

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



**EFFECTO DE PULSOS ELÉCTRICOS MODERADOS SOBRE
EL JUGO DE GRANADA**

Presentado por:

Itzel Cervantes Hernández

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título Profesional de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Buenvista Saltillo, Coahuila, México

NOVIEMBRE 2016

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

**EFFECTO DE PULSOS ELÉCTRICOS MODERADOS SOBRE EL JUGO DE
GRANADA**

Por:

Cervantes Hernández Itzel

TESIS

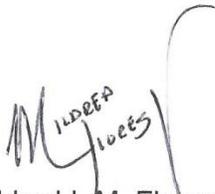
Que somete a consideración del H. jurado examinador como requisito parcial para obtener
el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

A P R O B A D A P O R:



Dr. Armando Robledo Olivo
ASESOR PRINCIPAL



M. C. Mildred I. M. Flores Verástegui
COASESOR



Dr. Mario Alberto Cruz Hernández
COASESOR



Dr. José Dueñez Alanís
Coordinador de la División de Ciencia Animal
Buenvista Saltillo, Coahuila, México.



NOVIEMBRE 2016

“**C**rea la más alta y más grandiosa visión posible para tu vida,

porque te conviertes en lo que crees”

-Oprah Winfrey-

Agradecimientos

A Dios por la hermosa vida de la que me ha hecho participe, gracias por rodearme de una magnífica familia y grandes amigos; por permitirme vivir inolvidables experiencias al estudiar lejos de mi familia, pues me ha hecho crecer como persona. Por permitirme finalizar una meta importante en mi vida, gracias por todas las bendiciones recibidas.

A mi papá Tomás Cervantes Gómez quien es el hombre que más admiro por su astucia, valentía, fuerza y coraje que lo caracterizan, gracias por todo el apoyo económico y confianza. Por enseñarnos a salir adelante por nuestra propia cuenta trabajando duro para conseguir nuestros objetivos. Te Amo papito

A mi mamá Imelda Hernández Gómez, sé que cuando leas esto ya estarás llorando, gracias por todo ese apoyo, confianza incondicional y comprensión, por todos los consejos y clases de cocina por teléfono, gracias por sembrar en mi la motivación cada día y las bendiciones infalibles. Te Amo mamita.

A mi hermano Tomás que me ha acompañado desde el inicio de esta aventura llamada superación. Quien desde pequeños me ha enseñado a enfrentar la vida con alegría y coraje. Gracias por ser mi multiusos favorito. Te Amo.

A mi hermanito Gustavo quien me motiva a poner el buen ejemplo y más, para seguir luchando por nuestros sueños, gracias por recibirme en casa con tanto entusiasmo y las mejores sorpresas. Te Amo Gusi.

A toda mi bella y grande familia, Abuelas, tíos, tías, primos; que contribuyeron a que este logro se haya hecho posible.

A mi ingeniero favorito y hermano de Alma Mater Camilo Hernández Gómez, gracias por sembrar la mejor idea que jamás se me hubiera ocurrido, salir de casa y enfrentarme a la vida, no te equivocaste al mandarme para acá.

A mi Alma Mater por enseñarme que en ella no solo se aprende académicamente, sino también de la vida, al permitirme formarme con humildad y sencillez.

A mi mejor amiga Daniela Infante, gracias por ser como mi hermana desde el primer día en Saltillo haz sido incondicional, tienes ganado un lugar especial en mi corazón, gracias por momentos hermosos de fiestas, y ser la mejor confidente y consejera que pude haber encontrado. No hay palabras que me alcancen para agradecerte a ti y a tus papás por tanto cariño. Te quiero amiguita.

Al Doctor Armando Robledo Olivo por la disposición, paciencia y apoyo para realizar este trabajo, por ser uno de los profesores de los que he obtenido grandes conocimientos, gracias por la confianza y por ser alegre y bromista, eso me hizo desarrollar el trabajo con más entusiasmo. Gracias por ser mi asesor.

A la maestra Mildred Inna Marcela Flores Verastegui por todo el apoyo y disposición brindada durante mi estancia en la universidad, para mí una maestra muy apreciada por ser paciente y excelente en la impartición de su catedra, no existen palabras para demostrar mi total admiración y gratitud para con ella.

A Todos los catedráticos que formaron parte de este proceso de enseñanza, ya que son una pieza importante para nuestra formación, pues gracias a ellos estamos listos para afrontar un mundo laboral. Gracias por sus consejos y buenos deseos.

A mi segunda familia, mis mejores amigos que la universidad me regaló. Gracias por compartir buenos y malos momentos conmigo y hacer de esta estancia la más maravillosa.

Dedicatorias

A mis padres quienes son lo más importante en mi vida, que siempre han apoyado cada uno de mis sueños, gracias por enseñarnos tanto de la vida y junto a mis hermanos hacernos buenos hijos con educación y valores.

Al mejor abuelo de este mundo Vicente Hernández Ángeles, que siempre nos inculcó el amor por el campo, el saber trabajar para alcanzar nuestros sueños, quien siempre nos recordaba que hay que leer para no ser ignorante, quien nos aconsejó el conducirnos con humildad ante la vida. Quien me ha hecho falta desde de su partida, pero sé que desde donde se encuentra ahora nos manda grandes bendiciones. Gracias por confiar en mí y consentirme. Tu hormiga te dedica este logro.

A mis hermanos espero sigan cosechando éxitos, y todos sus sueños se hagan realidad.

A mi abuela Petra, sé que sus bendiciones fueron de mucha ayuda.

A mis tíos Camilo Hernández y Vicente Hernández quienes han sido mi ejemplo a seguir, pues desde pequeña los eh admirado por sus logros y el amor a profesión, eso me contagió para ser como ustedes. Los quiero.

Contenido

Agradecimientos	i
Dedicatorias	iii
1 Resumen.....	1
Capítulo I.....	2
2 Introducción	2
3 Justificación	3
4 Hipótesis	4
5 Objetivos.....	5
5.1 Objetivo general.....	5
5.2 Objetivos específicos	5
Capitulo II.....	6
6 Marco teórico	6
6.1 Granada.....	6
6.1.1 Características nutricionales de la granada.....	7
6.1.2 Variedades	7
6.1.3 Características de la variedad Wonderful.....	8
6.2 Información nutrimental.....	8
6.2.1 Composición fitoquímica	10
6.2.2 Fenoles.....	10
6.2.3 Taninos.....	11
6.3 Extractos de granada.....	12

6.4	Jugos	13
6.5	Zumos o jugos	15
6.5.1	Néctares	15
6.5.2	Extracción de jugos	15
6.6	Deterioro de los jugos de frutas	16
6.7	Procesamiento de bebidas.....	16
6.8	Pasteurización	16
6.9	Tecnologías alternativas para la conservación de jugos.....	17
6.10	Calentamiento óhmico	17
6.10.1	Principio del calentamiento óhmico	17
6.11	Efecto del calentamiento en atributos fisicoquímicos	18
6.12	Inactivación de actividad microbiana por calor	19
	Capitulo III	20
7	Materiales y métodos	20
	Etapa I	20
7.1.1	Obtención y conservación de jugo de granada	20
7.1.2	Conservación.....	20
7.2	Caracterización físico química del jugo de granada.....	20
7.2.1	pH.....	20
7.2.2	Sólidos solubles.....	20

7.2.3	Color	21
7.2.4	Ácido cítrico	21
7.2.5	Ácido ascórbico	21
7.2.6	Azúcares totales	21
7.2.7	Azúcares reductores.....	22
7.2.8	Fenoles hidrolizables.....	22
7.2.9	Conductividad Eléctrica	23
Etapa II.....		23
7.3	Aplicación del tratamiento de pasteurización por calentamiento óhmico .	23
Etapa III		24
7.4	Análisis microbiológico.....	24
Capítulo IV.....		25
8	Resultados y discusiones.....	25
8.1	Etapa Caracterización físico-química.....	25
8.1.1	pH.....	26
8.1.2	Sólidos solubles.....	26
8.1.3	Ácido cítrico	27
8.1.4	Ácido ascórbico	27
8.1.5	Color.....	27
8.1.6	Azúcares totales	29

8.1.7	Azúcares reductores.....	29
8.1.8	Fenoles hidrolizables.....	30
	Etapa II.....	30
8.2	Aplicación del tratamiento de pasteurización por calentamiento óhmico .	30
	Etapa III.....	31
8.3	Análisis microbiológico.....	31
	Capítulo V.....	32
9	Conclusiones	32
	Capítulo V.....	33
10	Bibliografía citada.....	33
11	Anexos	39
11.1	Curva de calibración para azúcares totales.....	39
11.2	Curva de calibración para azúcares reductores.....	40

Índice de tablas

Tabla 1. Composición nutrimental de granada variedad California Wonderful, arilos y jugo (USDA, 2007).	8
Tabla 2. Límites microbiológicos de la ICMSF (International Commission on Microbiological Specifications for Foods).	19
Tabla 3. Contenido nutraceutico del jugo fresco de granada variedad Wonderful.25	
Tabla 4. Análisis fisicoquímicos de jugos de granada variedad Wonderful obtenidos de jugo fresco y pasteurizado a diferentes voltajes	26
Tabla 5. Compuestos fisicoquímicos de jugos de granada variedad Wonderful obtenidos de jugo fresco y pasteurizado a diferentes campos eléctricos.....	29
Tabla 6. Análisis de la cinética del proceso de pasteurización.	30
Tabla 7. Análisis microbiológico de jugo de granada.....	31

