tiamina (mg) 0.43
Ácidos grasos monoinsaturados (g) 0.2	Riboflavina (mg) 0.15
Ácidos grasos poliinsaturados (g) 0.1	Niacina (mg) 1.9
Ácido Tartárico (g) 12.5	Ac. Nicotínico (mg) 1.8
Colesterol (mg) 0	Vitamina C (mg) 4.0

Fuente: Saavedra, (2016).

### **3.5.8 Procesamiento del tamarindo.**

Existen diversas técnicas que describen la obtención de la pulpa de tamarindo, su preparación y clarificación para la formulación de bebidas. Saavedra, (2016). describió estas operaciones comenzando por el rompimiento y remoción de la cáscara del fruto de manera manual seguido de una agitación de la fruta en agua por varias horas para separar las semillas de las partes comestibles de la fruta, seguido de una filtración para eliminar las semillas y partes venosas de la fruta con agua caliente. En algunas partes, la pulpa extraída la dejan reposar y fermentar por 72 horas con el objeto de que el producto desarrolle aromas y sabores característicos. Los procedimientos de la extracción de la pulpa en general son muy semejantes, sin embargo, algunos autores manejan baños de vapor o incluso la ebullición, para después filtrar y eliminar las partes no comestibles de la fruta. La concentración recomendada de pulpa de tamarindo en las preparaciones comerciales es de entre 20 y 25% de pulpa, con la finalidad de obtener una bebida con sabor distintivo y una acidez deseable (Saavedra, 2016).

Benero et al. (1974) prepararon una bebida refrescante de tamarindo con una gran aceptación, la bebida de tamarindo contenía de 9 a 12% de pulpa y con un ajuste de °Brix de 21.5. La bebida preparada se pasteurizó a 85°C, se envasó en contenedores de metal delgado, se enfrió y almacenó a 29°C, después de un año de almacenamiento la bebida fue sensorialmente aceptada por una serie de panelistas.

### **3.5.9 Propiedades atribuidas.**

El tamarindo tiene diversos y variados usos medicinales; es una droga oficial en la industria farmacéutica de los Estados Unidos de América, Inglaterra y otros países de Europa, y Asia. Se estima que alrededor de 90 toneladas de fruta descascarada son exportadas anualmente por México y algunas islas de las Antillas menores hacia los Estados Unidos de América. El mercado europeo es cubierto principalmente por la India, Egipto y las Antillas mayores.

Las preparaciones de tamarindo son universalmente reconocidas como atenuante de malestares febriles y como un laxante efectivo. Sólo o en combinación con jugo de lima, miel, leche, dátil, saborizantes o alcanfor, la pulpa es considerada efectiva como un tratamiento digestivo, desordenes biliares y antiescorbútico. La pulpa del fruto puede ser aplicada sobre inflamaciones, usada en gárgaras para disminuir el dolor de garganta y mezclada con sal se utiliza como unguento para el reumatismo.

### **3.5.10 Usos del tamarindo.**

Los productos o subproductos de tamarindo tienen una gran diversidad de usos, tanto en la industria como en el hogar. Del árbol de tamarindo se puede aprovechar la mayor parte

de su estructura (frutos, semilla, flores, follaje, corteza, madera y raíces).

En México se utiliza en la elaboración de aguas frescas, refrescos embotellados, nieves, dulces, jaleas, pulpas, salsas, elaboración de postres y recetas de cocina. Asimismo, la fruta madura tiene un rico sabor la cual se puede consumir directamente como dulce (Saavedra, 2016).

En países de Asia, África y América, el tamarindo forma parte en la dieta de los habitantes, siendo preparado y consumido de diferentes maneras. En la India, las flores, hojas y brotes muy jóvenes se cosen y se consumen como legumbres; el fruto tierno de sabor agrio se utiliza como condimento para alimentos como el arroz, pescado y carnes rojas. En Zimbabue, las hojas se adicionan a sopas y las flores son un ingrediente de ensaladas.

Las semillas de tamarindo se pueden consumir de diferentes maneras; pueden ser remojadas para remover la cubierta y molerse para hacer harina. Las semillas de tamarindo contienen de 46 a 48% de una sustancia que forma una especie de gel; en la India, se ha patentado la producción de un producto purificado llamado "Jellosa", "polyosa", el cual es de calidad superior a la pectina obtenida de otras frutas. Se usa en la manufactura de jaleas, confituras y mermeladas. Además, puede ser usada para preservar alimentos con y sin la adición de ácidos y gelatiniza con concentrados de azúcar en agua o leche fría. Se recomienda como estabilizador en nieves, mayonesas y quesos; además es ingrediente importante en una gran diversidad de productos farmacéuticos.

En México no es tan aprovechada la fruta como en países asiáticos, en nuestro país se utiliza principalmente para producir algunas bebidas refrescantes y/o gaseosas, en algunas partes se extrae pectina de la semilla y se obtiene ácido tánico de la cáscara, son de los pocos productos que se manejan actualmente, sin embargo, existe mejor mercado en

nuestro país para la producción de bebidas ya sea néctar o jugo (Jiménez, 1983). La pulpa obtenida del tamarindo es un producto agroindustrial que representa un considerable valor económico en muchas partes del mundo de ahí la importancia de conocer las características de sus productos derivados para desarrollar procesos de conservación efectivos y poder trasladarlos a diversas partes del mundo (Saavedra, 2016).

## **4. MATERIALES Y MÉTODOS**

El presente estudio se realizó en colaboración académica entre el Instituto de Agroindustrias de la Universidad Tecnológica de la Mixteca y el Instituto Tecnológico Superior de Acatlán de Osorio. El trabajo experimental se realizó en los laboratorios de Bromatología, Análisis Instrumental y Principios Bioactivos del Instituto de Agroindustrias de la Universidad Tecnológica de la Mixteca (UTM) ubicada en la ciudad de Huajuapán de León, Oaxaca.

### **4.1 Materia vegetal**

Los frutos de tamarindo (*Tamarindus indica*) fresco y de pitayas amarillas (*Stenococcus griseus*) fueron adquiridos con los productores del municipio de Acatlán de Osorio, Puebla; que se localiza en las coordenadas GPS a una latitud (dec): 18.203333 y una longitud (dec): -98.04861, la localidad se encuentra a una altura de 1180 metros sobre el nivel del mar (snm). Ambos frutos frescos fueron llevados al laboratorio de agroindustrias de la Universidad Tecnológica de la Mixteca (UTM).

### **4.2 Selección y almacenamiento**

Para el presente proyecto, se consideraron frutos de tamarindo fresco, libres de plagas y daños físicos. La pulpa se obtuvo separando de forma manual, la cáscara y las semillas. Los frutos de tamarindo que presentaron alguna plaga o daños físicos fueron excluidos. Una vez terminado este proceso se procedió a evaluar el rendimiento, es decir, se pesó la pulpa obtenida junto con las semillas y la cáscara tomando lectura del peso de cada uno. Finalmente, la pulpa se colocó en frascos de plástico y se almacenaron a una temperatura de

5°C en un refrigerador, hasta su procesamiento.

En el caso del fruto de las pitayas amarillas, se tomaron en cuenta los criterios siguientes: pitayas que no tuvieran la presencia de insectos, que se encontraran libres de daños físicos como por ejemplo magulladuras o cortes en la cáscara. Posteriormente, las pitayas frescas y en buenas condiciones se sometieron a un lavado con suficiente agua. Enseguida, se retiró la cáscara de forma manual y la pulpa se filtró en un tamiz de acero inoxidable para separar las semillas, durante este proceso se realizaron varios lavados con agua potable para retener la mayor cantidad de semillas; en el caso de la cáscara se cortó en pequeñas láminas de aproximadamente 6x2 cm para el proceso de secado. Finalmente se determinó el rendimiento de la cáscara, pulpa y semilla con base al peso total de la fruta inicial. La cáscara, semillas y jugo de pitaya fueron colocadas en frascos de plástico con tapa y almacenados a 4 °C y -20 °C hasta su procesamiento, este último aplicado para el jugo.

#### **4.3 Contenido de humedad de las materias primas**

La determinación de humedad se realizó siguiendo el método de secado en estufa. El cual consistió en colocar 3 crisoles de porcelana a 110 °C en una estufa marca Felisa, estos se mantuvieron por 6 h a dicha temperatura, una vez transcurrido el tiempo, fueron colocados en el desecador por 15 min y posteriormente fueron pesados en una balanza analítica, este proceso se realizó varias veces y se detuvo hasta que los crisoles de porcelana estuvieran a peso constante, que se registró como peso del crisol sin muestra. Para la determinación de humedad, se colocaron 5 g de pulpa de tamarindo en cada crisol. Los crisoles con la muestra se introdujeron a la estufa por 6 h, después de transcurrir el tiempo se colocaron en el

deseCADador. Una vez que el crisol con la muestra se atemperó, se pesó y registró la masa. La muestra en el crisol se volvió a llevar a la estufa a 110°C y después de transcurrir 1 h, se volvió a atemperar en el deseCADador y pesar. Este proceso se detuvo hasta que no hubiera diferencia entre las penúltimas y últimas mediciones de peso de los crisoles con la muestra. Las determinaciones se llevaron a cabo por triplicado. Finalmente, se realizaron los cálculos y se obtuvo el % de humedad que contenía la pulpa de tamarindo. El mismo procedimiento se realizó para determinar la humedad en cáscara y semilla de la pitaya.

$$\% \text{ humedad} = \frac{M_1 - M_2}{M_3} \times 100$$

Donde:

$M_1$  = Peso del crisol con muestra húmeda.

$M_2$  = Peso del crisol con muestra seca.

$M_3$  = Peso de la muestra.

#### **4.4 Deshidratación de la materia prima**

La deshidratación tanto de los tamarindos como de las cáscaras y semillas de pitaya amarilla, se llevó a cabo en un secador de charolas giratorias con corriente de aire continuo, descrito por Santos et al (2012). En cada charola del secador se colocaron 125 g de tamarindo distribuidos de tal manera que cubrieran en su totalidad la superficie de la charola, el secador operó a una temperatura de 50°C y una corriente de aire secante de 1.2 m/s. El monitoreo de la pérdida de peso se realizó cada hora, hasta alcanzar una humedad final del 10%. En ese momento se suspendió el proceso de secado.

Para el deshidratado de la cáscara de la pitaya, se colocaron aproximadamente 50 g de cáscara en cada charola operando a la misma temperatura y velocidad de aire secante que

en el secado del tamarindo. En cambio, para el secado de las semillas de pitaya se colocó 33g sobre papel encerado que previamente fue colocado sobre la superficie de las charolas. El monitoreo de la pérdida de peso para ambos casos se realizó cada 15 min y se suspendió hasta obtener un porcentaje de humedad del 10 %.

#### **4.5 Obtención de polvos**

Para la obtención de los polvos de tamarindo, las muestras de pulpa deshidratada se cortaron en pequeños trozos y se mezcló con maltodextrina en una relación 1:1; es decir, por cada gramo de muestra de pulpa se utilizó un gramo de maltodextrina; y se sometió a molienda utilizando un mortero. La mezcla se llevó a una segunda molienda en un molino para café SAYONA Model: SY- 601 220- 240V para obtener los polvos, posteriormente fue tamizado en una malla de acero inoxidable de #60 para obtener polvos de tamaño de partícula < 0.25 mm. Los polvos se pesaron y se colectaron en viales de plástico y se almacenaron a -20°C hasta su procesamiento.

Para la obtención de los polvos de la cáscara y semilla deshidratada de pitaya amarilla, las láminas de cáscara se cortaron en trozos pequeños y fueron sometidas a molienda en un molino para café SAYONA Model: SY- 601 220- 240V, posteriormente se pasó a un tamiz de acero inoxidable del #60 para obtener polvos de tamaño de partícula < 0.25 mm. En el caso de la semilla se llevó a cabo el mismo procedimiento. Ambos polvos recolectados fueron pesados y almacenados en viales de plástico a una temperatura de - 20°C hasta su procesamiento.

## **4.6 Determinación de fenoles totales**

### **Preparación de disoluciones**

**Disolución del reactivo de Folin-Ciocalteu 0.1 M.** 0.5 mL de disolución del reactivo de Folin- Ciocalteu 2 M se transfirieron a un matraz volumétrico de 10 mL. El matraz se aforó con agua tipo 1.

**Disolución de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 0.05 %.** 0.05 g de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> se colocaron en un matraz volumétrico de 10 mL. El matraz se aforó con agua tipo 1.

**Disolución patrón de ácido gálico de 100 µg/mL y estándares.** En un matraz volumétrico de 10 mL se colocaron 0.010 g de ácido gálico y el matraz se aforó con etanol al 90 %. Posteriormente, 1 mL de esta disolución se transfirió a un matraz volumétrico de 10 mL y este matraz se aforó con etanol al 90 %. A partir de esta disolución patrón de 100 µg/mL se prepararon los estándares de ácido gálico a concentraciones de 5, 10, 15, 20 y 25 µg/mL.

**Extracción de los compuestos fenólicos.** Los polvos de pulpa de tamarindo, de la cáscara y semilla de pitaya amarilla, se pesaron por triplicado 0.020 g de polvos de cada muestra en una balanza analítica Marca Sartorius, Modelo BL210S y se colocaron en tubos Eppendorf de 1.5 mL. Posteriormente a cada tubo se le adicionó 1 ml de EtOH al 90 %, y se sonicaron por 30 min, una vez transcurrido el tiempo, las muestras se centrifugaron por 15 min. Para las pruebas colorimétricas, los sobrenadantes obtenidos de la centrifugación se sometieron a distintas diluciones para que las absorbancias resultantes de las muestras se localizaran en la región de las absorbancias de los estándares de ácido gálico. Los extractos de cáscara y semilla de pitaya se diluyeron en una relación 1:4 (extracto/EtOH al 90%). Mientras que los polvos de tamarindo se diluyeron en una relación 1:3 (extracto/EtOH al 90%).

**Reacción colorimétrica.** La cuantificación de los compuestos fenólicos se realizó en un

lector de microplacas Biotek ELX-808, utilizando el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu descrito por Jiménez-Durán (2015). En una microplaca se colocaron 40  $\mu\text{L}$  de estándares de ácido gálico y extractos por triplicado, junto con 40  $\mu\text{L}$  de reactivo Folin-Ciocalteu 0.1 M. Posteriormente, la microplaca se colocó en el lector de microplacas y se dejó reposar durante 3 min a temperatura ambiente. Concluido este tiempo, la microplaca se agitó a velocidad variable durante 1 min. Después la microplaca se retiró del lector y a cada pozo con muestra, estándar o blanco se le adicionaron 40  $\mu\text{L}$  de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  al 0.5%. Nuevamente, la microplaca se llevó al lector y se dejó reposar durante 30 min a  $40^\circ\text{C}$ , transcurrido este tiempo se agitó a velocidad media durante 1 min y la absorbancia se leyó a 750 nm. A partir de los valores de absorbancia de los estándares de ácido gálico se construyó una curva de calibración y con ella se realizó una regresión lineal para generar una ecuación de calibración que permitió expresar el contenido de fenoles totales de las muestras secas en mg equivalentes de ácido gálico/100 g de masa seca (ms). Las determinaciones se realizaron por triplicado.

#### **4.7 Cuantificación de la actividad antirradicalar**

##### **4.7.1 Preparación de disoluciones**

**Dilución del DPPH<sup>•</sup> al 0.1% (p/v).** 10 mg de DPPH<sup>•</sup> se transfirieron a un matraz volumétrico de 10 mL y el matraz se aforó con MeOH en ausencia de luz. A partir de esta disolución se preparó una disolución de DPPH<sup>•</sup> al 0.004%, que se resguardó de la luz.

**Disolución patrón de ácido gálico de 100  $\mu\text{g}/\text{mL}$ .** En un matraz volumétrico de 10 mL se colocó 1 mg de ácido gálico y se aforó con EtOH al 90 %. Posteriormente 1 mL de esta disolución se transfirió a un matraz volumétrico de 10 mL y este matraz se aforó con EtOH

al 90 %. A partir de esta disolución patrón se prepararon las disoluciones de ácido gálico a concentraciones de 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5  $\mu\text{g/mL}$ .

**Disolución patrón de BHT de 200  $\mu\text{g/mL}$ .** En un matraz volumétrico de 10 mL se colocaron 2 mg de BHT, posteriormente el matraz se aforó con MeOH. A partir de esta disolución patrón se prepararon disoluciones de BHT a concentraciones de 15, 20, 25, 30, 35  $\mu\text{g/mL}$ .

**Disolución patrón de ácido ascórbico de 100  $\mu\text{g/mL}$ .** En un matraz volumétrico de 10 mL, se colocó 1 mg de ácido ascórbico y se aforó con EtOH al 90%. De esta disolución se transfiere 1 mL a un matraz volumétrico de 10 mL y se aforó con EtOH al 90 %. A partir de esta solución patrón se prepararon disoluciones de ácido ascórbico a concentraciones de 1, 2, 3, 4, 5  $\mu\text{g/mL}$ .

#### **4.7.2 Determinación de la actividad antirradicalar frente al radical DPPH $\cdot$ :**

A 70  $\mu\text{L}$  del extracto o del control se le agregaron 70  $\mu\text{L}$  de DPPH $\cdot$  al 0.004 % en una microplaca, la mezcla se mantuvo en reposo por 30 min a temperatura ambiente en ausencia de luz y posteriormente se agitó a velocidad media por 1 min en el lector de microplacas. Finalmente, las absorbancias del extracto o del control se leyeron a 515 nm.

El porcentaje de disminución de la absorbancia se graficó para cada concentración y el % del DPPH $\cdot$  consumido se calculó con base en la absorbancia del radical DPPH $\cdot$ , obtenida a partir de una disolución de 70  $\mu\text{L}$  de DPPH $\cdot$  al 0.004 % y 70  $\mu\text{L}$  de MeOH. El blanco de las muestras o del control (ácido gálico, BHT o ácido ascórbico) contenía MeOH o EtOH dependiendo del disolvente utilizado para la preparación del control correspondiente, en lugar de DPPH $\cdot$ . Para el blanco del control se utilizó la disolución de menor concentración, y el blanco del DPPH $\cdot$  fue MeOH.

La actividad antirradicalar se expresó como porcentaje de inhibición y se calculó usando la Ecuación 1. Las concentraciones del extracto o de los controles empleados se graficaron contra el porcentaje de inhibición.

$$\% \text{ Inhibición} = \left[ \frac{A_{DPPH} - A_{EXT}}{A_{DPPH}} \right] \times 100$$

Donde:

$A_{DPPH}$  = Valor de la absorbancia del blanco con DPPH

$A_{EXT}$  = Valor de la absorbancia del extracto a evaluar

A partir de la ecuación obtenida de las curvas de los controles (Apéndice 11) y de los extractos (Apéndice 12), se determinó las IC<sub>50</sub> correspondientes, que se reportó como µg de extracto o control/mL.

