



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACÉUTICAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE LOS ALIMENTOS Y TECNOLOGÍA
QUÍMICA

**“EFECTO DEL ESPESOR DE PELÍCULA DE MYLAR® EN LA
CINÉTICA DE SECADO DE PULPA DE *PHYSALIS PERUVIANA* POR
MÉTODO VENTANA DE REFRACTANCIA”**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO EN ALIMENTOS

ANDREAS OLIVER SPOLMANN ORTEGA

LUIS PUENTE DÍAZ

Profesor Datrocinante y Profesor Director

Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química

Ingeniero en Alimentos

Doctor en Tecnología en Alimentos

Santiago – Chile

2019

*No importa cuán estrecho sea el camino,
cuán cargado de castigos el viaje...
(Invictus, 1875)*
Dedicado a Juan, Flavia y a mi sobrino Santiago

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Juan y Ana, por enseñarme acerca del esfuerzo, el trabajo duro, la integridad, la familia. Por darme siempre más de lo necesario, por guiarme en todos mis años de vida. Por estar, a pesar de las diferencias, siempre conmigo.

A mis hermanas , por ser tan únicas, por ser tan especiales, por sus estilos extravagantes, por el amor expresado de maneras tan poco usuales, pero con sello de incondicionales.

A mi compañera de vida y mejor amiga, Flavia, que me ha ayudado a través del amor a pulir mis habilidades, a madurar, apoyándome y luchando por nuestros objetivos codo a codo, por ayudarme a ser un mejor hombre y compañero para la sociedad actual, gracias por tu paciencia, tu alegría y tu empuje.

A mi profesor y amigo Luis Puente, que me dio ánimos a seguir, en momentos oscuros ,y también en los menos esperados, porque se dedicó a conocerme y puso su confianza en mí. Por guiarme con optimismo, con su alegría característica y con un tipo de humanidad que ya no se ve en estos tiempos.

A las hermosas personas que conocí en esta facultad, a los que me enseñaron a vivir, cuando yo debía enseñarles soluciones, a los que me acompañaron en las distintas etapas de mi vida universitaria, a mis amigos de vida, que han agrandado mi concepto de familia, que me han acompañado en los triunfos y derrotas de la vida, que han expandido mi mente y que me han enseñado que el amor no tiene forma

Al proyecto Fondecyt 1171485 por financiar esta investigación

INDICE

AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE	iv
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE GRÁFICAS	x
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xvi
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Generalidades	1
1.1.1. Métodos de secado emergentes	1
1.1.2. Secado por ventana de refractancia.....	2
1.2. Principio de operación del método ventana de refractancia	3
1.3. Rendimiento energético ventana de refractancia.....	5
1.4. Calidad del producto terminado	7
1.5. Physalis peruviana.....	8
2. Hipótesis	10
3. Objetivos.....	11

3.1. General	11
3.2. Específicos	11
4. Materiales y métodos.....	12
4.1. Sistema de secado por ventana de refractancia e IR	12
4.2. Preparación de la muestra.....	13
4.3. Experimentos de secado	14
4.4. Estimación del coeficiente de difusividad efectiva	14
4.5. Cálculo de la energía de activación	15
4.6. Modelamiento matemático de curvas de secado.....	15
4.6.1. Modelo Henderson-Pabis (3):	15
4.6.2. Modelo Henderson-Pabis modificado (4):	16
4.6.3. Modelo de Page (5):.....	16
4.6.4. Modelo dos términos (6):.....	16
4.6.5. Modelo Midili <i>et al.</i> (7):	17
4.7. Microscopía electrónica de barrido	18
4.8. Análisis de color.....	18
4.9. Análisis estadístico	19
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
5.1. Experimentos de secado	20

5.1.1. Curvas de secado por distinto grosor ventana de refractancia	20
5.1.2. Curvas de secado por distinto grosor ventana de refractancia + infrarrojo.....	21
5.1.3. Curvas de secado por distinta temperatura ventana de refractancia	23
5.1.4. Curvas de secado por distinta temperatura ventana de refractancia + infrarrojo	24
5.1.5. Gráficas del coeficiente de difusividad efectiva por distinto grosor ventana de refractancia	27
5.1.6. Gráficas del coeficiente de difusividad efectiva por distinto grosor ventana de refractancia + infrarrojo	28
5.1.7. Gráficas del coeficiente de difusividad efectiva por distinta temperatura ventana de refractancia	30
5.1.8. Gráficas del coeficiente de difusividad efectiva por distinta temperatura ventana de refractancia + infrarrojo.....	31
5.2. Velocidad de secado	34
5.2.1. Gráficas de velocidad de secado por distinto grosor ventana de refractancia.....	34
5.2.2. Gráficas de velocidad de secado por distinto grosor ventana de refractancia + infrarrojo.....	35

5.2.3. Gráficas de velocidad de secado por distinta temperatura ventana de refractancia	37
5.2.4. Gráficas de velocidad de secado por distinta temperatura ventana de refractancia + infrarrojo.....	38
5.3. Estimación del coeficiente de difusividad efectiva	41
5.4. Cálculo de la energía de activación	42
5.5. parámetros cinéticos de los modelos de secado	44
5.6. Ajuste estadístico de los modelos de secado	45
5.7. Microscopia electrónica de barrido	49
5.8. Análisis de color.....	54
6. CONCLUSIONES	56
7. BIBLIOGRAFÍA.....	58
8. ANEXOS.....	63

