

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

Departamento de Ingeniería Química y Ambiental

Valparaíso, Chile



**ESTUDIO DEL PROCESO DE SECADO EN TAMBOR
ROTATORIO DOBLE Y EL EFECTO SOBRE LA CALIDAD
FUNCIONAL DE LA CÁSCARA DE FRUTOS DE GRANADA
(*PUNICA GRANATUM*)**

VICTORIA TAMARA VICENCIO NANJARÍ

**MEMORIA DE TITULACIÓN, PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
QUÍMICO**

PROFESOR GUÍA 1: DR. SERGIO ALMONACID

PROFESOR GUÍA 2: DRA. MÓNICA VALDENEGRO

NOVIEMBRE, 2016



Agradecimientos

Quiero agradecer primeramente a Dios por su infinita ayuda y protección.

Sin lugar a dudas ha sido un camino largo y complejo de recorrer, pero si esto hoy llega a su fin, es gracias a muchas personas que han estado ahí en el momento indicado.

A ti mamita, por tu amor incondicional, por estar ahí desde los momentos en que yo ni siquiera puedo recordar, por ser mi sustento, por cumplir tu doble labor cuando la vida nos golpeó tan fuerte y permitirme a pesar de todas las dificultades seguir con mi sueño, gracias por tu esfuerzo.

A todas mis compañeras de carrera, las cuales fueron mi apoyo, mis oídos y mi vista en los momentos que mi tiempo se veía tan reducido, gracias por su incondicionalidad y compañía.

Pero por sobre todo gracias a mi familia, a mis hijos y a ti amor, por ser mi motor, por ser quien me dio fuerzas cada una de las veces en que se agotaban, por escucharme, por secar mis lágrimas e instarme a seguir intentándolo, por tu esfuerzo y trabajo diario.

Finalmente a mis profesores por su paciencia, dedicación y tiempo, muchas gracias.



Glosario

Polifenoles: Compuestos bioactivos con poder antioxidante que tienen más de un grupo fenol en cada molécula .

Antocianos: Son pigmentos naturales que pueden ir del azul al rojo; están presentes en las hojas , los pétalos, los frutos a los que también les dan su color rojo. Soluble en medios acuosos , también son excelentes colorantes naturales y también se las conocen por sus propiedades antioxidantes.

USDA : Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. (*United States Department of Agriculture*).

Flavonoides: Pigmentos vegetales con un marcado poder antioxidante, que previenen el envejecimiento celular y los procesos degenerativos. Su estructura química es variada: fenoles, indoles, alilsulfuros, etc.

Taninos: Metabolitos secundarios de algunos vegetales, que resultan solubles en el agua y son astringentes. Pueden tener una tonalidad entre amarilla y marrón y disponen de un sabor amargo.

Acido ursólico: Compuesto triterpénico pentacíclico, es decir, de 30 carbonos que está conformado por 5 anillos. Se trata de un ácido natural de poca toxicidad que se encuentra en la cáscara, la piel o las hojas de numerosos vegetales.

Acido elagico: Tiene la fórmula sintética $C_{14}H_6O_8$, es un polifenol que protege a muchas plantas contra la luz ultravioleta, virus, bacterias y parásitos. Está presente en las plantas como elagitanino, que se activa bajo estrés a ácido elágico.

Quercitina: Sustancia cristalina de color amarillo, que se producen muy ampliamente distribuida en el reino vegetal, como es la corteza del árbol de manzana, hojas de castaño de Indias y etc.

Glicosidos: Son compuestos que de ser hidrolizados dan origen a una porción que es azúcar y otra que no lo es (aglicona o genina).

Apigenina: Compuesto que se encuentra en muchas plantas, es un producto natural que pertenece a la clase flavona que es la aglicona de varios glucósidos de origen natural. Es un sólido cristalino amarillo que se ha utilizado para teñir.

Contenido

Agradecimientos	2
Glosario	3
Indice de Figuras	6
Resumen	8
Abstract.....	9
I. Introducción	10
II. Revisión Bibliográfica	12
1. Antecedentes generales	12
1.1 Situación a nivel mundial.....	16
2. Materiales y métodos	19
2.1 Lugar de Estudio:	19
2.2 Materiales:	19
2.3 Experimentación:	22
2.4 Diseño de Experimentos:.....	28
2.5 Metodología	30
III. Resultados	38
Curvas de secado (humedad expresada en base seca).	38
Datos experimentales.	38
Curvas obtenidas	39
Contenido Total de Polifenoles expresado en base seca.....	45
Medición fraccional en el tiempo.	47
Contenido de humedad versus Polifenoles totales.	48
Construcción Isoterma de Sorción.....	51
Diferencias en color	54
Parámetro L (luminosidad).....	54
Parámetro a* (rojo→verde).....	54
Parámetro b* (azul →amarillo).	54
Parámetro C (croma, 0→borde).	55
Parámetro H° (ángulo, 0°→360°).	55
Humedades Objetivo	57
Frutas desecadas de alta humedad.....	58



Frutas desecadas de baja humedad	60
Cuadro comparativo	62
Discusión:	64
IV. Conclusiones	66
V. Recomendaciones	67
VI. Referencias.....	68
VII. Anexos.....	73
Análisis de varianza de un factor	73
Actividad de Agua (Aw)	73
Humedad (H)	74
Contenido Total de Polifenoles (C.T.P)	75
Colorimetría	77

Indice de Figuras

Figura 1: Partes de la granada. Fuente: Calin y Carbonell, 2014.	13
Figura 2: Exportaciones año 2013. Fuente: Subsole.	17
Figura 3: Daño en la piel del fruto.	18
Figura 4 Vista principal del secador.	20
Figura 5: Vista posterior del secador.	20
Figura 6: Acondicionado materia prima.	22
Figura 7: Reducción del tamaño de la materia prima.	23
Figura 8: Molienda de la materia prima.	23
Figura 9: Formación de lotes.	24
Figura 10: Diagrama del proceso.	24
Figura 11: Evaluación de válvulas de condensado.	25
Figura 12: 1) Termocupla de contacto. 2) Contador r.p.m. 3) Indicador de presión	25
Figura 13: Ingreso materia prima a superficie de secador.	26
Figura 14: Proceso de secado por superficie de contacto.	26
Figura 15: Recepción cáscara seca.	27
Figura 16: Almacenamiento producto seco.	27
Figura 17: Mantención producto seco en desecador.	27
Figura 18: Parámetros fijos y variables.	28
Figura 19: Equipo Aqualab 4TE.	31
Figura 20: Espacio de color CielAB. (Westland, 2001).	32
Figura 21: Espacio de color CielCH. (Boscarol, 2007).	32
Figura 22: Diferencia entre tono, saturación y brillo. (Boscarol, 2007).	33
Figura 23: Colorímetro Minolta CR-400/410.	33
Figura 24: Estufa de secado.	35
Figura 25: Balanza de precisión.	35
Figura 26: Equipo Espectrofotómetro, Modelo Spectronic Genesys 5.	37
Figura 27: Centrífuga, Modelo Hermle Z 323 K.	37
Figura 28: Humedad v/s tiempo de secado a 110°C.	40
Figura 29: Humedad v/s tiempo de secado a 120 °C.	40
Figura 30: Humedad v/s tiempo de secado a 130 °C.	40
Figura 31: Gráfico comparativo de humedad v/s tiempo a diferentes temperaturas.	41
Figura 32: Humedad v/s tiempo a diferentes temperaturas, acotado.	42
Figura 33: Relación parámetro k con la temperatura.	43
Figura 34: Relación humedad de equilibrio v/s temperatura.	44
Figura 35: Contenido Total de Polifenoles v/s Temperatura.	45
Figura 36: Contenido Total de Polifenoles v/s Tiempo de secado.	46
Figura 37: Medida fraccional de Polifenoles v/s tiempo de secado.	47
Figura 38: Medida fraccional de Polifenoles v/s humedad.	49
Figura 39: Medición fraccional de Polifenoles v/s humedad, acotado.	49



Figura 40: Comparación puntos experimentales y curva de G.A.B.....	52
Figura 41: Diferencias de color según procesos aplicados.	56

Resumen

En la actualidad la cáscara del fruto de la granada es considerada un residuo, el cual posee variadas propiedades, dentro de estas, gran contenido de polifenoles, útiles en la prevención de enfermedades degenerativas. (Calin y Carbonell, 2014).

Por otra parte, debido al procesamiento del fruto, dada la creciente demanda de sus subproductos más que de la fruta fresca, la tendencia es a que este con el tiempo aumente su volumen.

Por todo lo antes mencionado, el siguiente informe se centró en el desarrollo de un sistema de procesamiento de dicha cáscara, obteniendo la revalorización de este residuo.

Se establecieron las condiciones para un proceso de secado en tambor rotatorio doble y se estudió, el contenido de humedad, la retención de polifenoles, cambios en colorimetría (Ángulo H°) y valores de actividad de agua de acuerdo a los tratamientos aplicados.

Los tratamientos variaron tanto en tiempo de residencia, como temperatura de proceso.

Siendo fijados 4 temperaturas de proceso (100 °C, 110 °C, 120 °C y 130 °C.) y 2 tiempos de residencia diferentes (30 y 45 segundos).

Se determinó experimentalmente su respuesta, y de acuerdo a esta, se generaron modelos cinéticos tanto de secado, como de degradación de polifenoles.

De acuerdo a todo lo antes señalado y acorde a la clasificación de “frutos deshidratados” y la mayor retención en polifenoles, las opciones de tratamiento escogidos son las que se presentan a continuación:

Opción de alta humedad: Considerando una temperatura de 110°C y un tiempo de residencia de 24 segundos, la humedad de equilibrio alcanzada sería 11,8% acercándose al límite permitido (12%), logrando una retención del 94%. Su actividad de agua registrada se acerca a 0,18, mientras que su ángulo H° quedó determinado en 54,4°.

Opción de baja humedad: Con la intención de cumplir una humedad máxima permitida de 5%, el tratamiento que cumplía con la premisa es aquel realizado a 130 °C con un tiempo de residencia de 32 segundos, logrando obtener una humedad de equilibrio de un 4,8% y una retención del 79%. Su actividad de agua registrada se fijó en 0,12, mientras que el ángulo H° quedó determinado en 66,5°.

Abstract

Nowadays the peel of the pomegranate is considered a byproduct that possess a variety of properties in which contains a large quantity polyphenol, useful in the prevention of degenerative illnesses. On the other hand, the demand of this byproduct is expected to grow due to the increase in demand even more than its dried form.

Considering everything mentioned above the following report intends to explain the processing of the peel to obtain the value of its byproduct.

The Conditions of the drying process were established in a double rotating centrifuge, and the retention of the polyphenols, changes in Color scale (H Angle), and measurements of water activity according to the treatments applied were studied.

The treatments applied vary in time of residence, and the temperature of the process.

4 fixed temperatures of process were applied (100 °C, 110 °C, 120 °C y 130 °C.) and 2 different times of residence (30 y 45 seconds).

The results were determined by experimenting, and according to this, scientific models have been generated regarding the drying process and the degradation of the polyphenols.

Considering everything mentioned above and according to the classification of “Dehydrated Fruit” and the maximum retention of polyphenols the chosen options of treatment are the ones presented below:

High humidity option: Considering a temperature of 110°C and a time of residence of 24 seconds, the equilibrium of humidity reached would be 11,8% approaching the allowed limit (12%), and reaching a retention of 94%. The water activity approached 0,18, Meanwhile the H° angle was determined at 54, 4°.

Low humidity option: with the intention reaching the max humidity permitted of 5%, the treatment that realized this premise was at a temperature of 130 °C with a time of residence of 32 seconds, obtaining an equilibrium of humidity of 4,8% and with a retention of 79%. The water activity was registered at 0,12, meanwhile the angle H° was determined at 66,5°.

I. Introducción

En la actualidad al igual que muchas de las cascara de diferentes frutos, la cáscara de la granada es considerada un desecho, por otra parte, ésta, es un punto de descarte en la evaluación de las exportaciones al presentar daños, y finalmente su volumen es considerable pues presenta cerca del 50% del peso del fruto. (Calin y Carbonell, 2014).

En Chile, si bien no existen cifras exactas acerca de la producción y exportación del fruto, pues este aún no posee un código arancelario único y se encuentra incluida dentro de la clasificación de “otros frutos”, productores y exportadores del rubro mencionan que su plantación es cercana a las 1000 [Ha].

Estudios anteriores demuestran que la cáscara de la granada posee gran cantidad de compuestos fenólicos, lo cual la transforma en un producto de interés debido a las variadas propiedades y beneficios de éstos.

Solo por mencionar algunos encontramos: Incremento en la actividad de enzimas involucradas en la diabetes, en el hígado y riñones (Alyhunibe et al. 2010), protección antioxidante de numerosas enzimas (Murthy et al. 2002), poder antiinflamatorio contra edemas y granulomas (Al Yahya, 2005), capacidad antioxidativa e inhibición de la oxidación lipídica (Hossin, 2009), descenso de la presión sanguínea y del peso corporal (Khalil, 2004), mayor velocidad de cicatrización de heridas (Adiga et al, 2010), reducción de gastroenteritis (Qnaies et al, 2007), prevención de la cirrosis, poder antioxidativo y reducción del daño biliar (Toldu et al, 2007), inhibición de la proliferación de melanocitos y melanina (Yoshimura et al, 2005), gran poder antibacteriano de extractos etanólicos (Choi et al, 2011), gran efecto protector contra la radioterapia (Toklu et al, 2009), efecto anti diarreico y actividad citotóxica (Hasan et al, 2009), reducción de proliferación de células con cáncer de mama (Dikmen et al, 2011).

El desarrollo de la industria en la actualidad, nos permite el aprovechamiento de los elementos antes considerados desechos por la vía de agregarles valor. Bajo esta mira, es posible elaborar productos que utilicen la cáscara granada, conservando sus características químicas y otorgando beneficios para la salud humana.

Una de las técnicas más usadas para la deshidratación de vegetales es el secado a altas temperaturas, con el fin de extender la vida útil del producto, otorgar estabilidad microbiológica y disminuir la actividad de las enzimas por medio de la reducción del contenido de agua.(Tang,2003). Sin embargo dicha deshidratación puede provocar degradación de sustancias de importancia nutricional, por el efecto de la exposición directa a altas temperaturas. Este hecho hace interesante el estudio sobre la estabilidad del producto final.

Es por esto que se realizó el “Estudio del efecto del proceso de secado mediante sistema de secado en tambor rotatorio doble sobre la calidad funcional de la cáscara de frutos de granada (*Punica granatum*)”.

Actualmente existe una creciente demanda en la producción de frutos deshidratados en el país principalmente debido a la gran cantidad de beneficios antes mencionados que aporta el consumo de estos alimentos a la salud.



El objetivo de este trabajo es desarrollar un sistema de procesamiento de la cáscara del fruto de granada (*Punica granatum*), rica en componentes polifenólicos, obteniendo la revalorización de este residuo. Como objetivos específicos se consideran:

1. Establecer las condiciones del proceso de secado de cáscara de frutos de granada en el sistema de secador de tambor doble rotatorio.
2. Estudiar la retención del contenido de polifenoles totales en la cáscara.

Como materia prima, se utilizó cáscara de frutos de granada, variedad *Wonderful*.

En una etapa inicial se pre estandarizó la materia prima. Se consideraron las siguientes variables operacionales: temperatura (presión de vapor), velocidad de rotación de cilindros (tiempo de residencia), cantidad de producto a deshidratar entre los cilindros, condiciones del alimento a deshidratar (concentración, características físicas y temperatura que alcanza el producto en la superficie del cilindro). Se determinará el tiempo total del proceso y compararán parámetros de calidad del producto final mediante el contenido de polifenoles totales, humedad, Actividad de agua y color.

II. Revisión Bibliográfica

1. Antecedentes generales

El granado (*Punica granatum* L.), es un frutal cuyo cultivo se conoce desde la antigüedad, originario de Irán y conocido con los orígenes de la civilización en Asia. Su clasificación específica es la siguiente:

Tabla 1: Clasificación Sistemática de la granada.

Clasificación Sistemática	
División	Fanerógamas
Clase	Dicotiledóneas
Subclase	Arquiclamídeas
Orden	Myrtales
Familia	Punicaceae
Género	Púnica
Especie	Granatum



Actualmente el fruto es cultivado extensivamente en su país de origen, la zona mediterránea de África y las zonas áridas de Asia. (Melgarejo y Salazar, 2003).

Al continente americano fue traído en el periodo de conquista por los españoles, extendiéndose así su cultivo en las zonas cálidas y áridas del continente.

El árbol denominado granado se caracteriza por su follaje abundante, troncos y ramas torcidas, levemente espinosas, hojas de color verde y flor acampanada de color naranja brillante. (Morton , 1987).

Su fruto, la granada, es de forma esférica con un color variante entre el verde y el rojo escarlata y un diámetro entre los 6 y 12 cm dependiendo de su variedad.

Su cáscara cubre un gran número de arilos uniformemente distribuidos, jugosos y que varían su sabor del agri dulce al dulce. En su interior se encuentra separado por paredes membranosas, formadas por un tejido blanco, esponjoso y amargo, que encierra los compartimentos donde se encuentran las semillas.

El granado se caracteriza por ser un frutal que presenta una gran adaptabilidad a condiciones climáticas adversas, pues puede soportar inviernos severos y alta salinidad en el suelo, además de tolerar sequías y crecer en zonas desérticas. (Roy y Waskar, 1997).

Es ideal para zonas áridas y semiáridas, y puede adaptarse a todo tipo de suelo, por otra parte tiene un bajo requerimiento hídrico, pudiendo cultivarse sin problemas en la zona del norte del país. (Franck, 2010).