#### **4.8 Determinación de la actividad antidiabética**

##### **4.8.1 Obtención de amilosa y amilopectina a partir de almidón comercial de arroz**

**Determinación del % de amilosa en el almidón a partir del valor azul.** El valor azul del almidón correspondiente se determinó por el método de Juliano (1971) con ligeras modificaciones. En un vaso precipitado se colocaron 25 mg de harina de arroz y se dispersaron en 250 µL de EtOH acuoso al 95 % junto con 2.25 mL de NaOH 1N. Posteriormente la suspensión de harina de arroz se llevó a un calentamiento durante 10 min en un baño de agua hirviendo, esto con la finalidad de lograr gelatinizar el almidón. Esta mezcla se transfirió a un matraz volumétrico de 25 mL con varios lavados de agua y se aforó. Después, esta misma mezcla se agitó hasta producir una disolución homogénea. A partir de esta disolución se tomó una alícuota de 1.25 mL y se transfirió a un matraz volumétrico de 25 mL, a la cual se le adicionaron 250 µL de ácido acético 1 N junto con

500  $\mu$ L de una disolución de yodo, la cual consistió en preparar una disolución acuosa con 20 mg de yodo, junto con 0.2 g de yoduro de potasio y se aforo con agua tipo 1. Esta mezcla se agitó y se dejó reposar durante 20 min a temperatura ambiente. Por otra parte, la disolución blanca se preparó de forma idéntica, pero sin harina. Una vez transcurrido el reposo de la disolución, se colocaron en celdas de, posteriormente el valor azul del almidón de arroz se leyó en un espectrofotómetro Hach con una celda de camino de haz de 1 cm a 680 nm. por tres replicas junto con el blanco

**Preparación del almidón.** En un matraz Erlenmeyer de 250 mL provisto de un termómetro se colocaron 5 g de almidón y se mezcló con 95 mL de una disolución acuosa de glicerol al 70%, la suspensión se llevó a un baño de ultrasonido, esta suspensión se agito mientras se calentaba lentamente hasta alcanzar una temperatura de 50°C a una velocidad de 0.8°C/min. Una vez alcanzada la temperatura la suspensión se calentó por 1 h. Posteriormente la suspensión se enfrió a temperatura ambiente, después se filtró por bomba al vacío a través de un papel filtro whatman #1 y se lavó con 60 mL de etanol absoluto, hasta que el disolvente del pretratamiento se removiera completamente. Una vez obtenido el almidón desengrasado se retiró del papel filtro y se colocó en un crisol de porcelana y se llevó a un secado por estufa a una temperatura de 30°C durante 3 h, finalmente la muestra se pesó y se almaceno en un frasco.

**Separación de amilosa y amilopectina.** En un matraz Erlenmeyer de 250 mL se colocaron 2 g de almidón desengrasado de arroz y se le adicionó 100 mL de una disolución de Buffer de fosfatos ajustada a un pH de 6. Esta disolución se llevó a un calentamiento controlado durante 15 min., la suspensión se enfrió inmediatamente usando un baño de hielo de agua (0-2°C) durante aproximadamente 20 min. Una vez transcurrido el tiempo la suspensión se

colocó en tubos tipo Falcón de 50 mL y se sometió a una centrifugación a 4000 rpm durante 30 min en una centrifuga de velocidad variable. Posteriormente se separó el sobrenadante y el sólido que se sedimentó llamado amilopectina fue colocada en un frasco y almacenada en refrigeración.

**Obtención de amilosa en polvo.** 200 mL del sobrenadante que se obtuvo anteriormente se mezclaron con 450 mL de butanol, esta mezcla se dejó reposar durante 8 h. Una vez transcurrido el tiempo la disolución se centrifugo a 400 rpm durante 20 min. Posteriormente se retiró el sobrenadante y la mezcla sólida sedimentada se dejó a baño de hielos durante 8 h, después la mezcla se retiró del baño de hielos y la fracción de sólido obtenida llamada amilosa se separó y se llevó a sequedad en un rotavapor a vacío a una temperatura no mayor a 40°C durante 5 h. Finalmente la amilosa obtenida se pesó y se almaceno en viales de vidrio.

**Preparación de amilosa.** 10 mg de amilosa se trituraron en un mortero de porcelana, posteriormente se colocaron en un vaso precipitado de 50 mL y se le adiciono 10 mL de Buffer de acetatos ajustada a un pH de 5, la cual se llevó a un calentamiento durante 30 min a una temperatura de 60°C. Una vez transcurrido el tiempo y haber comprobado que se haya disuelto completamente la amilosa, se aforo a un volumen de 10 mL con Buffer de acetatos. A partir de esta disolución se preparó una disolución stock de 500 µg/mL. De esta disolución stock se prepararon estándares de 150, 125, 100, 75 y 50 µg/mL.

#### **4.8.2 Reacción enzimática de amilosa**

En una microplaca de 96 pozos se colocaron las siguientes disoluciones en el orden establecido: 30 µL de EtOH al 90%, 30 µL del estándar correspondiente de amilosa 150,

125, 100, 75 y 50  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , 30  $\mu\text{L}$  del buffer de acetatos, 10  $\mu\text{L}$  de HCL al 1M, 50  $\mu\text{L}$  de disolución de triyoduro y para el blanco se coloca buffer en vez de estándar. Posteriormente la placa se colocó en el lector de microplacas y se dejó reposar a 37 °C durante 5 min y se leyó la absorbancia a 595 nm. A partir de los valores de absorbancia de los estándares de amilosa de arroz se construyó una curva de calibración y con ella se seleccionó el estándar de 150  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , el cual se ocupó para las siguientes pruebas.

**Preparación de disoluciones de la enzima  $\alpha$ -amilasa.** Se pesaron 10 mg de enzima  $\alpha$ -amilasa y se aforo a un volumen de 10 mL con Buffer de acetatos ajustada a un pH de 5. A partir de esta disolución se preparó una disolución de 1000  $\mu\text{g}/\text{mL}$ . Posteriormente se prepararon los estándares de 500, 100 y 10  $\mu\text{g}/\text{mL}$ . 5 min antes de preparar los estándares de la enzima  $\alpha$ -amilasa se calienta hasta alcanzar una temperatura de 38°C.

**Reacción enzimática de la enzima  $\alpha$ -amilasa.** Para la lectura de la enzima  $\alpha$ -amilasa se colocaron dos grupos en una microplaca de 96 pozos, el primer grupo llamado enzima hidrolizada se colocaron las siguientes disoluciones en el orden establecido: 30  $\mu\text{L}$  de EtOH al 90%, 30  $\mu\text{L}$  de amilosa de 150  $\mu\text{L} /\text{mL}$ , 10  $\mu\text{L}$  de HCl al 1.5 M, 30  $\mu\text{L}$  de 500, 100, 10  $\mu\text{g} /\text{mL}$  de los estándares de la enzima  $\alpha$ -amilasa. Posteriormente se llevó a reposo de 30 min en un espectrofotómetro de microplacas a una temperatura de 37°C. Una vez transcurrido el tiempo se realizó una agitación media de 30 s, después la microplaca se retiró del lector y se le adicionó 50  $\mu\text{L}$  de disolución de triyoduro y nuevamente se llevó a reposo por 5 min y la absorbancia se leyó a 595 nm. Para el segundo grupo llamado enzima activa se colocaron las siguientes disoluciones: 30  $\mu\text{L}$  de EtOH al 90%, 30  $\mu\text{L}$  de amilosa

de 150  $\mu\text{L}$  /mL, 30  $\mu\text{L}$  de los estándares de 500, 100, 10  $\mu\text{g}$  /mL de la enzima  $\alpha$ -amilasa. Después se llevó a reposo durante 30 min a 37°C en el espectrofotómetro, transcurrido el tiempo la placa se retiró del lector y se le adiciono 10  $\mu\text{L}$  de HCl al 1.5 M, posteriormente la placa fue coloca en el lector de placas y se llevó a una agitación media de 30 s, luego a la placa se le adiciono 50  $\mu\text{L}$  de disolución de triyoduro y se leyó las absorbancias a 595 nm. Ambos grupos fueron colocados en una sola placa. A partir de los valores de absorbancia de los dos grupos se construyó una curva de calibración y se seleccionó el estándar de 100  $\mu\text{L}$  para la  $\alpha$ -amilasa, la cual se ocupa para las siguientes pruebas.

#### **Preparación de los extractos de la muestra mezclada y muestra comercial TANG™.**

En un tubo Eppendorf se pesaron 15 mg de muestra mezclada (polvos de cáscara y semilla de pitaya amarilla junto con polvos de pulpa de tamarindo) y se le adiciono 1 mL de EtOH al 90 %, después se llevó a sonicación por 30 min, una vez transcurrido el tiempo se llevó a centrifugación por 15 min. A partir del extracto proveniente de 15 mg/mL, se preparan diluciones de 2.5, 1.2, 0.6, 0.3, 0.15 mg/mL con EtOH al 90 %. Estas diluciones nuevamente se llevaron a Sonicación por 20 min y posteriormente a una centrifugación por 15 min.

Para el caso de la muestra comercial de tamarindo TANG™, se pesaron 15 mg de polvo y se adiciono 1 mL de EtOH al 90 % en un tubo Eppendorf. Nuevamente se llevó a Sonicación por 30 min y centrifugación por 15 min. A partir de esta disolución se prepararon diluciones de 5, 2.5, 1.66, 1.25 y 0.6 mg/mL con EtOH al 90 %, estas diluciones se llevaron de igual manera a Sonicación y centrifugación por el mismo tiempo.

#### **4.8 Formuladoro a partir de los polvos**

Una vez conocida la cantidad de fenoles totales y actividad antirradicalar que contenían los polvos, se realizó un mezclado en una relación 3:1:3 de los polvos, es decir, 0.43 g de polvos de cáscara de pitaya, 0.14 g de polvos de semilla de pitaya y 0.43 g de polvos de pulpa de tamarindo obteniendo un formuladoro total de 1 g. Esta concentración se llevó a cabo con base al contenido de fenoles totales y de actividad antirradicalar.

Posteriormente, esta mezcla se llevó a una agitación manualmente para homogenizarla, a partir de esta muestra se tomó una porción 20 mg de muestra y se determinó la cantidad de fenoles totales y actividad antirradicalar, de acuerdo a los procedimientos antes descritos. Para determinar la calidad funcional del formuladoro sé estimo la cantidad de fenoles totales y actividad antirradicalar de una muestra comercial (TANG<sup>TM</sup>)

Después, la muestra mezclada fue comparada con una muestra comercial de TANG<sup>TM</sup>. Para las cuantificaciones de fenoles totales y actividad antirradicalar de esta muestra comercial se utilizó una alícuota de 20 mg (Apéndice 13).

#### **4.9 Inhibición de los extractos de la muestra mezclada y muestra comercial TANG<sup>TM</sup> en presencia de $\alpha$ -amilasa**

Para la lectura de los extractos de la muestra mezclada y muestra comercial de igual manera se colocaron dos grupos, enzima hidrolizada y enzima activa en una placa de 96 pozos. Colocando en el primer grupo 30  $\mu$ L de las diluciones de 2.5, 1.2, 0.6, 0.3, 0.15  $\mu$ g/mL de los extractos de la muestra mezclada, 30  $\mu$ L de amilosa de 150  $\mu$ g/mL, 10  $\mu$ L de HCL al 1.5 M, 30  $\mu$ L del estándar de 100  $\mu$ g/mL de la enzima  $\alpha$ -amilasa. Posteriormente se colocó en el espectrofotómetro y se dejó reposar por 30 min a 37 °C y se realizó una agitación media por 30 seg. La placa se retira y se le adiciona 50  $\mu$ L de disolución de

triyoduro, nuevamente se lleva a un reposo de 5 min, se agita por 30 s y se llevó a una lectura de 595 nm. Para el grupo de la enzima activa se colocó 30  $\mu\text{L}$  de las diluciones de 2.5, 1.2, 0.6, 0.3, 0.15  $\mu\text{g}/\text{mL}$  de los extractos de la muestra mezclada, 30  $\mu\text{L}$  de amilosa de 150  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , 30  $\mu\text{L}$  del estándar de 100  $\mu\text{g}/\text{mL}$  de la enzima  $\alpha$ -amilasa, después se llevó a un reposo por 30 min a  $37^{\circ}\text{C}$ , una vez transcurrido el tiempo se le adiciono 10  $\mu\text{L}$  de HCL al 1.5 M y se le realizo una agitación media de 30 s finalmente se le agregan 50  $\mu\text{L}$  de disolución de triyoduro y se lleva a un reposo de 5 min con una agitación de 30 s y una lectura a 595 nm.

Para la lectura de los extractos de la muestra comercial TANG<sup>TM</sup> se realizó el mismo procedimiento mencionado anteriormente, cambiando únicamente las diluciones de los extractos de la muestra mezclada por las diluciones de la muestra comercial que en este caso fueron 5, 2.5, 1.66, 1.25, 0.6  $\mu\text{g}/\text{mL}$ .

A partir de los valores de absorbancia de las dos muestras, comercial y mezclada se construyó una curva de calibración y con ella se realizó una regresión logarítmica la cual permitió generar una ecuación de calibración que permitió expresar el % de inhibición que contenían ambas muestras.

**Preparación de acarbosa.** En un vaso de precipitados de 50 mL se pesaron 10 mg de acarbosa grado reactivo, y se aforó a un volumen de 10 mL con Buffer de acetatos ajustada a un pH de 5, cuidando que se haya disuelto completamente la acarbosa. A partir de esta disolución de 1000  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , se prepararon estándares de 150, 100, 50, 10 y 1  $\mu\text{g}/\text{mL}$ .

## Reacción enzima de acarbosa

En una placa de 96 pozos se colocó el grupo de enzima hidrolizada y enzima activa. En el primer grupo se colocaron las siguientes disoluciones en el orden establecido: 30  $\mu\text{L}$  de Buffer de acetatos ajustada a un pH de 5, 30  $\mu\text{L}$  del estándar correspondido de acarbosa de 150, 100, 50, 10 y 1  $\mu\text{g/mL}$ , 30  $\mu\text{L}$  de amilosa de 150  $\mu\text{g/mL}$ , 10  $\mu\text{L}$  de HCl al 1.5 M, 30  $\mu\text{L}$  de la enzima  $\alpha$ -amilasa de 100  $\mu\text{g/mL}$ . Para el grupo de la enzima activa se colocó 30  $\mu\text{L}$  de Buffer de acetatos, 30  $\mu\text{L}$  del estándar correspondido de acarbosa de 150, 100, 50, 10 y 1  $\mu\text{g/mL}$ , 30  $\mu\text{L}$  de amilosa de 150  $\mu\text{g/mL}$ , 30  $\mu\text{L}$  de la enzima  $\alpha$ -amilasa de 100  $\mu\text{g/mL}$ . Una vez teniendo ambos grupos la placa se colocó en el espectrofotómetro y se dejó reposar por 30 min a una temperatura de 37 °C. Posteriormente, la placa se retiró y se le adicionó 10  $\mu\text{L}$  de HCL al 1.5 M únicamente al grupo de la enzima activa, nuevamente se colocó en el lector de placas y se realizó una agitación media de 30 s, después de la agitación se agregó 50  $\mu\text{L}$  de disolución de triyoduro a ambos grupos y se llevó a reposo por 5 min junto con una agitación de 30 s y finalmente a una lectura a 595 nm. A partir de los valores de absorbancia se obtuvo una curva de calibración que permitió obtener el porcentaje de inhibición de los estándares de la acarbosa.

## 5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Estimación de rendimiento de los frutos tamarindo y pitaya

El rendimiento se determinó considerando el peso total inicial de cada materia prima como el 100 %. Para el caso del tamarindo, se tomó como masa inicial de 2500 g (100 %). Se obtuvo un rendimiento del 44% de pulpa y del 56% entre la semillas, cáscara y residuos del fruto, tal como se describe en la Tabla 9. Este resultado indica que la pulpa de tamarindo es viable para producir nuevos productos, en el presente proyecto una bebida funcional.

Tabla 9  
*Mediciones para determinar el rendimiento.*

<b>Parte del fruto de tamarindo</b>	<b>Masas (g)</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
Completo	2500	100
Semilla	780	31.2
Cáscara	462	18.5
Residuos de tamarindo	158	6.3
Pulpa	1100	44.0

Nota: Los % son respecto a la masa inicial.

Los valores de rendimiento determinados en el presente trabajo, difieren con los reportados por la National Academy of Sciences, la cual reporta que la composición del tamarindo básicamente está dada por el 30% de cáscara, 40% de pulpa y un 40% restante por la semilla, y con lo reportado por Hernández (1980), quien después de un periodo de 35 semanas de crecimiento y al momento del corte o cosecha, encontró 50.2 % de pulpa, 28% de semilla y 19.2% de cáscara. El mismo autor encuentra variación en rendimientos al evaluar cada 2 días durante 2 semanas posteriores al corte, encontrando un rendimiento del 50.2% de pulpa y al final del periodo de prueba del 40.5%, perdiéndose humedad a una velocidad de 0.174 g/100 g

de fruta por día. Por otra parte, la cáscara tuvo un incremento en el rendimiento, el cual inició con un 19.2%, finalmente con un 22.9%, incrementándose a una velocidad de 0.28 g de cáscara/100 g de fruta por día, por su parte la semilla tuvo un incremento del 28% al 34.2% a una velocidad de 0.47 g de semilla/100 g de fruta por día. Analizando estos reportes, se puede cerciorar que el fruto adquirido no tenía más de 2 semanas de corte, ya que los datos de pérdida de pulpa y ganancia en masa de la semilla y cáscara confirman la madurez óptima del fruto para ser procesado.

Por otra parte, se encontró que el rendimiento de la pulpa de pitaya sin semilla es del 73.62% (1865 g) y del 9.16% en la semilla, tal como se describe en la Tabla 10.

Tabla 10  
*Mediciones para determinar el rendimiento*

<b>Parte del fruto de pitaya</b>	<b>Masas (g)</b>	<b>Rendimiento %</b>
Completo	2533	100
Semilla	232 (9.16%)	9.16
Cáscara	412 (16.27%)	16.27
Residuos de pitaya	24 (0.95%)	
Pulpa	1865 (73.62%)	73.62

Nota: los porcentajes son respecto a la masa inicial.

Bedolla (2005) estudio el fruto de *Stenocereus griseus* y reporta un rendimiento del 82.4%. Este porcentaje es mayor al resultado obtenido en el presente trabajo, debido a que Bedolla (2005) determinó el rendimiento en pulpa con semillas y en el presente estudio se determinó el rendimiento de manera individual.