Índice de figuras

Ilustración 1. Partes del fruto de Granada.....	6
Ilustración 2. Granada variedad Wonderful.....	8
Ilustración 3. Estructuras químicas de taninos hidrolizables identificados en jugo de granada.....	12
Ilustración 4. Diagrama general de la producción de jugo	14
Ilustración 5. Celda de aplicación óhmica utilizada en la validación experimental del modelo para pasteurización de alimentos sólidos, incluyendo 9 posiciones de termopares.....	18
Ilustración 6. Celda de aplicación a nivel laboratorio utilizada para el proceso de pasteurización óhmica del jugo de granada.....	24
Ilustración 7. Gráfica de cromaticidad de color (coordenadas a^* y b^*).....	28

1 Resumen

Debido al reciente incremento de trabajos científicos que enfatizan las múltiples bondades de las propiedades funcionales y organolépticas en alimentos nutraceuticos, la granada (*Punica granatum L.*) se ha convertido en un producto atractivo tanto para productores como para el consumidor, ya que actualmente existe un aumento acelerado de la tendencia al consumo de alimentos naturales o mínimamente procesados. Las propiedades fisicoquímicas son un factor esencial durante el procesado y conservación de alimentos la retención y cambios de ellas, dependen de la técnica de procesamiento. El objetivo de esta investigación fue, aplicar una pasteurización por medio de pulsos eléctricos moderados (ohmico) al jugo de granada, evaluando el efecto en la composición de algunos compuestos fisicoquímicos e índices microbiológicos. Utilizando granadas de la variedad Wonderful para la obtención de jugo por medio de un exprimidor casero, al que se le aplicó un tratamiento óhmico, en donde el jugo se calentó a diversos gradientes de tensión de 20, 35, 40 y 50V / cm aplicando voltajes de 100, 175, 200 y 300 volts respectivamente hasta llegar a una temperatura de 80°C por 1 minuto. Se determinaron parámetros de color, °Brix, pH, ácido cítrico, ácido ascórbico (vitamina C), azúcares totales, azúcares reductores, fenoles hidrolizables y la inactivación microbiana. Encontrando valores para jugo fresco de, sólidos solubles totales 17.7 °Brix, pH de 2.95 ± 0.13 , acidez titulable (0.0256 g ácido cítrico/mL), vitamina C (0.088g ácido ascórbico/mL), azúcares totales (4.756g·100 mL), azúcares reductores (4.756g·100 mL), y fenoles hidrolizables (0.076g·100 mL). También se evaluó la eficacia del proceso, mediante la disminución de microorganismos (levaduras) en el jugo. El tratamiento más efectivo se observó en 50V/cm en donde se mostró menor alteración de los compuestos fisicoquímicos en comparación del fresco y mayor reducción microbiana.

Palabras clave: Granada, *Punica granatum*, pulsos eléctricos moderados, óhmico, pasteurización.

Capítulo I

2 Introducción

La granada pertenece a la familia *Punicaceae*, nativa del área de Irán al Himalaya en el norte de la India, ha sido cultivada y naturalizada en toda la región del Mediterráneo desde la antigüedad. Ahora ampliamente distribuida por el continente americano.

La granada ha sido una fuente inagotable de investigación en la química con la búsqueda de nuevos compuestos, técnicas de producción y conservación, biotecnología en busca de variedades más rentables, a los efectos biológicos como anti-microbiana antioxidante, antiinflamatoria, anticancerígena, antidiabética y se ha considerado como un alimento promotor de la salud

El calentamiento óhmico, o calentamiento por efecto Joule, es un proceso de bajo costo que proporciona beneficios similares al procesamiento de temperaturas ultra altas (UHT). El tratamiento óhmico es una técnica electrotérmica en la que los alimentos se calientan debido a la generación de energía térmica por el paso de la corriente eléctrica. La cantidad de calor generado depende de la corriente inducida por el gradiente de voltaje, y la conductividad eléctrica. El calor se distribuye uniformemente por lo que este proceso puede calentar rápidamente el producto. La conducción de corriente eléctrica se activa debido a la presencia de componentes iónicos tales como sales y ácido en la muestra de alimentos.

El proceso de calentamiento convencional desencadena un tratamiento heterogéneo que conduce al deterioro de la calidad en el alimento, en cambio el calentamiento óhmico genera rápidamente una alta temperatura, sin causar deterioro ni dañar la superficie de calentamiento. En el calentamiento óhmico se produce un daño mecánico insignificante en comparación con el convencional.

3 Justificación

Debido al aumento acelerado de la tendencia al consumo de alimentos naturales o mínimamente procesados. Los jugos de frutas juegan un papel muy importante dentro de las dietas nutricionales, existen dos principales tipos de jugos de fruta en el mercado: jugos frescos recién exprimidos que brindan un sabor natural, pero tienen poca vida de anaquel en condiciones de refrigeración y jugos pasteurizados, que cuentan con una vida de anaquel mayor, pero existe un deterioro del sabor debido al tratamiento térmico empleado. Por otra parte, la aplicación de dicha técnica genera un alto consumo de energía y costos, es por eso que este estudio se enfocó a realizar un tratamiento térmico mediante la aplicación de pulsos eléctricos moderados (óhmico) en el jugo de granada garantizando una pasteurización eficaz en menor tiempo, sin alterar sus componentes fisicoquímicos y una reducción de costos así como también el consumo de energía.

4 Hipótesis

La variación de voltaje en el procesamiento de térmico por pulsos eléctricos moderados (óhmico) del jugo de granada evitará el deterioro de los nutrimentos del jugo de granada y se logrará inhibición microbiológica.

5 Objetivos

5.1 Objetivo general

- Pasteurizar jugo de granada mediante pulsos eléctricos moderados.

5.2 Objetivos específicos

- Analizar los compuestos físico químicos como color, °Brix, pH, ácido cítrico, ácido ascórbico (vitamina C), azúcares totales, azúcares reductores, fenoles hidrolizables (taninos) del jugo de granada sin procesar y procesado.
- Pasteurizar el jugo de granada a diferentes niveles de voltaje.
- Validar la inactivación de los compuestos nutrimentales posterior al proceso térmico.
- Validar la inactivación microbiana del jugo de granada.

Capítulo II

6 Marco teórico

6.1 Granada

La granada pertenece a la Familia *Punicaceae* y se corresponde a la especie *Punica granatum L.* Es un fruto muy atractivo e interesante ya que posee un elevado número de propiedades beneficiosas para la salud además de un excelente sabor (Gómez, S. 2014).

Moreno, P., *et al.*, (2010) describe que en este género las dos especies más conocidas son: *Punica granatum L.*, el cual es un granado cultivado para aprovechamiento de sus frutos; y *Punica nana L.*, un granado enano, de uso ornamental cuyos frutos no son comestibles.

El fruto (Figura 1) es una baya denominada balausta de forma redonda, que tiene un color que varía de amarillo a rojo-púrpura. Con diámetro de 5-12 cm y cubierta es lisa y textura elástica. Son esféricas, algo aplanadas y con un cáliz persistente, que puede tener una longitud de 1-6 cm. Las numerosas semillas están rodeadas de una pulpa, la parte comestible, de color rosada a rojo-púrpura, jugosa y ácida. La pulpa es algo astringente y las semillas son angulares y duras por dentro. La capa externa de la testa está cubierta por una capa delgada o pulpa jugosa, roja, rosa o blanco amarillenta, astringente y ácida (Gómez, S., 2014).



Ilustración 1. Partes del fruto de Granada.

6.1.1 Características nutricionales de la granada

La importancia actual de este fruto se debe particularmente a las propiedades que se han reportado en recientes estudios, que revelan la presencia de componentes antioxidantes en el tallo, hojas, flores, cáscara, jugo y semillas. Estos componentes le otorgan propiedades antiinflamatorias, antitumorales, anticancerígenas entre otras, avaladas por estudios *in vitro* así como *in vivo* destacándola como un fruto con potencial antioxidante (Mejía, et al., 2010).

6.1.2 Variedades

Las variedades de granado en España se catalogan, de acuerdo a la clasificación propuesta por Melgarejo (1993) en variedades dulces (0,15-0,48% ácido cítrico), agridulces (0,54-0,91 % ácido cítrico) y variedades agrias (2,34-2,69 % ácido cítrico)

Variedades del fruto según Taipei, J. (2012).

- a) Wonderful – California
- b) Mollar de Elche
- c) Acco & Shani
- d) Emeq
- e) Kamel
- f) Purple

6.1.3 Características de la variedad Wonderful

Wonderful: variedad más cultivada mundialmente cuya cosecha se realiza entre los meses de septiembre hasta febrero. Es de fruto grande, de un color externo rojo profundo. Con pequeñas semillas medianamente duras, relativamente ácidas. Es la variedad de granado más cultivada en California e Israel. Presenta un contenido en sólidos solubles de entre 13-18 ° Brix y una acidez de 2-3 g ácido cítrico/L (Vegara, S., 2014).



Ilustración 2. Granada variedad Wonderful.

6.2 Información nutrimental

La granada es un frutal con agradables propiedades sensoriales y es una excelente fuente de vitamina C y E. Se consume fresca, es dulce, con agradable y ligera acidez. La parte comestible corresponde a un 50% del peso total del fruto, 40% corresponde a los arilos y 10% semillas. Los arilos contienen 85% de agua, 10% de azúcares totales (fructosa y glucosa) y 1,5% de pectina, ácidos orgánicos (ácido ascórbico, cítrico, málico), vitaminas, minerales y compuestos bioactivos o fitoquímicos, (como se muestra en la tabla 1). Estos últimos son los responsables de la excelente actividad biológica. Estas bondadosas características han permitido la apertura de un nuevo mercado en la producción de diversos productos a partir del frutal como: jugos, néctares, tés, suplementos alimenticios, vinos, licores, píldoras, cremas faciales y aceites corporales (Raga, J., et al., 2015).