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de transferencia de calor por el método de ventana refractaria (Fuente: Nindo, 2007).....	4
Figura 2: Esquema que indica la Transmisión de calor sin producto (a) y la transmisión de calor con producto (b) (Fuente: Ortiz-Jerez, 2014).....	6
Figura 3 : Fruto de <i>Physalis</i> peruviana y su cáliz (Fuente: Vegaviva).....	9
Figura 4: Sistema de secado por ventana de refractancia y ventana de refractancia + IR.....	12
Figura 5: Sistema de secado por método de ventana de refractancia e Infrarrojo	13
Figura 6: Microestructura de <i>Physalis</i> peruviana fresco, pertenecientes a la cascara (6-A) y semilla (6-B) respectivamente	49
Figura 7: Microestructura de la cascara de <i>Physalis</i> peruviana secada por método de ventana de refractancia a 60°C (7-A), 75°C(7-B) y 90°C(7-C)	50
Figura 8: Microestructura de la cascara de <i>Physalis</i> peruviana secada por método de ventana de refractancia a y asistencia de infrarrojo 60°C (8-A), 75°C(8-B) y 90°C(8-C)	51
Figura 9: Microestructura de la semilla de <i>Physalis</i> peruviana secada por método de ventana de refractancia a y asistencia de infrarrojo 60°C (9-A), 90°C(9-B), 60°C+IR(9-C) y 90+IR(9-D)	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Comparación de distintos métodos de secado	7
Tabla 2: Experimentos de secado realizados	14
Tabla 3: Coeficientes de difusividad efectiva para el método de ventana de refractancia	41
Tabla 4: Coeficientes de difusividad efectiva para el método de ventana de refractancia + Lámpara infrarrojo	41
Tabla 5: Energías de activación obtenidas para cada grosor y método	42
Tabla 6: Parámetros estadísticos método ventana de refractancia	45
Tabla 7: Parámetros estadísticos método de ventana de refractancia + infrarrojo.....	46
Tabla 8: Diferencias de color (ΔE) por método, grosor y temperatura	54

ÍNDICE GRÁFICAS

Gráfico 1: Curva de secado a 60°C con película de Mylar® 0.19, 0.25 y 0.29 mm	20
Gráfico 2: Curva de secado a 75°C con película de Mylar® 0.19, 0.25 y 0.29mm.....	21
Gráfico 3: Curva de secado a 90°C con película de Mylar® 0.19, 0.25 y 0.29 mm	21
Gráfico 4: Curva de secado a 60°C+IR con película de Mylar® 0.19, 0.25 y 0.29 mm.	21
Gráfico 5: Curva de secado a 75°C+IR con película de Mylar® 0.19, 0.25 y 0.29mm..	22
Gráfico 6: Curva de secado a 90°C+IR con película de Mylar® 0.19, 0.25 y 0.29mm..	22
Gráfico 7: : Curva de secado con película de Mylar® de 0.19mm a tres temperaturas distintas (60, 75 y 90°C).....	23
Gráfico 8: Curva de secado con película de Mylar® de 0.25mm a tres temperaturas distintas (60, 75 y 90°C).....	23
Gráfico 9: : Curva de secado con película de Mylar® de 0.29mm a tres temperaturas distintas (60, 75 y 90°C).....	24
Gráfico 10: Curva de secado con película de Mylar® de 0.19mm a tres temperaturas distintas (60, 75 y 90°C) e IR	24
Gráfico 11: Curva de secado con película de Mylar® de 0.25mm a tres temperaturas distintas (60, 75 y 90°C) e IR	25
Gráfico 12: Curva de secado con película de Mylar® de 0.29mm a tres temperaturas distintas (60, 75 y 90°C) e IR	25
Gráfico 13: Coeficiente de difusividad a 60°C con película de Mylar® 0.19, 0.25 y 0.29mm	27
Gráfico 14: Coeficiente de difusividad a 75°C con película de Mylar® 0.19, 0.25 y 0.29mm	27

Gráfico 15: Coeficiente de difusividad a 90°C con película de Mylar® 0.19, 0.25 y 0.29mm	28
Gráfico 16: Coeficiente de difusividad a 60°C+IR con película de Mylar® 0.19, 0.25 y 0.29mm	28
Gráfico 17: Coeficiente de difusividad a 75°C+IR con película de Mylar® 0.19, 0.25 y 0.29mm	29
Gráfico 18: Coeficiente de difusividad a 90°C+IR con película de Mylar® 0.19, 0.25 y 0.29mm	29
Gráfico 19: coeficiente de difusividad con película de Mylar® de 0.19mm a tres temperaturas distintas (60, 75 y 90°C).....	30
Gráfico 20: coeficiente de difusividad con película de Mylar® de 0.25mm a tres temperaturas distintas (60, 75 y 90°C).....	30
Gráfico 21: coeficiente de difusividad con película de Mylar® de 0.29mm a tres temperaturas distintas (60, 75 y 90°C).....	31
Gráfico 22: Coeficiente de difusividad con película de Mylar® de 0.19mm a tres temperaturas distintas (60, 75 y 90°C) e IR	31
Gráfico 23: Coeficiente de difusividad con película de Mylar® de 0.25m a tres temperaturas distintas (60, 75 y 90°C) e IR	32
Gráfico 24: Coeficiente de difusividad con película de Mylar® de 0.29mm a tres temperaturas distintas (60, 75 y 90°C) e IR	32
Gráfico 25: Velocidad de secado a 60°C con película de Mylar® 0.19, 0.25 y 0.29mm	34
Gráfico 26: Velocidad de secado a 75°C con película de Mylar® 0.19, 0.25 y 0.29mm	34
Gráfico 27: Velocidad de secado a 90°C con película de Mylar® 0.19, 0.25 y 0.29mm	35