## **5.2 Determinación de humedad de la pulpa de tamarindo, cáscara y semilla de pitaya**

En el análisis de humedad en pulpa de tamarindo se encontró un resultado promedio de 28.86%. Los valores obtenidos del % de humedad en el presente estudio, son similares a los reportados por Acevedo et al., (2013), quienes realizaron la deshidratación de la pulpa de tamarindo (*Tamarindus indica*) y reportaron entre 25 – 30 % de humedad. En cambio, el porcentaje de humedad en cáscara y semilla de pitaya fueron de 83.01 y 87.49 %, respectivamente. Estos porcentajes de humedad obtenidos son similares a lo que reporta Vega (2016) quien estudio el fruto de *Stenocereus griseus* y encontró un porcentaje de humedad en la variedad amarilla de 83.94 %. Los resultados de porcentajes de humedad encontrados tanto en pulpa de tamarindo, cáscara de pitaya como en semillas, indican que se encuentran dentro de los intervalos reportados en trabajos previos.

## **5.3 Obtención de polvos**

El proceso de secado para obtener polvos a partir de la pulpa de tamarindo es lento a pesar de que el porcentaje de humedad es baja (28.86%). En el presente estudio, el tiempo de secado de pulpa de tamarindo fue de 20 a 25 h (Apéndice 2). Esta característica puede ser atribuida al tipo de agua que se encuentra en la pulpa, en el tamarindo en su mayoría está constituida por agua ligada, Arévalo (2017). Sin embargo, se obtuvo un rendimiento del 23%. Contrariamente a esto, el proceso de secado del fruto de pitaya fue rápido con un tiempo de duración de 3 a 5 h (Apéndice 6), con rendimientos del 25.50 y 43.16%, en cáscara y semillas de pitaya, respectivamente.

Tabla 11

*Rendimiento de polvos de pulpa de tamarindo, cáscara y semillas de pitaya.*

<b>Fruto</b>	<b>Peso de muestra fresca (g)</b>	<b>Peso de polvos (g)</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
Pulpa de tamarindo	500	115	23.00
Semilla de pitaya	132	57	43.18
Cáscara de pitaya	200	51	25.50

### **5.3 Contenido de fenoles totales en polvos de tamarindo**

La determinación de fenoles totales se realizó mediante el método de Folin-Ciocalteu. Este método permite medir la intensidad del color producido cuando el reactivo cromogénico se reduce en presencia de los compuestos fenólicos. El contenido de fenoles totales en las muestras se expresó como mg equivalentes de ácido gálico por cada 100 g de sólidos secos tanto para la pulpa de tamarindo como para las semillas y cáscara de pitaya.

El contenido de fenoles totales en la pulpa de tamarindo (*Tamarindus indica*) fue de  $214.4 \pm 1.8$  mg EAG/100 g de sólidos secos. Esta concentración es mayor que la reportada por Paez et al, (2016), quienes encontraron una concentración de  $102.7 \pm 0.02$  mg EAG/100 g muestra seca. Por otro lado, Luanne et al (2011) evaluaron el contenido de fenoles totales en diferentes pulpas de frutas tropicales entre ellas el tamarindo. En este estudio se reportó una concentración de  $180.45 \pm 0.21$  mg EAG/100 g muestra seca de pulpa de tamarindo, además estos autores utilizaron agua destilada y alcohol etílico al 95% para preparar los extractos acuoso y etanólico de las frutas bajo estudio. Por otra parte, Mendocilla (2018) evaluó el contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en pulpa de tamarindo, y encontró una concentración de  $163.30 \pm 0.04$  mg EAG/100 g muestra seca.

En general, los resultados obtenidos en el presente trabajo son mayores a los mencionados anteriormente que van desde 100 a 180 mg EAG/100 g de muestra seca de tamarindo (Tabla 12), las cuales pueden deberse a la zona de cultivo, clima, proceso de almacenamiento de la muestra entre otros. Posiblemente el contenido de fenoles totales en fruta se ve afectado por el grado de madurez en la cosecha, diferencias genéticas, precosecha condiciones ambientales, condiciones de almacenamiento y procesamiento. Mendocilla (2018) menciona que las condiciones previas a la cosecha, tales como clima, temperatura, intensidad de luz, tipo de suelo, composta, fertilización, aumentando concentración de dióxido de carbono en la atmósfera y aplicación de sustancias naturales pueden interferir en la concentración de los compuestos fenólicos.

Tabla 12  
*Contenido de fenoles totales en pulpa de tamarindo*

<b>Fenoles totales (mg EAG/100 g ms)</b>	<b>Referencias</b>
214.4 ± 1.8	Presente estudio
180.4 ± 0.21	Luanne <i>et al</i> (2011)
163.3 ± 0.04	Mendocilla (2018)
102.7 ± 0.02	Paez <i>et al</i> (2016)

#### **5.4 Contenido de fenoles totales en polvos de cáscara y semilla de pitaya**

La cuantificación de compuestos fenólicos totales en pitaya de mayo, mostró una concentración de 627.9 ± 10.0 mg EAG/100 g y 625.7 ± 2.3 mg EAG/100 g de muestra seca, en cáscara y semillas de pitaya amarilla, respectivamente.

En la literatura existen varios reportes sobre el contenido de fenoles totales en frutos de pitayas. Por ejemplo, Ayala et al., (2010) cuantificaron el contenido de fenoles totales y la capacidad antioxidante en tres variedades del fruto de la pitaya (*Stenocereus griseus*).

Entre las variedades estudiadas, reportaron la variedad amarilla con un contenido alto de fenoles totales,  $1704.85 \pm 3.82$  mg EAG/ 100 g base seca. La diferencia puede ser atribuida a que Ayala et al., (2010) utilizaron la técnica de maceración a las muestras con disolución de HCl al 2% en metanol para obtener los extractos.

En otro estudio, Beltrán-Orozco et al, (2009) evaluaron el contenido fenólico en la especie *Stenocereus Stellatus Riccobono* en cuatro variedades, roja, cereza, amarilla y blanca, reportando en la variedad amarilla una concentración de  $2129.1 \pm 5.5$  mg EAG/100 g muestra seca. Estos reportes indican que el contenido de fenoles totales en la variedad *Stenocereus Stellatus Riccobono* es mayor a la variedad *Stenocereus griseus*.

Por otra parte, Balderas et al (2016), trabajaron con la especie *Stenocereus pruinosus*, en donde cuantificaron los compuestos fenólicos presentes en la pulpa de la pitaya. Balderas et al, (2016) reportan en su investigación una concentración de  $1294.49 \pm 0.04$  mg EAG/100 muestra seca de compuestos fenólicos.

En general los resultados reportados por los autores citados anteriormente son mayores al resultado obtenido en el presente trabajo (Tabla 13), debido a la variedad del fruto, método de extracción y a que en algunos estudios determinaron la concentración de fenoles totales en pulpa con semillas, a diferencia del presente estudio en el cual se determinó de manera independiente. Con respecto al contenido fenólico en polvos de semilla de pitaya amarilla actualmente no se encuentran reportes sobre la cuantificación de fenoles totales en semilla de pitaya.

Tabla 13

Contenido de compuestos fenólicos presentes en distintas especies de pitaya amarilla.

Nombre científico	Partes estudiadas	Fenoles totales (mg EAG/100g ms)	Referencia
<i>S. griseus</i>	Cáscara	627.9 ± 10.0	Presente estudio
	Semilla	625.7 ± 2.3	
<i>S. griseus</i>	Pulpa	1704.8 ± 3.8	Ayala et al (2010)
<i>S. riccobono</i>	Pulpa	2129.1 ± 5.5	Beltrán et al (2009)
<i>S. pruinosa</i>	Pulpa	1294.5 ± 0.5	Balderas et al (2016)

### 5.5 Actividad antirradicalar frente al radical DPPH en el formulado y polvos de pitaya amarilla y tamarindo

Los resultados de la actividad antirradicalar en las muestras mostraron que los polvos de semilla de pitaya contienen mayor actividad antirradicalar en comparación con los polvos de cáscara de pitaya y tamarindo, como se muestra en la Tabla 14. La evaluación de la capacidad antioxidante de los polvos para reducir el 50% del radical DPPH, abreviaba con IC<sub>50</sub>, indicó que en el caso de los polvos de semilla de pitaya se requieren 0.153 mg de semilla seca para inhibir el 50 % del radical DPPH, mientras que en los polvos de cáscara de pitaya 7.47 mg de muestra seca para reducir el 50 % del radical DPPH, en cambio con los polvos de tamarindo se necesitan 2.98 mg de muestra seca. Los resultados indican que los polvos de semilla de pitaya de mayo presentan mayor capacidad antirradicalar con respecto a los polvos de cáscara de pitaya y pulpa de tamarindo.

Por otro lado, el formulado previamente homogenizado de forma manual, presentó un contenido de fenoles totales de 1885.20 ± 14.74 mg EAG/100g muestra seca. De acuerdo a la capacidad antirradicalar DPPH, los polvos de semillas es la materia prima principal que aporta mayor contenido de fenoles totales. Este resultado es mayor a lo encontrado en la muestra

comercial TANG<sup>TM</sup>, en la cual se encontró una cantidad de  $1781.62 \pm 8.33$  mg EAG/100 g muestra seca.

En el caso de la actividad antirradicalar de las dos muestras se observó lo contrario, ya que para la muestra comercial de acuerdo a su contenido de fenoles totales se requieren 0.51  $\mu\text{g/mL}$  de muestra seca para inhibir el 50 % de radical DPPH en comparación con el formulado estudiado con este se necesitan 2.42  $\mu\text{g/mL}$  de muestra seca para lograr la inhibición del radical DPPH, esto quiere decir que la muestra comercial tiene mayor poder antioxidante que la muestra estudiada, esta característica se puede atribuir a los ingredientes que constituyen a la muestra comercial, específicamente compuestos fenólicos. Los resultados de la muestra mezclada son similares a los polvos de pulpa de tamarindo ya que en ambos casos se requiere de al menos 2  $\mu\text{g/mL}$  de muestras secas.

Tabla 14  
*Actividad antirradicalar frente al radical DPPH en las muestras estudiadas.*

Compuesto	Valores del IC <sub>50</sub> ( $\mu\text{g/mL}$ )
Cáscara <sup>a</sup>	$7.47 \pm 0.26$
Semilla <sup>a</sup>	$0.15 \pm 0.001$
Pulpa de tamarindo <sup>a</sup>	$2.98 \pm 0.05$
Formulado <sup>a</sup>	$2.42 \pm 0.03$
Muestra comercial <sup>a</sup>	$0.51 \pm 0.003$
Ácido gálico <sup>c</sup>	$1.75 \pm 0.06$
Ácido ascórbico <sup>c</sup>	$3.44 \pm 0.06$
BHT <sup>c</sup>	$20.57 \pm 0.07$

<sup>a</sup>Muestras estudiadas. <sup>c</sup>Controles de las muestras.

## 5.6 Obtención de amilosa y amilopectina a partir de almidón comercial de arroz

### Obtención de almidón desengrasado

Una vez que el almidón comercial de arroz “Tres Estrellas” fue diluido con etanol al 90%, filtrado a vacío y haber sometido a una serie de lavados con el mismo solvente y secado en estufa; se obtuvo 4.9844 g de almidón desengrasado (Tabla 15), el cual fue utilizado para obtener amilosa y amilopectina.

Tabla 15

*Almidón desengrasado obtenido a partir de almidón de arroz comercial.*

Peso inicial de almidón (g)	Peso del papel filtro (g)	Peso final de almidón desengrasado+ peso del papel filtro (g)	Peso del almidón desengrasado (g)	% de grasa retirada del almidón
5	0.340	5.32	4.98	0.016

### Obtención de amilopectina y amilosa

La obtención de amilopectina y amilosa se obtuvo a partir del almidón de arroz “Tres estrellas” desengrasado diluyendo en butanol para poder separar ambos polímeros. En la tabla 16 se muestra la cantidad de amilosa y amilopectina obtenida; en el cual se obtuvo mayor cantidad de amilopectina con respecto a la amilosa, 23.56 y 0.085 g, respectivamente.

Los resultados encontrados en el presente estudio difieren con lo reportado por Rodríguez (2015), quien encontró un porcentaje de amilosa del 21.4%, al estudiar el potencial agroalimentario del almidón de arroz en tres variedades, y con lo reportado por Martínez et al., (2017) quienes encontraron 21.6% de amilosa en el almidón de arroz.

Estos datos reportados son diferentes a los resultados en el presente estudio ya que

estos autores determinaron la concentración de amilosa por el método colorimétrico mediante un espectrómetro (marca GENESYS). Ambos autores estimaron la cantidad de amilosa a partir de la curva estándar y por diferencia determinaron la cantidad de amilopectina, expresados en porcentaje.

Tabla 16  
*Cantidad de amilopectina y amilosa obtenida*

Muestra	Peso final (g)
Amilopectina	23.56
Amilosa	0.085

### **5.7 Inhibición de los extractos en presencia de la $\alpha$ -amilasa**

En la Tabla 17 se presentan los resultados del porcentaje de inhibición de la enzima  $\alpha$ -amilasa sobre el formulado: polvos de cáscara de pitaya y semilla junto con polvos de pulpa de tamarindo. La prueba de inhibición reveló que a una concentración de 2.5 mg de muestra/mL se alcanza un porcentaje de inhibición del 79.47%, en cambio con el producto comercial de tamarindo TANG<sup>TM</sup> a una concentración de 5 mg de muestra/mL se alcanza apenas un porcentaje de inhibición del 67%.

La relación de la concentración del extracto evaluado respecto al % de inhibición de la amilosa para la muestra mezclada y muestra comercial presentaron un comportamiento logarítmico y con un % de inhibición máximo de acuerdo con lo descrito en la Tabla 17. Mientras que los resultados obtenidos del porcentaje de inhibición de acarbosa grado reactivo fueron 23, 24, 21, 12 y 5% de inhibición, a concentraciones de 150, 100, 50, 10 y 1  $\mu$ g de muestra/mL respectivamente, observando que el mayor porcentaje de inhibición de acarbosa se obtuvo a una concentración de 100  $\mu$ g de muestra/mL, 24 % de inhibición.

Por otro lado, en este estudio con base a los datos obtenidos, se demuestra que la muestra

mezclada estudiada presenta mayor porcentaje de inhibición en comparación con la muestra de tamarindo comercializada TANG<sup>TM</sup>. En el apéndice 14 se presentan las curvas de calibración de los extractos junto con la acarbosa.

Tabla 17  
*Porcentaje de inhibición máxima en presencia de  $\alpha$ -amilasa*

Muestra estudiada	% de inhibición	Referencia
Acarbosa	24.00 %	Presente estudio
Formulado	79.47 %	Presente estudio
Muestra comercial	67.00 %	Presente estudio

En general en este estudio se encontró que el formulado en polvo constituido de 0.43 g de cáscara de pitaya, 0.14 g de semilla de pitaya y 0.43 g de tamarindo, presentó un contenido de fenoles totales alto, así como un mayor porcentaje de inhibición antidiabética en comparación con el producto en polvo comercializado TANG. Mientras que en el caso de la actividad antirradicalar ocurre lo contrario, el producto comercial tiene mayor capacidad antioxidante quedando por debajo el producto bajo estudio, tal como se muestra en la Tabla 18.

Tabla 18  
*Resultados finales del producto en polvo estudiado vs producto en polvo comercializado.*

Producto	Fenoles totales mg EAG/100 g de ms	Actividad antirradicalar mg ms para inhibir el 50 % de DPPH	% inhibición máxima de $\alpha$ -amilasa
Estudiado	1885.20 $\pm$ 14.74	2.42 $\pm$ 0.03	79.47
Comercializado	1781.62 $\pm$ 8.33	0.51 $\pm$ 0.003	67.11



Producto  
estudiado

VS



Producto  
comercial

*Figura 7.* Formulado a base de mezclas de polvos de pulpa de tamarindo, cáscara y semilla de pitaya *versus* formulado comercial.

## 6. CONCLUSIONES

El uso del coadyuvante (maltodextrina) en relación 1:1 permitió la obtención del polvo de la pulpa de tamarindo, se encontró que el proceso de secado es lento en la pulpa de tamarindo en comparación con la cáscara y semilla de pitaya, debido a que el tamarindo en su mayoría está constituido por agua ligada.

La determinación de fenoles totales indicó que el formulado a base de polvos de pulpa de tamarindo, cáscara y semilla de pitaya amarilla, posee una cantidad alta de compuestos fenólicos ( $1885.20 \pm 14.74$  mg EAG/100 g de ms) y presenta mayor porcentaje de inhibición de la enzima  $\alpha$ -amilasa (79.47%); sin embargo, se encontró que la actividad antirradicalar frente al DPPH es menor ( $2.42 \pm 0.03$   $\mu$ g de ms/mL) con respecto al formulado comercial TANG<sup>TM</sup> ( $0.51 \pm 0.003$   $\mu$ g de ms/mL).

Los resultados de la inhibición de la enzima  $\alpha$ -amilasa en el formulado en polvo bajo estudio, indican que tiene mayor potencial sobre actividad antidiabética respecto a la acarbosa, utilizada como control positivo.

## 6. PERSPECTIVAS

En futuros estudios se deberá realizar la cuantificación de los pigmentos presentes en las semillas y cáscara de pitayas. Así como la selección de otro tipo de coadyuvante para la pulpa de tamarindo, debido a que la maltodextrina, empleada en el presente estudio, puede interferir en las pruebas de inhibición de la  $\alpha$ -amilasa.

También se deberán realizar pruebas de estabilidad del producto en polvo empleando técnicas de oxidación acelerada de los formulados.

Es importante aplicar otras pruebas para evaluar la actividad antioxidante, tal como el poder reductor férrico (FRAP) y poder quelante para complementar los estudios realizados en el presente estudio. Esto tiene como finalidad detectar mecanismos de inhibición de especies promotoras de radicales libres.