Tabla 1. Composición nutrimental de granada variedad California Wonderful, arilos y jugo (USDA, 2007).

Nutrientes	Unidad	valor por 100 g	1 taza de arilos (sacos de semillas y jugo) = g 174,0	1 Granada (diámetro 4") = 282,0 g
Proximales				
Agua	g	77.93	135.6	219.76
Energía	kcal	83	144	234
Proteína	g	1.67	2.91	4,71
Lípido total (gordo)	g	1.17	2.04	3.3
Carbohidratos por diferencia	g	18.7	32.54	52.73
Fibra dietética total	g	4	7	11.3
Azúcares, total	g	13.67	23.79	38.55
Minerales				
Calcio, Ca	mg	10	17	28
Hierro, Fe	mg	0.3	0,52	0.85
Magnesio, Mg	mg	12	21	34
Fósforo, P	mg	36	63	102
Potasio, K	mg	236	411	666
Sodio, Na	mg	3	5	8
Zinc, Zn	mg	0.35	0,61	0.99
Vitaminas				
Vitamina C, ácido ascórbico total	mg	10.2	17.7	28.8
Tiamina	mg	0.067	0.117	0.189
Riboflavina	mg	0.053	0.092	0.149
Niacina	mg	0.293	0.51	0.826
Vitamina B-6	mg	0.075	0.13	0.212
Folato, DFE	µg	38	66	107
Vitamina B-12	µg	0	0	0
Vitamina A, RAE	µg	0	0	0
Vitamina A, UI	IU	0	0	0
Vitamina E (alfa-tocoferol)	mg	0.6	1.04	1.69
Vitamina D (D2 + D3)	µg	0	0	0
La vitamina D	IU	0	0	0
Vitamina K (filoquinona)	µg	16.4	28.5	46.2
Lípidos				
Ácidos grasos, total saturados	g	0.12	0.209	0.338
Ácidos grasos,	g	0.093	0.162	0.262

monoinsaturados total				
Total de ácidos grasos poliinsaturados	g	0.079	0.137	0.223
Ácidos grasos trans total	g	0	0	0
Colesterol	mg	0	0	0
Los aminoácidos				
Otros				
Cafeína	mg	0	0	0

6.2.1 Composición fitoquímica

Recientes investigaciones evidencian la importancia de las sustancias antioxidantes como, antocianinas y compuestos fenólicos en especial los taninos hidrolizables de la granada, esto debido a las propiedades nutracéuticas y farmacológicas que se le han atribuido en los últimos años (Mousavinejad, et al., 2009).

Algunos fitocomponentes o compuestos funcionales del fruto de la granada muestran una actividad antioxidante potente y existen resultados experimentales que demuestran su capacidad como agentes antimutagénicos naturales jugando un papel importante en la calidad del zumo y el rendimiento sensorial (Sánchez, Á., et al., 2005).

Sin embargo, la amplia gama de diferentes estructuras de (poli) fenólicos (ácidos fenólicos, flavonoides y taninos hidrolizables) puede hacer que la detección precisa de su perfil sea particularmente difícil (Mena, P., et al., 2012).

6.2.2 Fenoles

Los compuestos fenólicos son todas aquellas sustancias que poseen varias funciones fenol, unidas a estructuras aromáticas o alifáticas. Son unos de los principales metabolitos secundarios de las plantas y su presencia en el reino animal se debe a la ingestión de éstas.

Son compuestos ampliamente distribuidos en la naturaleza, entre los principales compuestos fenólicos naturales se encuentran:

1. Los derivados del ácido gálico (taninos: condensados e hidrolizables).
2. Los flavonoides (catequinas, leucoantocianinas, flavanonas, flavanonoles, flavonas, antocianinas, flavonoles, chalconas, dihidrochalconas, auronas, isoflavonas).

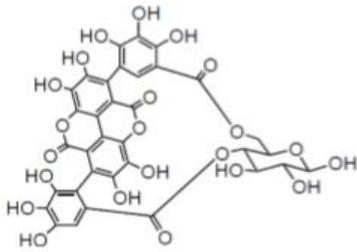
Tienen propiedades medicinales e industriales debido a su efecto antioxidante y anti-inflamatorio, son responsables del color, apariencia, astringencia y Amargura de los jugos de frutas (Yildiz, H., et al., 2009).

La granada contiene gran cantidad de compuestos fenólicos. Alrededor de 0.21.0% de polifenólico soluble, y otros compuestos incluyendo antocianinas, catequinas, elagitaninos, ácidos gálico y elágico (Yildiz,H., et al., 2009).

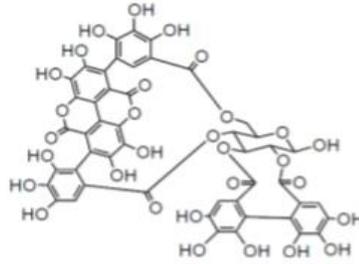
6.2.3 Taninos

Para Isaza Hipólito (2007,13) la mejor definición de Taninos, hasta el momento es de Bate-Smith y Swain (1962) *“Compuestos fenólicos solubles en agua, con pesos moleculares entre 500 y 3000, que además de dar las reacciones fenólicas usuales, tienen propiedades especiales tales como la habilidad de precipitar alcaloides, gelatina y otras proteínas.”*

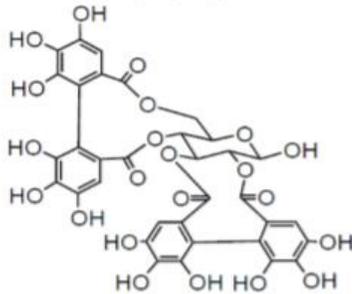
Los taninos hidrolizables se producen por una derivación de la vía del ácido shikímico que conduce a la producción de ácido gálico (unidad monomérica fundamental) (Isaza, H., 2007).



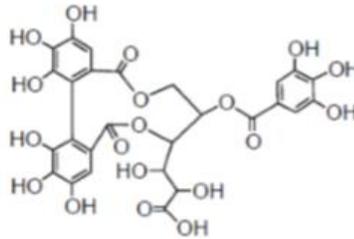
Punicalin (52,53)



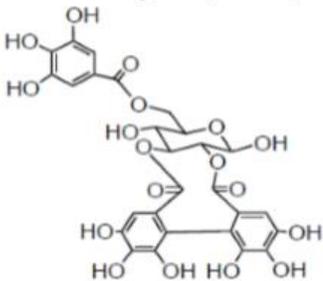
Punicalagin (42,43)



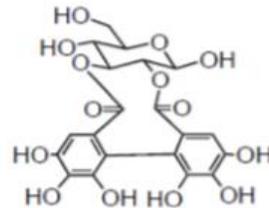
Pedunculagin I (54-58)



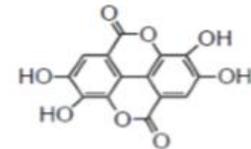
Lagerstannin C (48,50)



Galloyl-HDDP-hexoside (46,47)



HDDP-hexoside (34,35)



Ellagic acid (13)

Ilustración 3. Estructuras químicas de taninos hidrolizables identificados en jugo de granada Mena, P., et al., (2012).

6.3 Extractos de granada.

Pedro Mena 2012. Los arilos representan la parte comestible de la granada, que generalmente se consumen en fresco. Pero estos también pueden ser utilizados para el desarrollo de bebidas, gelatina, pasta, colorantes, saborizantes naturales y jugo fresco.

Existen diferentes métodos para la obtención del jugo de granada, Entre los más utilizados son: manual, en el cual los arilos se separan de la cáscara y albedo para posteriormente prensarlos a través de una malla; exprimidor, en donde se comprime la fruta entera, por lo que se extrae jugo tanto de los arilos como del

albedo; extractor eléctrico, en donde se obtiene jugo de los arilos y una pequeña parte de semilla (Mousavinejad, et al., 2009).

La variedad de granada y el proceso de extracción tienen un impacto significativo en la composición del jugo, el estado de maduración, y las condiciones de almacenamiento. Por lo tanto, estas variables deben ser consideradas dentro de un proceso industrial (Ulrike, et al., 2013).