Debido a todas las características antes mencionadas, su cultivo se ha extrapolado, encontrándose países productores y comercializadores como España, Marruecos, Egipto, Israel, Estados Unidos, Argentina y Chile, entre otros. (Navaro, 2009).

El fruto puede clasificarse según sus características, siendo conocidas al menos 7 variedades:

Tabla 2: Variedades de Granada.

Variedades de granada
Emek
Shany
Acco
116
Herskovitz
Wonderful
Kamel

En el país la variedad cultivada es la denominada Wonderful, principal variedad cultivada a nivel mundial, debido a sus características y principalmente por tratarse de una variedad de cosecha tardía; periodo comprendido entre los meses de Marzo y Mayo.

En cuanto a la composición del fruto, la granada se compone de corteza, membranas capelares, arilos y semillas. (Calin, Carbonell, 2014).

Porcentualmente se dividen:

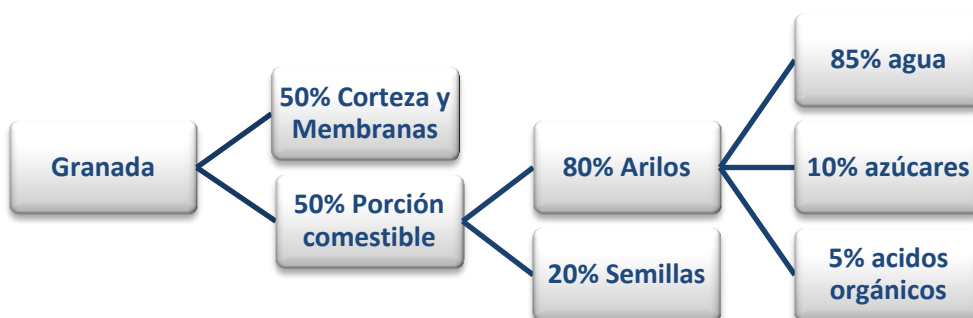


Figura 1: Partes de la granada. Fuente: Calin y Carbonell, 2014.

En cuanto a su composición química sobre la parte comestible esta se detalla en la tabla 3 que a continuación se presenta.

Tabla 3: Composición de la porción comestible de la granada variedad Wonderful. Fuente: Adaptada USDA, 2009.

Nutriente	Unidades	Valor por 100 [g]
Proximal		
Agua	g	77,93
Energía	Kcal	83,0
Proteína	g	1,67
Lípidos totales (grasa)	g	1,17
Cenizas	g	0,53
Carbohidratos (por diferencia)	g	18,7
Fibra dietaria total	g	4,0
Azúcares totales	g	13,67
Minerales		
Calcio	mg	10,0
Hierro	mg	0,3
Magnesio	mg	12,0
Fósforo	mg	36,0
Potasio	mg	236,0
Sodio	mg	3,0
Zinc	mg	0,35
Cobre	mg	0,158
Manganeso	mg	0,119
Selenio	mg	0,5
Vitaminas		
Vitamina c , ácido ascórbico total	mg	10,2
Tiamina	mg	0,067
Riboflavina	mg	0,053
Niacina	mg	0,293
Ácido pantoténico	mg	0,377
Vitamina B-6	mg	0,075
Folato total	mcg	38
Colina total	mg	7,6
Vitamina E, alfa-tocoferol	mg	0,6
Vitamina K	mcg	16,4
Lípidos		
Ácido grasos saturados	g	0,120
Ácidos grasos monosaturados	g	0,093
Ácidos grasos polisaturados	g	0,079

Como es posible apreciar, el granado es una buena fuente tanto de nutrientes como de minerales, destacando entre estos su alto contenido en agua, a- y b carotenos, magnesio, potasio y hierro, lo que lo convierte en un fruto muy completo y de alta calidad.

Uno de los aspectos que ha cobrado importancia en los últimos años es el contenido de sustancias antioxidantes, tales como fenoles, polifenoles, antocianos, entre otros. Estos en recientes investigaciones se le han otorgado propiedades nutraceuticas y farmacológicas de gran valor. (López y Mejía , 2010).

Kaur y Kapour (2001) concluyeron que la presencia de estos compuestos fenólicos en la granada podría contrarrestar el efecto negativo de los radicales libres que resultan de las reacciones oxidativas del metabolismo al interceptar las cadenas de los radicales libres; para ello donan un hidrógeno del grupo hidroxilo, formando un producto final estable, evitando así la futura reacción de iniciación y propagación de los radicales libres. (Singh *et al.*, 2002).

Utilizando los correspondientes métodos analíticos se he demostrado la presencia de compuestos antioxidantes prácticamente en todas las partes del árbol del granado; corteza, raíz, hojas, flores y fruto; dentro de este último se considera cáscara, jugos y semillas.

En cortezas y raíces se encuentran flavonoides y taninos (Vidal *et al.*, 2003), también es posible encontrar ácido ursólico y ácido elágico, quercitina, leutonina, entre otros. (Lansky y Newman, 2007).

Las hojas por su parte son una gran fuente de taninos, con presencia de glicósidos de apigenina, flavona y angelíticas. (Lansky y Newmna, 2007).

En el caso de las flores, la cáscara y las semillas se ha encontrado ácido gálico y ursólico. (Huang *et al.*, 2005).

Finalmente el jugo posee principalmente antocianinas y flavonoides los cuales le confieren su color brillante y rojizo. (Hernández *et al.*, 1999).

En la actualidad el fruto ha cobrado importancia mundial debido a dichas propiedades antioxidantes, las cuales le otorgan propiedades farmacológicas anticancerígenas, antitumorales, antimicrobianas, entre otras. (Lansky y Newman, 2007; Syed, 2007; Bektas y Ozturk, 2007; Shahidi y Nacz, 2009; Celik, 2009).

El contenido de compuestos bioactivos, dependerá de factores como la especie, variedad, índice de madurez, y las condiciones ambientales y manejo agronómico. La concentración de polifenoles en este tipo de fruto se va incrementando a medida que aumenta su estado de desarrollo, sin embargo se detiene una vez que alcanza su estado de maduración, sin embargo la granada se trata de un fruto no climaterio, es decir, que no es capaz de seguir su maduración posterior a la cosecha, por lo que es necesario cosechar en el periodo correcto y así conservar sus características organolépticas y obtener la mayor concentración de compuestos bioactivos. (Gil *et al.*, 1995).

1.1 Situación a nivel mundial

La granada se ha convertido en la última década en un fruto cada vez más solicitado por los mercados internacionales; por una parte, gracias a que es una de las más destacadas en el grupo de las superfrutas, pues posee características que las hacen excelentes para nuestra salud, y por otra, por el crecimiento alrededor del mundo del interés por la comida de países que tradicionalmente la utilizan en sus preparaciones.

Esto ha causado el incremento de la demanda por el fruto fresco, así como también la demanda por productos alimenticios de granadas procesadas en distintos formatos, siendo el más popular el jugo de granada.

Por otro lado, Chile cuenta con la ventaja de la contra estación en la cosecha del fruto y un prestigio como productor confiable de fruta fresca y de calidad. Además cuenta con un potencial de industria para desarrollar nuevos productos con valor agregado. Estos factores hacen que el mercado de productos de granada procesada represente una oportunidad para las empresas productoras en desarrollar productos y marcas para exportar a este mercado.

En la actualidad se conocen variados formatos para su consumo, dentro de los que se encuentran:

- » Jugo o Zumo
- » Arilos frescos
- » Fruta fresca
- » Mermeladas
- » Vinos
- » Arilos deshidratados
- » Entre otros

Siendo el primero de la lista el de mayor comercialización a nivel mundial

En el caso de Chile las zonas agrícolas más norteñas tienen características climáticas excelentes para este cultivo, es por eso que el cultivo nacional se centra entre la III y VI región del país, con una superficie plantada cercana a las 1000 [ha] del frutal, según datos Odepa, 2013

Por otra parte nuestro país cuenta con la ventaja de la cosecha en contra estación de los principales consumidores, es por esta razón, que se observa una excelente oportunidad de negocio.

Subsole una de las empresas exportadoras nacionales de mayor importancia a conquistado mercados mundiales siendo las cifras y destinos de la exportación del fruto los que se muestran en la figura 2.

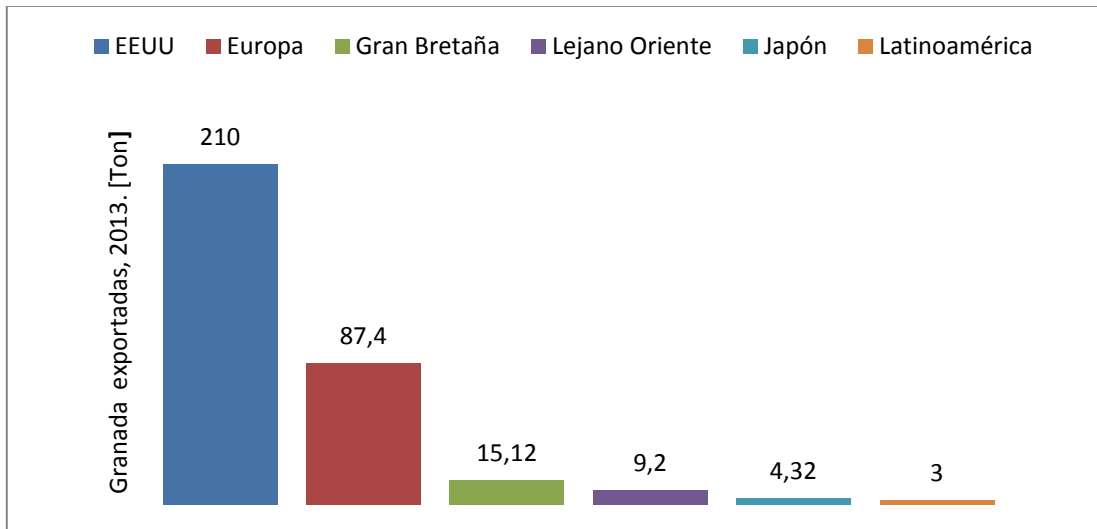


Figura 2: Exportaciones año 2013. Fuente: Subsole.

La tendencia a nivel mundial es el consumo inmediato del producto, es decir, la oferta del producto dispuesto para el consumo, lo que es posible de apreciar en el índice de formatos de productos en el mercado.

La granada como fruto fresco, claramente presenta una dificultad, posee una cáscara rígida, compleja de retirar, a diferencia de otros frutos como la manzana o las uvas donde su cascara incluso es comestible.

Por otra parte Chile como país ha presentado una apertura considerable al comercio exterior debido a la calidad de los productos naturales del país y los diferentes tratados políticos firmados.

En el caso de la granada gran parte de la producción es exportada, debido al poco interés nacional del producto y las respectivas ventajas como la contra estación de cosecha antes mencionada.

Sin embargo la exportación trae consigo también una problemática, el producto es aprobado de acuerdo a su presentación exterior, es decir, las condiciones, color y forma de la cáscara del fruto.

La granada es un fruto no climatérico, altamente sensible al frío por lo cual desarrolla alteraciones en la piel que deprecian el producto, como es posible apreciar en la figura 3, lo que conlleva un gran descarte de fruta y consigo pérdidas económicas considerables.

Dentro de las principales causas de descarte se encuentra la partidura de piel y los golpes de sol. Sin embargo si bien el presentar dichas características son causa de descarte de la fruta, el producto interno (arilos), no siempre es afectado.

En cuanto a su distribución porcentual, aproximadamente el 50% corresponde a la parte comestible, por lo tanto al ser descartada la fruta se generan pérdidas elevadas.

Debido a ambas condiciones presentadas, tanto el consumo inmediato, como el descarte por problemas de piel, el comercio de productos procesados se ha incrementado, generando así grandes cantidades de cáscara, que en la actualidad es considerada un residuo del proceso



Figura 3: Daño en la piel del fruto.

Sin embargo debido a recientes investigaciones es sabido que la cascara de la granada también posee compuestos bioactivos, en especial polifenoles, favorables para el consumo humano, generando así un gran potencial como suplemento para la salud, pudiendo agregarse a batidos, cosméticos, productos alimenticios entre otros, generando así una revalorización del residuo

Por esta razón el presente trabajo tiene por objetivo principal: Estudiar un sistema de procesamiento (secado) de la cáscara del fruto de granada (*Punica granatum*), con la menor pérdida en componentes polifenólicos, obteniendo la revalorización de este residuo.

Mientras que los objetivos específicos son:

- Establecer las condiciones del proceso de secado de cáscara de frutos de granada en el sistema de secador de tambor doble rotatorio → Efecto temperatura y tiempo de residencia.
- Estudiar la retención del contenido de polifenoles totales en la cáscara.

2. Materiales y métodos

2.1 Lugar de Estudio:

Los ensayos y pruebas fueron realizados en los Laboratorios de Alimentos y Bioprocesos, y Laboratorio de Operaciones Unitarias del Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, dependencias de la Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso.

2.2 Materiales:

Para la realización del presente estudio fueron utilizados frutos de granada (*Punica granatum*), de la variedad Wonderful, con origen en la IV región, específicamente en la comuna de Vicuña, obtenidos a través de la empresa Rio Blanco.

2.2.1 Sistema tambor rotatorio

El proceso de secado en tambor rotatorio está basado en la eliminación de agua de una delgada película o solución, adherida sobre un tambor caliente y la posterior remoción de la película de sólido seco mediante cuchillas raspadoras.

El secador de tambor, como equipo, consiste básicamente en dos tambores huecos calentados internamente, sobre los cuales se aplica la solución o suspensión por medio de diferente mecanismos de alimentación.

El fluido calefactor es vapor, método usual para el secado a presión atmosférica. Por lo común están construidas de acero inoxidable, por lo que su limpieza es sencilla y su mantención de bajo costo, sin embargo por razones de seguridad, debido a las presiones generadas, el tamaño máximo está limitado a 12 m² de superficie de secado, es por esta razón que en la industria muchas veces se requiere el uso de varias máquinas para obtener una producción elevada.

Dentro de sus beneficios es necesario hacer notar que es particularmente conveniente para productos termosensibles, los cuales necesitan un secado de alta temperatura y durante un corto tiempo. Por otra parte, es posible obtener un amplio margen de condiciones de secado variando la presión del vapor calefactor y la velocidad de rotación del tambor.

A continuación las figuras 4 y 5 dan a conocer la caracterización del equipo:

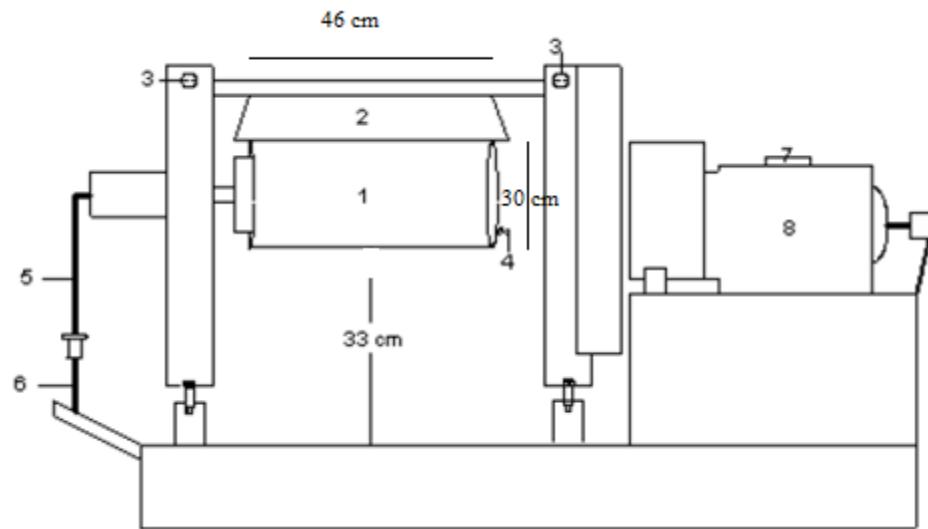


Figura 4 Vista principal del secador. Fuente: Campos. M.I, 2009.

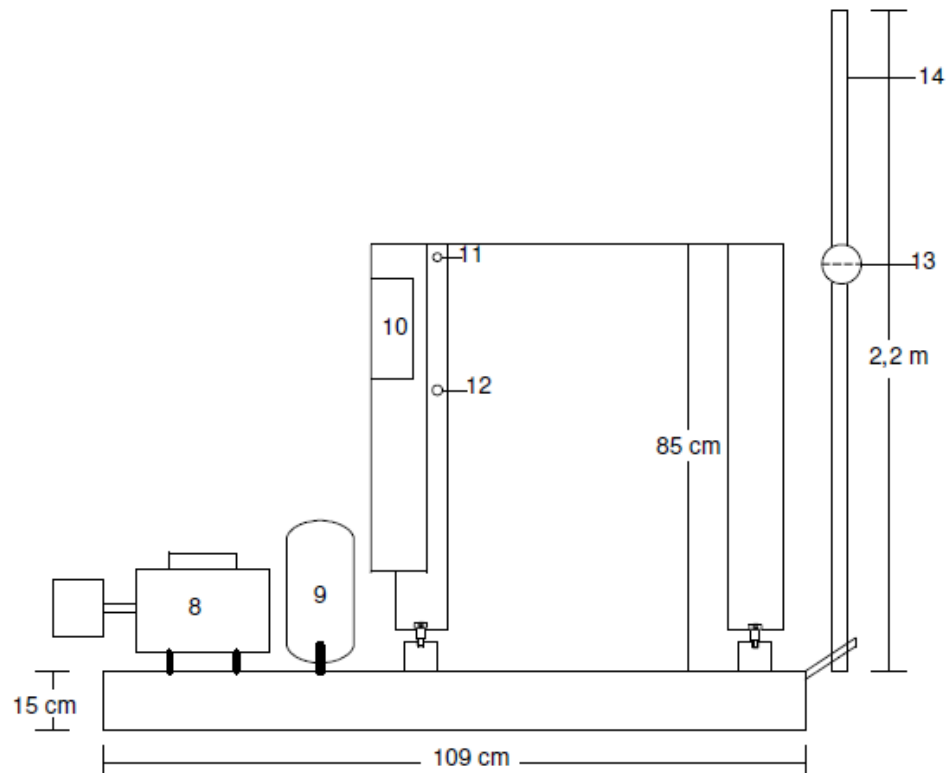


Figura 5: Vista posterior del secador. Fuente: Campos M.I, 2009.