## 8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, D., Tirado. D., Guzmán. L. (2013). Deshidratación de pulpa de tamarindo (*Tamarindus indica L.*): influencia de la temperatura y la concentración. Artículo científico.
- Acosta S. R. (200). Potencial productivo y comercial de la pitaya de mayo *Stenocereus griseus* en la Mixteca baja. (Tesis de licenciatura) Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México.
- Alba, E. (2014). Betalaínas, polifenoles y actividad antioxidante en pitaya (*griseus*). Universidad Veracruzana, Mexico.
- Altamirano, S. (2013). Desarrollo de una bebida funcional elaborada a base de extracto de muicle Tesis programa educativo en Ingeniería de Alimentos. Universidad Veracruzana, Xalapa-Mexico.
- Arnould Vera, P., García Bautista, B. (1997). Agroindustria de algunos frutos cactáceas. Revista mexicana.
- Ayala Camarillo, K.C., Gallardo Velázquez, T. (2010). Determinación del contenido de fenoles totales y de la capacidad antioxidante de tres especies del fruto de la pitaya (*Stenocereus griseus H.*). (Tesis de licenciatura). Instituto politécnico nacional, Hidalgo, Mexico.
- Balderas G., Palafox L., Castro A., Saucedo V. (2016). Evaluación de las propiedades físicas y calidad organoléptica y nutrición de frutos de pitaya (*Stenocereus griseus*). Revista iberoamericana de ciencias.
- Beltrán Orozco, N.C., Gallardo Velázquez, T., Osorio Rivera G. (2009). Ácido ascórbico, contenido fenólico y capacidad antioxidante de las variedades roja, cereza, amarilla y blanca del cactus de la pitaya. Artículo científico.
- Bravo Hernández, H., Sánchez Martínez, H. (1978). Las cactáceas de México Vol. 1 Ed. Universidad Nacional Autónoma de México.

FAO (1991) Guía para la manipulación del tamarindo. Capítulo 8. Tratamiento previo de la semilla.

Disponible en línea: <http://www.fao.org/docrep/006/ad232s/ad232s10.htm>

García Cruz, L., Salinas Moreno, Y., Valle Guadarrama, S. (2012). Betalaínas, compuestos fenólicos y actividad antioxidante en pitaya de mayo (*Stenocereus griseus H.*) Revista fitotecnia mexicana.

Han, Hye M., Jun H. Chon, Hang W. Kang, and Bong K. Koh. (2012). “Rice Varieties in Relation to Rice Bread Quality” *Journal of the Science of Food and Agriculture*. <https://doi.org/10.1001/jsfa.4727>.

Hasan Sánchez M. (1992). Deshidratación de pulpa de tamarindo (*Tamarindus indica. L*) Artículo científico.

Jiménez Duran. A. (2015). Deshidratado de rebanadas de mango Tommy Atkins utilizando extractos de su semilla y metabisulfito de sodio como pretratamientos (Tesis de maestría). Huajuapán de León, Oaxaca, México.

Juliano, Bienvenido O. (1971). “A Simplified Assay for Milled-Rice Amylose” *Cereal Science Today*. Artículo científico.

Julián Loaeza, A. P., Santos Sánchez, N. F., Valadez Blanco, R., Sánchez Guzmán, B. S., Salas Coronado, R. (2011). Chemical composition, color, and antioxidant activity of three Varieties of *Annona diversifolia* Safford fruits. *Industrial Crops and Productus*.

Lemos, Paulo Vitor Franca, Leandro Santos Barbosa, Ingrid Graca Ramos, Rodrigo Estevam Coelho, and Janice Izabel Druzian. (2019). “Characterization of Amylose and Amylopectin

Fractions Separated from Potato, Banana, Corn, and Cassava Starches.” International Journal of Biological Macromolecules 132: 32-42.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.086>.

Luanne Morais, V., Bezerra Sousa, M., Mancini Filho. J. (2011). Fenólicos totais e capacidad antioxidante in vitro de polpas de frutas tropicais. Revista brasileira.

Martínez-Cárdenas M.L, (1993). Germination studies on *Stenocereus griseus* and *Escontria chiotilla*. Acta horticulturae. Artículo científico.

Mendocilla Rodríguez, C.V. (2018). Contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante del Tamarindus indica “tamarindo”. (Tesis de licenciatura). Universidad Cesar Vallejo. Xalapa. Mexico.

Ordaz Díaz, E. (2017). Actividad antioxidante, antifúngica y caracterización de metabolitos de la semilla de annona purpurea. (Tesis de maestría). Universidad Chapingo. Mexico.

Ortiz, A. d. (2009). Características generales de la pitaya (*Stenocereus grises*). (Tesis licenciatura). Universidad autónoma agraria. Nayarit, Mexico.

Parrotta, J.A. (1990). Tamarindus indica L. Tamarind. SO-ITF-SM-30. New Orleans, LA: Us Department of Agriculture, Forest Servicie, Southern Forest Experiment Station.

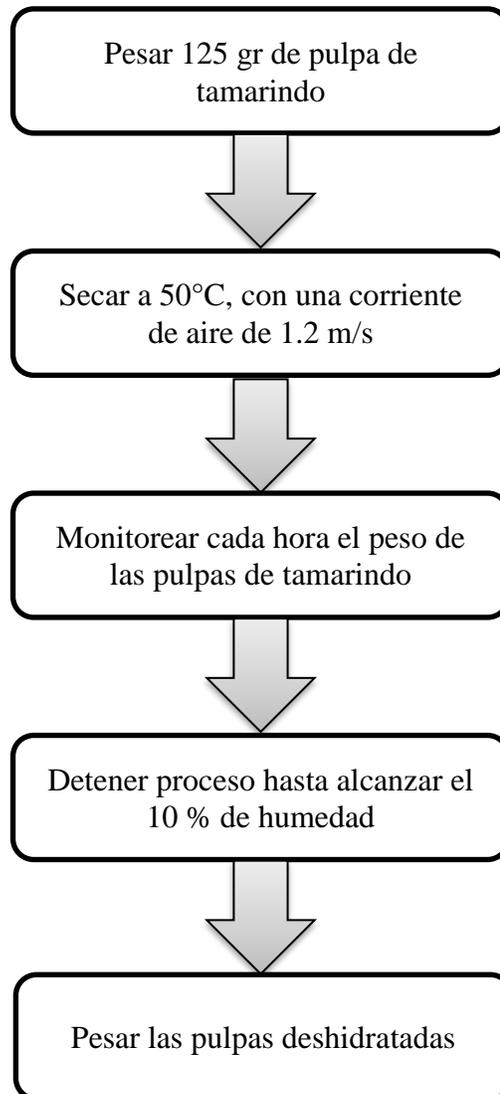
Paez Peñuñeri, M.E., Blancas Benítez, F.J., Villegas Gonzales, R.B., Sayardo Ayerdi, S.G. (2016). Compuestos bioactivos y propiedades saludables del tamarindo (Tamarindus indica L.). Revista de ciencias biológicas y de la salud.

Pérez Hernández, F. (2016). Establecimiento de cultivo in vitro de Tamarindus indica l. para la obtención de antioxidantes. (Tesis licenciatura). Universidad autónoma del estado de México. México.

- Quezada, T. (2014). Elaboración de una bebida funcional tipo “Refrescante “a base de linaza saborizada con piña: Estudio de vida útil y aporte nutricional de la formulación. Tesis para optar el título de ingeniero en alimentos. Universidad técnica de Machala-Ecuador. Machala-Ecuador.
- Rodríguez Torres, D. (2015). Potencial agroalimentario del almidón de arroz de tres variedades cultivadas. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Mexico
- Santos Sánchez, N. F., Valadez Blanco, R., Gómez Gómez, M. S., Pérez Herrera, A., & Salas Coronado, R. (2012). Effect of rotating tray drying on antioxidant components, color and rehydration ratio of tomato saladette slices. *LWT - Food Science and Technology*, 298-304. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.09.015>
- Sánchez Trujano, J. (2006). Aclareo de frutas de pitaya (*Stenocereus griseus*) En la región mixteca baja oaxaqueña (Tesis de maestría). Universidad Veracruzana. Xalapa, Mexico.
- Saavedra Montenegro, M. L (2016). Extracción y caracterización del aceite esencial de las semillas de Tamarindo (*Tamarindus indica*). (Tesis de licenciatura). Universidad Politécnico Nacional. Hidalgo, Mexico.
- Vega Callejas, D. M. (2016). Determinación de capacidad antioxidante de la fracción 1-4 de extracto metanolito del fruto de pitaya (*Stenocereus griseus*). (Tesis de maestría). Universidad de Nayarit. Nayarit, Mexico.
- Ventura Cruz H. P., (2001). Caracterización del fruto en cuatro tipos de pitaya (*Stenocereus stellatus Riccobono*). (Tesis de Maestría). Colegio de Posgraduados, Chapingo, México.

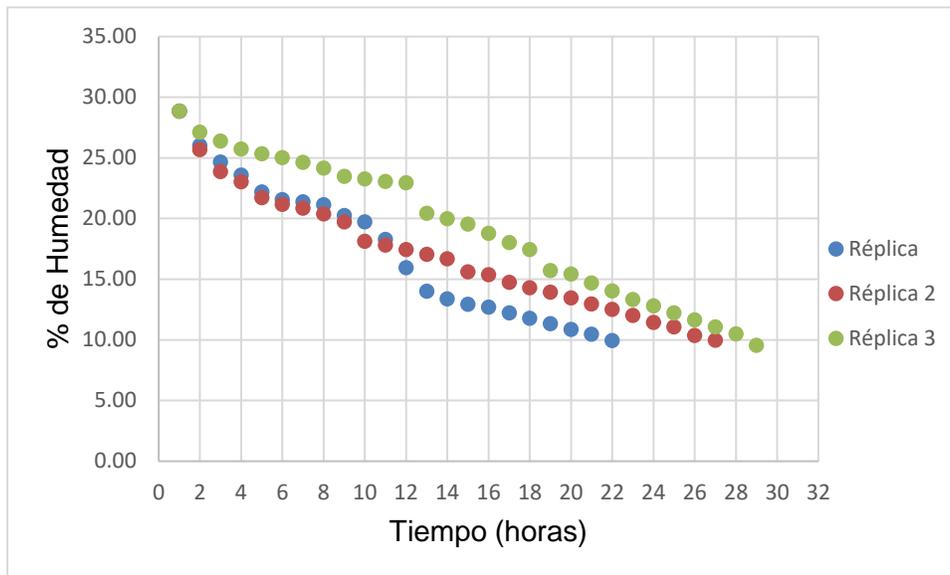
## 9 APÉNDICES

**Apéndice 1.** Diagrama de proceso para la deshidratación de pulpa de tamarindo

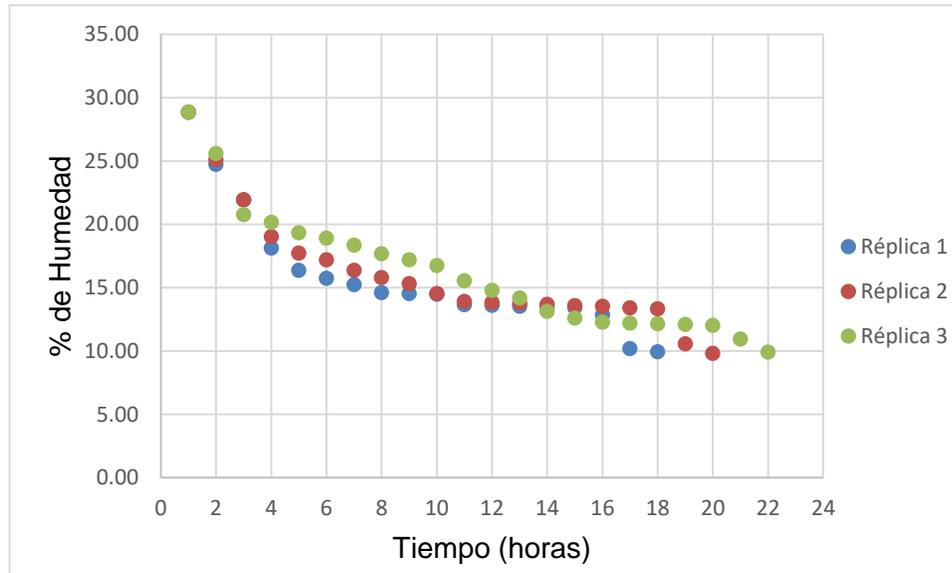


## Apéndice 2. Curvas de secado de la pulpa de tamarindo

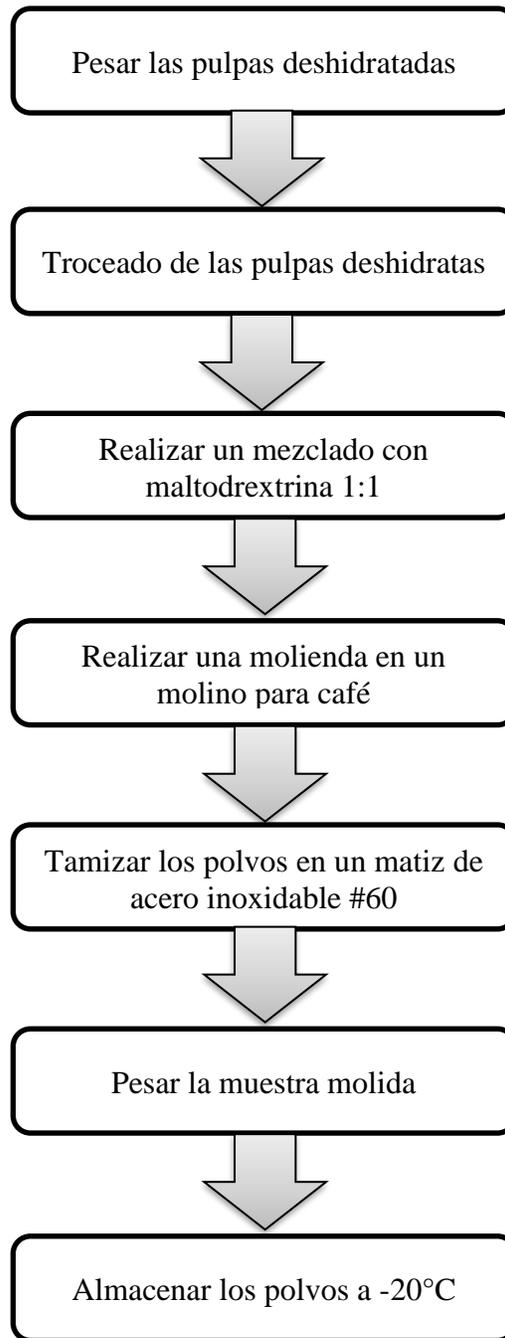
### Curva de secado de la deshidratación del lote 1



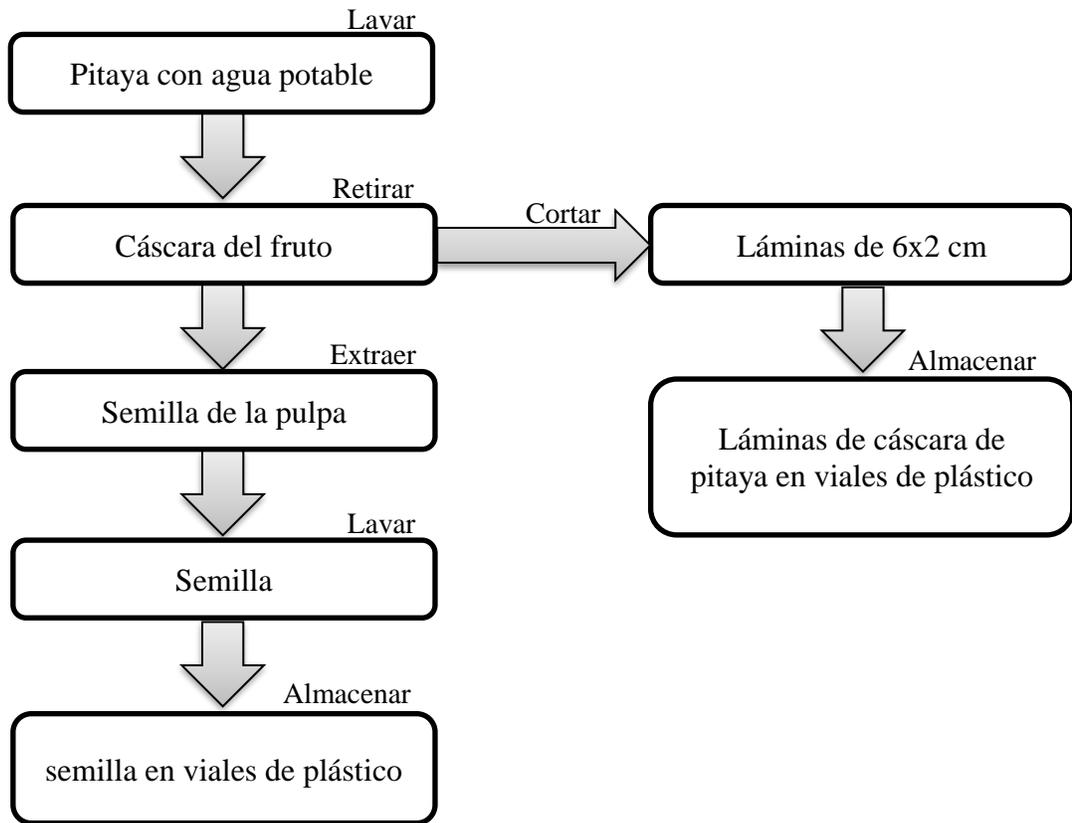
### Curva de secado de la deshidratación del lote 2