Gráfico 28: Velocidad de secado a 60°C+IR con película de Mylar [®] 0.19, 0.25 y 0.29mm	35
Gráfico 29: Velocidad de secado a 75°C+IR con película de Mylar [®] 0.19, 0.25 y 0.29mm	36
Gráfico 30: Velocidad de secado a 90°C+IR con película de Mylar [®] 0.19, 0.25 y 0.29mm	36
Gráfico 31: coeficiente de difusividad con película de Mylar [®] de 0.19mm a tres temperaturas distintas (60, 75 y 90°C).....	37
Gráfico 32: coeficiente de difusividad con película de Mylar [®] de 0.25mm a tres temperaturas distintas (60, 75 y 90°C).....	37
Gráfico 33: coeficiente de difusividad con película de Mylar [®] de 0.29mm a tres temperaturas distintas (60, 75 y 90°C).....	38
Gráfico 34: Velocidad de secado con película de Mylar [®] de 0.19mm a tres temperaturas distintas (60, 75 y 90°C) e IR	38
Gráfico 35: Velocidad de secado con película de Mylar [®] de 0.25mm a tres temperaturas distintas (60, 75 y 90°C) e IR	39
Gráfico 36: Velocidad de secado con película de Mylar [®] de 0.29mm a tres temperaturas distintas (60, 75 y 90°C) e IR	39
Gráfico 37: Variación de la difusividad efectiva según las distintas temperaturas aplicadas.	43
Gráfico 38: Comparación entre valores experimentales y predichos para modelo de Midili et,al. A distintas temperaturas para método de ventana de refractancia	48

Gráfico 39: Comparación entre valores experimentales y predichos para modelo de
Midili et,al. A distintas temperaturas para método de ventana de refractancia + infrarrojo
.....48

**RESUMEN “EFECTO DEL ESPESOR DE PELÍCULA DE MYLAR[®] EN LA
CINÉTICA DE SECADO DE PULPA DE *PHYSALIS PERUVIANA* POR
MÉTODO VENTANA DE REFRACTANCIA”**

La conservación de los alimentos se encuentra constantemente en la búsqueda de nuevos métodos que impliquen menor uso de recursos, alimentos menos procesados o bien ser responsables en el uso de los recursos. Dentro de las tecnologías emergentes en la conservación de alimentos, se encuentra el método de ventana de refractancia, el cual utiliza agua a distintas temperaturas con una película de Mylar[®] para el secado de distintos tipos de alimentos, en hojuelas, capa fina, pulpa etc.

El physalis es un alimento proveniente de la zona tropical sudamericana y posee elementos de interés general para los consumidores actuales, como vitaminas, compuestos carotenoides y minerales, es por esto, que se estudió el secado de este alimento por el método de ventana de refractancia y también con la asistencia de infrarrojo.

La información acerca del secado de physalis por método de ventana de refractancia es escasa, así como también la comparación de espesores disponibles en el mercado del Mylar[®], en función de lo anterior, el objetivo de la investigación fue estudiar la influencia de la temperatura (60°C, 75°C y 90°C) y el espesor (0.19mm, 0.25mm y 0.29mm) el polietileno tereftalato (Mylar[®]) en el secado de physalis a través del método de ventana de refractancia (RW) y ventana de refractancia con luz Infrarroja (IR)

Se encontró dentro de los resultados que a mayor temperatura existe un menor tiempo de secado, una mayor difusividad efectiva, una mayor tasa de secado y una menor energía de activación, todos resultados esperables según los estudios publicados, se determinó que para el método de ventana de reflectancia el modelo que mejor ajusta es el de Midilli *et,al*. Y para el método de ventana de reflectancia más infrarrojo, el modelo con mejor ajuste fue el de Page. Para todos los resultados antes mencionados se encontró que no había diferencias significativas entre los espesores utilizados, pero esta sí existe entre los espesores extremos. El análisis a la microestructura del producto seco realizado por microscopía electrónica de barrido indicó diferencias notorias principalmente en la cascara del fruto y la semilla, observándose claramente como las diferentes temperaturas del proceso afectaron el secado de la pulpa. Por último, el análisis de color efectuado indica una posible pérdida de compuestos carotenoides y diferencias significativas para los métodos, temperaturas y grosores utilizados. El proceso de secado por método de ventana de reflectancia y por ventana de reflectancia con infrarrojo se posiciona como una alternativa real en el secado y conservación de los alimentos

**ABSTRACT “EFFECT OF THE THICKNESS OF THE MYLAR[®] FILM IN
THE DRYING KINETICS OF PHYSALIS PERUVIANA PULP PROCESSED
BY REFRACTANCE WINDOW”**

The food conservation is constantly searching for new methods that involve less use of resources, less interventioned food or being responsible for the use of resources. Among the emerging technologies in food preservation, the refractance window method, which uses water at different temperatures with a Mylar[®] film for drying different types of food, in flakes, thin layer, pulp, etc. .

The physalis is a fruit from the South American tropical zone and has elements of general interest for current consumers, such as vitamins, carotenoids and minerals, for this reason, the drying of this food by the refractive window method was studied. also with the assistance of infrared.