Tabla 4: Piezas secador rotatorio

Ubicación	Pieza del secador
1	Tambor 1 acero 316
2	Cuchillo raspador 1
3	Válvula reguladora cuchillo 1
4	Llave de eliminación de condensado
5	Manguera plástica
6	Tubo metálico
7	Regulador rpm
8	Motor
9	Regulador de velocidad
10	Encendido
11	Válvula reguladora de cuchillo 2
12	Válvula reguladora de tambor 2
13	Medidor de presión
14	Cañería de vapor

2.3 Experimentación:

2.3.1 *Materia prima:*

Las pruebas se llevaron a cabo con cáscara congelada de granadas variedad Wonderful, provenientes desde la IV región, comuna de Vicuña. La materia prima fue recepcionada en fresco, separada de los arilos y posteriormente congelada a -20°C hasta su procesamiento.

2.3.1.1 Acondicionado de la materia prima:

- Primeramente fue necesaria la separación de la materia prima a utilizar, en este caso, la separación de la cáscara de sus respectivos arilos, proceso apreciable en la figura 6.



Figura 6: Acondicionado materia prima.

- Seguido a esto se redujo el tamaño del material a procesar mediante un picado (figura 7), con el fin de continuar con un procesamiento más homogéneo y menos dificultoso de las etapas posteriores, cabe mencionar que fue extraída la corona de la cáscara dentro del procedimiento.



Figura 7: Reducción del tamaño de la materia prima.

- Molienda: Utilizando la procesadora de alimentos TH- 9001, se logró reducir finalmente al tamaño deseado el producto y homogenizar, realizando 4 ciclos a 100 rpm.



Figura 8: Molienda de la materia prima.

- Finalmente la materia prima fue dividida en 24 lotes de 250 [g] cada uno y congelados a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, hasta el momento de realizar los respectivos ensayos.



Figura 9: Formación de lotes.

A continuación, en la Figura 10 se describe el proceso.

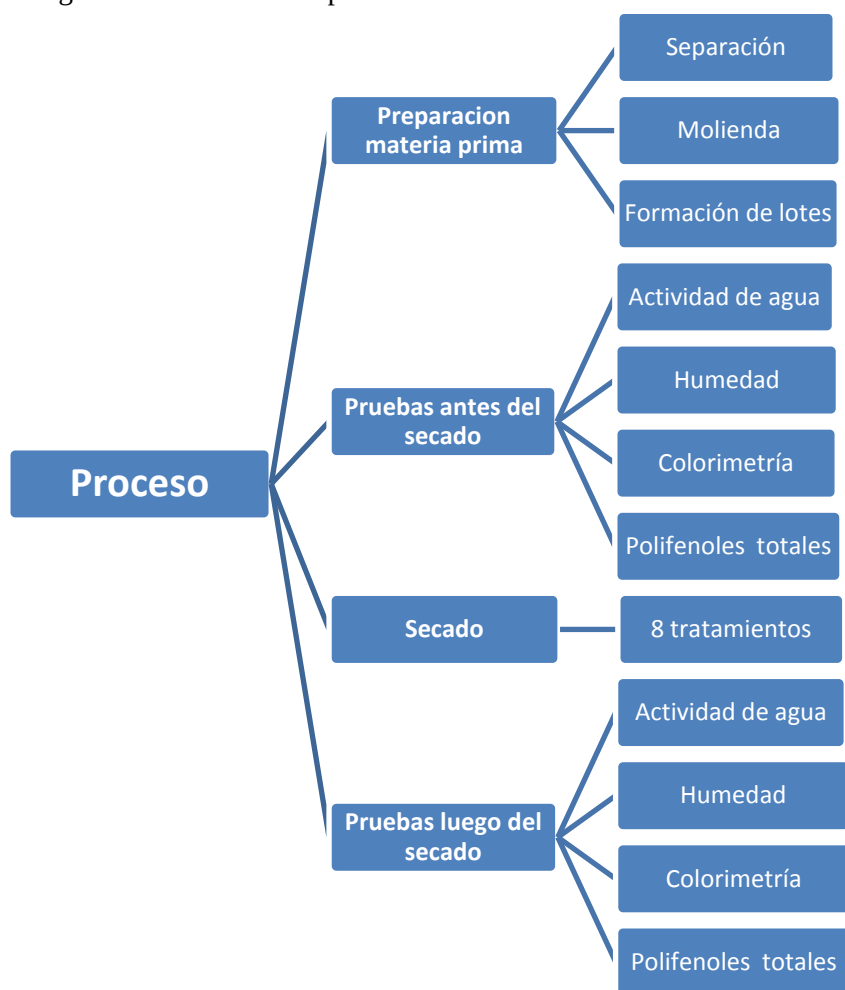


Figura 10: Diagrama del proceso.

2.3.2 Secado:

A continuación se detalla la rutina del proceso desarrollado.

Antes de iniciar con el proceso, fue necesario abrir las válvulas correspondientes y eliminar toda el agua condensada de procesos anteriores para cada uno de los tambores, tal como lo muestra la figura 11.

Por otra parte, se debieron establecer los parámetros de espaciamiento entre tambores y velocidad de giro, según lo estipulado.

Cuando todos estos pasos fueron realizados, y se tuvo la certeza que las válvulas de escape de agua se encontraron cerradas, fue dado el paso a la alimentación con vapor.

Con la ayuda de una termocupla de contacto se verificó la temperatura de superficie de los tambores y con la ayuda de la válvula de alimentación fue fijada, según la presión que otorgó la temperatura deseada. Todos estos elementos es posible apreciarlos en la figura 12.



Figura 11: Evaluación de válvulas de condensado.



Figura 12: 1) Termocupla de contacto. 2) Contador r.p.m. 3) Indicador de presión

En la figura13 es posible apreciar como el producto a deshidratar previamente retirado del congelador fue llevado hasta la superficie del tambor, donde se deposito.



Figura 13: Ingreso materia prima a superficie de secador.

Llegando así posteriormente hasta la ubicación de los cuchillos raspadores donde es retirado el producto seco con la ayuda de dos bandejas receptoras. Tal como se aprecia en la figura 15.



Figura 14: Proceso de secado por superficie de contacto.



Figura 15: Recepción cáscara seca.

Finalmente es almacenado en desecadores a 20 ° [C], cada lote respectivamente etiquetado (figura 16y 17), para conservar sus propiedades durante el tiempo en que se realizan las diferentes pruebas.



Figura 16: Almacenamiento producto seco.



Figura 17: Mantención producto seco en desecador.

2.4 Diseño de Experimentos:

Considerando el equipo utilizado y la materia prima, las principales variables a considerar preliminarmente son:

- Presión de vapor → Regulación de temperatura.
- Velocidad de rotación de los cilindros → Tiempo de residencia del producto a secar.
- Espacio entre los cilindros → Espesor de la solución.
- Cantidad de producto a deshidratar.
- Condiciones del producto a deshidratar.

Sin embargo, se optó por fijar 3 de ellos y realizar variaciones en solo 2:

Condiciones de producto a deshidratar → Fueron realizadas pruebas con dilución (1:1 y 1:2) con agua destilada y materia prima molida, sin embargo al realizar las pruebas de secado ambas sufrieron dificultad en la adherencia a los tambores, por lo tanto se optó por trabajar sin dilución.

Cantidad de producto a deshidratar → Considerando fundamentalmente que la granada es un producto de temporada y no sería posible contar con material extra durante los ensayos, se fijó la cantidad de producto a deshidratar con el fin de realizar todas las pruebas y las réplicas de éstas, fijándose así, una cantidad de 250 [g] por lote.

Espacio entre los cilindros → Al fijar las condiciones del producto a deshidratar y considerando las condiciones técnicas del equipo, implícitamente queda fijado el espacio entre cilindros al lograr la mejor adherencia del producto en los tambores y evitando las aglomeraciones en este. Finalmente el parámetro fue fijado en 2[mm].

De esta forma dos fueron los parámetros considerados en las variables dentro de los ensayos, tal como lo resume la figura 18.



Figura 18: Parámetros fijos y variables.

Por lo tanto en la tabla 5 se muestra el diseño de experimento que fue fijado con los siguientes factores y niveles:

Tabla 5: Factores y niveles, Diseño de Experimento.

Factores y niveles				
Temperatura [°C]	100	110	120	130
R.P.M	2 (30 seg)		1,5 (45 seg)	

Con estos parámetros se logró obtener el siguiente sistema (tabla 6), dando así un resultado de 8 procesos a realizar, detallándose a continuación cada una de ellas.

Tabla 6: Condiciones ensayos a realizar.

Experimento	Temperatura [°C]	Tiempo de residencia [s]
1	100	30
2	110	30
3	120	30
4	130	30
5	100	45
6	110	45
7	120	45
8	130	45

Considerando la variabilidad posible tanto en el proceso de secado como en la medición de las variables, cada experiencia fue realizada en triplicado, llegando finalmente a un número total de experiencias de 24.

Análisis Estadístico

Para analizar el comportamiento de los resultados experimentales obtenidos en esta investigación, se llevó a cabo un análisis estadístico de éstos, para así establecer si existen diferencias significativas entre los resultados obtenidos, y saber si realmente se tienen resultados concluyentes.

Los resultados experimentales de cada ensayo se analizaron estadísticamente, utilizando el método de análisis de varianza, ANDEVA, aplicando el test de Fisher, mediante la realización de pruebas de hipótesis con un nivel de significancia de 5%. (Ver fundamentos en Anexo).

2.5 Metodología

Dentro del proceso de estudio todas las variables que a continuación se presentan fueron medidas en triplicado tanto antes como después del proceso de secado.

2.5.1 Actividad de Agua:

La actividad de agua es uno de los factores más críticos para asegurar la calidad y seguridad de los productos alimenticios, en consecuencia es necesario poder medirla con precisión.

La definición de la actividad del agua es la relación entre la presión de vapor del aire alrededor de un alimento (p) y la presión de vapor del agua pura (p_0), ambos permaneciendo a una misma temperatura. Normalmente se expresa con las siglas AW, Activity Water en inglés. (Iberfluid instrument).

Una definición más sencilla sería la cantidad de agua libre que hay en un alimento, es decir, la cantidad de agua disponible para reaccionar químicamente con otras sustancias y provocar el crecimiento microbiano. (Gascón, Muravnick, Andreuccetti, 2013).

La diferencia de agua que permanece en el alimento es el agua ligada, está combinada con otros elementos y no está disponible para los microorganismos, por tanto no afecta al crecimiento microbiano.

Las unidades de medida van de 0 a 1 aw y equivalen a la humedad relativa de equilibrio (ERH) que va de 0 a 100% H.R.

Diferentes tipos de microorganismos pueden crecer en los alimentos y cada uno puede sobrevivir en diferentes rangos de actividad de agua. Las bacterias son las que requieren la mayor cantidad de agua libre para crecer, y se pueden encontrar en alimentos con actividades tan bajas como 0,75, pero la mayoría son inhibidas con actividades inferiores a 0,91. Algunas bacterias patógenas son capaces de crecer con actividades tan bajas como 0,86, por lo que los alimentos que dependen únicamente de la actividad de agua como medio de conservación deben tener valor menores a 0,85. Existen levaduras y mohos que aún pueden crecer en alimentos con actividades tan bajas como 0,6, sin embargo por debajo de este valor se detiene el crecimiento microbiano. (Microbiología Clínica, UPNA).

Para los ensayos realizados se utilizó el equipo Aqualab 4TE que se muestra en la figura 19 .



Figura 19: Equipo Aqualab 4TE.

2.5.2 Colorimetría

La colorimetría es la ciencia que cuantifica y describe físicamente la percepción humana del color. Esta constituye un sistema de referencia para evaluar la aceptabilidad de un producto por el consumidor, la tecnología alimentaria necesita de las medidas colorimétricas con múltiples objetivos relacionados con la calidad del producto en diferentes etapas (producción, comercialización y consumo). Por otro lado la química de los compuestos naturales responsables del color está en relación directa con las características cromáticas finales del alimento, y así mismo los diferentes factores que afectan a los equilibrios químicos en que se ven implicados. (UDS, 2016).

El espacio de color y metodología cieLAB, es un espacio de color rectangular, basada en la teoría de los colores opuestos. (Wareiczuk,2002). La figura 20 ilustra y demuestra claramente cómo fue posible relacionar los parámetros involucrados y sus dimensiones.

Donde:

Eje L: Es el parámetro de la luminosidad, este otorga la diferencia entre la Claridad/obscuridad de objeto. Su valor inicia en 0 ubicándose el negro y en el valor 100 es posible encontrar el blanco.

Eje a: Entrega las tonalidades desde el rojo al verde. Los valores positivos, ubicados a la derecha del eje L, corresponden a los rojos, mientras que los valores negativo, ubicados a la izquierda del eje L, se acercan al verde.

Eje b: Entrega las tonalidades desde el azul al amarillo. Los valores positivos corresponden al azul, mientras que los valores negativos se acercan al amarillo.

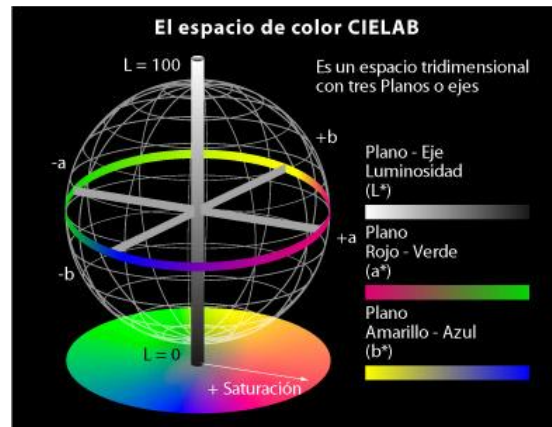


Figura 20: Espacio de color CielAB. (Westland, 2001).

La representación del color mediante el espacio cieLCH, es un tanto más intuitiva, donde la figura 21 logra representar de buena forma las diferencias con el método anterior.

Angulo H° (Tono (Hue)): Se refiere al estado puro del color, se define como un atributo de color que nos permite distinguir el rojo del azul y se refiere al recorrido que hace un tono hacia un lado u otro del círculo cromático. Su valor al tratarse de un parámetro angular va desde los 0 a 360° .

Valor C^* (Saturación): también denominado Croma, representa la pureza o intensidad de un color particular, la viveza o palidez del mismo. Su valor va desde el 0 ubicado en el centro y el 100 ubicado en el extremo del círculo basal.

Eje L^* (Value): es un término que se utiliza para decir que tan claro u oscuro parece un color y se refiere a la cantidad de luz percibida. Como se menciona en el espacio anterior sus valores son de 0 a 100, fijándose estos correspondientemente al negro y blanco.

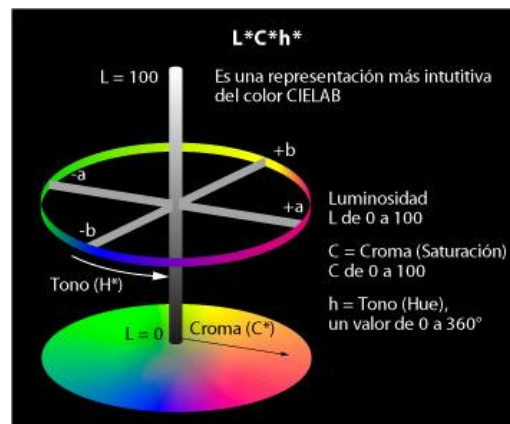


Figura 21: Espacio de color CielCH. (Boscarol, 2007).



Figura 22: Diferencia entre tono, saturación y brillo. (Boscarol, 2007).

En cada uno de los ensayos y de acuerdo a la disponibilidad en laboratorio, el equipo utilizado fue el colorímetro Minolta CR- 400/410 (Figura 23).



Figura 23: Colorímetro Minolta CR-400/410.

2.5.3 Humedad

Con el objetivo de determinar el contenido de agua de la muestra, el método utilizado se basa en la determinación gravimétrica de la pérdida de masa de la muestra desecada, hasta obtener un valor constante, utilizando la estufa de aire.

El método es aplicable a alimentos sólidos, líquidos o pastosos no susceptibles a degradación al ser sometidos a temperaturas superiores a 105 °C. Éste método es inadecuado para sustancias volátiles distintas al agua.

El procedimiento es usualmente conocido se describe a continuación:

- 1) Colocar la capsula vacía durante al menos una hora en la estufa a la temperatura de secado del producto.
- 2) Trasladar la capsula al desecador dejándola enfriar durante 45 minutos. Pesarse la capsula y registrar como m1.
- 3) Pesarse 5 gramos de la muestra previamente homogenizada y registrar como m2.
- 4) Colocar la capsula con muestra en la estufa durante 24 [h] a 105 °[C].
- 5) Pasado el tiempo correspondiente sacar la capsula con la muestra y dejar enfriar en el desecador durante 45 minutos.
- 6) Pesarse y registrar como m3.