**Apéndice 3.** Obtención de polvos de pulpa de tamarindo deshidratado

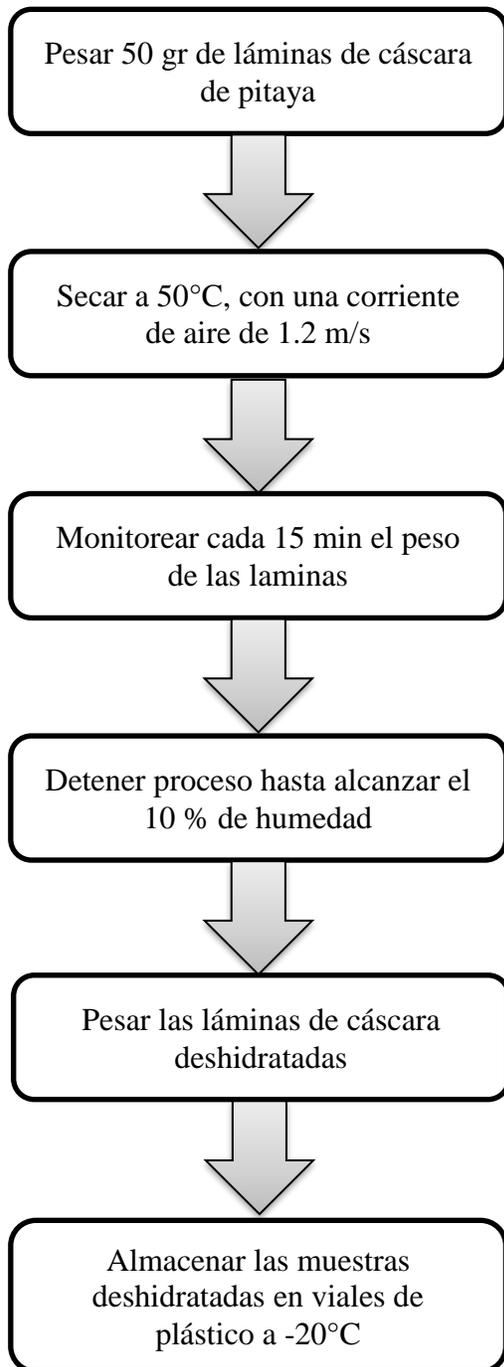


**Apéndice 4.** Diagrama para la obtención de la cascara y semilla de pitaya

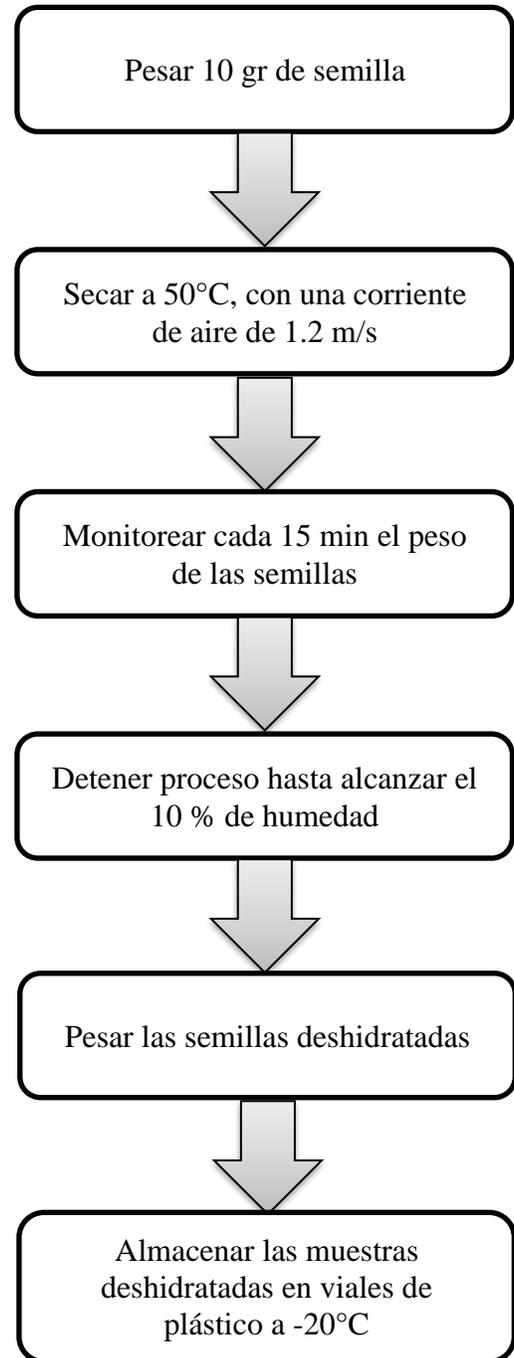


**Apéndice 5.** Diagrama de proceso de deshidratación

Cáscara de pitaya

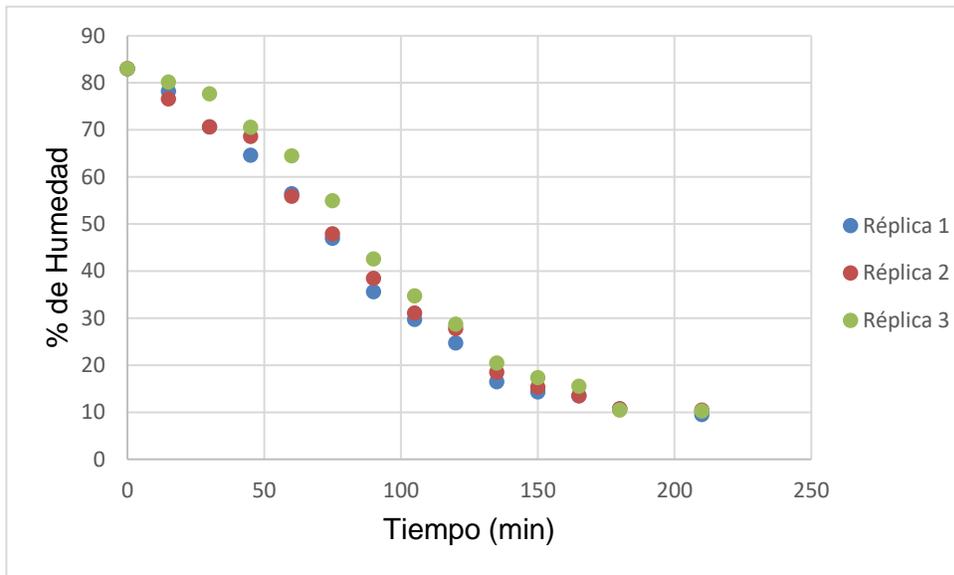


Semilla de pitaya

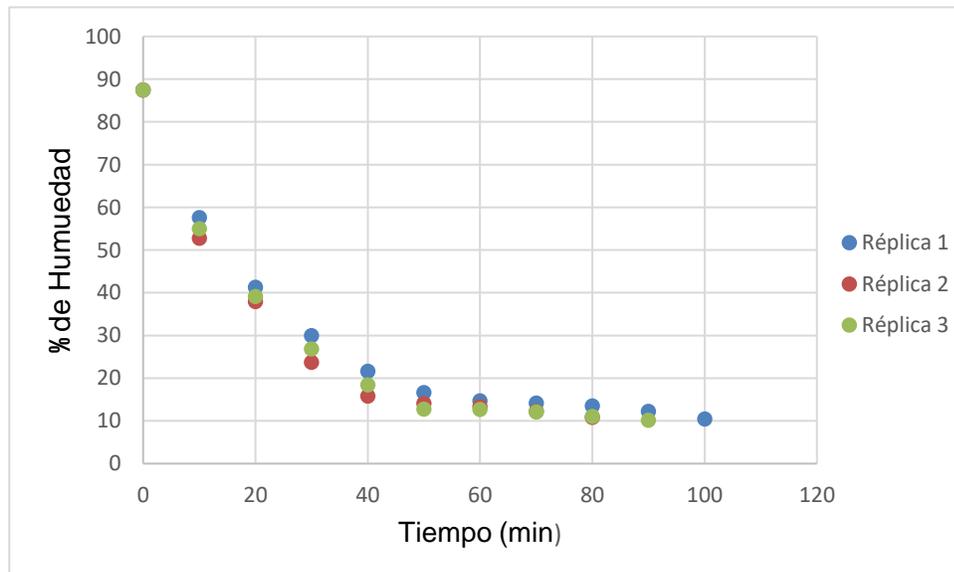


## Apéndice 6. Curvas de secado de cáscara y semilla de pitaya

### Curva de deshidratación de la cáscara

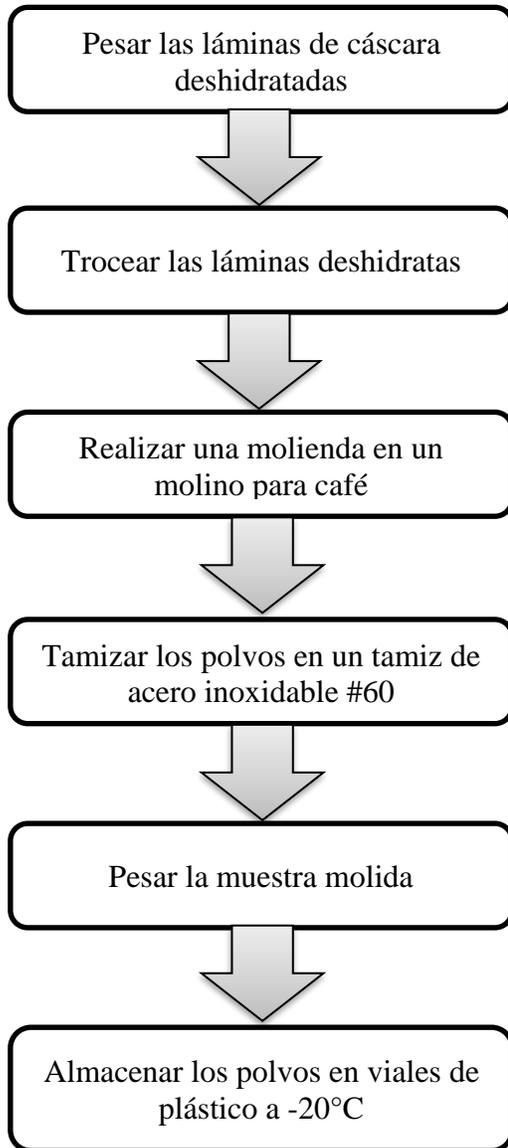


### Curva de deshidratación de la semilla

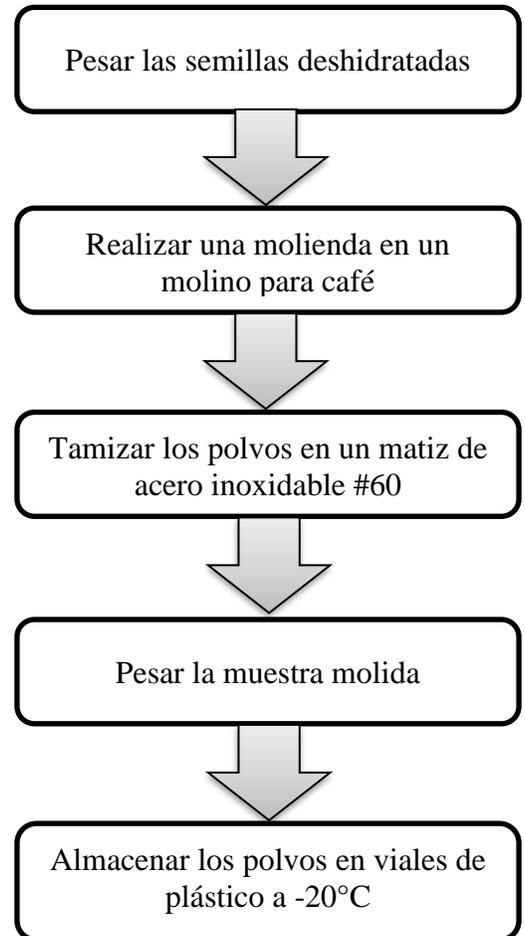


## Apéndice 7. Obtención de polvos

### Polvos de cáscara



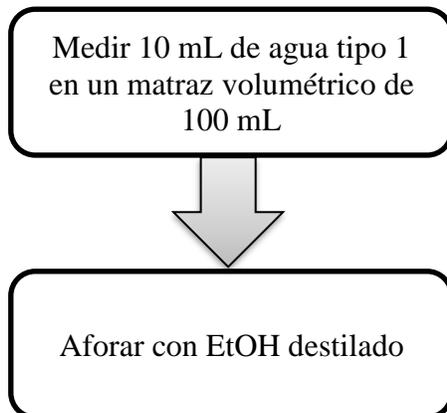
### Polvos de semilla



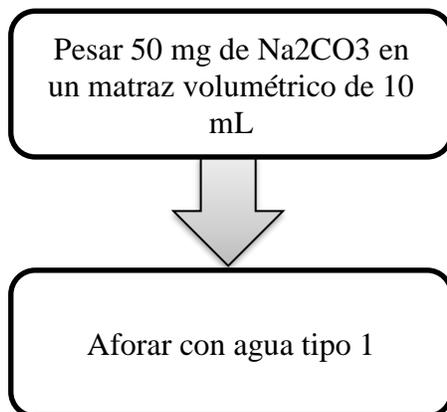
**Apéndice 8.** Determinación de Fenoles totales.

Preparación de soluciones:

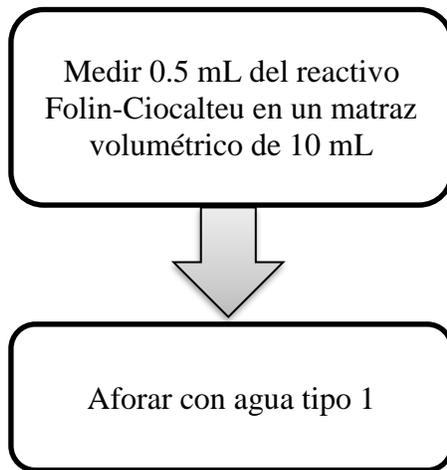
**EtOH acuoso al 90%**



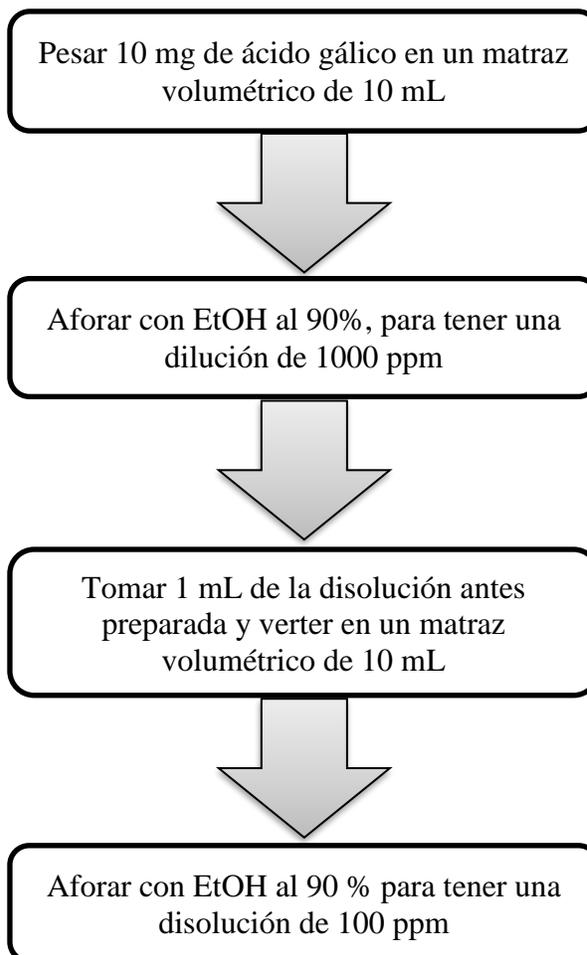
**Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> al 0.5%**



**Reactivo de Folin-Ciocalteu 0.1 M**



## Disolución de Ácido Gálico 100 ppm

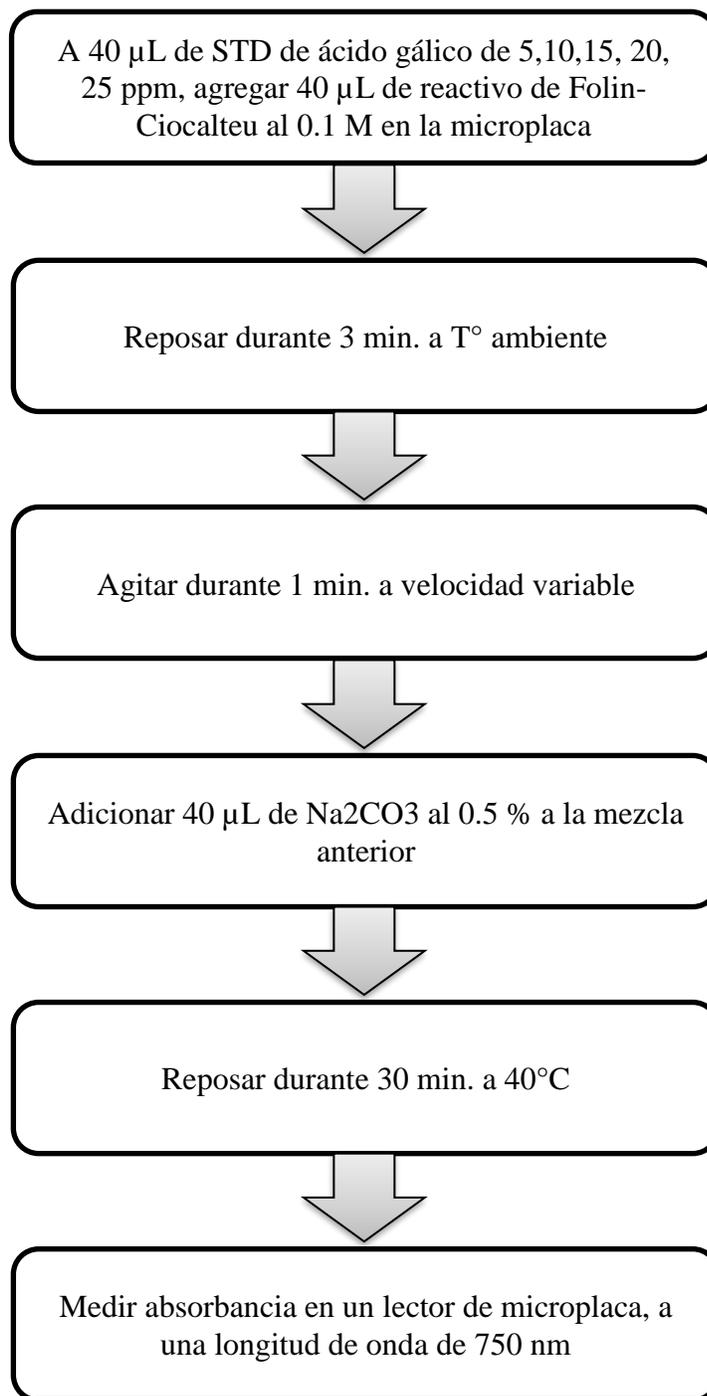


- A partir de la disolución de 100 ppm de ácido gálico, se preparan los estándares para realizar la curva de calibración.