The information about the drying of physalis by refractive window method is scarce, as well as the comparison of thicknesses available in the Mylar[®]'s market, based on the above, the objective of the research was to study the influence of temperature and thickness of the polyethylene terephthalate (Mylar[®]) in the drying of physalis through the refractance window (RW) method and refractance window with Infrared (IR) light

It was found within the results that at a higher temperature there is a shorter drying time, a higher effective diffusivity, a higher drying rate and a lower activation energy, all expected results according to the published studies, it was determined that for the window method of refractance the model that best fits is that of Midili

et al. And for the most infrared refractive window method, the model with the best adjustment was that of Page. For all the aforementioned results it was found that there were no significant differences between the thicknesses used, but this does exist between the extreme thicknesses. The microstructure analysis of the dry product performed by scanning electron microscopy indicated notable differences mainly in the fruit hull and seed , clearly observing how the different temperatures of the process affected the drying of the pulp Finally, the color analysis carried out indicates a possible loss of carotenoid compounds and significant differences for the methods, temperatures and thicknesses used.

The drying process by the refractive window method and the infrared refractive window is positioned as a real alternative in the drying and preservation of food

1. INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

1.1.1. MÉTODOS DE SECADO EMERGENTES

El desarrollo social actual busca dentro de un entorno cada vez más competitivo, la utilización de menos recursos para conseguir resultados similares, o bien, la búsqueda de alimentos cada vez menos intervenidos, convenientes, fáciles de comer, responsables en el uso de los recursos obligan a la industria a mantenerse en constante innovación. Los alimentos en general necesitan distintos tipos de preservación, debido a razones tan variadas como importantes: la defensa contra el ataque de microorganismos, mantención de propiedades nutricionales, obtención de productos de valor agregado, entre otros. (Mujumdar, 2006)

El secado sigue siendo el método más “costo-efectivo” para la preservación de alimentos, debido a la versatilidad que presenta y al valor agregado que confiere al producto.

En la búsqueda de procesos que utilicen menos energía, y mantengan mejor las propiedades de los alimentos, se han desarrollado métodos de secado que han sido catalogados como “emergentes” debido a que no han sido masificados industrialmente. En las últimas décadas, se han utilizado tecnologías como el

calentamiento por infrarrojo (IR), por microondas, solar, por ventana de refractancia o por vapor sobrecalentado, entre otros (Puente, 2017).

1.1.2. SECADO POR VENTANA DE REFRACTANCIA

La deshidratación por el método de ventana de refractancia fue desarrollada y patentada por Richard Magoon a través de MCD technologies (Channe,2018) en Washington USA, es una tecnología emergente de secado de alimentos y tiene una gran variabilidad de productos que se pueden procesar por esta tecnología, se ha estudiado frutas como mango (Caparino et al., 2013), tomates (Abdul et al, 2011) nísperos (Samia et al, 2014), açai (Pavan, 2010) entre otros. También en vegetales como la paprika (Topuz et al., 2009) Espárragos (Nindo et al, 2003) y zanahorias (Abonyi et al, 2001), con el objetivo de convertirlos en productos con valor adicional, presentándose como polvos, concentrados o rodajas. (Bolland, 2005)

Este método es atractivo para la industria debido a la calidad de los productos obtenidos, y que el equipamiento es relativamente barato ($\frac{1}{3}$ en comparación a un liofilizador) (Bolland, 2005). Otra de sus ventajas es el costo energético, debido a que un proceso de secado por el método de ventana de refractancia utiliza aproximadamente un 0.6% de la energía utilizada por un liofilizador (Baeghbali et al. 2010)

La tecnología de secado por ventana de refractancia se utiliza para procesar productos como la mezcla de huevos revueltos; secado de paltas para salsas tipo

dip; algas con alto contenido de carotenoides para tratar la degeneración macular y el cáncer; extractos de hierbas y suplementos nutricionales para uso humano; ingredientes alimenticios como hierbas, especias y vegetales; y suplementos nutricionales para el cultivo de camarón (Bolland, 2005).

1.2. PRINCIPIO DE OPERACIÓN DEL MÉTODO VENTANA DE REFRACTANCIA

El sistema de secado de la ventana de refractancia utiliza agua caliente con temperaturas entre 60-97°C y a presión atmosférica, en el cual se transmite la energía térmica al material que se va a deshidratar. La energía térmica del agua caliente se transfiere al producto húmedo a través de una película de poliéster que es relativamente transparente a la radiación infrarroja. A diferencia de la temperatura del agua, la temperatura del producto generalmente es inferior a los 70°C. (Nindo, 2007).

Los productos que pueden ser secados, y que incluyen jugos, purés y suspensiones, se extienden sobre la película de poliéster transparente (que puede moverse o bien ser estática) mientras que la superficie inferior está en contacto con el agua caliente. El agua calentada es reciclable y reutilizable debido a que no se encuentra en contacto con ninguna otra sustancia, obteniéndose un sistema más eficiente térmicamente. El uso de agua caliente como medio de transferencia de calor y a temperaturas justo por debajo del punto de ebullición es una característica de diseño que es exclusiva de este método de secado.

Durante el secado por el método de ventana de refractancia, los tres modos de transferencia de calor actúan sobre el producto, los cuales son: la conducción (q_{cond}), la convección (q_{conv}) y la radiación (q_{rad}). La Figura 1 muestra el proceso por el cual el calor se transfiere del agua caliente circulante al producto. Debido al poco grosor de la película de poliéster, éste alcanza la temperatura del agua caliente de manera casi inmediata. (Nindo, 2007)