La humedad obtenida será expresada en porcentaje, según la siguiente ecuación:

$$\%Humedad = \frac{m2 - m3}{m2 - m1} * 100$$

Donde:

- m1: masa de la cápsula en gramos
- m2: masa de la cápsula con la muestra antes del secado
- m3: masa de la cápsula más la muestra desecada

Cabe destacar que todas las muestras fueron realizadas en triplicado con el fin de disminuir la variabilidad en los resultados.

De acuerdo al procedimiento se logra deducir que los materiales principales a utilizar, serán

- Balanza de precisión (Figura 25).
- Estufa de aire (Figura 24).
- Desecador.
- Material de laboratorio (capsulas, pinzas, guantes, etc.).



Figura 24: Estufa de aire.



Figura 25: Balanza de precisión.

2.5.4 Contenido Total de Polifenoles (C.T.P.)

Los métodos tradicionales para la determinación del contenido total de polifenoles se basan en la medición directa de la absorción de radiación electromagnética ya sean en la región ultravioleta o en la región visible-infraroja cercana. Entre estos últimos, el más comúnmente empleado es el ensayo colorimétrico que utiliza el reactivo Folin- Ciocalteau (Singleton y Rossi, 1965).

Para calcular el contenido total de fenoles, se usan curvas de calibración obtenidas con la elección de un determinado compuesto fenólico como estándar. Los resultados son expresados en términos de equivalentes molares del compuesto fenólico que es el más abundante en la muestra de origen vegetal analizada.

El ácido gálico o ácido 3,4,5- trihidroxibenzóico ($C_7H_6O_5$), ha sido extensamente usado como estándar en la determinación de compuestos fenólicos de diversas muestras de origen vegetal, por ser este un compuesto monomérico, abundantemente distribuido en el reino vegetal, además esta elección se justifica por la elevada pureza, la satisfactoria solubilidad, la adecuada estabilidad y su bajo precio. Debido a estas razones el procedimiento que se siguió fue el siguiente:

- 1) Se realizó una curva patrón de absorbancia en función de la concentración de ácido gálico, según los datos que en la tabla 7 se presentan:

Tabla 7: Curva patrón ácido gálico.

Contenido final [g/L]	Volumen Acido gal. [uL]	Volumen Metanol 80% [uL]
1) 0,12	120	880
2) 0,10	100	900
3) 0,08	80	920
4) 0,06	60	940
5) 0,04	40	960
6) 0,02	20	980

Teniendo dicha curva, esta se utilizó para la interpolación de los resultados obtenidos.

Debido a que la muestra se encontraba en estado sólido, se agregaron 5 gramos de cada una de estas a tubos falcon de 50 [ml] de capacidad con 25 [ml] de metanol al 80%, estos fueron llevados a la centrifuga durante 21 minutos a 4°C], el líquido sobrenadante fue la muestra analizada que contenía el compuesto fenólico.

Una vez conformada las réplicas de cada tratamiento se analizaron los miligramos de ácido gálico por litro presentes en la muestra.

Para aquello se siguió el procedimiento que se detalla a continuación:

Protocolo:

- 2) Se colocan 3,75 [ml] de agua destilada a un tubo de ensayo.
- 3) Se adicionan 0,5 [ml] de la muestra que contiene el compuesto fenólico, previamente diluido en metanol.
- 4) Se agregan 0,25 [ml] de reactivo Folin-Ciocalteu diluido 2 veces en agua destilada.
- 5) Se homogeniza y se adicionan 0,5 [ml] de una solución de carbonato de sodio al 10% p/v.
- 6) Se realiza un blanco mediante el mismo procedimiento, reemplazando la muestra por el solvente.
- 7) Se mide la absorbancia de la muestras a 765 [nm].

Los equipos principalmente utilizados en los ensayos fueron:

- Centrífuga (Figura 27).
- Espectrofotómetro (Figura 26).
- Balanza.
- Micropipetas.
- Material de laboratorio menor (guantes, vaso de precipitado, tubos de ensayo, etc.).



Figura 26: Equipo Espectrofotómetro, Modelo Spectronic Genesys 5.



Figura 27: Centrífuga, Modelo Hermle Z 323 K.

III. Resultados

Curvas de secado (humedad expresada en base seca).

La humedad siempre ha sido un parámetro crucial en el estudio de los alimentos, de igual forma en el proceso de secado, donde es posible observar un amplio rango de este parámetro a lo largo del procedimiento, siendo afectada tanto por la temperatura como el tiempo de procesamiento. Por lo tanto es necesario proponer un modelo cinético representativo para cada caso en estudio. (Honorato,Oliveira, 2005).

A partir de los datos experimentales se identifica un modelo que relacione la pérdida de humedad con el tiempo:

Ecuación 1: Cinética de secado de primer orden.

$$-\frac{dx}{dt} = k(x - x_e)$$

$$\int_{x_0}^x \frac{dx}{(x - x_e)} = \int_{t_0}^t -k dt$$

Por lo tanto $X(t)$ queda definida como se muestra la ecuación 2:

Ecuación 2: Ecuación de secado.

$$X(t) = X_e + (X_i - X_e) * \exp(-k * t)$$

Donde:

X_e = X equilibrio

X_i = $X(t=0)$

t =tiempo (s)

Datos experimentales.

La tabla 8 entrega los valores experimentales de acuerdo a los procesos de secado aplicados.

Tabla 8: Datos experimentales de humedad.

T° = 110°C		T° = 120°C		T° = 130°C	
Tiempo(s)	Humedad(%)	Tiempo(s)	Humedad(%)	Tiempo(s)	Humedad(%)
0	243	0	261	0	305,5
30	9,1	30	7,5	30	5,3
45	7,6	45	6,1	45	3,9

Se logró obtener los valores de k correspondientes a cada temperatura con la herramienta solver, (Excel, 2007), a partir de las respectivas humedades de equilibrio obtenidas experimentalmente en cada caso, para así, posteriormente construir las respectivas curvas, de acuerdo a las ecuaciones obtenidas.

Tabla 9: Valores parámetro k según temperatura.

Temperatura [°C]	Temperatura [K]	k	Error [%]
110	383,15	0,168	4,07 E-05
120	393,15	0,173	9,83 E-05
130	403,15	0,179	0,069

Donde, a partir de la tabla 9 fue posible visualizar que el valor de la constante k aumentó conforme aumentó la temperatura de proceso, alcanzando así, en menor tiempo la humedad de equilibrio.

Curvas obtenidas

A partir de los valores experimentales y las constantes k calculadas se generan las siguientes curvas de secado para cada temperatura.

Curvas de secado obtenidas:

Ecuación 3: Curva de secado a 110°C.

$$T = 110 \quad x(t) = 8,8 + (243 - 8,8) * \exp(-0,222 * t)$$

Ecuación 4: Curva de secado a 120°C.

$$T = 120 \quad x(t) = 5,8 + (261 - 5,8) * \exp(-0,167 * t)$$

Ecuación 5: Curva de secado a 130°C.

$$T = 130 \quad x(t) = 3,9 + (305 - 3,9) * \exp(-0,179 * t)$$

Ya generadas las curvas, en la tabla 10 es posible apreciar que se insertaron puntos dentro de los tiempos de proceso, para así apreciar de mejor forma el comportamiento de cada una por separado como muestra.

Tabla 10: Humedad según tiempo.

T° = 110°C		T° = 120°C		T° = 130°C	
t	h(t)	t	h(t)	t	h(t)
0	243	0	261	0	305,5
10	51,47	10	51,28	10	54,25
20	15,77	20	14,11	20	12,3
30	9,1	30	7,52	30	5,3
45	7,72	45	6,2	45	3,9
60	7,6	60	6,1	60	3,9

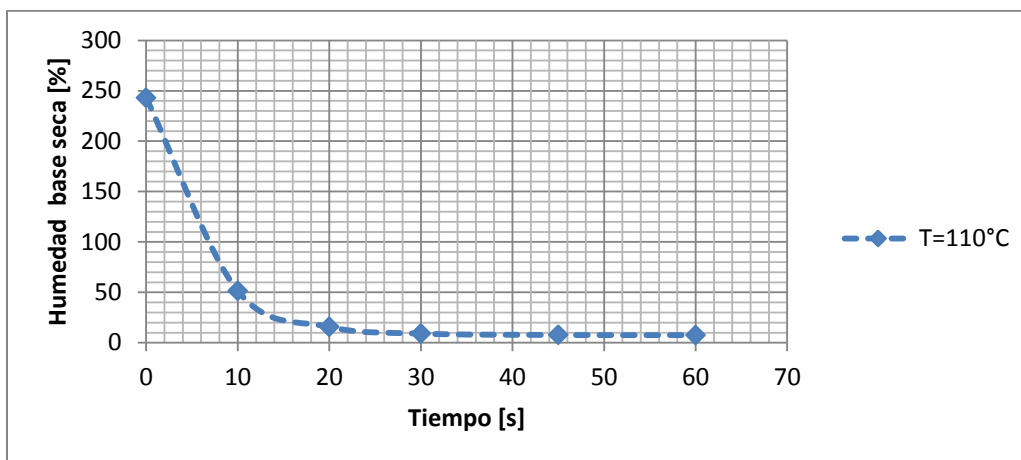


Figura 28: Humedad v/s tiempo de secado a 110°C.

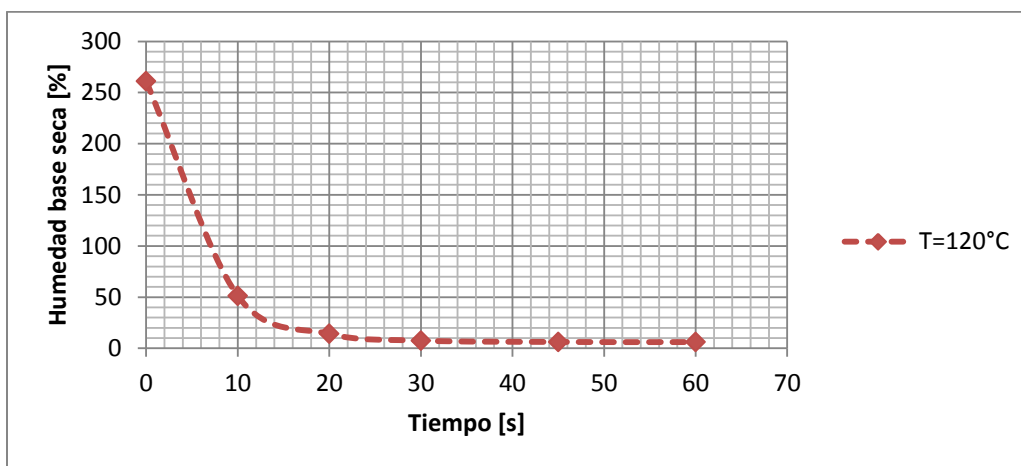


Figura 29: Humedad v/s tiempo de secado a 120 °C.

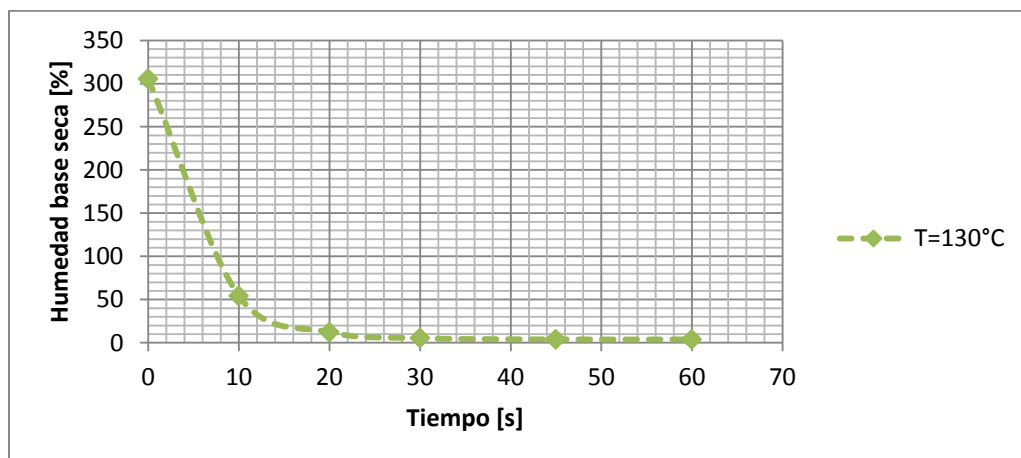


Figura 30: Humedad v/s tiempo de secado a 130 °C.

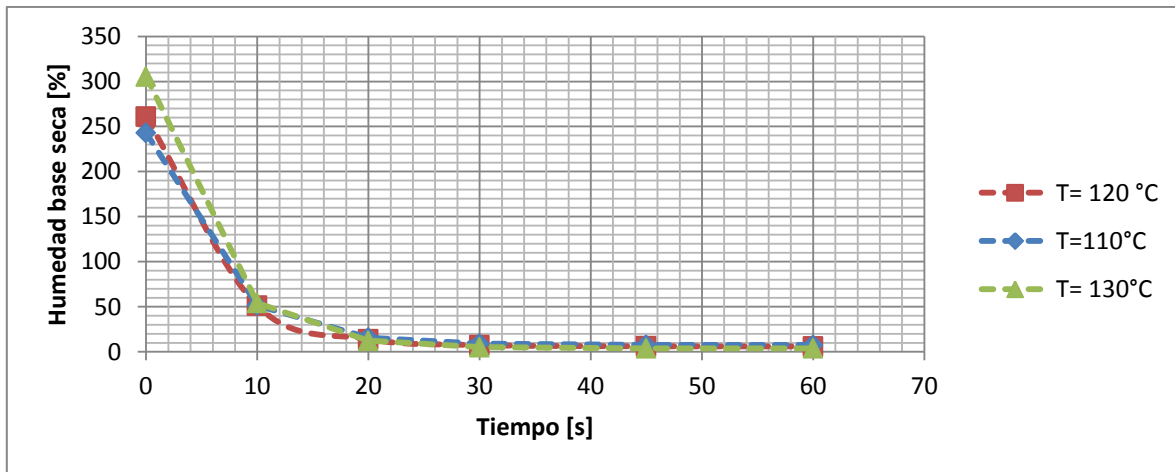


Figura 31: Gráfico comparativo de humedad v/s tiempo a diferentes temperaturas.

Con el fin de una mejor observación en los datos, en la figura 31 se realizó una apertura en las curvas anteriormente presentadas (figura 28,29 y 30) a partir de los 20 segundos de secado, a cada temperatura de proceso y modelo obtenido.

A continuación la tabla 11 presenta los valores de las humedades respectivas.

Tabla 11: Humedades según tiempo acotada.

T= 110°C		T= 120°C		T= 130°C	
tiempo [s]	humedad[%]	tiempo [s]	humedad[%]	tiempo [s]	humedad[%]
20	15,77	20	14,11	20	12,29
25	11,12	25	9,47	25	7,33
30	9,12	30	7,52	30	5,30
35	8,25	35	6,69	35	4,47
40	7,88	40	6,35	40	4,13
45	7,72	45	6,21	45	3,99
50	7,65	50	6,14	50	3,94
55	7,62	55	6,12	55	3,92
60	7,60	60	6,11	60	3,91
65	7,60	65	6,10	65	3,90
70	7,60	70	6,10	70	3,90

Mientras que en la figura 32 es posible apreciar su comportamiento gráficamente logrando observarse de mejor forma sus diferencias.

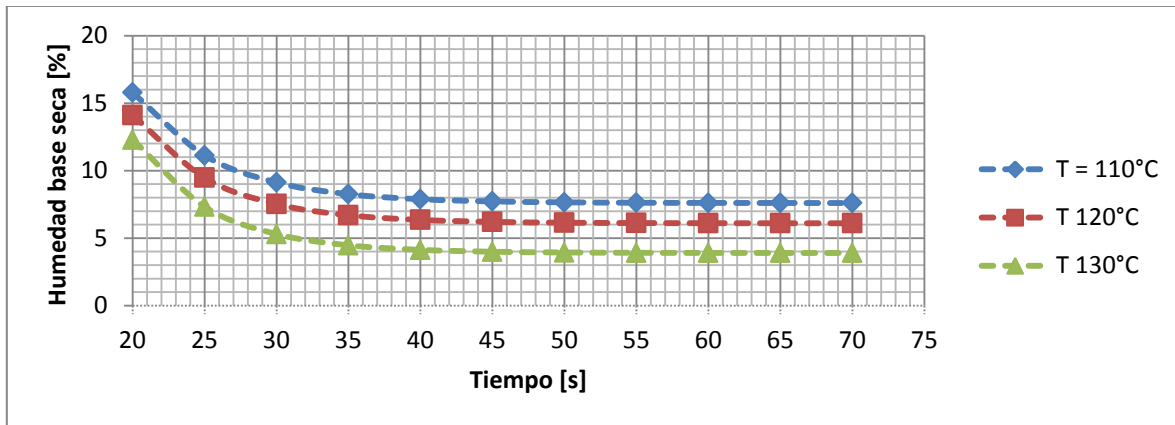


Figura 32: Humedad v/s tiempo a diferentes temperaturas, acotado.

Posteriormente para conseguir un modelo global, que no dependa únicamente del tiempo, sino también de la temperatura, fue posible relacionar el parámetro k con la temperatura mediante la ecuación 6 (ecuación de Arrhenius).