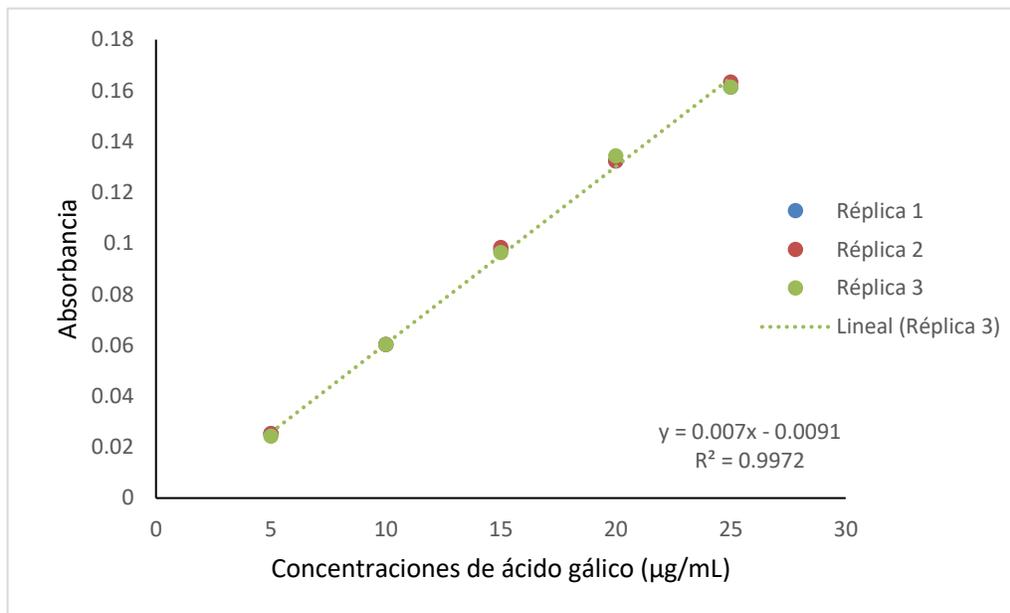
### Preparación de estándares de ácido gálico.

Concentración de Ácido gálico(ppm)	Cantidad de EtOH 90 % (mL)	Cantidad de ácido gálico 100 ppm (mL)	Volumen total (mL)
10	9.0	1.0	10
15	8.5	1.5	10
20	8.0	2.0	10
25	7.5	2.5	10

Cuantificación de fenoles totales.



Curva de calibración de ácido gálico para el ensayo de FT con el reactivo de Folin- Ciocalteu.



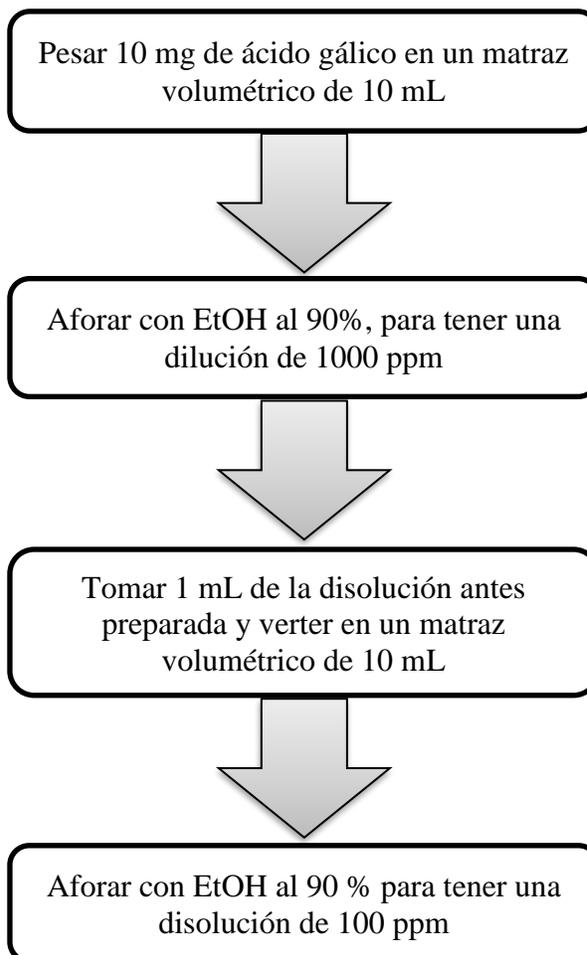
## Apéndice 9. Actividad antirradicalar

Preparación de soluciones:

### DPPH al 0.004 %



## Disolución de Ácido Gálico 100 ppm

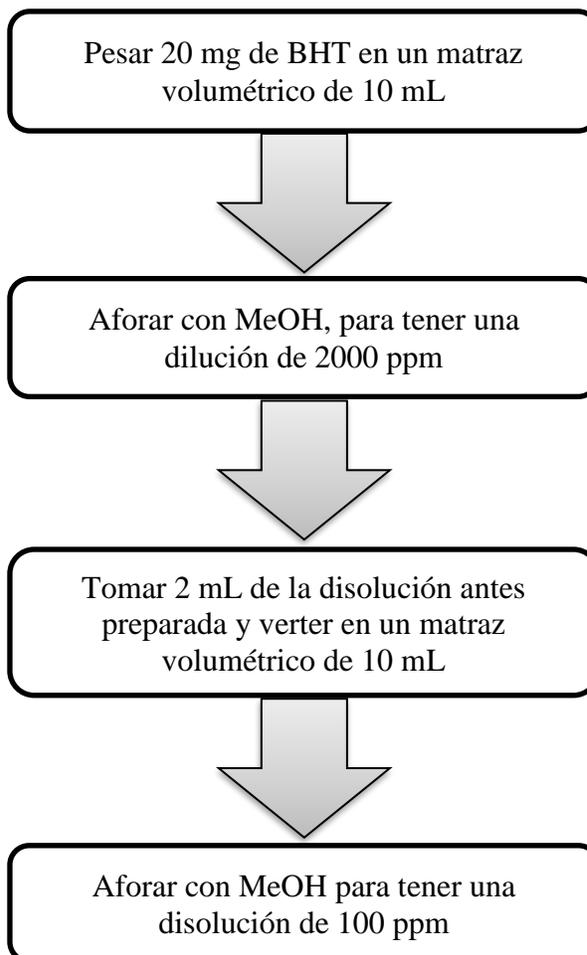


A partir de la disolución de 100 ppm de ácido gálico, se preparan los estándares para realizar la curva de calibración.

### Preparación de estándares de ácido gálico.

Concentración de Ácido gálico (ppm)	Cantidad de ácido gálico 100 ppm (mL)	Cantidad de EtOH 90 % (mL)	Volumen total (mL)
0.5	0.050	9.95	10
1.0	0.100	9.90	10
1.5	0.150	9.85	10
2.0	0.200	9.80	10
2.5	0.250	9.75	10

## Disolución de BHT 200 ppm

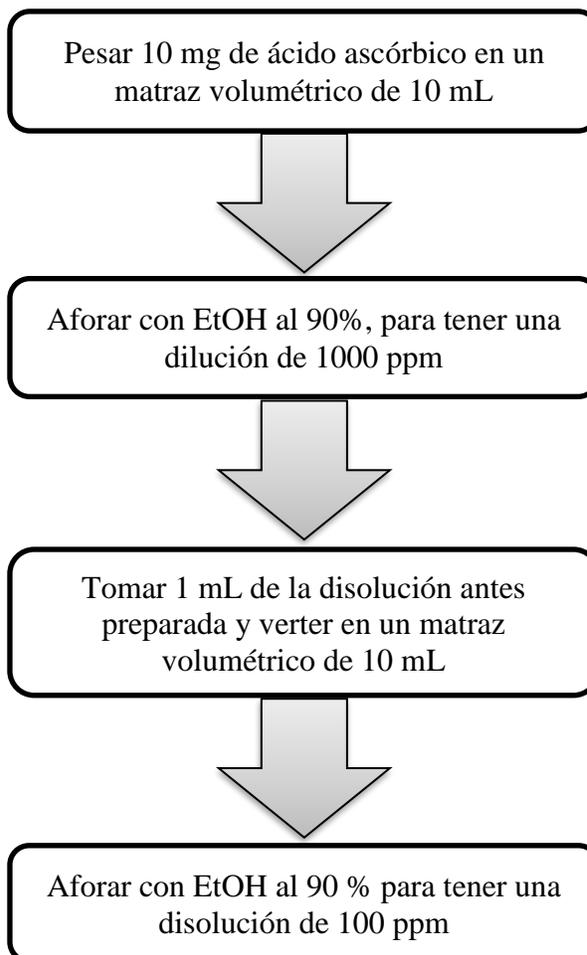


- A partir de la disolución de 200 ppm de BHT, se preparan los estándares para realizar la curva de calibración.

### Preparación de estándares de BHT.

Concentración de BHT (ppm)	Cantidad de BHT 200 ppm (mL)	Cantidad de MeOH (mL)	Volumen total (mL)
15	0.750	9.25	10
20	1000	9.00	10
25	1250	8.75	10
30	1500	8.50	10
35	1750	0.25	10

## Disolución de Ácido ascórbico 100 ppm

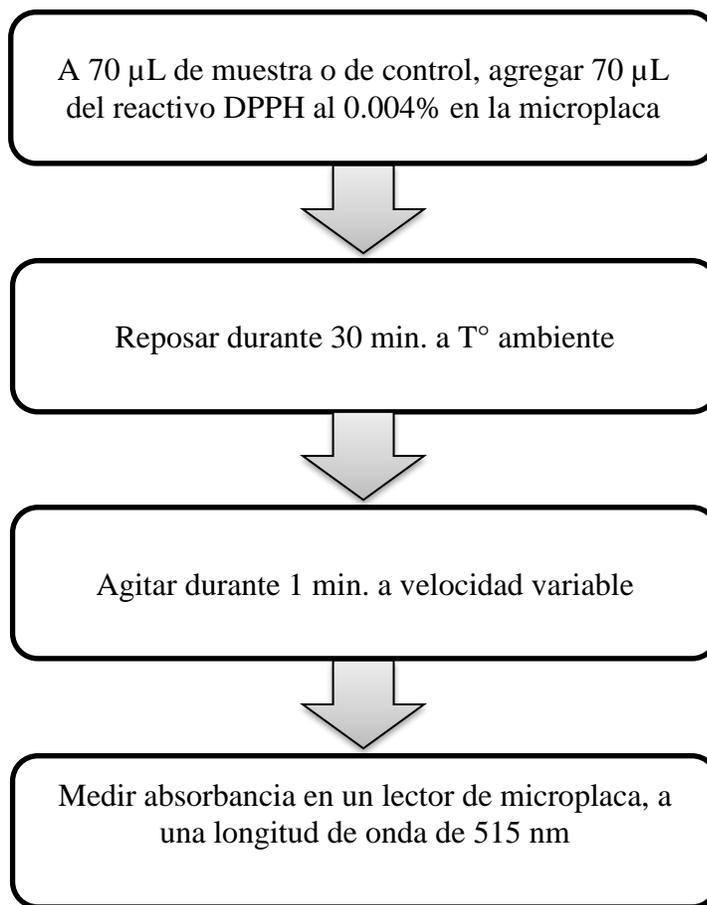


A partir de la disolución de 100 ppm de ácido ascórbico, se preparan los estándares para realizar la curva de calibración.

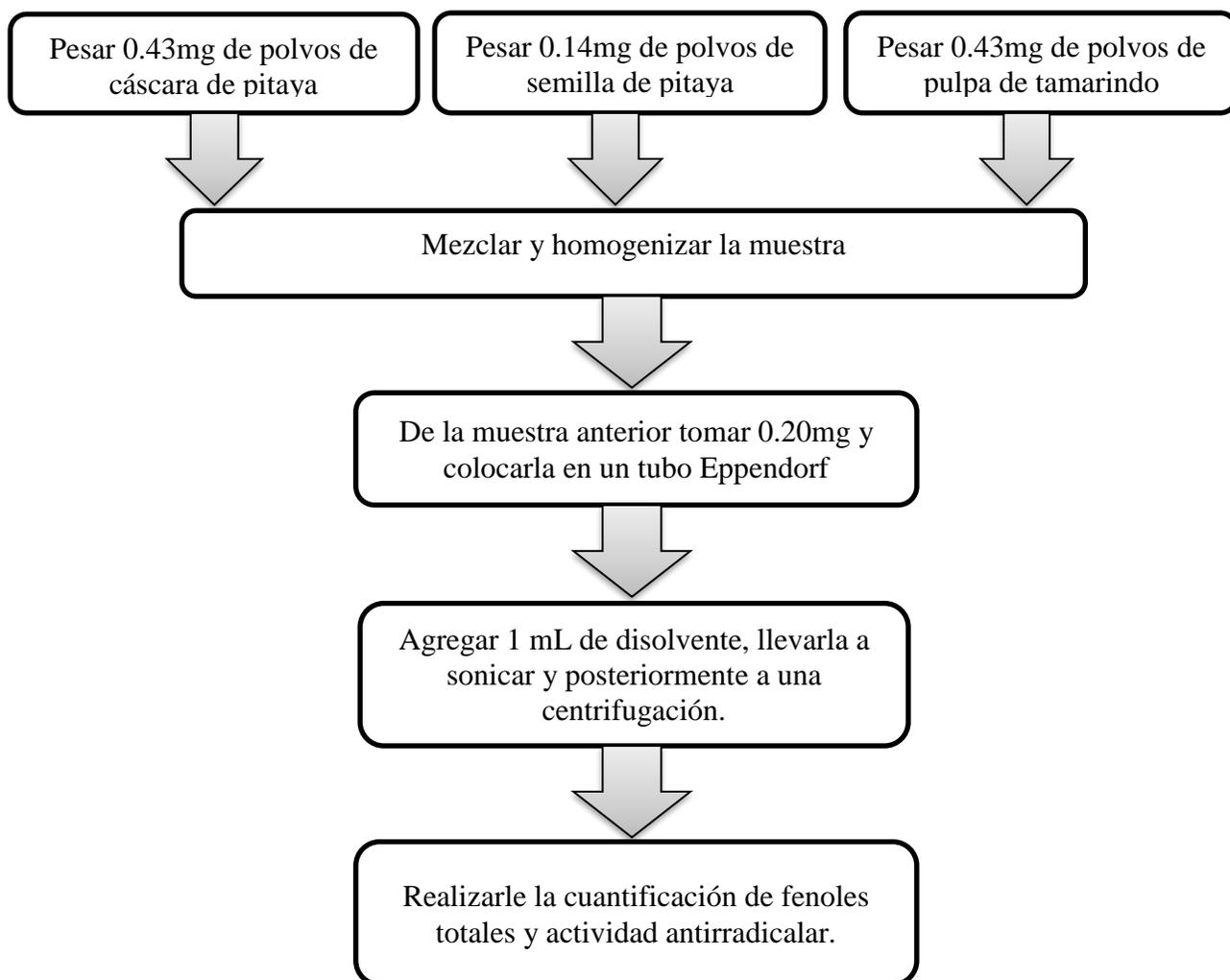
### Preparación de estándares de ácido ascórbico

Concentración de Ácido ascórbico(ppm)	Cantidad de ácido ascórbico 100 ppm (mL)	Cantidad de EtOH 90 % (mL)	Volumen total (mL)
1	0.100	9.9	10
2	0.200	9.8	10
3	0.300	9.7	10
4	0.400	9.6	10
5	0.500	9.5	10

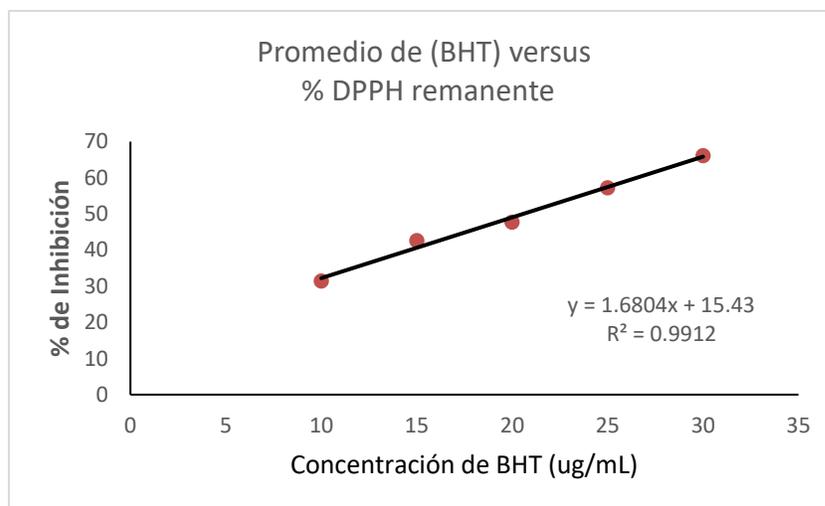
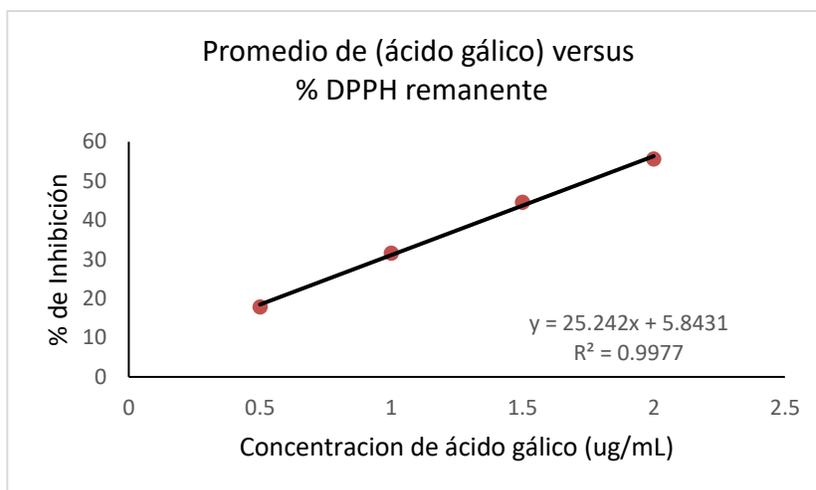
### Cuantificación de actividad antirradicalar.