6.4 Jugos

Los productos de jugo de frutas representan un segmento muy importante del total de proceso en la industria frutícola. Los jugos ofrecen muchos beneficios para la salud que mejoran la calidad de vida, que incluye una forma más rápida y eficiente de absorber los nutrientes que normalmente se encuentran en la fibra de frutas y verduras enteras; pero la mayoría de los jugos comerciales son procesados y carecen de componentes nutricionales, mientras que las frutas y verduras frescas o mínimamente procesadas están cargadas de una gran cantidad de vitaminas, minerales y fitonutrientes. Es por eso que el beber jugo fresco puede ayudarnos a adoptar hábitos de alimentación saludables. El siguiente diagrama (ilustración 4) muestra el proceso de extracción para jugos de frutas

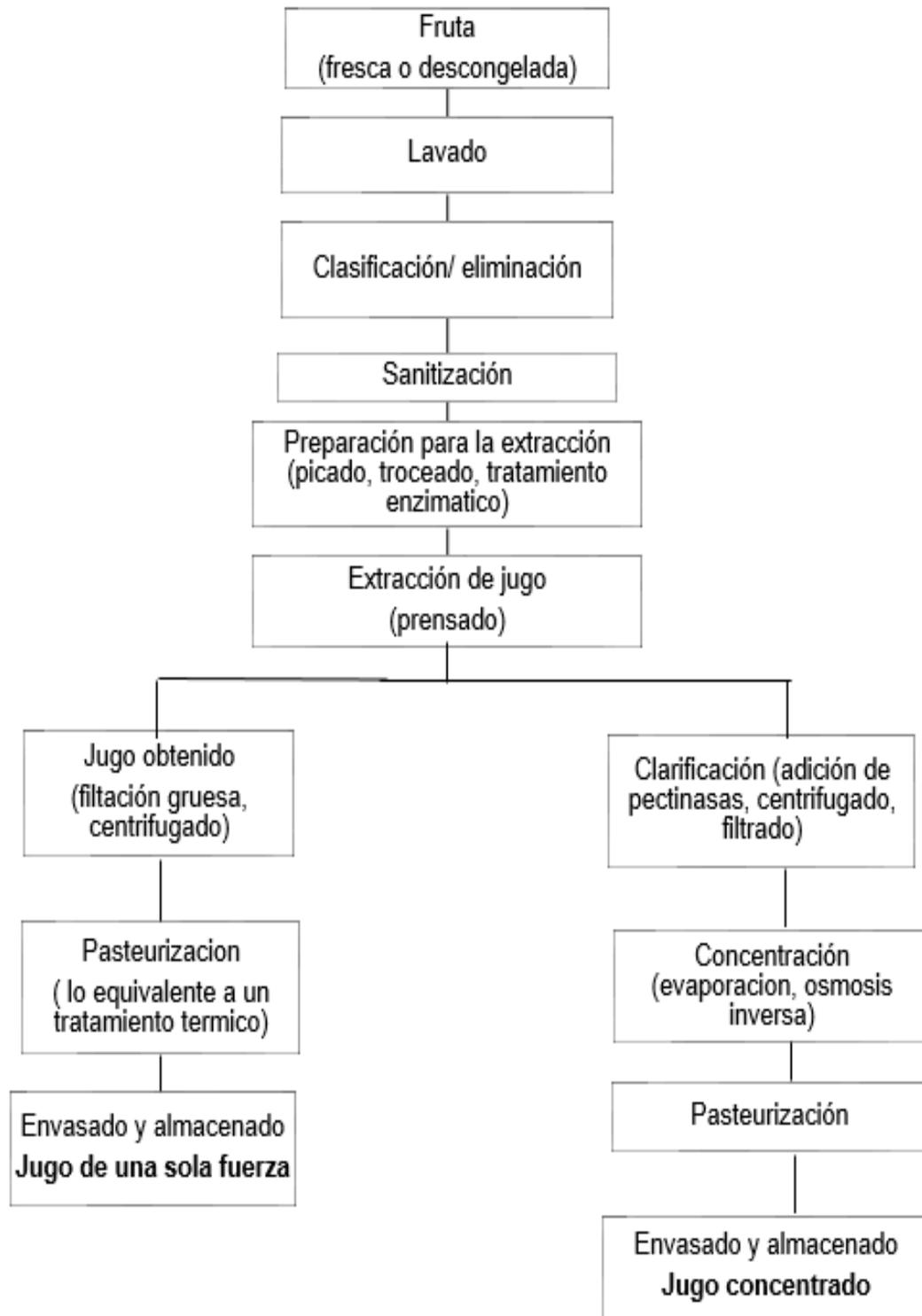


Ilustración 4. Diagrama general de la producción de jugo (Barrett, D., et al., 2004).

6.5 Zumos o jugos

Se entiende por zumo o jugo de fruta a aquel líquido sin fermentar, pero fermentable, que se obtiene de la parte comestible de frutas en buen estado, debidamente maduras y frescas o frutas que se han mantenido en buen estado por procedimientos adecuados. Algunos zumos o jugos podrán elaborarse junto con sus pepitas, semillas y pieles, que normalmente no se incorporan al jugo, aunque serán aceptables algunas partes o componentes de pepitas, semillas y pieles que no puedan eliminarse mediante las buenas prácticas de fabricación (BPF).

Los zumos (jugos) se preparan mediante procedimientos adecuados que mantienen las características físicas, químicas, organolépticas y nutricionales esenciales de los zumos (jugos) de la fruta de que proceden. Pueden ser turbios o claros, sin adición de azúcares de ningún tipo (CODEXSTAN, 2005).

6.5.1 Néctares

El néctar de fruta es el producto sin fermentar, pero fermentable, que se obtiene añadiendo agua con o sin la adición de azúcares (CODEXSTAN, 2005).

Zumos diluidos con jarabe de azúcar-ácido. Acidez de 1%, sólidos solubles entre 10 y 12% y pH entre 3 y 4 (Arthey, D. & Ashurst, P.R. 1966).

6.5.2 Extracción de jugos

Los métodos de extracción de los jugos de una determinada fruta dependen de la estructura y porción comestible de la misma (Arthey, D. & Ashurst, P.R. 1966).

En general, la extracción del jugo debe hacerse lo más rápidamente posible para minimizar la oxidación enzimática naturalmente presente en el jugo.

El interés por los jugos altamente coloridos, ricos en compuestos fenólicos con beneficios para la salud, está impulsando el desarrollo de mejores técnicas para preservar los elementos funcionales y maximizar la extracción (Barrett D., et al., 2004).

6.6 Deterioro de los jugos de frutas

Todos los alimentos son perecederos, es por eso que necesitan de ciertas condiciones de tratamiento, manipulación y conservación; ya que si no son tratados adecuadamente, se producen cambios en textura, color, olor y sabor.

En el caso particular de los jugos de frutas, el oxígeno tiene un efecto negativo en sobre vitaminas, colores y sabores; además contribuye al crecimiento de microorganismos como, bacterias lácticas, mohos y levaduras (López, A., et al., 2012).

6.7 Procesamiento de bebidas.

La preservación de alimentos puede definirse como el conjunto de tratamientos que prolonga la vida útil de aquellos, manteniendo sus atributos de calidad incluyendo color, textura, sabor y especialmente valor nutritivo. Esta definición involucra una amplia escala de tiempos de conservación, hasta períodos muy prolongados, dados por procesos industriales estrictamente controlados (FAO Document Repository, 1993).

6.8 Pasteurización

La pasteurización significa un orden relativamente bajo de tratamiento térmico, generalmente a una temperatura por debajo del punto de ebullición del agua. En los últimos tiempos, el tratamiento térmico ha aplicado temperaturas mucho mayores que 100 ° C sólo por segundos, y se conoce como ultra pasteurización.

El método de pasteurización se basa en los principios de la muerte térmica de microorganismos, según el cual la muerte de una población de células sigue la cinética de una reacción de primer orden. El tratamiento de pasteurización se puede calcular de forma análoga usando los parámetros de valores D y z; la temperatura de referencia es generalmente 80 ° C y el equivalente acumulativo letal se expresa en unidades de pasteurización (PU).

6.9 Tecnologías alternativas para la conservación de jugos.

Las tendencias recientes muestran el desarrollo de nuevas tecnologías para el tratamiento térmico de alimentos. Los procesos de electrocalentamiento, tales como procesamiento a alta presión, microondas, radiofrecuencia o calefacción óhmica, puede ayudar a desarrollar procesos térmicos más rápidos y eficientes, incluyendo Inactivación de microorganismos y preservación de nutrientes presentes en los alimentos (Marra, F., 2014).

El calentamiento óhmico es una tecnología alternativa o emergente muy prometedora para la industria de alimentos con un gran número de aplicaciones futuras

6.10 Calentamiento óhmico

6.10.1 Principio del calentamiento óhmico

El calentamiento óhmico se produce cuando una corriente eléctrica pasa a través de un alimento, provocando la elevación de la temperatura en su interior; resultado de la resistencia que ofrece al paso de la corriente eléctrica. Es rápido y tiene mayor capacidad de penetración que las microondas.

Existe un gran número de aplicaciones del calentamiento óhmico que incluyen escaldado, pasteurización, esterilización, descongelación, evaporación, deshidratación, fermentación y extracción, entre otras.

Este tipo de tratamiento evita sobrecalentamiento, pues el calor se distribuye uniformemente. La conducción de corriente eléctrica se activa debido a la presencia de componentes iónicos tales como sales y ácido en la muestra de alimentos así mismo puede calentar rápidamente el producto lo que permite un menor deterioro en los constituyentes de una amplia gama de alimentos, aportando productos con características organolépticas y nutricionales adecuadas (Gil. A, 2010).

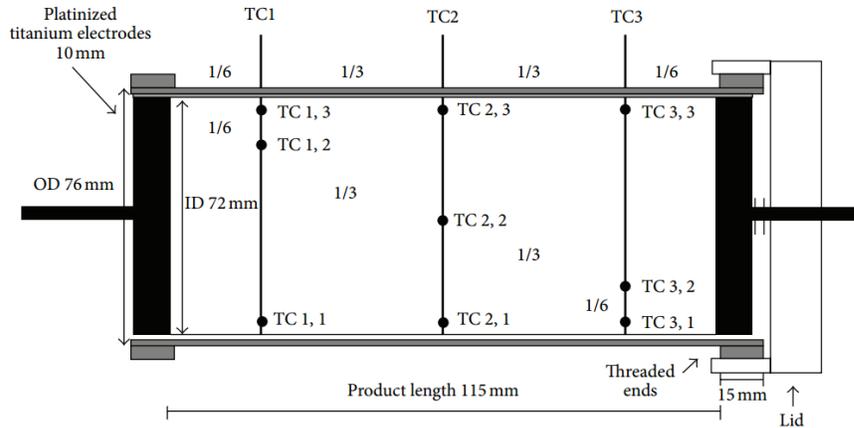


Ilustración 5. Celda de aplicación óhmica utilizada en la validación experimental del modelo para pasteurización de alimentos sólidos, incluyendo 9 posiciones de termopares (Marra, F., 2014).