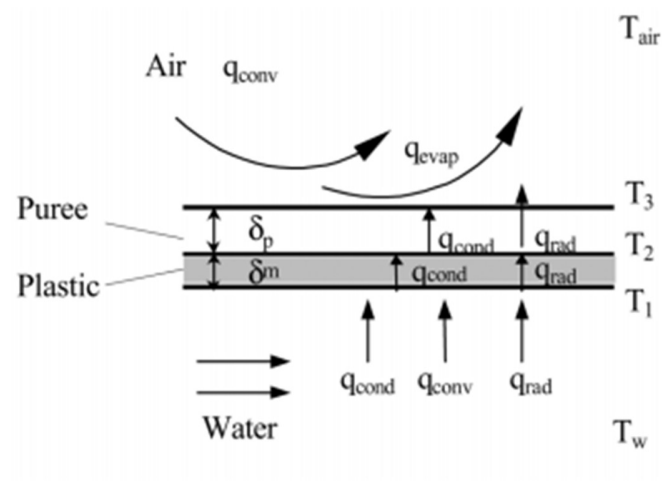


Figura 1: Esquema de transferencia de calor por el método de ventana refractaria (Fuente: Nindo, 2007)

La energía térmica proveniente del agua caliente es transmitida a través de la película de poliéster por las formas de conducción y radiación. Sin embargo, no ha sido investigada la contribución unitaria de cada forma, sino como un conjunto. La película de poliéster es además semitransparente a la radiación del agua debido a que su transmisión infrarroja se encuentra en el rango de longitud de onda de transmisión del agua (Smith, 1994).

1.3. RENDIMIENTO ENERGÉTICO VENTANA DE REFRACTANCIA

Todas las formas de transmisión trabajan juntas para obtener un secado relativamente rápido. Si la película utilizada fuera más gruesa o bien tuviera un material plástico más grueso o con baja conductividad proporciona una mayor resistencia a la transferencia de energía térmica. Sandu (1986) indica que el agua tiene una alta absorción para el infrarrojo con longitudes de onda de 3.0, 4.7, 6.0 y 15.3 mm. De acuerdo con los desarrolladores del método de secado por ventana de refractancia, la radiación es más fuerte cuando la película de poliéster está en contacto directo con el agua por un lado y un material cargado de humedad por el otro lado. Cuando se extiende un producto con alto contenido de humedad sobre la película de poliéster (Figura 2), la refracción en la interfaz de producto-película se minimiza, obteniendo un sistema en el cual la energía térmica radiante pase a través del plástico al producto prácticamente sin pérdida. (Ratti, et al,1995, Nindo y Tang, 2007; Nindo et al., 2003; Kudra y Mujumdar, 2001) La transferencia de energía térmica del producto al aire ambiente es principalmente por convección y por enfriamiento evaporativo del material alimenticio. (Nindo, 2007)

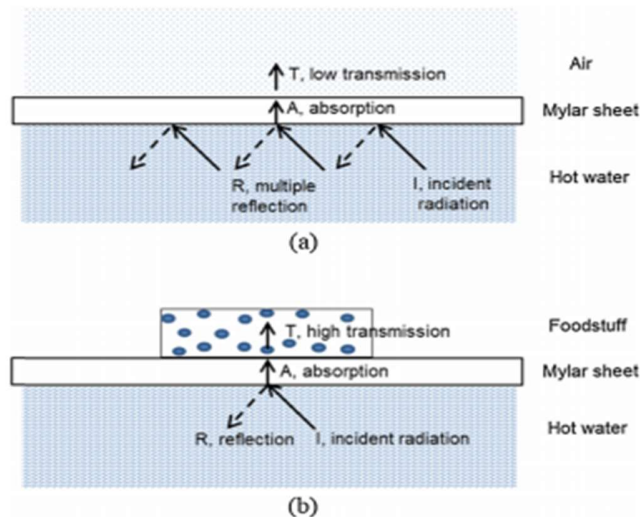


Figura 2: Esquema que indica la Transmisión de calor sin producto (a) y la transmisión de calor con producto (b) (Fuente: Ortiz-Jerez, 2014)

Esta evaporación es muy intensa y constituye una parte importante del consumo de energía en el secado por ventana de refractancia. En la última etapa de secado por ventana de refractancia cuando el producto está casi seco, la transferencia de calor por conducción se vuelve predominante y la velocidad de transferencia de calor al producto se ralentiza a medida que el producto se seca mas (Nindo y Tang, 2007). La capacidad de retención de calidad superior demostrada por el secado por ventana de refractancia se debe mayormente a la combinación favorable de tiempos de secado cortos y temperaturas de producto relativamente suaves (Nindo y Tang, 2007). La capacidad del secador por ventana de refractancia varía según la condición del material de alimentación, pero normalmente está en el mismo rango que los secadores de spray y tambor (Tabla 1). En experimentos de secado realizados con películas en movimiento y

también con película estática se observa en ambos casos que la temperatura del producto no alcanza la temperatura del agua de calentamiento. (Kudra y Mujumdar, 2001)

Tabla 1: Comparación de distintos métodos de secado

TIPO DE SECADOR	CAPACIDAD TÍPICA (kg/ m ³ O m ²)	TEMPERATURA DEL PRODUCTO (°C)	EFICIENCIA TÉRMICA (%)
ROTATORIO	30-80 m ³	Cercano a 175	25-50
SPRAY	1-30 m ³	80-120	20-51
TAMBOR	6-20 m ²	120-130	35-78
VENTANA DE REFRACTANCIA	1-10 m ²	60-70	52-77

(Fuente: Mujumdar, 1995)

1.4. CALIDAD DEL PRODUCTO TERMINADO

La retención de propiedades que aumentan la calidad de los productos en un proceso de secado en lugar de la mera extensión de la vida útil cobra importancia en el mercado actual debido a la demanda de consumidores en busca de más alimentos que promuevan la salud. La importancia de la retención de estas propiedades de los alimentos en las operaciones de secado es evidente a partir del aumento de la investigación en esta área. (Nijhuis et al, 1998)