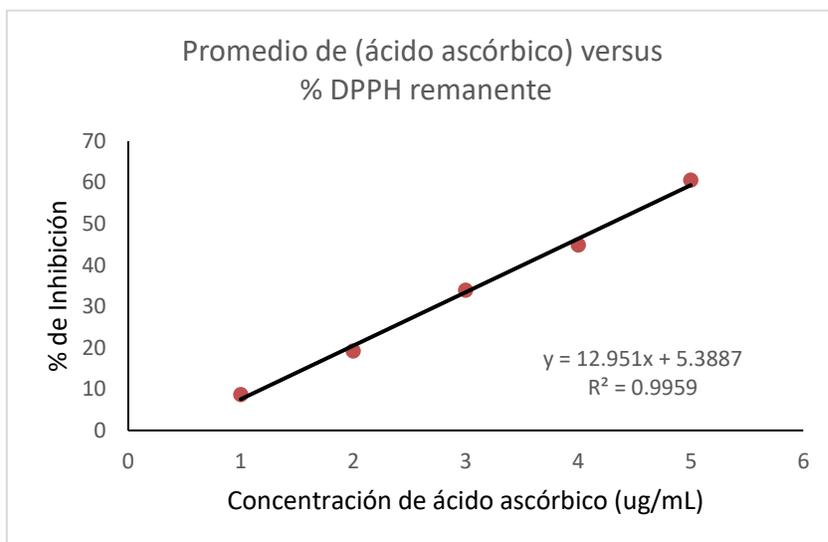


**Apéndice 10.** Establecimiento de la mezcla de polvos.

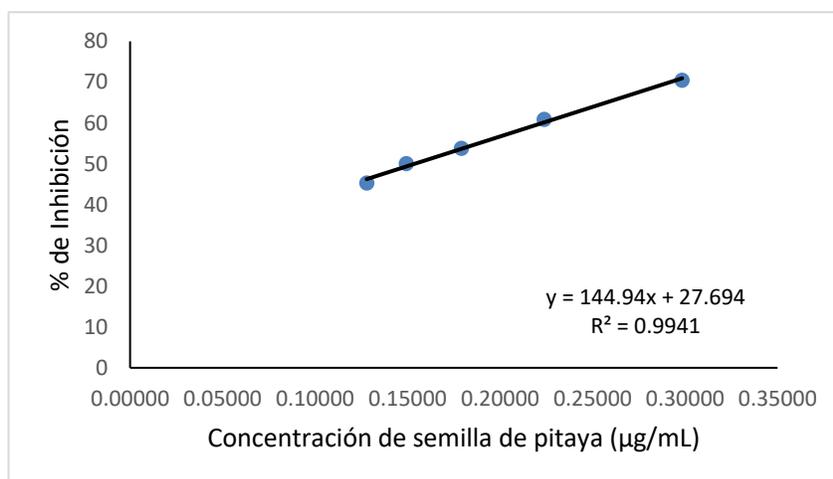
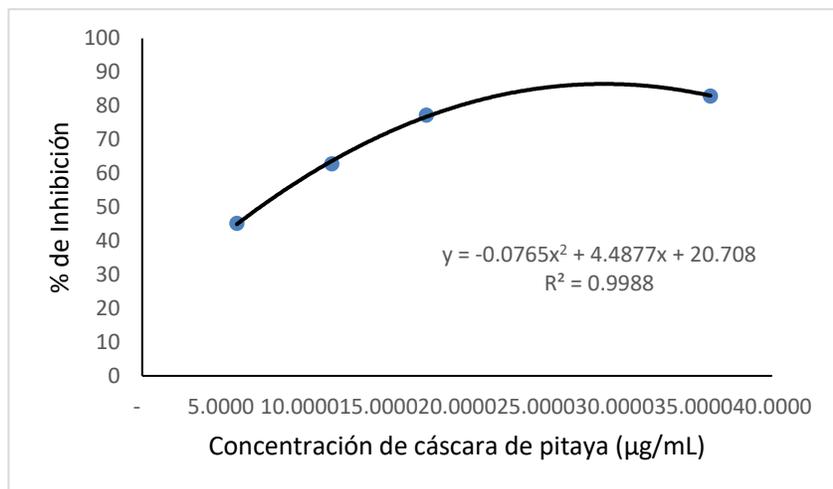


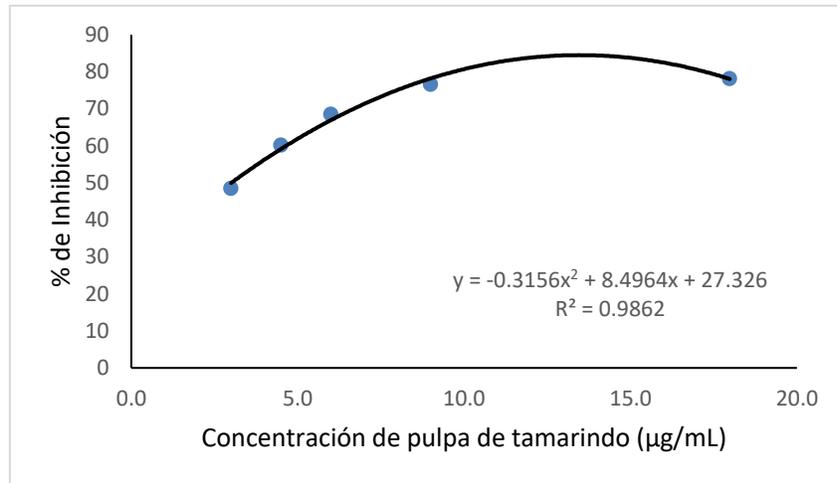
**Apéndice 11.** Curvas para el cálculo del IC50 por el ensayo de DPPH de los controles ácido gálico, bht y ácido ascórbico.



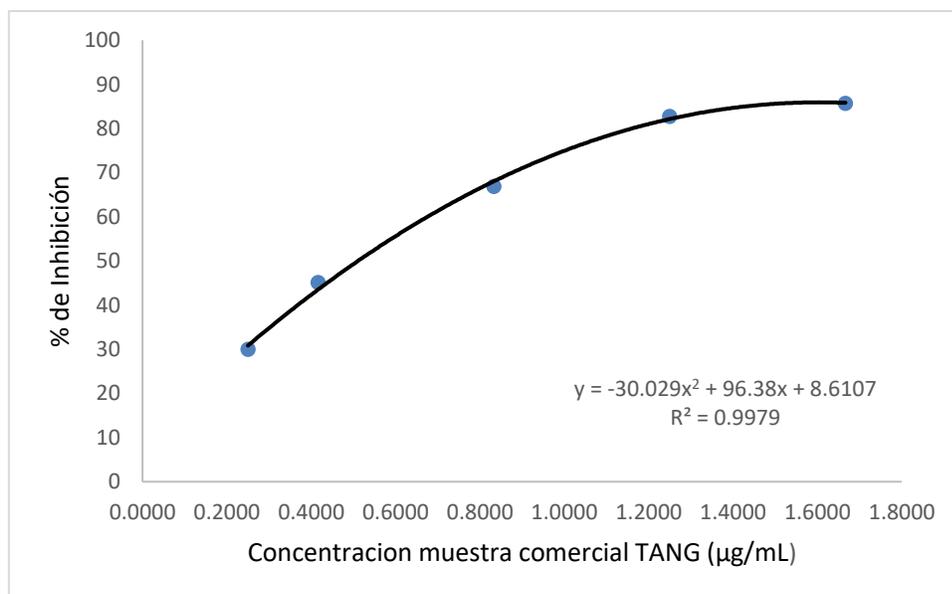
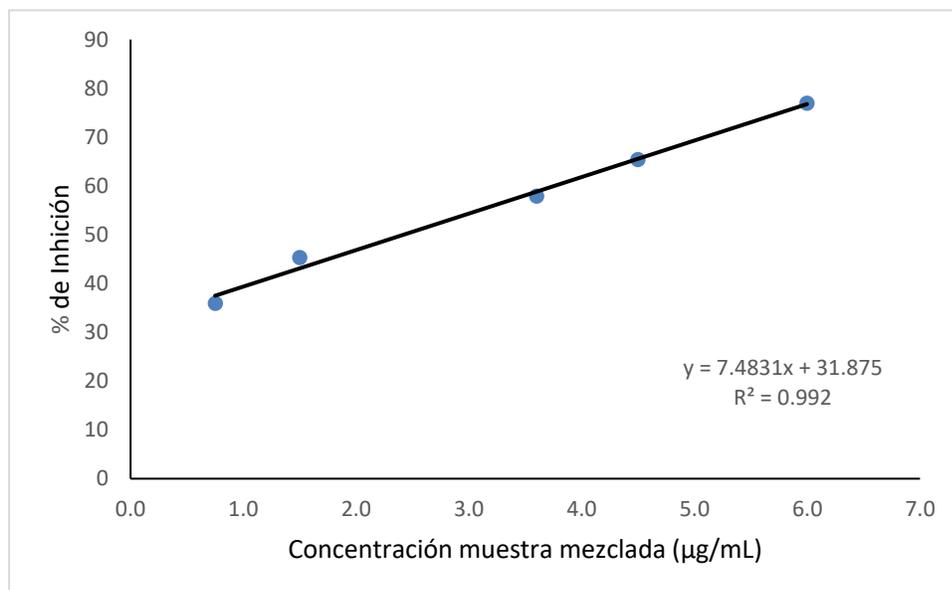


**Apéndice 12.** Curvas para el cálculo del IC50 por el ensayo de DPPH de las muestras cáscara de pitaya, semilla de pitaya y pulpa de tamarindo, respectivamente.





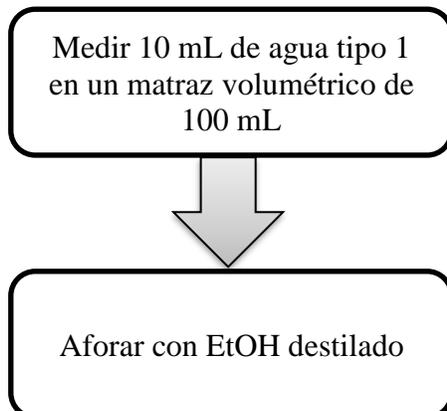
**Apéndice 13.** Curvas para el cálculo del IC50 por el ensayo de DPPH de las muestras mezclada y la muestra comercial (TANG)



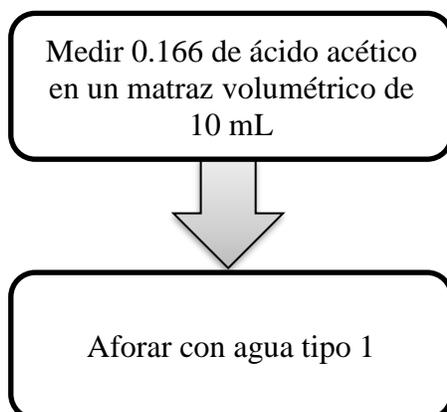
## Apéndice 14. Actividad antidiabética in vitro

Preparación de soluciones:

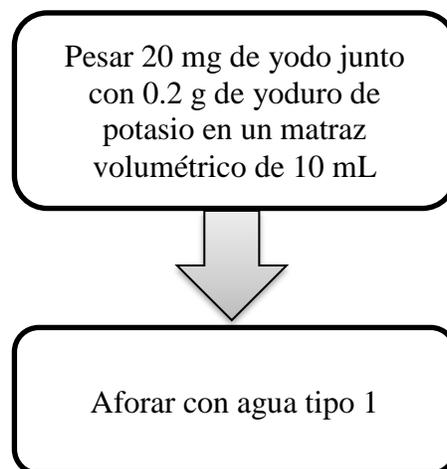
### EtOH acuoso al 90%



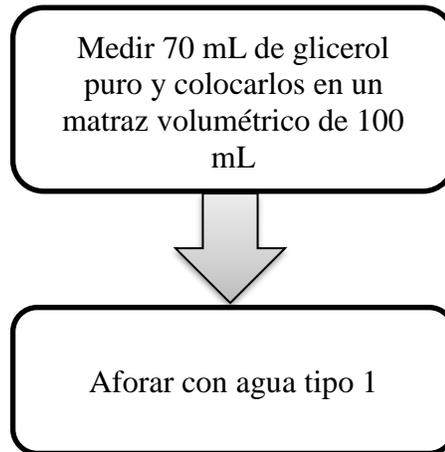
### Ácido acético 1M



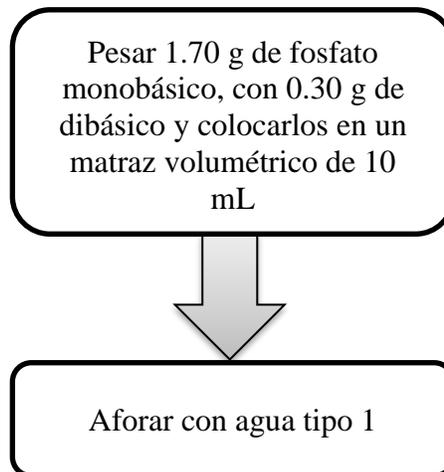
### Disolución de yodo



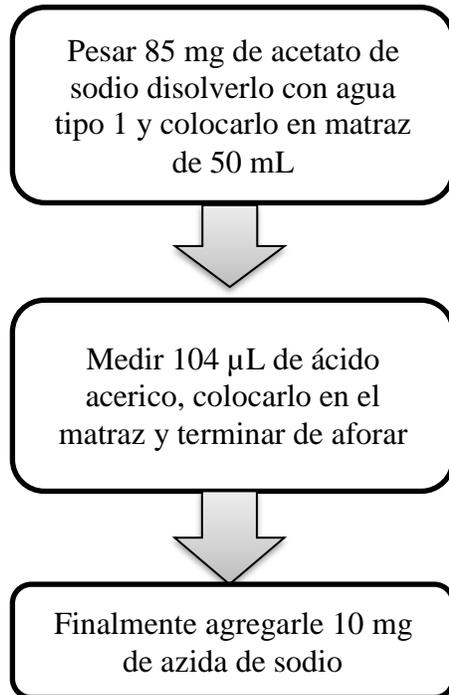
### **Glicerol al 70 %**



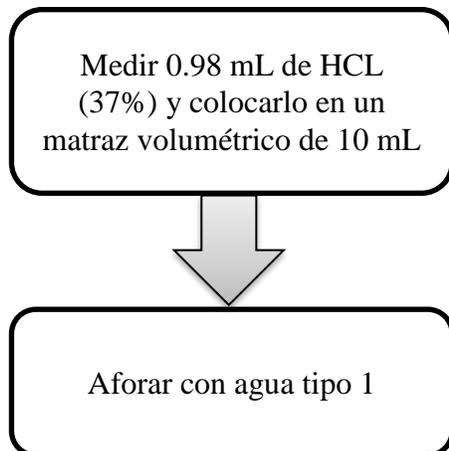
### **Buffer de fosfatos pH 6-6.3**



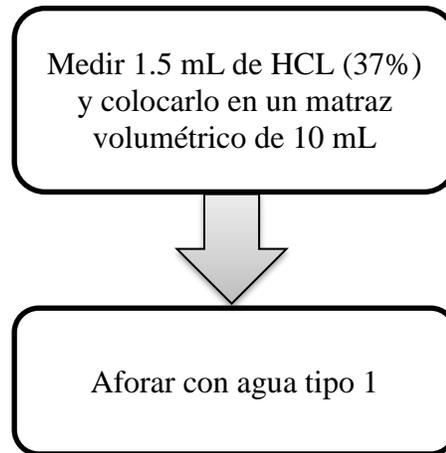
## Buffer de acetato pH 5



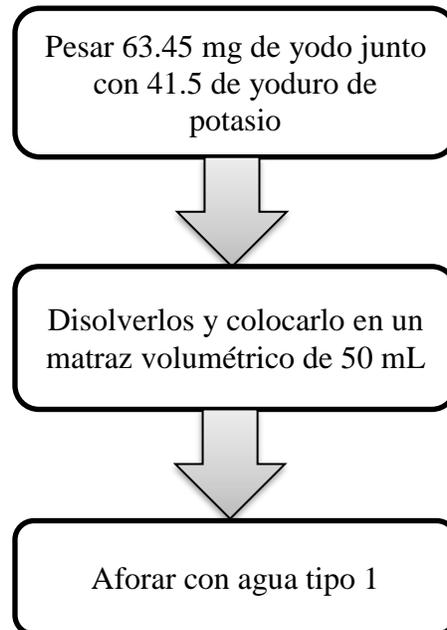
## HCL al 1 M



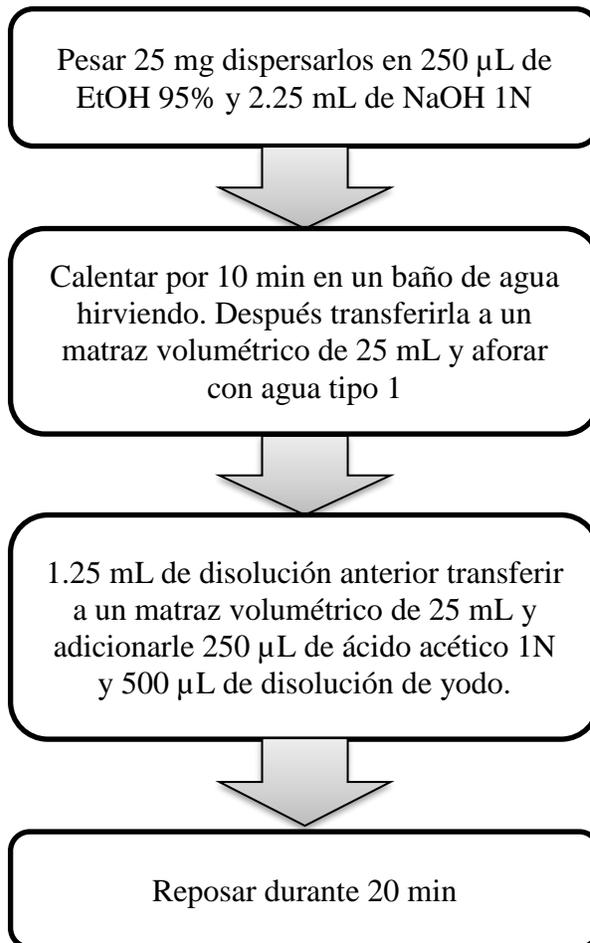
### HCL al 1.5 M



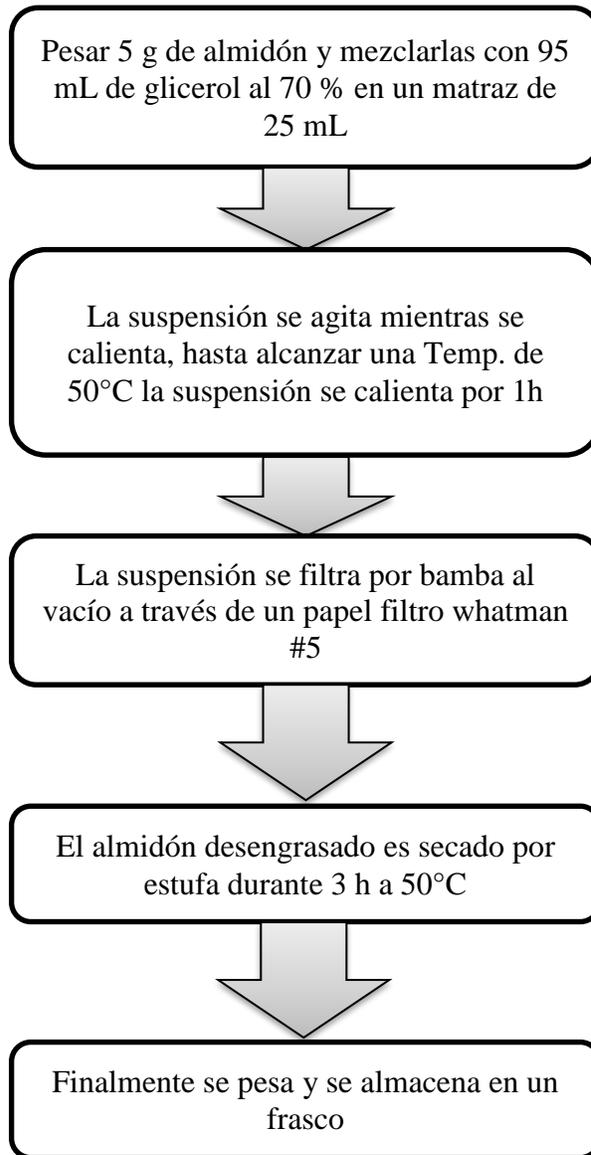
### Solución de triyoduro



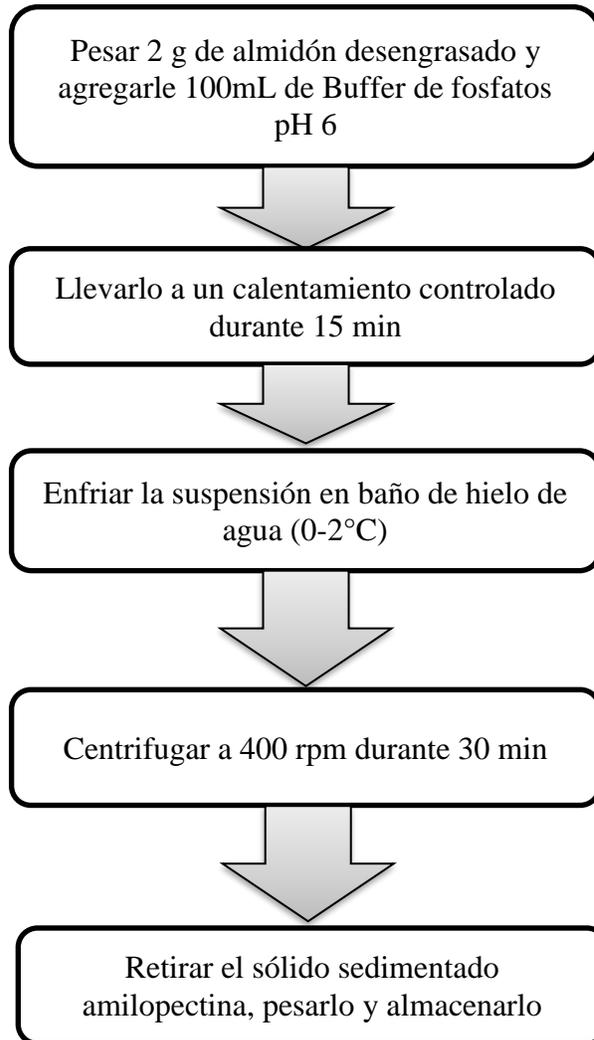
Determinación del % de amilos a partir del valor azul.