6.11 Efecto del calentamiento en atributos fisicoquímicos

Los tratamientos térmicos aplicados en el procesamiento de los alimentos afectan la cantidad y la estructura de los compuestos nutraceuticos, ya sea físicos o químicos.

Un claro ejemplo debido al calentamiento es el aumento de los compuestos fenólicos en el jugo de fruta que afecta negativamente el sabor. Los compuestos fenólicos tienen valor medicinal e industrial debido a sus actividades antioxidantes y anti-inflamatorias. Se ha informado de que el jugo de granada tiene potentes efectos anti-cancerígenos y ateroscleróticos. El color visual de los jugos de frutas es un atributo importante. Se ha informado de que muchas reacciones que afectan al color podrían tener lugar durante el tratamiento térmico, tales como degradación de carotenoides (licopeno, xantofilas, etc.), antocianinas y clorofilas.

La caracterización reológica tiene un papel importante para explicar los cambios que se producen en las estructuras de los alimentos. También es muy útil en el control de calidad, la evaluación sensorial.

6.12 Inactivación de actividad microbiana por calor

Para la industria alimentaria es necesario asegurar que sus productos cuenten con características de inocuidad confiables es por eso que se realizan tratamientos que testifiquen dicha calidad.

Los principales mecanismos de inactivación microbiana por calentamiento óhmico son de naturaleza térmica, sin embargo investigaciones recientes sugieren que el calentamiento óhmico puede generar daño celular leve debido a la presencia de los campos magnéticos de bajas frecuencias lo cual ocasiona que la pared celular pueda formar poros debido a las cargas eléctricas sobre la pared celular (electroporación), esto permeabiliza la membrana celular quien es la responsable de la inactivación microbiana debida a este efecto (Pineda,D., 2016).

La letalidad del proceso térmico depende de diferentes factores: 1) tipo y número de microorganismos presentes, 2) su estado fisiológico, 3) propiedades físico-químicas del alimento y 4) del tiempo de exposición a una temperatura letal

En el caso de las levaduras, su importancia radica en la capacidad fermentativa que ellas tienen y que las hace muy inconvenientes de estar presentes en alimentos como conservas de frutas, jugos o mermeladas.

Los hongos y las levaduras son bastante más resistentes a los tratamientos térmicos que lo que son las bacterias, sin embargo, son sensibles a la falta de oxígeno, lo que los hace muy susceptibles de ser controlados por el uso de un envasado al vacío. A continuación se muestran los límites máximos permisibles de microorganismos presentes en jugos a base de frutas frescas.

Tabla 2. Límites microbiológicos de la ICMSF (International Commission on Microbiological Specifications for Foods).

NOMBRE DEL PRODUCTO	DETERMINACIONES	LIMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Zumos, néctares, bebidas a base de frutas y verduras no pasteurizadas	Mesófilos aerobios UFC/g	100,000
	Coliformes totales NMP/g	100

Capítulo III

7 Materiales y métodos

Etapa I.

Las pruebas experimentales y análisis se realizaron en el laboratorio de Bromatología y fermentaciones, del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Saltillo.

Materia prima: Frutos de granada de la variedad Wonderful procedentes del Supermercado “HEB” en la ciudad de Saltillo Coahuila.

7.1.1 Obtención y conservación de jugo de granada

Las granadas se cortaron a la mitad y se prensaron con la ayuda de un exprimidor manual de metal. El jugo obtenido fue filtrado a través de gasa y se recopiló en un contenedor de vidrio con capacidad de 1 litro.

7.1.2 Conservación

Se envasaron muestras en tubos cónicos que se mantuvieron a temperatura de refrigeración, y el resto se mantuvo en frascos de vidrio a temperatura de congelación de -17.5°C en un congelador Torrey (Modelo Chtc-15).

7.2 Caracterización físico química del jugo de granada

7.2.1 pH

El pH fue medido con un potenciómetro de mesa (HANNA instruments pH123) directamente en el jugo a temperatura ambiente (20°C).

7.2.2 Sólidos solubles

Los sólidos solubles disueltos en los jugos se analizaron con un refractómetro digital de bolsillo (ATAGO POCKET PAL-1) a 20°C . Los valores se expresaron como $^{\circ}\text{Brix}$.

7.2.3 Color

Para esta prueba se utilizó un colorímetro (Konica-Minolta, modelo CR400) obteniendo los valores L* a* b*. Se colocaron 5 ml de jugo en una caja Petri de 60x15 mm, el colorímetro se colocó por encima y se prosiguió a tomar lectura. En donde: L * indica la luminosidad, a* una cromaticidad en un área verde (-) a rojo (+) y el eje b * cromaticidad en un azul (-) al eje amarillo (+).

7.2.4 Ácido cítrico

Se tomó 1ml de cada muestra, a la cual se le agregaron 10 ml de agua destilada y 2 gotas de fenolftaleína y se homogenizó. Finalmente se tituló con NaOH 0.1 N. Se calculó el % de ácido cítrico mediante la siguiente formula (Eq.1).

$$\% \text{ác. cítrico} = \frac{\text{mlNaOH} * \text{normalidad de NaOH} * \text{meq de ác. cítrico (0.064)} * 100}{\text{alícuota valorada}}$$

7.2.5 Ácido ascórbico

Se colocó 1ml de muestra en un vaso de precipitado con 10 ml de HCl al 2% y se agregaron 100 ml de H₂O destilada. Se utilizaron 10 ml para ser titulado con Reactivo de Thielman (elaborado con 2,6 diclorofenol-indofenol de la marca "Ventus". Finalmente se calculó el % de ácido ascórbico (Eq.2).

$$\% \text{ác. ascórbico} = \frac{\text{ml gastados de R. de thielman} * \text{meq de ác. ascorbico(0.088)} * 100}{\text{alícuota valorada}}$$

7.2.6 Azúcares totales

Se preparó una curva de calibración mediante sacarosa al 0.5%. El análisis de las muestras se realizó por triplicado. Se tomó un 1ml de muestra, colocándolas en tubos cónicos, en donde se efectuó una dilución de 1:100. Se tomó 1ml de la

dilución y se colocó en tubos de ensayo en un baño de agua fría. Se añadió por las paredes del tubo 1 ml de la solución fenol sulfúrico (Fermont). Se homogenizó en vortex y, posteriormente se pasó a un baño maría de agua caliente (60°C) donde reposó por 5 minutos. Después del tiempo se atemperó la muestra y se procedió a leer absorbancia en espectrofotómetro (Thermo Electron Corporation, GENESIS YS UV) a 480 nm.

7.2.7 Azúcares reductores

La cuantificación de azúcares reductores se determinó mediante espectrofotometría en espectrofotómetro (Thermo Electron Corporation, GENESIS YS UV) a 540 nm. El análisis se hizo por triplicado, colocando en cada tubo de ensayo 1 ml de la muestra diluida (1:100). Se le agregaron 1000 µl de reactivo DNS, esto en un baño maría de agua caliente por 5 min. Pasado el tiempo se colocó en un baño de agua fría por 5 minutos. Finalmente se añadieron 5 ml de agua destilada, se homogenizó en vortex y se procedió a leer absorbancia en espectrofotómetro. Los resultados se reportaron en g/100ml a partir de la curva de calibración (Fructosa 0.5% como estándar) y la ecuación para obtener los valores en cada repetición.

7.2.8 Fenoles hidrolizables

La concentración de fenoles totales en jugo de granada fue medida por espectrofotometría, basándose en una reacción colorimétrica de óxido-reducción. El agente oxidante utilizado fue el reactivo de Folin-Ciocalteu (SIGMA).

Preparación de la curva de calibración. Se utilizó una solución estándar de ácido gálico (0.1 mg/mL) de la cual se tomaron volúmenes de 0 µL a 400 µL en intervalos de 80 µL, 40 µL del reactivo Folin-Ciocalteu y 40 µL de Carbonato de sodio, se completó el volumen de cada uno a 2.5 mL con agua destilada.

Determinación de fenoles en muestra de jugo. Se tomó 1ml de jugo previamente diluido en 1:20 en agua destilada, de ésta solución se tomó 1 mL para después completarse a 500 µL con agua destilada.

7.2.9 Conductividad Eléctrica

Se midió la conductividad eléctrica específica con el equipo de Hanna (HI 98331) del jugo (S/cm) a una temperatura de 26°C.

Etapa II.

7.3 Aplicación del tratamiento de pasteurización por calentamiento óhmico

Las muestras de jugo de granada fueron pasteurizadas por pulsos eléctricos moderados, utilizando un equipo de calentamiento óhmico y una celda óhmica diseñada a nivel laboratorio empleando un campo eléctrico de 20, 35, 40 y 50 V/cm aplicando un voltaje de 100, 175, 220 y 300 Volts respectivamente, El equipo consistió en un autotransformador variable de voltaje de 10 Amperes, conectado a corriente alterna de 220 V. Se utilizaron electrodos de acero inoxidable, el jugo se pasteurizó en lotes de 180 ml.

Para efectuar el choque térmico, la celda se colocó en un baño de agua fría (5°C)

El pH inicial de las muestras de jugo de granada fue de 3.13 ± 0.06 . Se utilizó jugo sin procesar como muestra de referencia. El jugo procesado fue etiquetado y almacenado a temperatura de refrigeración 4°C para su posterior análisis.