Estudios bibliográficos indican que el secado por ventanas de refractancia mantiene propiedades de los alimentos como el color (Caparino et al. 2012), sabor y aromas, además de evitar pérdidas de carotenos (Abonyi, 1999), antioxidantes como la vitamina C (Clarke, 2004), siendo comparables solo con la liofilización (sólo un 5% menos que la liofilización) (Abonyi, 2001). Otros estudios también indican la obtención de Aloe Vera de alta calidad obtenido por este método, obteniendo una calidad similar solo por liofilización, la calidad del polvo de aloe vera se cuantifica en la estabilidad en el peso de los polisacáridos presentes en la planta, estos métodos de secado proveen un material estable a diferencia de otros métodos de secado, que al aplicar calor de manera más agresiva desnaturalizan los polisacáridos de la planta, obteniendo un producto inestable y de mala calidad (Fermenta et al, 2005)

1.5. PHYSALIS PERUVIANA

El fruto *Physalis peruviana* (también conocido como Uchuva, Golden Berry o aguaymanto) es una planta solanácea y herbácea semiarbustiva que tiene raíces fibrosas., nativa de la zona tropical de Sudamérica, es una baya que está cubierta por un cáliz y sus flores poseen 5 pétalos amarillos, su cáliz tiene vellosidades, es ligeramente redondeado y perdura durante todo el periodo de madurez del fruto cubriéndolo completamente y sus flores son acorazonadas(Valencia, 1985). Es una esfera que mide aproximadamente 2 cm y pesa entre 4-5 gramos (Valdenegro et al, 2012). El fruto contiene compuestos de interés, de tipo

nutricional y antioxidante, entre los cuales se observan vitaminas A, B y C, con *B*-carotenos, fósforo y hierro (Hewett, 1993) También se ha estudiado que los extractos de esta fruta presentan actividad antioxidante (Chang et al, 2008) y anti hepatotóxica (Arun et al., 2007). El fruto tiene una composición proximal que se observa en el Anexo 1, donde destaca su buen aporte de vitaminas y de minerales.



Figura 3 : fruto de *Physalis peruviana* y su cáliz (Fuente: Vegaviva)

2. HIPÓTESIS

La diferencia de temperatura en el secado de Physalis por método de ventana de refractancia y ventana de refractancia + infrarrojo modifica significativamente la cinética de secado y la calidad final del producto obtenido, por otra parte, la diferencia de espesor de Mylar[®] utilizado no modifica significativamente estos parámetros

3. OBJETIVOS

3.1. GENERAL

- Estudiar la influencia de la temperatura y el espesor del polietileno tereftalato (Mylar[®]) en el secado de physalis a través del método de ventana de refractancia (RW) y ventana de refractancia con luz Infrarroja

3.2. ESPECÍFICOS

- Estudiar la cinética de secado de Physalis en pulpa de grosor 3 ± 0.1 mm (Espesores 0.19, 0.25 y 0.30 mm, tres temperaturas 60,75 y 90°C) a través de curvas de secado, difusividad y velocidad de secado
- Obtener coeficiente de difusividad efectiva para las distintas condiciones del experimento
- Calcular energía de activación para el experimento, mediante la difusividad y la temperatura de los experimentos.
- Modelar la cinética de secado de la pulpa de physalis peruviana a través del ajuste de cinco modelos matemáticos de secado
- Comparar la microestructura de Physalis para distintos experimentos de secado a través de microscopia electrónica de barrido observando cambios en la cascara y semillas del fruto
- Comparar los cambios de color asociados a los distintos experimentos de secado.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. SISTEMA DE SECADO POR VENTANA DE REFRACTANCIA E IR

El sistema de secado fue construido a partir de un baño termostático LabTech Modelo LWB-122D capaz de llegar a los 90°C con películas Mylar[®] desmontables, de diferentes grosores (0.19, 0.25 y 0.30 mm) incluyendo un termómetro de mercurio como testigo. Para el sistema con IR, se agrega al secador descrito una lámpara Infrarrojo de 250W marca General Electric, ubicada de forma perpendicular a la superficie de la película de Mylar[®], ambos sistemas se muestran en la figura N°3