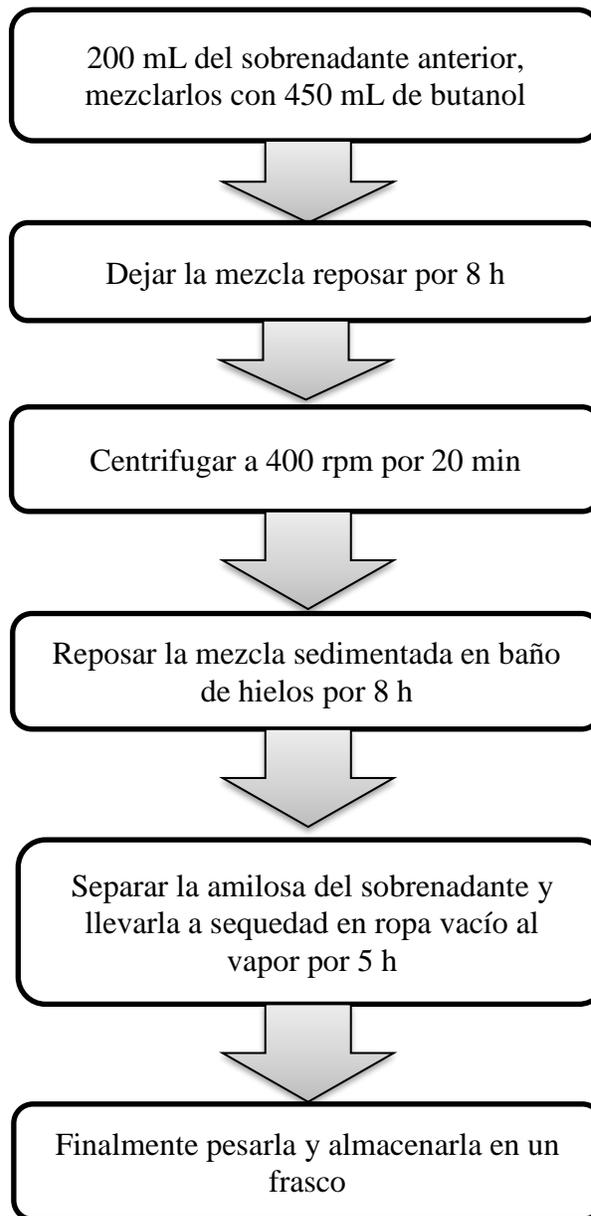
## Pretratamiento del almidón



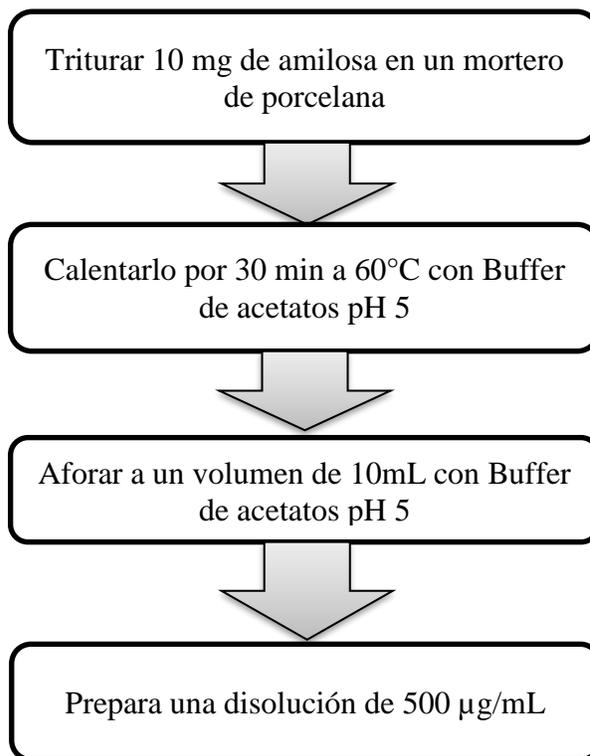
## Separación de amilosa y amilopectina



## Obtención de amilosa en polvo



## Preparación de amilosa

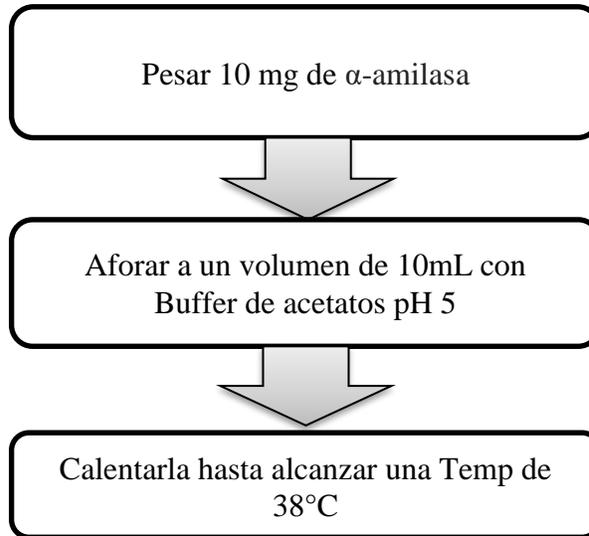


A partir de la disolución de 500 µg/mL, se preparan los estándares para realizar la curva de calibración.

## Preparación de estándares de amilosa

Concentración de amilosa (µg/mL)	Cantidad de Buffer pH 5 (µL)	Cantidad de amilosa 500 µg/mL (µL)	Volumen total (mL)
150	250	750	1
125	375	625	1
100	500	500	1
75	675	325	1
50	875	250	1

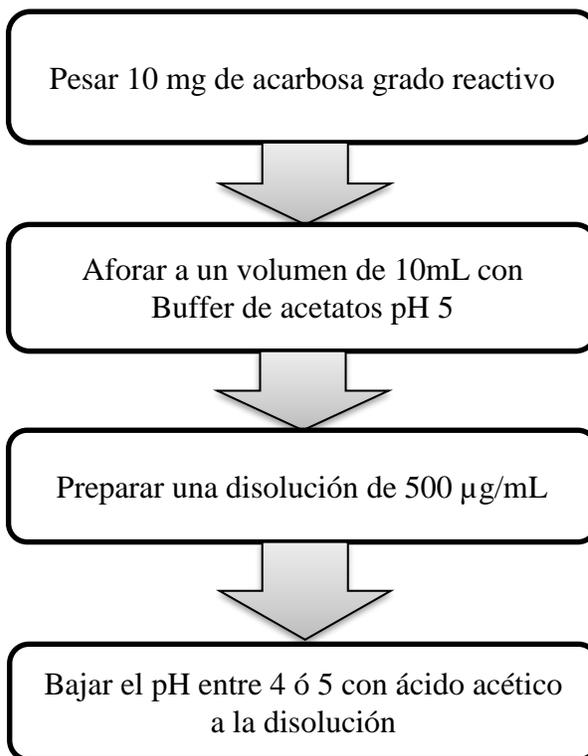
## Preparación de $\alpha$ -amilasa



A partir de la disolución de 1000  $\mu\text{g/mL}$ , se preparan los estándares para realizar la curva de calibración.

Concentración de $\alpha$ -amilasa ( $\mu\text{g/mL}$ )	Cantidad de Buffer pH 5 ( $\mu\text{L}$ )	Cantidad de $\alpha$ -amilasa 1000 $\mu\text{g/mL}$ (mL)	Volumen total (mL)
500	250	750	1
100	500	500	1
10	950	50	1

## Preparación de acarbosa



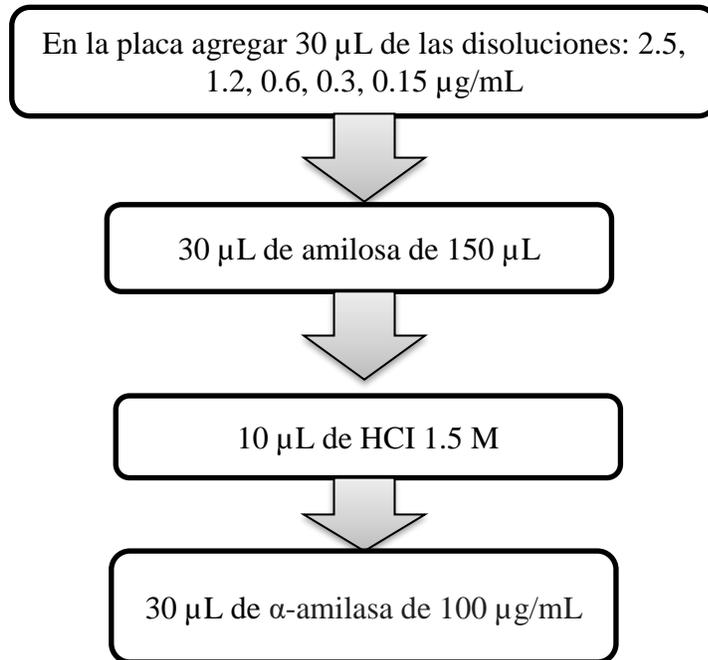
A partir de la disolución de 500 µg/mL, se preparan los estándares para realizar la curva de calibración.

### Preparación de estándares de acarbosa.

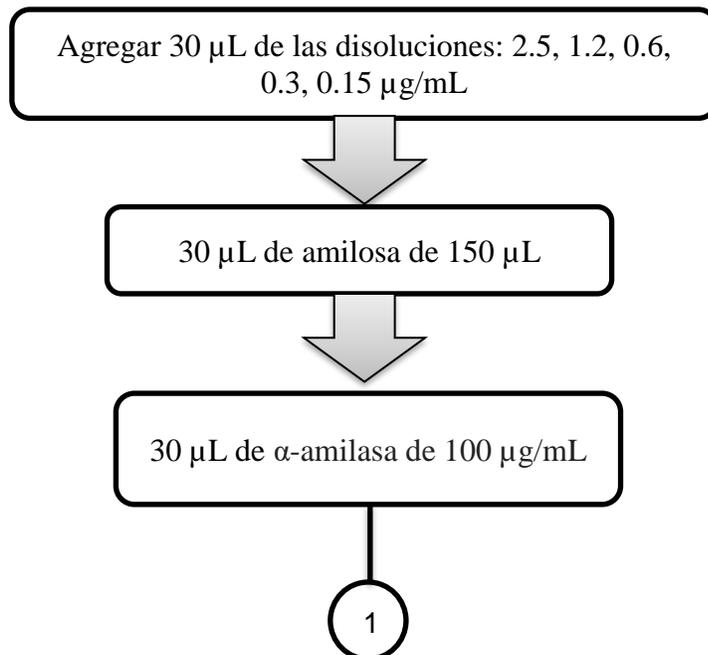
Concentración de acarbosa (µg/mL)	Cantidad de Buffer pH 5 (µL)	Cantidad de acarbosa 500 µg/mL (µL)	Volumen total (mL)
150	700	300	1
100	1 mL	4 mL	5
50	500	500	1
10	100	900	1

Inhibición de los extractos en presencia de la enzima  $\alpha$ -amilasa.

**Grupo de la enzima hidrolizada**



**Grupo de la enzima activa**



1

Reposar durante 30 min a temperatura de 37°C

Adicionar 10  $\mu$ L de HCl 1.5 M únicamente al grupo de la enzima activa

Agitar durante 30 segundos

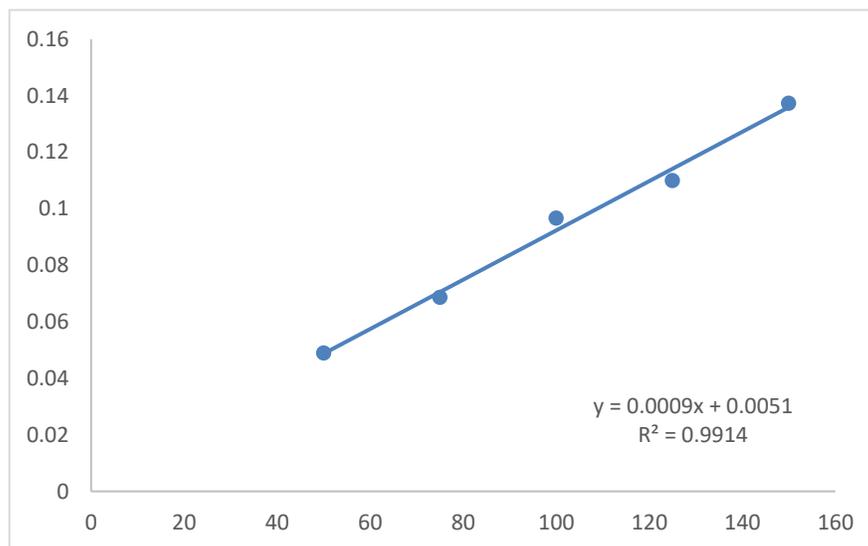
Adicionar 50  $\mu$ L de disolución de triyoduro a ambos grupos

Reposar durante 5 min y agitar por 30 seg

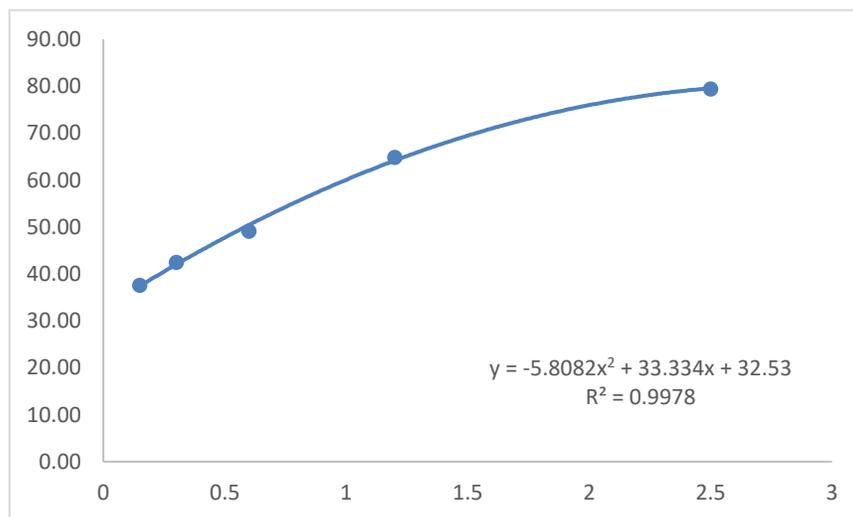
Medir absorbancia en un lector de microplaca, a una longitud de onda de 595 nm

**Apéndice 15.** Curvas de calibración de amilasa de arroz del % inhibición de en presencia de los extractos, muestra mezclada, muestra comercial, acarbosa respectivamente.

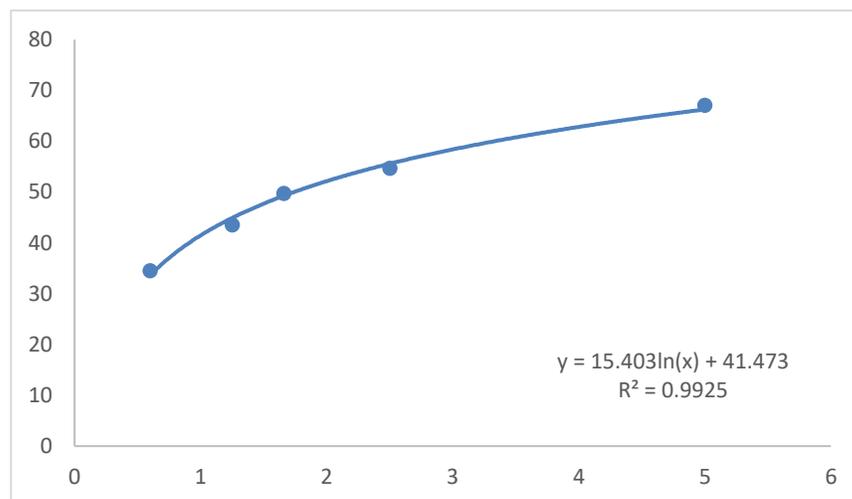
Curva de calibración de amilosa de arroz



Curva de calibración de los extractos de la muestra mezclada



Curva de calibración del extracto de la muestra comercial TANG



Curva de calibración de acarbosa grado reactivo