Ecuación 6: Ecuación de Arrhenius.

$$\ln(k') = \ln(ko') + \frac{Ea}{R} * \frac{1}{T}$$

Donde:

Ko: Factor de frecuencia

Ea: Energía de activación [J/mol]

R: Constante de gases [J/mol K]

T: Temperatura [K]

A continuación se exponen los datos en la tabla 12 a partir de los cuales se graficó y se obtuvieron los parámetros de la ecuación 6.

Tabla 12: Relación k v/s $1/T$

K	Ln(K)	T	1/T
0,168	-1,78	383,15	0,00260
0,173	-1,75	393,15	0,00254
0,179	-1,72	403,15	0,00248

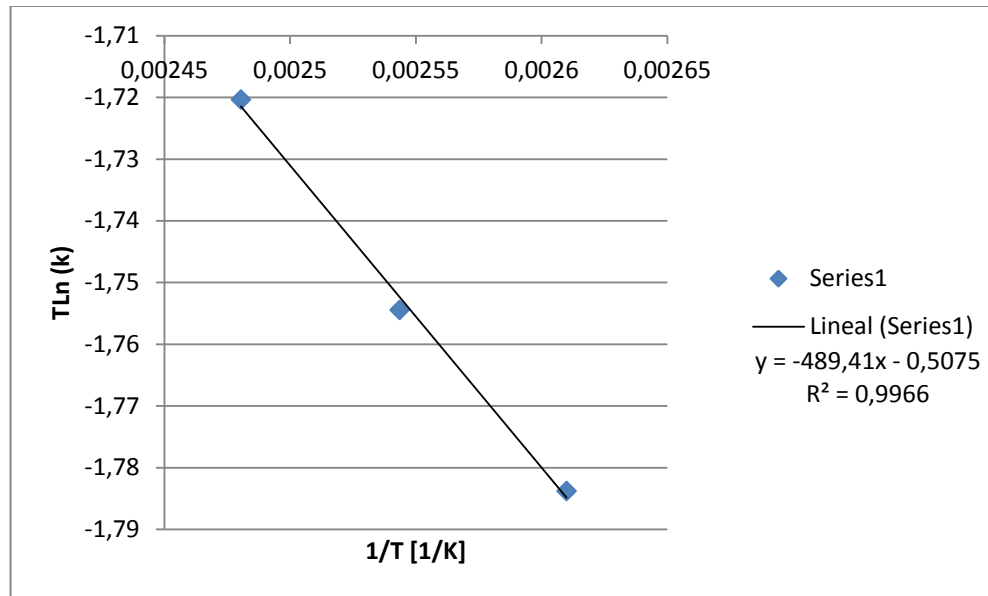


Figura 33: Relación parámetro k con la temperatura.

Donde a partir de la figura 33 se obtuvo gráficamente la ecuación 7.

Ecuación 7: Relación gráfica de k con la temperatura.

$$\ln(k) = -0,5075 - \frac{489,41}{T}$$

Y finalmente se generó la curva de humedad de equilibrio según la temperatura a partir de los datos obtenidos y su relación gráfica.

La tabla 13, que a continuación se presenta, nos da a conocer los valores de humedad de equilibrio a las diferentes temperaturas de proceso.

Tabla 13: Humedad de equilibrio según temperatura.

He	T
7,6	383,15
6,1	393,15
3,9	403,15

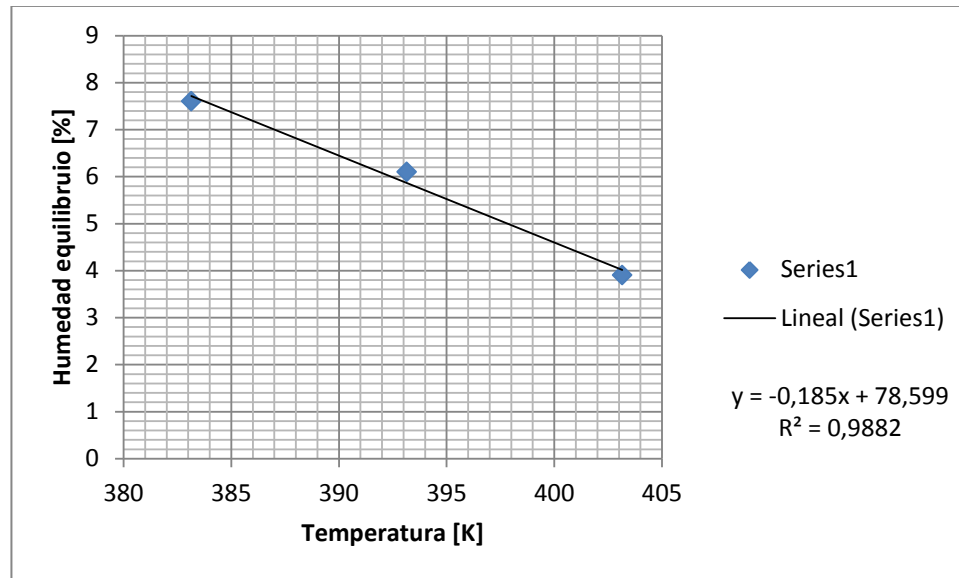


Figura 34: Relación humedad de equilibrio v/s temperatura.

A partir de lo graficado (figura 34), se obtuvo como resultado la ecuación 8 que relaciona la humedad de equilibrio a partir de cualquier temperatura de proceso.

Ecuación 8: Relación humedad de equilibrio con la temperatura

$$He = 78,599 - 0,185 * T$$

Donde finalmente las ecuaciones que caracterizan el proceso de secado obtenidas se resumen en:

Ecuación 9: Ecuaciones que caracterizan el proceso de secado.

$$H(t, T) = He + (Hi - He) * \exp(-k * t)$$

$$\ln(k) = -0,5075 - \frac{489,41}{T}$$

$$He = 78,599 - 0,185 * T$$

Contenido Total de Polifenoles expresado en base seca.

Al analizar los datos obtenidos en laboratorio plasmados en la tabla 14, es posible observar que existe una tendencia a la degradación de polifenoles tanto con el aumento de la temperatura como con el aumento del tiempo de proceso. Lo anterior puede deberse a variadas causas, dentro de las cuales se encuentran la degradación química y/o enzimática, la pérdida de volatilidad o la descomposición térmica, siendo esta última el principal mecanismo que causa la reducción de dichos compuestos.

Tabla 14: Datos experimentales Contenido Total de Polifenoles según temperatura.

T= 110 °C			T= 120 °C			T= 130°C		
CTP	t	D.S	CTP	t	D.S	CTP	t	D.S
0,187	0	0,013	0,184	0	0,012	0,182	0	0,010
0,171	30	0,006	0,157	30	0,003	0,142	30	0,007
0,165	45	0,002	0,148	45	0,005	0,131	45	0,005

La figura 35 expresa de manera gráfica el comportamiento de dichos compuestos a partir del tiempo de procesamiento como de la temperatura aplicada.

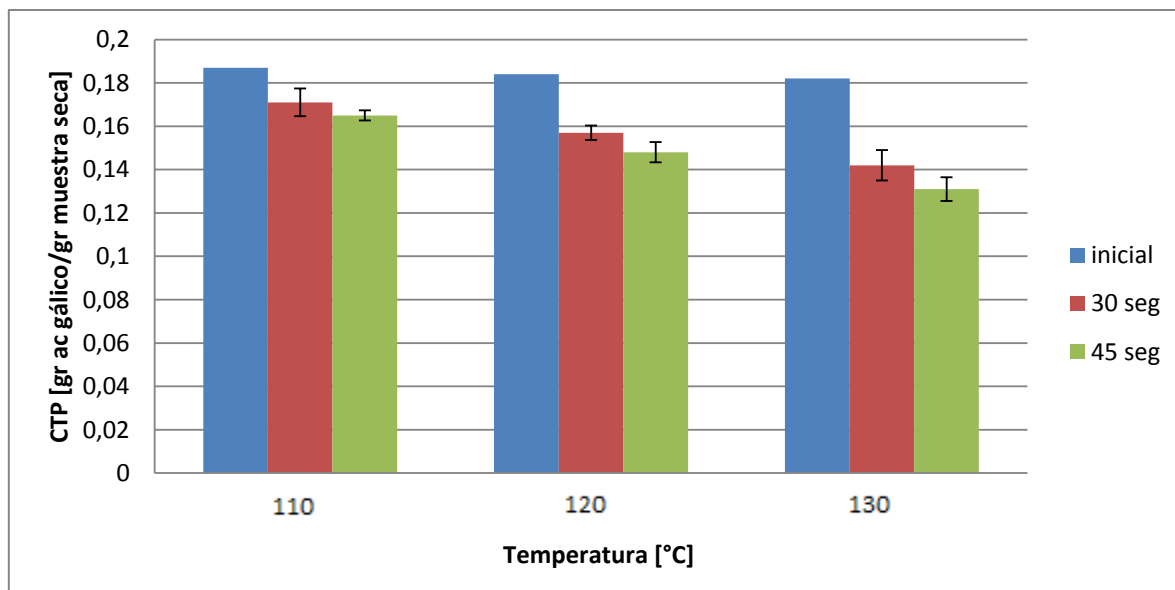


Figura 35: Contenido Total de Polifenoles v/s Temperatura.

Por otra parte con los datos presentados en la tabla 15 fue posible distinguir el nivel porcentual de pérdidas de polifenoles según los tratamientos aplicados.

Tabla 15: Porcentajes de pérdidas de Polifenoles según tiempo y temperatura

Igual Tiempo diferentes Temperaturas		
30 segundos		
T [°C]	C.T.P	% pérdidas
110	0,171	8,5%
120	0,157	14,67%
130	0,142	21,98%

Igual Tiempo diferentes Temperaturas		
45 segundos		
T [°C]	C.T.P	% pérdidas
110	0,165	11,7%
120	0,148	19,56%
130	0,131	28,02%

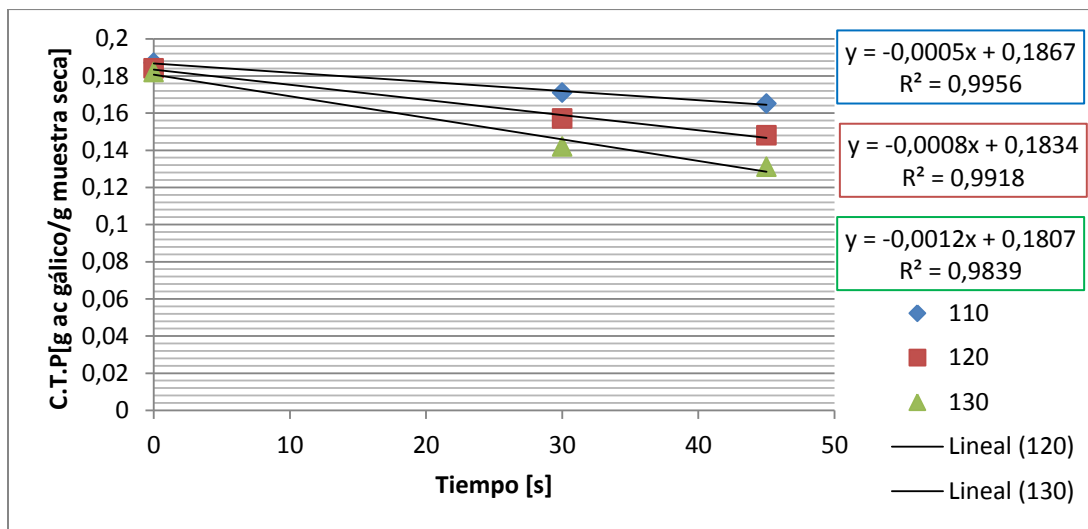


Figura 36: Contenido Total de Polifenoles v/s Tiempo de secado.

Al realizar la regresión lineal en la figura 36 que compara la degradación en el tiempo para cada tratamiento por separado y observar los valores de r^2 , es posible predecir un modelo de orden cero, por esta razón en adelante se trabajara con la razón fraccional de los datos.

Medición fraccional en el tiempo.

Para tener una mejor presentación y observación de los datos éstos fueron normalizados siguiendo la ecuación 10, permitiendo así que cualquier modelo sea válido sin la necesidad de depender de su concentración inicial, es decir:

Ecuación 10: Normalización de la concentración de Polifenoles.

$$c = \frac{c(t)}{c(t = 0)}$$

Por su parte la tabla 16 nos muestra los datos experimentales según la clasificación de sus procesamientos con la normalización aplicada.

Tabla 16: Datos experimentales de Polifenoles normalizados.

T=110°C		T=120°C		T=130°C	
t[s]	C/Co	t[s]	C/Co	t[s]	C/Co
0	1	0	1	0	1
30	0,914	30	0,853	30	0,780
45	0,882	45	0,804	45	0,720

Lo que gráficamente se traduce en la figura 37.

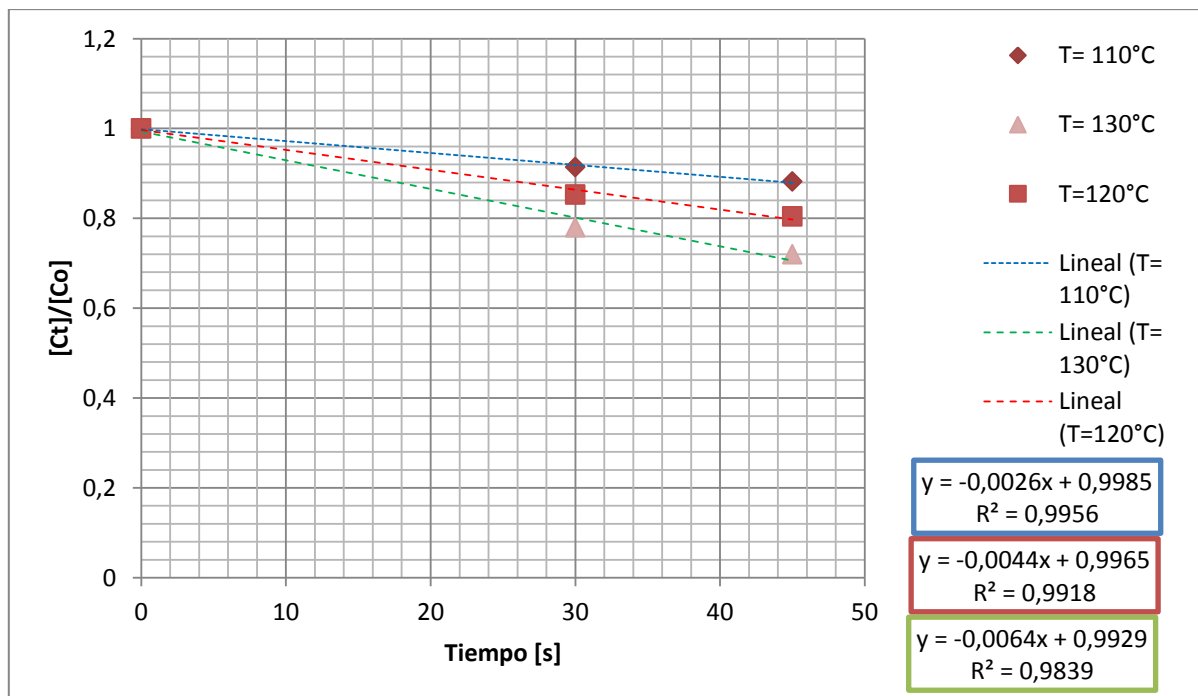


Figura 37: Medida fraccional de Polifenoles v/s tiempo de secado.

Al realizar la regresión lineal de la medición fraccional es posible obtener las ecuaciones necesarias para interpolar datos de contenido de polifenoles.

Ecuación 11: Contenido de Polifenoles en el tiempo, medición fraccional, a 110°C.

$$\text{Curva } 110^{\circ}\text{C} \quad y = -0,0026 * X + 0,9985$$

Ecuación 12: Contenido de Polifenoles en el tiempo, medición fraccional, a 120°C.

$$\text{Curva } 120^{\circ}\text{C} \quad y = -0,0044 * X + 0,9965$$

Ecuación 13: Contenido de Polifenoles en el tiempo, medición fraccional, a 130°C.

$$\text{Curva } 130^{\circ}\text{C} \quad y = -0,0064 * X + 0,9929$$

Pudiendo observar que a mayor temperatura la pendiente se hace mayor, por tanto también aumenta la degradación.

Contenido de humedad versus Polifenoles totales.

Datos experimentales respectivos a tiempo, humedad y contenido total de polifenoles se muestran en la tabla 17.

Tabla 17: Contenido total de Polifenoles y humedad respectiva según tiempo

T 110°C			T 120°C			T 130°C		
tiempo	humedad	C.T.P	tiempo	humedad	C.T.P	tiempo	humedad	C.T.P
0	243	0,187	0	261	0,184	0	305,5	0,182
30	9,1	0,171	30	7,5	0,157	30	5,3	0,142
45	8,83	0,165	45	5,8	0,148	45	3,9	0,131

A partir de las curvas de degradación obtenidas en el punto anterior (ecuación 11, 12 y 13) fue posible obtener los datos que se presentan en la tabla 18.

Tabla 18: Contenido de Polifenoles según tiempo a partir de curvas obtenidas.

T= 110°C		T= 120°C		T= 130 °C	
t	C/Co	t	C/Co	t	C/Co
0	1,00	0	1,00	0	0,99
10	0,97	10	0,95	10	0,93
20	0,95	20	0,91	20	0,86
30	0,92	30	0,86	30	0,80
45	0,88	45	0,80	45	0,70
60	0,84	60	0,73	60	0,61

Al relacionarlos con los datos obtenidos de humedad a igual tiempo y temperatura de proceso se obtiene la tabla 19 con la siguiente relación.

Tabla 19: Relación contenido fraccional de Polifenoles y humedad.