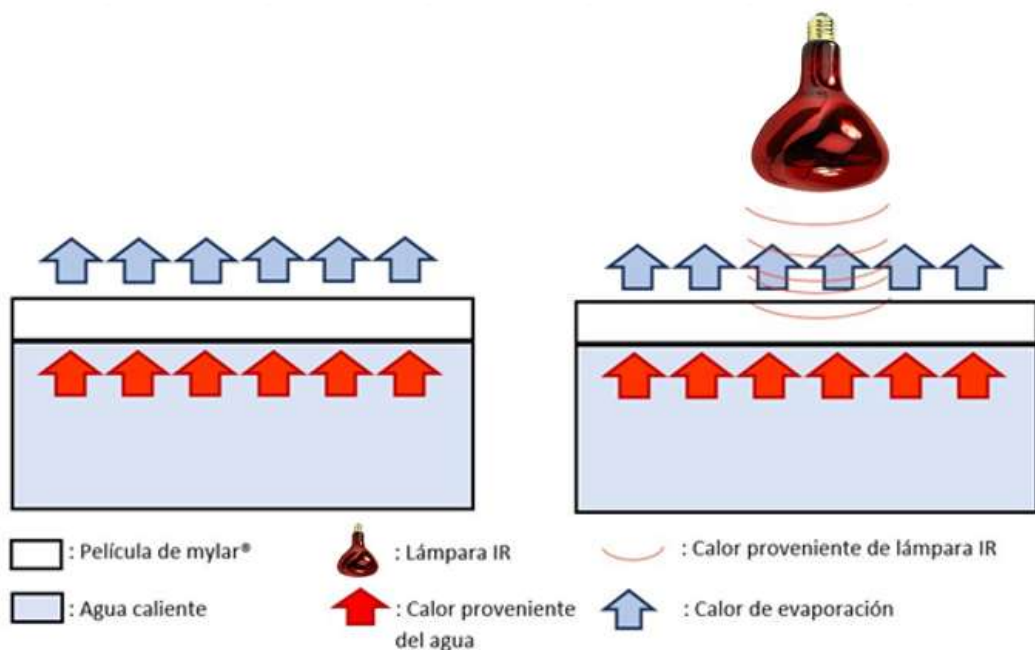


Figura 4: Sistema de secado por ventana de refractancia y ventana de refractancia + IR



Figura 5: Sistema de secado por método de ventana de refractancia e Infrarrojo

4.2. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Las muestras corresponden a *physalis peruviana*, con grado de madurez 3 el cual implica un fruto de color anaranjado con visos verdes hacia la zona del cáliz (ICONTEC, 1999), son despojadas de su cáliz, lavadas y secadas, y luego son licuadas para la obtención de una pulpa homogénea. (Etzbach et, al. 2019)

Luego son congeladas hasta -20°C en empaques plásticos herméticos de hasta 250grs.

4.3. EXPERIMENTOS DE SECADO

La pulpa de *physalis peruviana* fue sometida a secado por el método de RW y RW+IR en tres temperaturas distintas (60, 75 y 90°C) y también en tres espesores de Mylar® diferentes (0.19, 0.25 y 0.29 mm) para todos los experimentos realizados el espesor de la pulpa de Physalis fue de 3±0.1mm.

Tabla 2: Experimentos de secado realizados

GROSOR (mm)						
T°	VENTANA DE REFRACTANCIA			VENTANA DE REFRACTANCIA + INFRARROJO		
60°C	0,19	0,25	0,29	0,19	0,25	0,29
75°C	0,19	0,25	0,29	0,19	0,25	0,29
90°C	0,19	0,25	0,29	0,19	0,25	0,29

4.4. ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE DIFUSIVIDAD EFECTIVA

El coeficiente de difusividad efectiva fue obtenido utilizando la solución de segunda ley de Fick para película infinita, mediante el método de las pendientes, utilizando una regresión lineal de la función linealizada de la razón de humedad (MR), éste método fue descrito por Qin-An (2016), utilizando la ecuación (1) Donde MR es la razón de humedad D_{eff} es el coeficiente de difusividad efectiva (m^2/s) L es la mitad del grosor de la muestra (m) t es el tiempo de secado (s)

$$\ln MR = \ln \frac{8}{\pi^2} - \frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2} \quad (1)$$

4.5. CÁLCULO DE LA ENERGÍA DE ACTIVACIÓN

La energía de activación fue obtenida a partir de la ecuación de Arrhenius, utilizando el D_{eff} obtenido y relacionándolo con la temperatura $T(^{\circ}C)$ y la constante universal de los gases $R(J/Mol^{\circ}K)$ utilizando la ecuación (2) y utilizando el método de las pendientes descrito por Kashaninejad et al., (2007), el resultado se presenta en Joules.

$$D_{eff} = D_0 e^{-\frac{E_a}{R(T+273.15)}} \quad (2)$$

4.6. MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE CURVAS DE SECADO

Se ajustará la cinética de secado en cinco modelos matemáticos, los cuales son los más comunes para materia primas orgánicas y biológicas (Kashaninejad et al., 2007), a continuación, se describen los aspectos más importantes de los modelos empleados, que fue realizada por Qin-An (2016).

4.6.1. MODELO HENDERSON-PABIS (3):

Modelo que utiliza el primer término de una solución general de la segunda ley de Fick, ha producido buenas correlaciones prediciendo el secado de maíz (Henderson y Pabis, 1961)

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = a e^{-kt} \quad (3)$$

Donde k y a son constantes y t es el tiempo

4.6.2. MODELO HENDERSON-PABIS MODIFICADO (4):

Este modelo ha demostrado ser un modelo de secado común, que ha sido utilizado con éxito en el secado de distintos productos, como damascos (Toğrul & Pehlivan, 2004), y planchas de corcho (Costaa & Pereirab, 2013).

$$MR = \frac{M-M_e}{M_0-M_e} = ae^{(-kt)} + be^{-k_0t} + ce^{-k_1t} \quad (4)$$

Donde k, k_0, k_1 y a, b, c son constantes y t es el tiempo

4.6.3. MODELO DE PAGE (5):

Es una modificación empírica de un modelo llamado Lewis, corrigiendo ciertas deficiencias captadas por Page, se ha utilizado para describir secado de productos agrícolas como maíz (Page, 1949), pistachos (Kashaninejad et al., 2007) y soja verde (Yang & Zhu, 2015)

$$MR = \frac{M-M_e}{M_0-M_e} = e^{-kt^y} \quad (5)$$

Donde k e y son constantes y t es el tiempo

4.6.4. MODELO DOS TÉRMINOS (6):

Modelo que nace derivado de la solución general de la ecuación de difusión, siendo utilizado independientemente de la geometría de las partículas a secar y las condiciones del entorno que se realiza el proceso,

aunque asumiendo que la difusividad es constante, se ha utilizado en el secado de uvas sultaninas (Yaldiz, Ertekin, & Uzun, 2001) y algas rojas del atlántico (Mohamed et al. 2008)

$$MR = \frac{M-M_e}{M_0-M_e} = ae^{-k_0t} + be^{-k_1t} \quad (6)$$

4.6.5. MODELO MIDILI *ET AL.* (7):

Modelo desarrollado a través de datos empíricos para los procesos de secado de “una capa” (Midilli, Kucuk, & Yapar, 2002), ha sido utilizado recientemente para describir los procesos de secados de variados productos, como yogur colado (Hayaloglu et al., 2007), yacón (Shi et al., 2013), hongos (Dinani et al., 2014) y Orujo de oliva crudo (Koukouch et al., 2015).