A continuación se muestra la celda de aplicación para el desarrollo de esta investigación.



Ilustración 6. Celda de aplicación a nivel laboratorio utilizada para el proceso de pasteurización óhmica del jugo de granada.

Etapa III

7.4 Análisis microbiológico

Para el análisis de levaduras en jugo fresco y muestras pasteurizadas, se realizó un recuento en placa. En la campana de flujo laminar (Scientific/Scorpion) se sembró por triplicado utilizando la técnica de vertido en placa, se tomó 1ml de cada uno de los tratamientos, así como del control, se agregó agar Papa Dextrosa (PDA), se homogenizó con movimientos circulares; una vez solidificado el agar las cajas se voltearon y sellaron con papel film y se incubó a 30° C por 48 horas. Después se hizo conteo en placa.

Análisis de datos

Los resultados se reportan como el promedio de tres repeticiones. En los casos necesarios, los datos se evaluaron estadísticamente con el software Minitab 16 mediante comparación de medias por la prueba de Tukey ($P<0.05$).

Capítulo IV

8 Resultados y discusiones

8.1 Etapa Caracterización físico-química

A continuación se muestran los resultados de la caracterización del jugo de granada fresco en la Tabla 3. Las condiciones del pH del jugo permiten catalogarlo como jugo ácido. El jugo de granada presenta una considerable cantidad de sólidos solubles (17.7°B) entre los que destacan el contenido de azúcares totales, entre otros compuestos de interés.

Tabla 3. Contenido nutracéutico del jugo fresco de granada variedad Wonderful.

Parámetro	Media
pH	2.95 ± 0.13
Ácido Cítrico %	2.56
Ácido Ascórbico %	0.088
Sólidos Solubles °B	17.7
Azúcares totales %	4.756±0.25
Azúcares reductores %	2.245±0.05
Fenoles hidrolizables %	0.0769

*Los resultados del análisis son representados como el promedio de tres repeticiones de la muestra.

En cuanto a los resultados de la caracterización físico química de jugo de granada se determinaron antes y después del tratamiento térmico que se muestran en la siguiente tabla (tabla 4).

Tabla 4. Análisis fisicoquímicos de jugos de granada variedad Wonderful obtenidos de jugo fresco y pasteurizado a diferentes voltajes

MUESTRA	pH	SOLIDOS SOLUBLES	ACIDEZ	VITAMINA C
		TOTALES	TITULABLE	
		(°Brix)	(g AC/10ml)	(g AA/10ml)
Fresco	2.95±0.13	17.7± 0.00 ^a	0.0256 ^a	0.088 ^a
20V/cm	3.03±0.03	17.3± 0.20 ^b	0.0256 ^a	0.088 ^a
35V/cm	3±0.05	17.7± 0.06 ^a	0.0192 ^b	0.088 ^a
40V/cm	3±0.01	17.6± 0.06 ^a	0.0256 ^a	0.088 ^a
50V/cm	3±0.01	17.6± 0.00 ^{ab}	0.0277 ^a	0.088 ^a

*Los valores son representados como la media ± desviación estándar. Valores con diferencia de letra indican diferencia significativa ($p < 0.05$). AC= ácido cítrico, AA= ácido ascórbico.

8.1.1 pH

Los valores de pH se obtuvieron para muestras de jugo pasteurizado por calentamiento óhmico y granada fresca. En jugo fresco el pH fue 2.95, el cual es similar con lo reportado por Díaz (2014), que obtuvo en las variedades wonderful, ácida y dulce un rango 2.8-3.8, esto influenciado por el tipo de granada y el método de extracción del jugo. El valor de pH corresponde al gusto ácido de la fruta. En cuanto a este parámetro, concuerda con Mena y col. (2011) en donde obtuvieron un rango de pH entre 3.0-4.0.

8.1.2 Sólidos solubles

En cuanto al resultado de sólidos solubles en jugo fresco fue de 17.7° Brix los cuales coinciden con lo reportado por Beaulieu, et al., (2015), en donde menciona que la variedad Wonderful contenía el valor más alto de sólidos solubles en un rango de 17.7-18.1 °Brix. En comparación con el fresco y demás tratamientos se encontró diferencia significativa en el proceso de 20V con 17.3 °Brix, pero aún permanece dentro del rango ya que incluso se ha reportado un menor contenido de sólidos por Dhumal, et al., (2012) 13.6-14.8 °Brix. Esto puede deberse a la mayor exposición al calor, pues en este tratamiento el tiempo transcurrido para

llegar a la temperatura de 80°C fue de 4:20 min, dando así la posibilidad a los compuestos para degradarse o perderse por acción del calor. La escasa variación de los sólidos solubles, confirma la naturaleza no climatérica de este fruto (Mercado, E., et al., 2011).

8.1.3 Ácido cítrico

Acorde a este análisis resultó que para jugo fresco se encontró un 2.5 % de ácido cítrico que coinciden con la clasificación propuesta Melgarejo (2000) la variedad Wonderful pertenece a un fruto agrio (2,34-2,69 % ácido cítrico). En cuanto a las muestras tratadas térmicamente, en 35V/cm hubo una diferencia significativa reduciendo el valor de ácido cítrico a 1.92, sin embargo se encuentra dentro del rango reportado por Melgarejo, P., y colaboradores (2000) en donde se realizó un estudio de la composición de ácidos orgánicos y azúcares en donde las variedades dulces san Felipe de blanca con el mayor contenido de ácido cítrico (0,32%) y mollar de Elche el más bajo de alrededor de 0,09%.

8.1.4 Ácido ascórbico

En cuanto al contenido de ácido ascórbico no se encontró diferencia significativa en esta investigación fue de (0,088g AA·100 mL) es semejante al reportado por Raga, J., et al., (2015) en donde se encontraron (0,010g AA·100 mL⁻¹) en granada, que es semejante al reportado por Ozgen en (2008) en la variedad "Tatli", el cual presentó un contenido de ácido ascórbico de 0,016 g AA·100 mL⁻¹. De acuerdo a las variedades analizadas son los resultados de sus componentes, el valor promedio de vitamina C encontrado en variedades evaluadas fue 0.1045g AA·100 mL⁻¹, inferior al obtenido para el cultivar "Tabrizi" (0.1745g AA·100mL) (Raga, J., et al., 2015).

8.1.5 Color

En seguida se muestran los resultados referentes a las determinaciones de color en muestras de jugo fresco y pasteurizado. En donde se encontraron cambios físicos en el jugo para a* y b* conforme al voltaje aplicado, como se muestra en la ilustración 6.

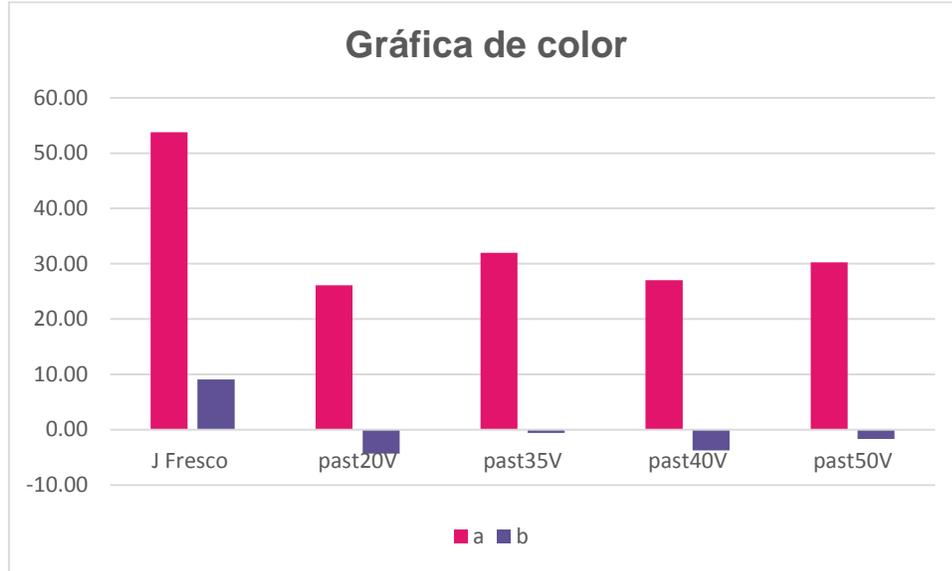


Ilustración 7. Gráfica de cromaticidad de color (coordenadas a* y b*).

Las coordenadas iniciales de color CIELAB*antes del tratamiento térmico fueron: $L^* = 30.81 \pm 4.22$, $a^* = 53.78 \pm 2.12$, $b^* = 9.08 \pm 8.77$ siendo un indicativo de un color rojo. Las pérdidas producidas por el tratamiento térmico se ven indicadas en la coordenada a* disminuyendo la saturación de color rojo tendiendo a un violeta-morado, según el gráfico de los parámetros de color del sistema tridimensional o espacio de color CIELAB. En cuanto al valor en b* en el tratamiento de 20V/cm disminuye hasta llegar a valores negativos en comparación al obtenido en jugo fresco. De acuerdo con lo encontrado por Dhumal, S., y colaboradores (2012) el color rojo brillante del jugo de granada es debido al contenido de antocianinas y su estabilidad a través del procesamiento y almacenamiento. Garzón, G., (2008) menciona que el contenido de ácido ascórbico en jugos de fresa está relacionado con la pérdida de antocianinas, posible reacción del ácido y los pigmentos.