	T° = 110°C		T° = 120°C		T° = 130°C	
t	C/Co	h(t)	C/Co	h(t)	C/Co	h(t)
0	1,00	243	1,00	261	0,99	305,5
10	0,97	51,47	0,95	51,28	0,93	54,25
20	0,95	15,77	0,91	14,11	0,86	12,3
30	0,92	9,1	0,86	7,52	0,80	5,3
45	0,88	7,72	0,80	6,2	0,70	3,9
60	0,84	7,6	0,73	6,1	0,61	3,9

Lo que gráficamente se traduce en la figura 38 .

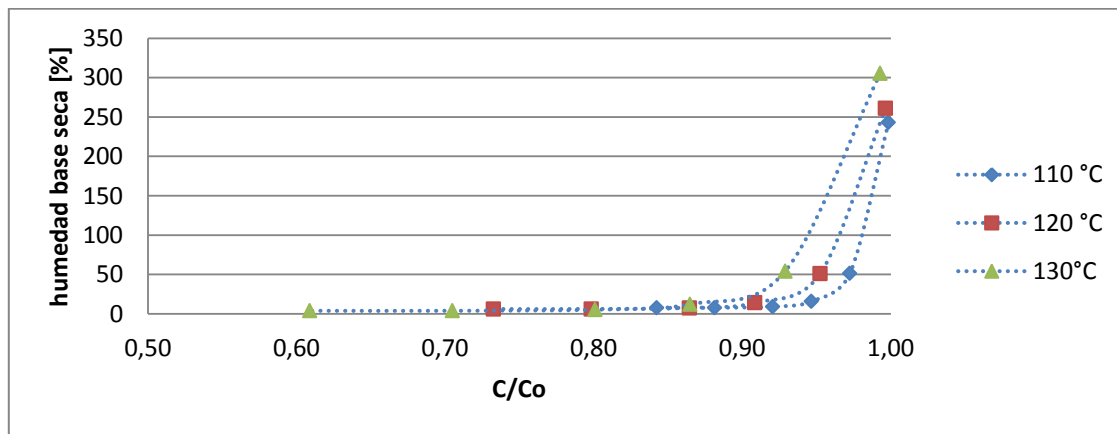


Figura 38: Medida fraccional de Polifenoles v/s humedad.

Bajo los mismos parámetros que la figura anterior se construyó la figura 39, para así tener una mejor visualización de los puntos representados.

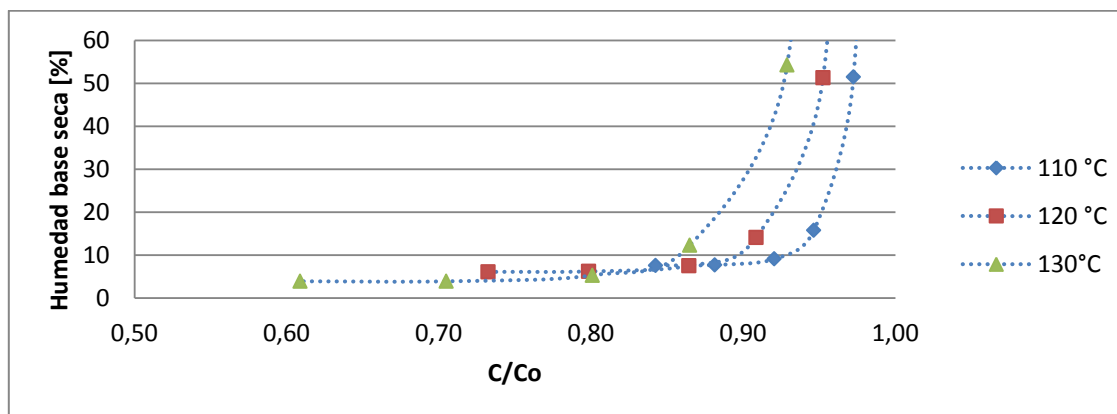


Figura 39: Medición fraccional de Polifenoles v/s humedad, acotado.



Siendo las líneas de tendencia exponenciales las que tienen un comportamiento más cercano al esperado, sin embargo sería trabajo de estudios posteriores estudiar la relación matemática exacta entre ambas variables.

Construcción Isoterma de Sorción.

La isoterma de sorción de agua relaciona, a una temperatura constante, el contenido de humedad de equilibrio con la actividad termodinámica del agua en el producto, en un intervalo dado de humedad o actividad. (Prieto, Gordillo, 2006).

En el equilibrio, la actividad de agua es igual a la humedad relativa del aire que rodea al producto a una temperatura determinada.

Con el fin de caracterizar la materia prima utilizada, se tomaron muestras y se creó una curva de desorción de acuerdo al modelo de G.A.B (Ecuación 14) y su error observado, a una temperatura constante de 60 °C para asegurar la evaporación solo del agua.

Ecuación 14: Ecuación de G.A.B.

$$X = \frac{X_m * C * K * A_w}{(1 - K * A_w)(1 - K * A_w + C * K * A_w)}$$

Utilizando el error de los mínimos cuadrados y ayudados de la herramienta solver de Excel, se calcularon los parámetros C, K, y X_m de la ecuación 14.

La tabla 20 da a conocer los valores experimentales encontrados dentro de la experiencia.

Tabla 20: Datos experimentales y teóricos para construcción de isoterma.

Aw	%h b.s exp	hbs GAB	hbs (exp-gab) ²
0,8309	28,13	28,25	0,015
0,6925	18,54	17,98	0,306
0,474	8,05	8,95	0,820
0,4624	8,21	8,61	0,161
0,3285	5,39	5,24	0,019
0,3175	5,31	5,01	0,086
0,2566	4,57	3,81	0,578
		Suma	1,989

Finalmente en la tabla 21 se dan a conocer los valores de los parámetros obtenidos.

Tabla 21: Parámetros isoterma de G.A.B.

Parámetros	
Xm	15,43
C	0,98
K	0,78

Siendo ;

K: Constante de corrección de las propiedades de las multicapas.

C: Constante de Guggenheim.

Xm: Contenido de agua en la monocapa.

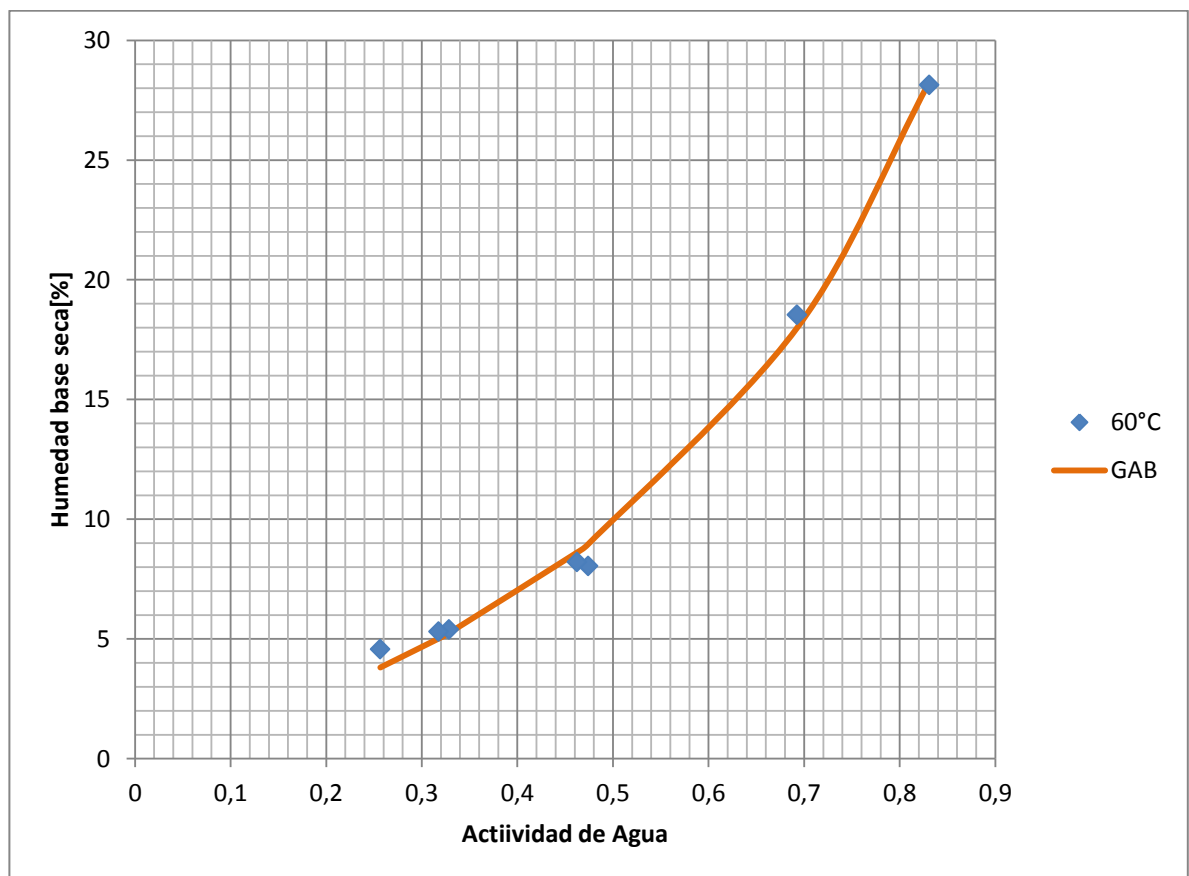


Figura 40: Comparación puntos experimentales y curva de G.A.B.



Logrando demostrar que el modelo de G.A.B se acerque a los valores experimentales, lo que se vio ratificado con el bajo valor obtenido en la suma del error cuadrático y visualmente en la figura 40.

Diferencias en color

El color y la apariencia son el primer contacto que tiene el consumidor con un alimento, condicionando sus preferencias e influenciando su elección. El color está relacionado con las cualidades sensoriales, la composición química y, por lo tanto, uno de los factores que define la calidad de un producto alimentario. (Montaño, 2014).

Por esta razón, se evaluaron cinco parámetros de color de la materia prima de manera previa y posterior, al proceso de secado, en las diferentes condiciones de tiempo y temperatura.

Parámetro L (luminosidad).

Tabla 22 Valores experimentales parámetro L, luminosidad.

temperatura	tiempo	L (a.s)	L(d.s)	ΔL
110 °C	30	40,8	39,25	1,55
	45	36,67	36,31	0,36
120 °C	30	40,03	39,83	0,2
	45	39,87	37,54	2,33
130°C	30	41,19	40,64	0,55
	45	37,35	37,13	0,22

Parámetro a* (rojo→verde).

Tabla 23 Valores experimentales parámetro a*.

temperatura	tiempo	a* (a.s)	a*(d.s)	Δa^*
110 °C	30	14,24	8,83	5,41
	45	14,13	10,59	3,54
120 °C	30	13,98	7,47	6,51
	45	18,25	7,46	10,79
130°C	30	17,5	8,06	9,44
	45	11,2	5,23	5,97

Parámetro b* (azul →amarillo).

Tabla 24 Valores experimentales parámetro b*.

temperatura	tiempo	b*(a.s)	b*(d.s)	Δb^*
110 °C	30	13,97	12,42	1,55
	45	9,95	13,9	3,95
120 °C	30	10,31	13,86	3,55
	45	13,3	12,65	0,65
130°C	30	14,87	14,66	0,21
	45	8,62	12,03	3,41

Parámetro C (croma, 0→borde).

Tabla 25 Valores experimentales parámetro C*.

temperatura	tiempo	C(a.s)	C(d.s)	Δ C
110 °C	30	19,95	15,24	4,71
	45	17,29	17,45	0,16
120 °C	30	17,37	15,77	1,6
	45	22,61	14,69	7,92
130°C	30	22,98	16,74	6,24
	45	14,18	13,12	1,06

Parámetro H° (ángulo, 0°→360°).

Tabla 26 Valores experimentales ángulo H°.

temperatura	tiempo	H°(a.s)	H°(d.s)	Δ H
110 °C	30	44,49	54,39	9,9
	45	35,25	52,8	17,55
120 °C	30	36,44	62,13	25,69
	45	35,84	59,44	23,6
130°C	30	40,42	61,09	20,67
	45	37,82	66,48	28,66

El resultado de un análisis de varianza ANDEVA, test aplicado en este caso, entrega un valor estadístico de F. Para saber si los resultados son significativos, su valor debe ser como mínimo el valor crítico arrojado.

Al observar en la tabla 27 los resultados experimentales y su respectivo análisis, es posible observar que quien presenta una mayor diferencia de acuerdo al proceso realizado es el parámetro H°, comprobando así que la hipótesis de que las medias de los datos, posterior a los tratamientos aplicados presentan diferencias.

Tabla 27 Análisis de varianza por parámetro.

Análisis de varianza		
Parámetro	F crítico	F obs
a*	2,15	7,74
b*	2,15	1,78
C	2,15	2,20
L	2,15	2,23
H°	2,15	34,24

En otras palabras, existe una relación significativa entre cada grupo y el tipo de tratamiento aplicado (tiempo y temperatura). La probabilidad demuestra que son estadísticamente significativos.

La figura 41 muestra la diferencia visual entre el color original y el obtenido posterior a cada tratamiento.

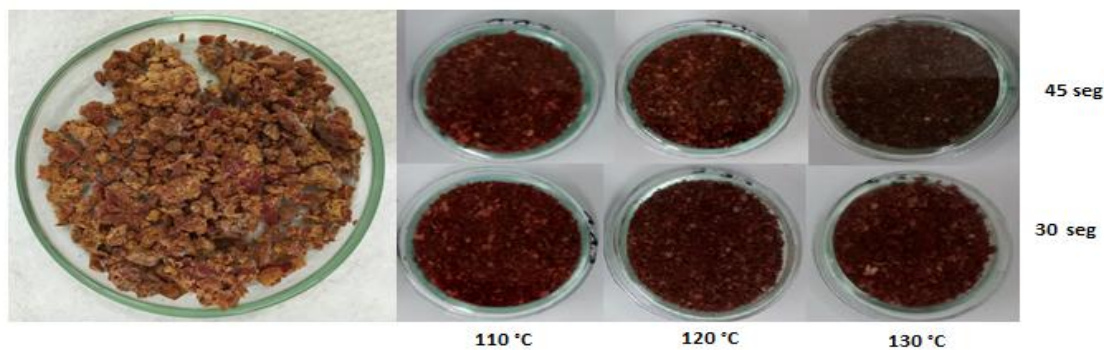


Figura 41: Diferencias de color según procesos aplicados.



Humedades Objetivo

En el mercado internacional, como por ejemplo Argentina, las frutas desecadas se pueden clasificar según su contenido de humedad. (Comex Internova consultora).

- ➔ Alta humedad, entre 12- 15 % humedad.
- ➔ Baja humedad , entre 3-5 % humedad.

Al no estar clasificada la granada específicamente en el reglamento sanitario de alimentos, pues esta se encuentra incluida dentro del tipo “otros frutos”, se buscaron las humedades permitidas para los alimentos procesados en tambor rotatorio doble con el fin de obtener un parámetro inicial a respetar. Dentro de estos encontramos la leche en polvo, puré de papas, harinas, alimentos infantiles y alimentos para perros.(Gascón, Muravnik y Andreuccetti, 2013).

En la tabla 28 es posible apreciar las humedades permitidas para algunos alimentos según el Reglamento Sanitario de los Alimentos, versión 2015.

Tabla 28 Humedades según R.S.A

Producto	Humedad permitida	Artículo
Café	5%	355
Te	12%	352
Mate	11%	354
Sopa deshidratada	5%	426
Harina	15%	349

Donde la harina, un producto que de igual manera utiliza el mismo equipo de secado se encuentra dentro de los límites mencionados en un inicio.

Por lo tanto según los resultados obtenidos, posterior al proceso de secado, en todos los formatos de tiempo y temperatura planteados, y de las curvas creadas a partir de dichos datos, fueron clasificadas las opciones óptimas de proceso según la humedad final que se desea lograr.

Frutas desecadas de alta humedad

Se refiere a aquellos frutos deshidratados con un contenido de humedad que varía entre un 12% y 15% y aun así mantienen sus propiedades para cumplir con un producto de calidad internacional.

Dentro de los tratamientos realizados, y posteriormente generar las curvas de secado, se clasifico aquellos tiempos y temperaturas de proceso que permitieran cumplir con una humedad máxima del 12% , los cuales se especifican en la tabla 29.

Tabla 29: Humedad menores a 12% y su tiempo respectivo.

Humedad → 12%		
Temperatura [°C]	Humedad [%]	Tiempo [s]
110	11,78	24
120	11,77	22
130	10,91	21

A partir de los tiempos y su respectivas temperaturas obtenidos en el punto anterior, y las curvas de degradación generadas, se calculó la retención de polifenoles que se muestra en la tabla 30, para cada caso.

Tabla 30: Retención de Polifenoles correspondiente a opciones alta humedad.

Retención de Polifenoles		
Temperatura [°C]	Tiempo [s]	C/Co
110	24	0,94
120	22	0,90
130	21	0,86

Por su parte tanto la actividad de agua como el ángulo H° , fueron medidos según el diseño de experimentos planteado, a los 30 segundos de tratamiento como se muestra en la tabla 31 y 32 los cuales al ser cercano a los tiempos designados fueron asignados a cada tratamiento según la temperatura.

Tabla 31: Actividad de agua correspondiente a opciones de alta humedad.

Actividad de Agua		
Temperatura [°C]	Tiempo [s]	Aw*
110	24	0,177
120	22	0,147
130	21	0,122

*Aw medida en 30 [s].

Tabla 32: Ángulo H° correspondiente a opciones de alta humedad.