Posteriormente se analizaron compuestos que juegan un papel fundamental en la composición nutracéutica de la granada, siendo de mayor interés los fenoles

hidrolizables totales, o también conocidos como taninos, como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Compuestos fisicoquímicos de jugos de granada variedad Wonderful obtenidos de jugo fresco y pasteurizado a diferentes campos eléctricos.

MUESTRA	AZÚCARES TOTALES g GL/100ml	AZÚCARES REDUCTORES g FT/100ml	FENOLES HIDROLIZABLES TOTALES g AG/100ml
Fresco	4.7561± 0.24 ^a	2.2451± 0.05 ^b	0.0768± 0.0004 ^c
20 V/cm	4.9160±0.01 ^a	2.0162± 0.04 ^d	0.0792± 0.0017 ^{ab}
35 V/cm	4.8294±0.04 ^a	2.1688±0.00 ^{bc}	0.0812± 0.0035 ^a
40 V/cm	4.9227± 0.08 ^a	2.3978± 0.07 ^a	0.0823± 0.0017 ^a
50 V/cm	5.0492±0.03 ^a	2.0598± 0.05 ^{cd}	0.0817± 0.0010 ^{bc}

* Los valores son representados como la media ± desviación estándar. Valores con diferencia de letra indican diferencia significativa (p<0.05). GL= glucosa, FT= fructosa, AG= ácido gálico.

8.1.6 Azúcares totales

Los azúcares totales no mostraron diferencia significativa en cuanto al jugo fresco con valores de 4.7561± 0.24 g GL/100ml por debajo a lo reportado (Cruz, et al., 2011) 10.3 % en semilla.

8.1.7 Azúcares reductores

Para la obtención de estos resultados se preparó una curva de calibración mediante fructosa al 0.5% los resultados se muestran en el anexo 1, con respecto a las muestras se realizó una dilución de 1:100 el resultado de azúcares reductores en jugo de granada fresco presentó una concentración de 2.2451± 0.05 g fructosa (FT) 100 mL. Los tratados con pulsos eléctricos moderados (óhmico) presentaron diferencias significativas con respecto al fresco en tres tratamientos 20, 40, 50V/cm obteniendo valores de 2.0162± 0.04, 2.3978± 0.07, 2.0598± 0.05 g FT·100 mL respectivamente. Existen resultados que reportaron un contenido de

azúcares reductores entre 13,89 g FT-100 mL y 29,83g FT-100 mL para diferentes variedades de granada (Raga, J., et al., 2015). Mientras que Cruz, et al., (2011) mencionan que la semilla de la granda posee un 4.67% de azúcares reductores, quedando este valor más proximo a lo encontrado en este estudio.

8.1.8 Fenoles hidrolizables

En cuanto a los fenoles hidrolizables se encontró diferencia significativa en los tratamientos 20,35 y 40V/ cm y el tratamiento de 50 V/cm se mantuvo similar a lo encontrado en jugo fresco 0.076 29,83g AG-100 mL, siendo un valor muy cercano a lo reportado por Díaz, A., (2014) para el jugo de granada variedad Wonderful extraído manualmente de, 0.1602 g AG-100 mL, pero menor al jugo extraído por exprimidor con un contenido de 0.6783 g AG-100 mL.

Etapa II.

8.2 Aplicación del tratamiento de pasteurización por calentamiento óhmico

Los resultados obtenidos para la pasteurización por tratamiento óhmico, se muestran en la tabla 6, se pueden observar los voltajes aplicados para los diferentes tratamientos, la temperatura inicial, el tiempo que tardó la muestra para llegar a la temperatura de 80°C y el tiempo que duro en bajar la temperatura a 20°C.

Tabla 6. Análisis de la cinética del proceso de pasteurización.

Tratamiento	Temperatura inicial	Tiempo de calentamiento 80°C	Tiempo de enfriamiento 30°C
Past 20V/cm	20°C	260 s	06.30 min
Past 35V/cm	20°C	53 s	05.56 min
Past 40V/cm	20°C	36 s	05.41 min
Past 50V/cm	20°C	25 s	07.09 min

La aplicación de este tipo de calentamiento es más sencillo y eficaz, ya que alcanza temperaturas altas en poco tiempo, esto hace que sea más rápido el aplicar este tipo de tecnologías en la industria alimentaria. La variación de voltaje representa la velocidad para aumentar la temperatura, en el tratamiento a 20V/cm

se ve claramente reflejado lo antes mencionado, pues la muestra necesitó de 4.20 minutos para alcanzar la temperatura de pasteurización (80°C). En cambio, el tratamiento a 50V/cm fue la más rápida para llegar a dicha temperatura. El conservar la temperatura por 1 minuto, fue complicado debido a que, si el voltaje es mantenido por ese periodo de tiempo, la temperatura se eleva significativamente y logra temperaturas más altas. Lo mismo sucede si el voltaje es reducido de golpe, la temperatura desciende rápidamente, para esto fue necesario dejar fluir una corriente ligera (20-60V aproximadamente) para mantener la temperatura estable por el periodo de tiempo.

Etapa III

8.3 Análisis microbiológico

Según la Food and Drug administration (FDA), para que un zumo sea seguro microbiológicamente, es necesario la reducción de 5 unidades logarítmicas de los microorganismos patógenos pertinentes, es decir, de aquellos microorganismos resistentes reconocidos por las autoridades dependiendo de cada tipo de alimento.

Tabla 7. Análisis microbiológico de jugo de granada.

Muestra	No. Colonias	UFC
jugo fresco	185	
inuoculado	242	2.384
Past 20V/cm	20	1.301
Past 35V/cm	12	1.079
Past 40V/cm	12	1.079
Past 50V/cm	10	1.000

Naturalmente, los microorganismos encontrados en los zumos de granada sin pasteurizar son generalmente mohos y levaduras ya que pueden sobrevivir y tienen capacidad de crecimiento en condiciones de pH bajos.

Capítulo V

9 Conclusiones

La aplicación de tratamientos alternativos para la pasteurización, como los pulsos eléctricos moderados (óhmico), representa una técnica no térmica de conservación de alimentos, dispuesta a reemplazar el procesamiento térmico convencional.

La variación de voltaje a 50 V/cm en el procesamiento de térmico por pulsos eléctricos moderados (óhmico) del jugo de granada evita el deterioro de los nutrimentos del jugo de granada

Se demostró la eficacia del tratamiento de pasteurización, logrando disminuir la actividad microbiana, evidenciando así la correcta aplicación del tratamiento.

La aplicación de pulsos eléctricos moderados en la celda experimental utilizada, logra el efecto de pasteurización del jugo de granada.

Se sabe que las características físicas y químicas de los productos alimenticios influyen fuertemente en la efectividad de la inactivación microbiana, por lo que el reto experimentado se debió a mantener esas características en el jugo de granada. Por lo que se concluye para esta investigación que el mejor tratamiento para la inactivación físico química y microbiana es la aplicación de voltajes altos por periodos cortos de tiempo, como lo demostró el tratamiento a 50V/cm aplicando 300 Volts, en donde se presentaron la menor cantidad de variantes nutrimentales en comparación con el jugo fresco.

Capítulo V

10 Bibliografía citada

- Akpinar-Bayazit, A., Ozcan, T., Yilmaz-Ersan, L. & E.Yildiz, &., 2016. Evaluation of Antioxidant Activity of Pomegranate Molasses by 2,2-Diphenyl-1-Picrylhydrazyl (DPPH) Method. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, February, 7(1), pp. 71-74.
- Aloqbi, A. y otros, 2016. Antioxidant Activity of Pomegranate Juice and Punicalagin. *Journal Natural Science*, Volumen 8, pp. 235-246.
- Arthey, D. & Ashurst, P., 1966. *Fruit processing*. 1 ed. España: Acribia S. A..
- Barrett, D., L., S. & H., R., 2004. *Processing Fruits Science And Technology*. 2º ed. United States of America: CRC.
- Beaulieu, J. y otros, 2015. Physicochemical properties and aroma volatile profiles in a diverse collection of California-grown pomegranate (*Punica granatum* L.) germplasm.. *Food Chemistry* , 181(1), p. 354–364.
- BK Servis CZ , s.f. *BK Servis CZ*. [En línea] Available at: <https://www.bkserviscz.eu/bkserviscz/eshop/65-1-CTETE-O-ACAI-ZDRAVEM-OVOCI/70-2-ACAI-INFORMACE> [Último acceso: 6 Noviembre 2016].
- Bustinza, F., 1954. *Bustinza, F. (1954) Contribución al estudio de la actividad antibacteriana del jugo de la porción carnosa de las semillas de Punica granatum L..* s.l.:s.n.
- CODEXSTAN, 2005. *Norma general del CODEX para zumos (jugos) y néctares de frutas*. s.l.:s.n.
- Cruz, R. d. I. y otros, 2011. La granada: fuente de potentes agentes bioactivos. *CIENCIACIERTA* , Issue 25, p. SD.