Angulo H°		
Temperatura [°C]	Tiempo [s]	H °**
110	24	54,39
120	22	62,13
130	21	66,48

**H° medida 30 [s].

Por lo tanto según la tabla 33, la opción que cumple con la humedad objetivo, logra la mayor retención de polifenoles, cercana a un 94%, presenta el menor pardeamiento y una humedad de agua estable de 0,18, que no permite la proliferación de microorganismos es el proceso a temperatura de 110 °C durante 24 segundos.

Tabla 33: Opción escogida para frutas desecadas de alta humedad.

Opción escogida					
Temperatura [°C]	Tiempo [s]	Humedad [%]	Retención de Polifenoles	Aw	Ángulo H°
110	24	11,78	0,94	0,177	54,39

Frutas desecadas de baja humedad

Se refiere a aquellos frutos que fueron deshidratados y su contenido final de humedad varía entre un 3% y 5%.

Dentro de los tratamientos realizados, aquellos que cumplen con una humedad máxima del 5% son los que se especifican en la tabla 34. Resultados obtenidos a través de las curvas de secado generadas.

Tabla 34: Humedad menores a 5% y su tiempo respectivo.

Humedad → 5%		
Temperatura [°C]	Humedad [%]	Tiempo [s]
110	7,6	∞
120	6,1	∞
130	4,8	32

Al tratarse de una humedad tan baja, solo uno de los tratamientos aplicados, aquel de mayor temperatura fue capaz de cumplir con la humedad objetivo.

De igual forma que en el caso de alta humedad, ya habiendo sido obtenido el tiempo y temperatura correspondiente que aseguren la humedad requerida y utilizando las curvas de degradación creadas, se calcula la retención de polifenoles en estas condiciones, como lo evidencia la tabla 35.

Tabla 35: Retención de Polifenoles correspondiente a opciones baja humedad.

Retención de Polifenoles		
Temperatura [°C]	Tiempo [s]	C/Co
110	∞	--
120	∞	--
130	32	0,7881

Tanto la medición de actividad de agua como la medición de color mediante el ángulo H° realizada a los 30 segundos según el planteamiento de objetivos son asignadas en este caso dada la casi nula diferencia de tiempo. Lo que se ve evidenciado en las tablas 36 y 37.

Tabla 36: Actividad de agua correspondiente a opciones de baja humedad.

Actividad de Agua		
Temperatura [°C]	Tiempo [s]	Aw*
110	∞	--
120	∞	--
130	32	0,1224

*Aw medida en 30 [s].

Tabla 37: Ángulo H° correspondiente a opciones de baja humedad.

Angulo H°		
Temperatura [°C]	Tiempo [s]	H ° **
110	∞	--
120	∞	--
130	32	66,48

**H° medido en 30[s].

Por lo tanto según la humedad establecida, existe una sola opción que logra llegar a la humedad requerida (tabla 38), logrando una retención de polifenoles cercana al 79% y una actividad de agua de 0,12.

Esta retención es menor a la opción escogida en el punto anterior al igual que la actividad de agua.

En cuanto al pardeamiento este es mayor acercándose a los tonos cafés.

Tabla 38: Opción escogida para frutas desecadas de baja humedad.

Opción escogida					
Temperatura [°C]	Tiempo [s]	Humedad [%]	Retención de Polifenoles	Aw	Ángulo H°
130	32	4,8	0,7881	0,1224	66,48

Cuadro comparativo

Dentro de la clasificación de frutas deshidratadas, fue posible generar opciones que a continuación en la tabla 39 se presentan.

Las opciones fueron escogidas primeramente de acuerdo a la obtención de las humedades plantadas (baja y alta), esto se realizó a partir de fijar el límite de humedad en frutas deshidratadas y a partir de estos datos y las curvas de secado generadas (ecuación 3, 4 y 5) se obtuvieron los tiempos correspondientes de proceso a cada temperatura.

En segunda instancia y ya con los tiempos de procesos delimitados, a estos mismos tiempos y temperaturas se calcularon las respectivas retenciones de polifenoles a partir de las curvas de degradación obtenidas (ecuación 11, 12 y 13).

Por su parte y de acuerdo al diseño de experimentos planteados en el inicio del estudio, fueron medidos tanto el cambio de color (H°) como la actividad de agua posterior a cada tratamiento aplicado. Observando los tiempos, y teniendo en cuenta que los parámetros no debiesen generar grandes cambios en la orden de los segundos, fueron asignados los valores medidos en los tratamientos de 30 segundos de residencia a sus respectivas temperaturas.

Ya teniendo toda la información y opciones disponibles se generó una clasificación, de aquellas que cumplieren con la humedad objetivo y dentro de estas la que tuviese la mayor retención de contenido de polifenoles.

Tabla 39: Cuadro comparativo de opciones escogidas.

Opción 1 "Alta Humedad" (Max. 12%)					
Temperatura [°C]	Tiempo [s]	Humedad [%]	Retención de Polifenoles	Aw	Ángulo H°
110	24	11,8	0,94	0,177	54,39
Opción 2 "Baja Humedad" (Max 5%)					
Temperatura [°C]	Tiempo [s]	Humedad [%]	Retención de Polifenoles	Aw	Ángulo H°
130	32	4,8	0,79	0,122	66,48

Donde, como se observa en la tabla 39, las diferencias más significativas se generan en el tiempo de proceso, llegando a una diferencia de 8 segundos en el tratamiento.

Por otra parte está la temperatura de secado, mientras que la humedad objetivo alta se logra con un tratamiento a 110°C, la humedad objetivo baja lo hizo a 130°C, presentando una diferencia significativa de 20 °C.

Finalmente un punto crucial y decisivo a la hora de clasificar las opciones generadas fue la retención de polifenoles, si bien ambas opciones escogidas (de acuerdo a su contenido de



humedad) logran un elevado porcentaje de retención, es la opción de alta humedad la que con un 94% sobrepasa a todas las opciones observadas. En el caso de baja humedad dicha retención llega al 79%, presentado así una diferencia entre ambas de un 15% de retención.

Para el caso de la actividad de agua, ambas mediciones 0,17 como 0,12, no presentarían ningún tipo de riesgo en cuanto al crecimiento microbiano (Gascón, Muravnick, Andreuccetti, 2013), pues ambas se encuentran muy por debajo del valor 0,6 citado en la literatura como el límite de la inocuidad. Presentado así ambas un parámetro importante en cuando a estabilidad.

En cuanto al parámetro comparado en el estudio de la colorimetría, el ángulo H° presentó en ambos casos un aumento, obteniendo en el caso de alta humedad un valor final de 54° , presentando un diferencia de 10° con su valor original, por su parte en el caso de baja humedad se obtuvo un valor final de 66° , presentando una diferencia de 20° con su valor original. Cabe mencionar que ambos presentaron un pardeamiento leve acercándose finalmente a los tonos cafés según la descripción del método CielCH.



Discusión:

Al realizar el respectivo estudio sobre los modelos cinéticos tanto de degradación de polifenoles como de secado, éstos cumplen con lo que generalmente es posible ver en la literatura, esto es, cinéticas de orden cero y primer orden respectivamente (Honorato, Oliveira, 2005). Se obtuvieron modelos matemáticos que se ajustan a los datos experimentales y a la vez son capaces de entregar información adicional al proceso.

Un valor crucial dentro del proceso es la actividad de agua obtenida luego de los tratamientos aplicados, en cada una de las condiciones de secado en cuanto a tiempo y temperatura, estos valores se encuentran dentro de los rangos inocuos en cuanto al crecimiento microbiano (menor a 0,6), siendo el mayor de estos 0,17 y el menor 0,10. Valores que permitirían una conservación libre de microorganismos. (Gascón, Muravnick, Andreuccetti, 2013).

Por otra parte la cantidad total de polifenoles también se vio disminuida con el proceso aplicado, dicha disminución puede depender de variados factores y causas. La temperatura aplicada y tiempos involucrados llegaron a establecer pérdidas que van desde el 8,5 % hasta un 22,02%. Dichos valores nos permiten concluir que la degradación de los polifenoles presentes o es térmicamente estable o el tiempo de residencia no fue el suficiente para afectar de manera importante la concentración de estos. Pues, aun siendo sometidos a altas temperaturas, aquel que presentó mayores pérdidas, fue capaz de retener cerca del 80% de su contenido inicial.

Dentro de las causalidades en los resultados obtenidos se podrían atribuir dichas pérdidas a la degradación de taninos y flavonoides que se encuentran en mayor concentración en la piel de la granada. (Calin y Carbonell, 2014).

En comparación con otros métodos de secado estudiados, aplicados al mismo producto, es posible observar que todos presentan algún nivel de degradación en el contenido total de polifenoles. El estudio publicado sobre el efecto de secado en los compuestos bioactivos de la cascara de la granada (Rebogile R, Olaniyi A, 2015) demuestra que mediante diferentes métodos, tanto horno como liofilizado, existe una pérdida de la concentración de polifenoles, siendo estas más elevadas a mayores temperaturas de secado (60°C) en horno, en comparación con la técnica de liofilizado debido al tiempo de exposición.

En el caso estudiado los niveles de retención de polifenoles se encuentran por sobre los casos antes mencionados, las temperaturas aplicadas son considerablemente mayores, y los tiempos de secados muy inferiores, del orden de segundos, mientras que en los procesos de horno y liofilizado el tiempo de tratamiento es del orden de 12 y 16 horas respectivamente.

Dicha diferencia en la retención permite intuir que debido a la menor exposición al oxígeno presentada en este caso en particular existe una variante de degradación enzimática presente



y/o los compuestos bioactivos son térmicamente estables y capaces de resistir la degradación en un tratamiento térmico de esta envergadura.

En comparación con el mismo estudio citado anteriormente, los valores de humedad de equilibrio se encuentran bajo el 10 %, el secado en horno durante 16 horas logra una humedad de equilibrio de 9,6%, por su parte la técnica de liofilizado durante 12 horas logra una humedad de equilibrio de 8,7%, sin embargo el proceso aplicado a 130 °C durante 30 segundo en tambor rotatorio supera la cantidad de agua removida logrando obtener una humedad de equilibrio de 4,8%. Punto de vital importancia en la conservación de los alimentos.

Por otra parte al comparar el método utilizado con respecto al equipo y las temperaturas de proceso, con un estudio realizado con cascara de manzana, se obtuvieron en el caso de este residuo, menores valores de humedad de equilibrio con respecto a la cascara de granada a igual temperatura de proceso. (Campos, M.I, 2009). Cabe destacar que la textura y la permeabilidad de las cascara al ser tan diferentes son factores que podrían ser causantes de las diferencias encontradas.

En el estudio de colorimetría realizado, dentro de los 5 parámetros analizados, solo el ángulo H° presentó una variabilidad significativa con los distintos procedimientos realizados, variando desde los 52° hasta los 66°, dependiendo del tiempo y la temperatura del proceso, logrando observarse un mayor pardeamiento en aquellos que les fue aplicada una temperatura y tiempo mayor de proceso.

En cuanto al cambio en el color, si bien el ángulo h° se ve incrementado cambiando el tono del producto, este se debe al tratamiento aplicado y no a un proceso de oxidación previo. Pues la materia prima, pesa a serle aplicado un acondicionamiento, visiblemente no presento cambios de color hasta posterior al tratamiento, acercándose a los tonos cafés.

Este pardeamiento observado, podría tener origen enzimático y/o químico, pues el producto es procesado y expuesto al oxígeno atmosférico, donde con la presencia de la enzima PFO, es capaz de polimerizar las quinona y dar origen a pigmentos en los tonos pardos. Por otra parte al producto se le aplica durante un periodo temperaturas elevadas, pudiendo llegar a producirse la reacción de Millard, dando origen a polímeros coloreados, debido a la presencia de azúcares (fructosa) y aminoácidos en la materia prima.(G. Arrazola, I. Herazo y A. Alvis, 2014).

En comparación con el estudio de Rebogile R, Olaniyi A, (2015); el método se secado en horno (60 °C) durante 16 horas logró valores de ángulo H° cercanos a los 44°, mientras que la liofilización durante 12 horas alcanzó un valor muy cercano al producto en fresco (35°), llegando a obtener 38°, en el caso del tambor rotatorio a altas temperaturas los valores del ángulo H° es posible encontrarlos cercano a los 60° dependiendo del tiempo de proceso y la temperatura aplicada, lo que nos lleva a concluir que a mayores temperaturas los compuestos fenólicos (antocianinas, responsables del color) sufren una mayor inestabilidad.



IV. Conclusiones

En cuanto a la generación de curvas de secado, es posible apreciar que a mayor temperatura el parámetro k obtenido tiene un valor mayor, lo que permite una pérdida de humedad más rápida, alcanzando en un menor tiempo la humedad de equilibrio.

La retención de polifenoles es otro factor que se vio afectado debido a las condiciones de los tratamientos aplicados, pudiendo observar que a mayor temperatura la pendiente se hace mayor, por tanto también aumenta la degradación.

Los valores de actividad de agua observados, en todos los tratamientos aplicados se encuentran dentro de los rangos inocuos para el crecimiento microbiano, esto es, menor a 0,6.(Gascón, Muravnick, Andreuccetti,2013).

La construcción de la isoterma de sorción permite darnos un parámetro de estabilidad que nos entrega tanto la humedad de equilibrio en base seca como su respectiva actividad de agua caracterizando así de mejor manera el producto.

De acuerdo a las humedades permitidas según la clasificación de frutas deshidratadas, se escogieron dos opciones que cumple con los límites de humedad y conjuntamente mantengan la mayor retención de polifenoles.

En cuanto al estudio de colorimetría es posible observar un pardeamiento del producto luego de ambos tratamientos acercándose a los tonos cafés de la gama de colores.

Cabe mencionar que antes de cualquier tipo de utilización del producto es necesario un estudio previo de toxicidad de este, y así corroborar su inocuidad al consumo, debido a que se trata de un proceso de secado lo que conlleva una concentración de sustratos.



V. Recomendaciones

- Para estudios posteriores se recomienda:
- Estudiar una relación matemática exacta que relacione la fracción de retención del contenido total de polifenoles y la humedad en base seca correspondiente.
- Relacionar los valores entregados y ver su comportamiento de acuerdo a un rango de Ph seleccionados.
- Estudiar la variabilidad y solubilidad del producto.
- Realizar un estudio de toxicidad al tratarse de una concentración de producto.
- Medir datos, como la astringencia y sabor para posibles usos domésticos.



VI. Referencias

- www.portalfruticola.com*. (27 de 07 de 2011). Obtenido de
<http://www.portalfruticola.com/noticias/2011/07/27/exportacion-de-granadas-frescas-chilenas-un-primer-acercamiento-a-estados-unidos/?pais=chile>
- www.red agricola.com*. (2013). Obtenido de
<http://www.redagricola.com/reportajes/frutales/granadas-y-caquis-frutas-exoticas-pero-tambien-rentables>
- www.odepa.cl*. (08 de 10 de 2015). Obtenido de
http://www.odepa.cl/documentos_informes/catastro-fruticola-ciren-odepa/
- A. Martinez-Ramirez, J. C.-E.-C. (2010). *Extracción de polifenoles asistida por microondas a partir de Punica granatum*. Coahuila, México: Acta Química Mexicana, Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila.
- Angel Calin Sanchez, A. C. (2014). *Granada cultivada en España, punicalagina, antioxidante del zumo de granada y el extracto de granada en la alimentación funcional del futuro*. España: Universidad Miguel Hernández, Departamento Tecnología Agroalimentaria.
- Austin, T. U. (s.f.). *www.liberalartsutexas.edu*. Obtenido de
<https://www.laits.utexas.edu/orkelm/excel/EXCEL/ANOVA1.HTM>
- Barcelona, U. d. (s.f.). *www.ub.edu*. Obtenido de
http://www.ub.edu/aplica_infor/spss/cap4-7.htm
- Boscarol, M. (2007). *El espacio del color L* C* h. Recuperado de*. Recuperado el 13 de Septiembre de 2016, de http://www.gusgsm.com/espacio_color_lch
- Bravo, D. F. (2011). *Caracterización física, Química y sensorial de frutos de granado de dos regiones de Chile de los Clones UCH-CHA, UCH-COD y UCH-NG*. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile.
- C. García-Viguera, A. P. (2013). *La fruta granada alimento rico en antioxidantes*. Murcia: LABORATORIO FITOQUÍMICA. DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS.



- Calín-Sánchez, Á. F. (2013). Composición química, capacidad antioxidante, y la calidad sensorial de la granada (*Punica granatum* Arils L.) y la corteza como los que afecta el Método de secado. *Tecnología de Bioprocesos y Alimentos*, pp 1644-1654.
- Castillo, M. I. (2009). *Cinética de inactivación de polifenoles en secado de cáscara de manzana en el sistema tipo Drum Dryes*. Valparaíso, Chile.: Universidad Técnica Federico Santa María.
- Castillo, S. R. (s.f.). *Determinación preliminar de la temperatura óptima para la deshidratación de pimienta y tomate en condiciones de laboratorio*. Corrientes, Argentina: Universidad Nacional del Nordeste, Comunicaciones científicas y tecnológicas 2000.
- Chile, p. (s.f.). *Granada una nueva alternativa*. Teno, Curico.
- Correa, M. F. (Agosto 2012). *Estudio de granadas procesadas en E.E.U.U.* proChile Los Angeles.
- D. Urrea, V. E. (07 de 12 de 2012). *alimentos hoy*. Obtenido de <http://alimentos hoy.acta.org.co/index.php/hoy/article/viewFile/141/135>
- Danny K. Asami, Y. J.-H. (25 de Enero de 2003). La comparación del total de fenoles y ácido ascórbico contenido de liofilizado y secado al aire Marionberry, fresa y maíz cultivado con convencional, orgánica y las prácticas agrícolas sostenibles. Davis, California, U.S.A.
- E. M. Ceballos-Ortiz, M. T.-M. (2012). *Cambios en las propiedades de frutas y verduras durante la deshidratación con aire caliente y su susceptibilidad al deterioro microbiano*. Puebla, Mexico: Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental, Fundación Universidad de las Américas, Puebla.
- Egda. Tatiana Paredes Pardo, I. N. (Junio, 2011). *Fortalecimiento del Departamento de Nutrición y Calidad*. Mejía, Santa Catalina: Instituto Nacional Autonomo de Investigaciones Agropecuarias.
- Enrique Martínez, L. L. (2010). *Análisis y Aplicación de las expresiones del contenido de humedad en sólidos*. Queretaro, Mexico: Centro Nacional de Metrología.
- Everaldo Montes, R. T. (2008). *Modelado de Isoterma de Sorción del Ñame*. Medellín: Universidad de Córdoba.
- Francisco Prieto, A. G. (2006). *Evaluación de isotermas de sorción en cereales para el desayuno*. Pachuca, Mexico: Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.



- G.C. Honorato, E. O. (2005). *Estudio del proceso de secado del camaron*. Brasil.
- Guillermo Arrazola, I. H. (2014). *Obtaining and Evaluation of Stability of Eggplant Anthocyanins (Solanum melongena L.) in Beverages*. Universidad de Cordova.: Programa de Ingeniería de Alimentos. Facultad de Ingenierías. Grupo de Investigación Procesos y Agroindustria de vegetales.
- Hector, G. (s.f.). *facultad de quimica, Universidad Autonoma de México*. Recuperado el 10 de 11 de 2016, de http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/07LareacciondeMaillard_20547.pdf
- iberfluid, i. (s.f.). *iberfluid, articulo 786*. Recuperado el 2015, de http://www.iberfluid.com/consierge/docs/1458_articles_786_Actividad%20del%20agua.pdf
- Kaur C, K. H. (2001). Los antioxidantes en las frutas y verduras. *Revista internacional de ciencias y tecnologías de los alimentos*, 703-725.
- Lansky, N. (2007). Punica granatum (granada) y su potencial para la prevención y el tratamiento de la inflamación y el cáncer. *Elsiever*, 177-206.
- Lindow, A. B. (07 de 09 de 2015). *gastronomia solar*. Recuperado el 12 de 01 de 2016, de <http://gastronomiasolar.com/actividad-de-agua-alimentos/>
- López, M. (2010). Granada: una fuente de antioxidantes de interes actual. *Temas selectos de Ingenieria de Alimentos*, 64-73.
- M. Montaña, R. B. (mayo, 2014). *La importancia del color en los alimentos*. Bogota, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- M. Ramirez-Miranda, M. C.-M.-S. (2014). Determinación de las isothermas de sorción y las propiedades termodinamicas de harina de maiz nixtamalizada. *Revista Mexicana de Ingenieria Quimica*, 165-178.
- Mier, A. E. (julio,2012). *Exportacion de Granada Fresca*. Lima: Universidad de Lima.
- Ministerio de Educacion, C. (27 de 02 de 2014). Obtenido de <http://www.conicyt.cl/regional/2014/02/27/estudian-las-consecuencias-del-estres-por-frio-en-la-granada/>
- Navaro. (2010). Química, propiedades funcionales de la granada fisicoquímicas y (Punica granatum L.) Bagasses polvo coproducto. *Elsiever*, 220-224.



- Noheding, M. (25 de 05 de 2015). <http://es.slideshare.net>. Obtenido de <http://es.slideshare.net/noheding/actividad-de-agua-y-determinacin-de-isotermas-de-adorcin>
- Nursten, H. (2005). *The Maillard Reaction*. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, .
- Olaniyi A Fawole, N. P. (2012). Antibacterial, antioxidant and tyrosinase-inhibition activities of pomegranate fruit peel methanolic extract. *BMC Complementary & Alternative Medicine*, 2-11.
- P.S. Negi, G. K. (2002). Antioxidant and antimutagenic activities of pomegranate peel extracts. *Elsevier*.
- paz, A. (14 de 06 de 2013). *granadas del uruguay*. Obtenido de <http://granadasdeluruguay.com/no-tire-la-cascara-usela-tiene-tantas-propiedades-como-la-fruta/>
- Paz, E. I. (03 de 2009). *www.granadas argentinas.com*. Obtenido de <http://www.granadasargentinas.com/index-es.php>
- Ramirez, A. C. (s.f.). *Determinación experimental y modelación de isotermas de sorción de agua de hojas de alcachofa*. Valencia, España: Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo, Universidad Politécnica de Valencia.
- Rebogile R. Mphahlele, O. A. (2015). *Efecto de secado en compuestos bioactivos, antioxidantes, antibacterianos y actividad antitirosinasa de cáscara de granada*. Biomed Central.
- Rivera-López, J. y. (2004). *Efecto del corte y la temperatura de almacenamiento*. Sinaloa, Mexico: Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha.
- Roy, S. K. (1997). *Pomegranate*. 365-374: Postharvest physiology and storage of tropical and subtropical fruits.
- Sahidi, N. (2009). Nutracéuticos y alimentos funcionales: Total frente a los alimentos procesados. *Elsiever*, 376-387.
- Salud, M. d. (Enero, 2015). *Reglamento Sanitario de los Alimentos*. Santiago.
- Sevilla, U. d. (27 de 04 de 2016). *color y calidad de alimentos*. Recuperado el 11 de 11 de 2016, de <http://www.color.us.es/esp/>



- Shhid Iqbal, S. H.-u.-H. (Noviembre, 2007). Efficiency of pomegranate peel extracts in stabilization of sunflower oil under accelerated conditions. *Elsevier, Science Direct, Departament of Chemistry, University of Sargodha, Pakistan*.
- T. Girbes, P. J. (2012-2013). *Determinacion del contenido total de polifenoles en alimentos con el reactivo folin-ciocalteau*. Provincia de Valladolid: Universidad de Valladolid.
- Tauran, E. (14 de 05 de 2010). *www.biobiochile.cl*. Obtenido de <http://www.biobiochile.cl/noticias/2010/05/14/exportacion-de-granadas-consolidaria-a-chile-como-principal-productor-de-fruta-en-el-cono-sur.shtml>
- www.pomwonderful.com*. (s.f.). Obtenido de <http://www.pomwonderful.com/pomegranate-products/freshfruit/>
- X-Rite. (2002). *www.x-rite.com*. Recuperado el 08 de 2015, de http://www.mcolorcontrol.com/archivos/L10-001_Understand_Color_es.pdf
- Yunfeng Li, C. G. (2005). Evaluation of antioxidant properties of pomegranate peel extract in comparison with pomegranate pulp extract. *Elsevier*.
- Zambrano, S. H. (2011). *Estabilidad de Anocianinas en jugo y oncentrado de agraz*. Medellin: Facultad nacional de agronomía.
- ZHANG-You-lin, P. D. (Enero, 2008). Estudio sobre el mecanismo de Browning de la granada (*Punica granatum* L. cv . Ganesh) Peel en diferentes condiciones de almacenamiento. *Elsiever*, 65-73.

VII. Anexos

Análisis de varianza de un factor

Actividad de Agua (Aw)

Antes del proceso

RESUMEN				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
0,9726	8	7,7653	0,9706625	7,2055E-06
0,9734	8	7,7502	0,968775	1,2711E-05
0,9732	8	7,7786	0,972325	3,4221E-06
0,9703	8	7,7533	0,9691625	4,6227E-06
0,9743	8	7,7833	0,9729125	1,2601E-05
0,9751	8	7,8258	0,978225	2,9171E-05

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,00047943	5	9,5887E-05	8,2503	1,6967E-05	2,4376
Dentro de los grupos	0,00048813	42	1,1622E-05			
Total	0,00096756	47				

Después del proceso

RESUMEN				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
0,1472	8	0,9545	0,1193125	0,00023282
0,1438	8	1,182	0,14775	4,0406E-05
0,1227	8	1,0072	0,1259	3,4806E-05
0,1729	8	1,4179	0,1772375	2,782E-05
0,1572	8	1,1684	0,14605	0,00020618
0,1082	8	0,8429	0,1053625	7,4554E-05



ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,02602788	5	0,00520558	50,65	1,0365E-16	2,4376
Dentro de los grupos	0,00431607	42	0,00010276			
Total	0,03034395	47				

Humedad (H)

Antes del proceso

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
75,6112105	8	599,55723	74,9446537	0,09254266
71,6992542	8	564,615844	70,5769804	7,62971973
71,6131637	8	576,772385	72,0965481	0,28378913
69,86	8	567,548118	70,9435148	1,06359761
70,4590818	8	581,858828	72,7323535	4,56688281
75,5253152	8	605,806065	75,7257581	0,07134082

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	176,31457	5	35,2629	15,4347	1,3142E-08	2,4376
Dentro de los grupos	95,955109	42	2,28464			
Total	272,26968	47				



Después del proceso

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
3,96825397	8	30,6261692	3,82827115	0,08176246
7,2247135	8	65,7927823	8,22409779	0,37948028
6,55737705	8	56,7546193	7,09432742	0,12627052
8,44510681	8	67,2573671	8,40717088	0,43866096
6,66666667	8	43,2320105	5,40400132	0,42744109
5,2366566	8	40,7518019	5,09397524	0,17488573

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	137,035676	5	27,4071	100,9780	2,7544E-22	2,437692
Dentro de los grupos	11,3995074	42	0,2714			
Total	148,435183	47				

Contenido Total de Polifenoles (C.T.P)

Antes del proceso

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
0,21146106	8	1,55828122	0,19478515	0,0002997
0,19173631	8	1,4442253	0,18052816	0,0001788
0,17003231	8	1,48774872	0,18596859	0,00011946
0,14529584	8	1,43634802	0,1795435	0,00020038
0,17547557	8	1,44784541	0,18098068	0,00020641
0,22166342	8	1,66530414	0,20816302	8,7349E-05



ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,00506142	5	0,00101228	5,5614870	0,00051031	2,4376926
Dentro de los grupos	0,00764471	42	0,00018202			
Total	0,01270613	47				

Después del proceso

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
0,14166675	8	1,16748358	0,14593545	3,1558E-05
0,19088427	8	1,49411628	0,18676454	4,4379E-05
0,20166824	8	1,44597741	0,18074718	0,00014754
0,13767736	8	1,04195257	0,13024407	7,1563E-05
0,15313659	8	1,13141808	0,14142726	0,00038222
0,19588905	8	1,44758606	0,18094826	2,7586E-05

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,02406124	5	0,00481225	40,9641	4,2663E-15	2,4376
Dentro de los grupos	0,00493393	42	0,00011747			
Total	0,02899517	47				

Colorimetría

Parámetro L^* antes del proceso

RESUMEN				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Columna 1	9	334,24	37,1377778	1,38049444
Columna 2	9	340,04	37,7822222	0,39001944
Columna 3	9	367,26	40,8066667	0,754275
Columna 4	9	360,27	40,03	4,86095
Columna 5	9	389,46	43,2733333	9,636525
Columna 6	9	330,05	36,6722222	2,35481944
Columna 7	9	358,87	39,8744444	0,72650278
Columna 8	9	370,77	41,1966667	0,299925

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	321,278711	7	45,8969587	17,99571	5,6164E-13	2,15642397
Dentro de los grupos	163,228089	64	2,55043889			
Total	484,5068	71				

Parámetro L después del proceso

RESUMEN				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Columna 1	9	336,21	37,3566667	1,4481
Columna 2	9	353,54	39,2822222	15,6433694
Columna 3	9	353,27	39,2522222	6,06494444
Columna 4	9	358,48	39,8311111	5,78066111
Columna 5	9	346,56	38,5066667	0,742
Columna 6	9	353,85	39,3166667	0,783075
Columna 7	9	337,91	37,5455556	1,12220278
Columna 8	9	365,82	40,6466667	8,431975



ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	78,2688222	7	11,1812603	2,23533961	0,04253159	2,15642397
Dentro de los grupos	320,130622	64	5,00204097			
Total	398,399444	71				

Parámetro C* antes del proceso

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Columna 1	9	127,7	14,1888889	3,58468611
Columna 2	9	141,49	15,7211111	1,36368611
Columna 3	9	179,57	19,9522222	1,70221944
Columna 4	9	156,38	17,3755556	3,69277778
Columna 5	9	159,68	17,7422222	11,2709944
Columna 6	9	155,69	17,2988889	2,24486111
Columna 7	9	203,5	22,6111111	5,18023611
Columna 8	9	206,89	22,9877778	5,03959444

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	618,63875	7	88,3769643	20,7463412	2,8521E-14	2,15642397
Dentro de los grupos	272,632444	64	4,25988194			
Total	891,271194	71				

Parámetro C* después del proceso

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Columna 1	9	118,09	13,1211111	1,84761111
Columna 2	9	135,77	15,0855556	26,6075028
Columna 3	9	137,24	15,2488889	6,87401111



Columna 4	9	141,96	15,7733333	8,55335
Columna 5	9	137,26	15,2511111	2,24011111
Columna 6	9	157,06	17,4511111	0,62916111
Columna 7	9	132,26	14,6955556	1,61750278
Columna 8	9	150,67	16,7411111	7,36663611

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	107,774543	7	15,3963633	2,20990308	0,04481179	2,15642397
Dentro de los grupos	445,887089	64	6,96698576			
Total	553,661632	71				

Parámetro H^0 antes del proceso

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Columna 1	9	340,4	37,8222222	29,1520944
Columna 2	9	319,25	35,4722222	10,6428444
Columna 3	9	400,45	44,4944444	1,25107778
Columna 4	9	328,02	36,4466667	1,1097
Columna 5	9	302,23	33,5811111	0,81398611
Columna 6	9	317,28	35,2533333	3,282025
Columna 7	9	322,6	35,8444444	7,63847778
Columna 8	9	363,81	40,4233333	5,4628

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	772,9614	7	110,423057	14,8835674	2,3539E-11	2,15642397
Dentro de los grupos	474,824044	64	7,41912569			
Total	1247,78544	71				



Parámetro H° después del proceso

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Columna 1	9	598,36	66,4844444	1,35260278
Columna 2	9	518,55	57,6166667	17,437475
Columna 3	9	489,53	54,3922222	3,26316944
Columna 4	9	559,24	62,1377778	10,2261944
Columna 5	9	488,31	54,2566667	10,111
Columna 6	9	475,23	52,8033333	1,6503
Columna 7	9	534,99	59,4433333	0,7344
Columna 8	9	549,84	61,0933333	1,090825

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	1374,35	7	196,335714	34,2451239	2,5679E-19	2,15642397
Dentro de los grupos	366,927733	64	5,73324583			
Total	1741,27773	71				

Parámetro a^* antes del proceso

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Columna 1	9	100,81	11,2011111	3,55486111
Columna 2	9	114,91	12,7677778	0,59929444
Columna 3	9	128,16	14,24	1,309025
Columna 4	9	125,83	13,9811111	2,61038611
Columna 5	9	133,1	14,7888889	8,30081111
Columna 6	9	127,24	14,1377778	2,11746944
Columna 7	9	164,3	18,2555556	1,47150278
Columna 8	9	157,54	17,5044444	3,90015278

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
----------------------------------	--------------------------	---------------------------	----------------------------------	----------	---------------------	-----------------------------



Entre grupos	337,226265	7	48,1751808	16,1502462	4,8875E-12	2,15642397
Dentro de los grupos	190,908022	64	2,98293785			
Total	528,134288	71				

Parámetro a* después del proceso

RESUMEN				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Columna 1	9	47,07	5,23	0,26795
Columna 2	9	74,76	8,30666667	11,832225
Columna 3	9	79,5	8,83333333	1,600675
Columna 4	9	67,27	7,47444444	3,95640278
Columna 5	9	80,42	8,93555556	2,10262778
Columna 6	9	95,34	10,59333333	0,1091
Columna 7	9	67,17	7,46333333	0,342775
Columna 8	9	72,6	8,06666667	1,744525

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	148,758243	7	21,2511776	7,74308837	9,2315E-07	2,15642397
Dentro de los grupos	175,650244	64	2,74453507			
Total	324,408488	71				

Parámetro b* antes del proceso

RESUMEN				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Columna 1	9	77,58	8,62	1,821625
Columna 2	9	82,22	9,13555556	1,54180278
Columna 3	9	125,74	13,97111111	0,54621111
Columna 4	9	92,81	10,31222222	1,18294444
Columna 5	9	88,13	9,79222222	3,06284444
Columna 6	9	89,59	9,95444444	0,40792778
Columna 7	9	119,75	13,30555556	4,94332778
Columna 8	9	133,87	14,87444444	1,96000278



ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	367,532876	7	52,5046966	27,1575676	6,7982E-17	2,15642397
Dentro de los grupos	123,733489	64	1,93333576			
Total	491,266365	71				

Parámetro b* después del proceso

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Columna 1	9	108,29	12,0322222	1,64829444
Columna 2	9	113,06	12,5622222	15,6639194
Columna 3	9	111,8	12,4222222	5,50681944
Columna 4	9	124,8	13,8666667	5,254175
Columna 5	9	110,99	12,3322222	0,86831944
Columna 6	9	125,14	13,9044444	0,68112778
Columna 7	9	113,91	12,6566667	1,3237
Columna 8	9	132,02	14,6688889	5,66941111

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	57,1984319	7	8,17120456	1,78528657	0,10560601	2,15642397
Dentro de los grupos	292,926133	64	4,57697083			
Total	350,124565	71				