- Dhumal, S., Karale, A., V.P. Kad, S. J. & P.D.Dalve, C. N. &., 2012. Use of clarification agents and methods on the development of pomegranate juice processing technology. *International Journal of Processing and Post Harvest Technology*, 3 (2), pp. 166-171.
- Díaz, A., 2014. *Calidad nutraceutica de extractos de granada dulce y acida y bioaccesibilidad de sus compuestos fenólicos en un modelo in vivo*. [En línea]
Available at: ri.uaq.mx/bitstream/123456789/2530/1/RI001488.pdf
[Último acceso: 16 Noviembre 2016].
- FAO Document Repository, 1993. *Manual para el curso sobre procesamiento de frutas y hortalizas a pequeña escala en Perú*. [En línea]
Available at: <http://www.fao.org/docrep/x5063s/x5063S00.htm#Contents>
[Último acceso: 11 Noviembre 2016].
- FRUTAS, N. G. D. C. P. Z. (. Y. N. D., 2005. *CODEX STAN 247-2005*. s.l.:s.n.
- Garzón, G. A., 2008. LAS ANTOCIANINAS COMO COLORANTES NATURALES Y COMPUESTOS BIOACTIVOS: REVISIÓN. *Acta Biológica Colombiana*, 13(3), pp. 27-86.
- Gil, Á., 2010. *Tratado de nutrición*. segunda ed. Madrid: Editorial Medica Panamericana.
- Gil, M. y otros, 2000. Antioxidant Activity of Pomegranate Juice and Its Relationship with Phenolic Composition and Processing. *Journal of Agricultural and Food chemistry*, Volumen 48, pp. 4581-4589.
- INEGI, 1998. *internet.contenidos.inegi.org.mx*. [En línea]
Available at:
http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/380/702825118280/702825118

280_15.pdf

[Último acceso: 19 10 2016].

- Isaza, J. H., 2007. Taninos o Polifenoles Vegetales. *Scientia et Technica*, 1(33), pp. 13-18.
- Jurenka, J., 2008. Therapeutic Applications of Pomegranate (*Punica granatum* L.): A Review. *Alternative Medicine Review*, 13(2), pp. 128-144.
- López, A., E., P. & A., L. M., 2012. Radiación ultravioleta en jugos de frutas: fundamentos y aplicaciones. *fundamentos y aplicaciones. Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 6(2), pp. 79-93..
- Maged, E. & Amer Eissa, A., 2012. Pulsed Electric Fields For Food Processing Technology.. *Struct Funct Food Eng*, pp. 275-306.
- Marra, F., 2014. Mathematical Model of Solid Food Pasteurization by Ohmic Heating: Influence of Process Parameters. *The Scientific World Journal*, pp. 1-8.
- Mejía, O. A. L., Malo, A. L. & Palou, E., 2010. Granada (*Punica Granatum* L): una fuente de antioxidantes de intrés actual. *Revista Temas Selectos de Ingeniería en Alimentos*, 4(1), pp. 64-73.
- Melgarejo, P., D, S. & F., y. A., 2000. Organic acids and sugar composition of harvested pomegranate fruits. *European Food Research and Technology*, 211(3), pp. 185-190..
- Mena, P. y otros, 2012. Rapid and Comprehensive Evaluation of (Poly)phenolic Compounds in Pomegranate (*Punica granatum* L.) Juice by UHPLC-MSn. *Journal Molecules*, Volumen 17, pp. 14821-14840.
- Mercado, E., Mondragón, C. & Mayorga, L. R. P. y. B. Á., 2011. Efectos de condición del fruto y temperatura de almacenamiento en la calidad de granada roja. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2 (3).

- Moreno, P. M., F. Hernández García, P. & Murcia, L., 2010. I Jornadas Nacionales sobre el Granado: Producción, Economía, Industrialización, Alimentación y Salud, Universidad Miguel Hernández de Elche, Departamento de Producción Vegetal y Microbiología, Elche, Alicante, Spain (2010), pp. 36–37. *Granado Departamento de Producción Vegetal y Microbiología*, pp. 1-37.
- Mousavinejad, G., Emam-Djomeh, Z., Rezaei, K. & Khodaparast, M. H. H., 2009. Identification and quantification of phenolic compounds and their effects on antioxidant activity in pomegranate juices of eight Iranian cultivars. *Food Chemistry* 115, 1(115), p. 1274–1278.
- Pineda, D., 2016. *Célula de Alimentos y Bebidas*. [En línea] Available at: http://www.innovacion.gob.sv/inventa/attachments/article/6544/CALENTAMIENTO_OHMICO%20DE%20LOS%20ALIMENTOS.pdf [Último acceso: 24 oct 2016].
- Raga, J., Pérez, Z. M., Pérez, E. P. & Araujo, G. P. & K., 2015. Evaluación fisicoquímica y fitoquímica de granada (*Punica granatum* L.). *Revista Tecnocientífica Universidad Rafael Urdaneta*, 1(8), pp. 47-55.
- Sánchez, A., 2014. *Desarrollo y aplicación de tecnologías para la conservación de las propiedades fisicoquímicas de una bebida de mango tipo smoothie*. Universidad Autónoma de Queretaro.: s.n.
- Sánchez, Á., Cozzi, R. & Cundari, E., 2005. Extracto de frutos enteros de *Punica granatum* L. como agente protector del daño inducido por el peróxido de hidrógeno. *Revista Cubana Plantas Medicinales*, 10(2).
- Simpson, R., Jiménez, M., Carevic, E. & R., G., 2007. Aceleración de la deshidratación osmótica de frambuesas (*Rubus idaeus*) por medio de calentamiento óhmico.. *ALAN Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 57(2), pp. 192-195.

- Singh, R. P., Murthy, K. N. C. & Jayaprakasha, & G. K., 2002. Studies on the Antioxidant Activity of Pomegranate (*Punica granatum*) Peel and Seed Extracts Using in Vitro Models. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(1), pp. 81-86.
- Ulrike, A., Jaksch, A., Carle, R. & Kammerer, D., 2013. Influence of origin source, different fruit tissue and juice extraction methods on anthocyanin, phenolic acid, hydrolysable tannin and isolariciresinol contents of pomegranate (*Punica granatum* L.) fruits and juices.. *European Food Research and Technology*, 237(2), pp. 209-221.
- USDA, 2007. *United States Department of Agriculture Agricultural Research Service*. [En línea] Available at: <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/2359?n1=%7Bn1%3DQ4457%2C+Qv%3D1%2C+Q4456%3D1%2C+Q4457%3D1%7D&fgcd=&man=&facet=&count=&max=&sort=&qlookup=&offset=&format=Full&new=&measureby=&Qv=1>
[Último acceso: 7 Noviembre 2016].
- USDA, 2009. *National Nutrient Database for Standard. United States Department of Agriculture..* [En línea] Available at: <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/search/list>
[Último acceso: 29 10 2016].
- Valero, M., Vegara, S., Martí, N. & Saura, & D., 2014. Clarification of Pomegranate Juice at Industrial Scale. *Journal Food Processing & Technology*, 5(324).
- Vegara, S., 2014. *Estrategias tecnológicas para optimizar la producción y la vida útil de zumo de granada (Punica granatum cv. Mollar)*. Elche Alicante: Tesis Doctoral.

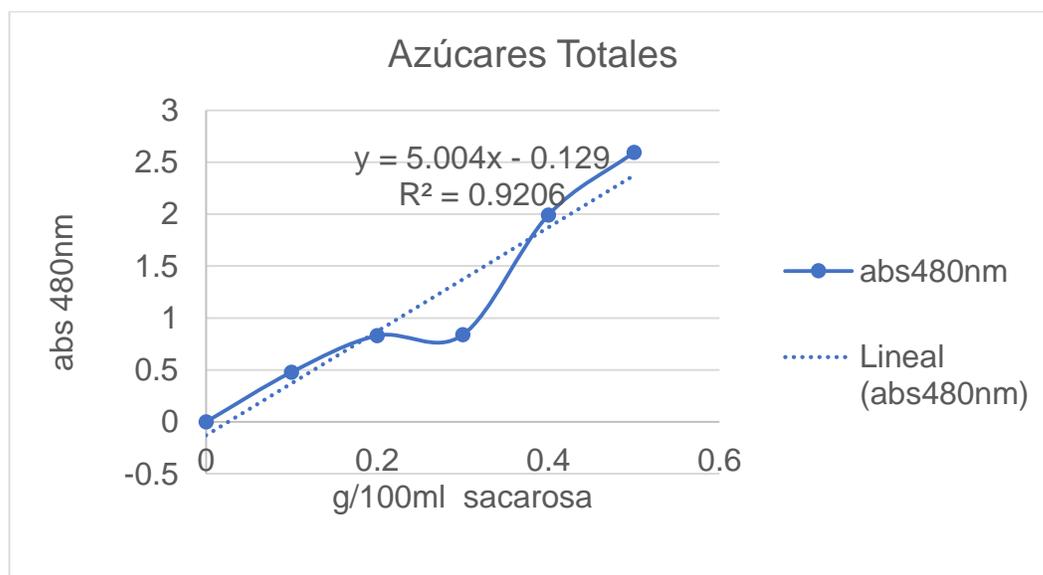
- Yildiz, H., Bozkurt, H. & Icier, F., 2009. Ohmic and Conventional Heating of Pomegranate Juice: Effects on Rheology, Color, and Total Phenolics. *Food Science and Technology International* , 15(5), pp. 503-512.

11 Anexos

11.1 Curva de calibración para azúcares totales

Resultados para curva de calibración de azúcares totales.

Azúcares. totales		0.5g de sac- 100ml =0.5%	
ml sacarosa	ml h20n	g/100ml	abs480nm
0	1	0	0
0.2	0.8	0.1	0.479
0.4	0.6	0.2	0.83
0.6	0.4	0.3	0.838
0.8	0.2	0.4	1.991
1	0	0.5	2.594



11.2 Curva de calibración para azúcares reductores

Resultados para curva de calibración de azúcares reductores.

**Azúcares.
Reductores** **0.5g de fructosa/100ml=0.5%**

ml fructosa	ml H ₂ O	g/100ml	abs540nm
0	1	0	0
0.2	0.8	0.1	0.422
0.4	0.6	0.2	0.732
0.6	0.4	0.3	0.967
0.8	0.4	0.4	1.17
1	0	0.5	1.644