$$MR = \frac{M-M_e}{M_0-M_e} = ae^{-(kt^y)} + bt \quad (7)$$

Donde k , y y a, b son constantes y t es el tiempo

4.7. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

Para realizar la microscopia electrónica de barrido se fijó la muestra proveniente del secado por ventana de refractancia con Glutaraldehído al 2,5% en Búffer Cacodilato de sodio 0.1 M por 2 horas y luego se lavó la muestra 3 veces x 5 min en agua bidestilada, posteriormente se lavó con Búffer cacodilato de sodio 0.1 M x 5 min, luego la muestra se deshidrató en alcoholes ascendentes 50°,70°,95°,100°I y 100° II por 5 minutos cada uno y se realizó un nuevo secado hasta el punto crítico colocando las muestras en el Secador de punto crítico autosamdri-815, series a overview por 30 minutos , donde la muestra es secada para remover todas las moléculas de agua a través de CO₂ por último, la muestra es montadas en porta muestras de aluminio y se metalizada con oro en metalizador denton vacumm desk, luego se visualiza en el microscopio electrónico de barrido marca Jeol modelo JSM IT300LV.

4.8. ANÁLISIS DE COLOR

Para el análisis de color se utilizó un colorímetro marca 3nh modelo NR110 y se midieron los parámetros L*(Blanco a Negro), a*(Rojo a Verde) y b*(Amarillo a Azul), se midieron los parámetros antes mencionados para muestras frescas y secas. (Castaldo, 2015)

Se midieron las diferencias de color según la ecuación (8)

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(L^*_2 - L^*_1)^2 + (a^*_2 - a^*_1)^2 + (b^*_2 - b^*_1)^2} \quad (8)$$

4.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó un análisis ANOVA para las difusividades, y las pruebas de color, obtenido a través del software Statgraphics centurión, incluyendo una prueba de múltiples rangos para reconocer diferencias significativas entre espesores de película, temperaturas aplicadas y diferencia de métodos (presencia o ausencia de IR)

Para los modelos matemáticos de secado a evaluar, se realizará un análisis de regresión. Se obtendrá el coeficiente de determinación (R^2) (9), factor principal al momento de evaluar el ajuste de ecuaciones de simulación, los otros factores a evaluar son el valor chi-cuadrado (χ^2) (10) y el valor de la raíz cuadrada media (RMSE) (11).

Para escoger al modelo que mejor ajusta al proceso de secado, se debe escoger el que tenga mejor coeficiente de determinación y menores Chi-cuadrado y menor valor de la raíz cuadrada media (Qin-An, 2016)

Para el cálculo de estos tres parámetros estadísticos se utilizarán las siguientes ecuaciones:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - M_{pre,i})^2} \quad (9)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - z} \quad (10)$$

$$RSME = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{N}} \quad (11)$$

Para todas las pruebas realizadas se utilizó un 95% de confianza

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. EXPERIMENTOS DE SECADO

5.1.1. CURVAS DE SECADO POR DISTINTO GROSOR VENTANA DE REFRACTANCIA

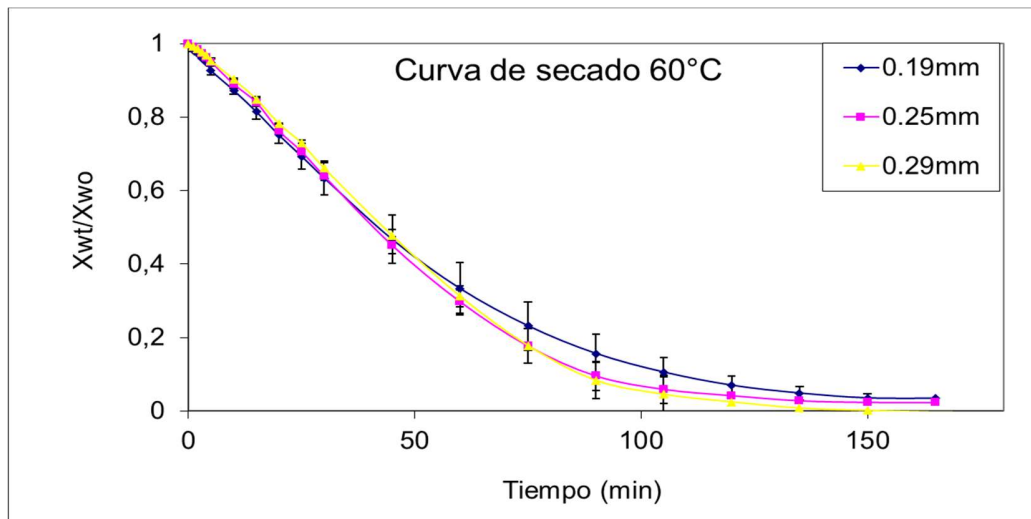


Gráfico 1: Curva de secado a 60°C con película de Mylar® 0.19, 0.25 y 0.29 mm

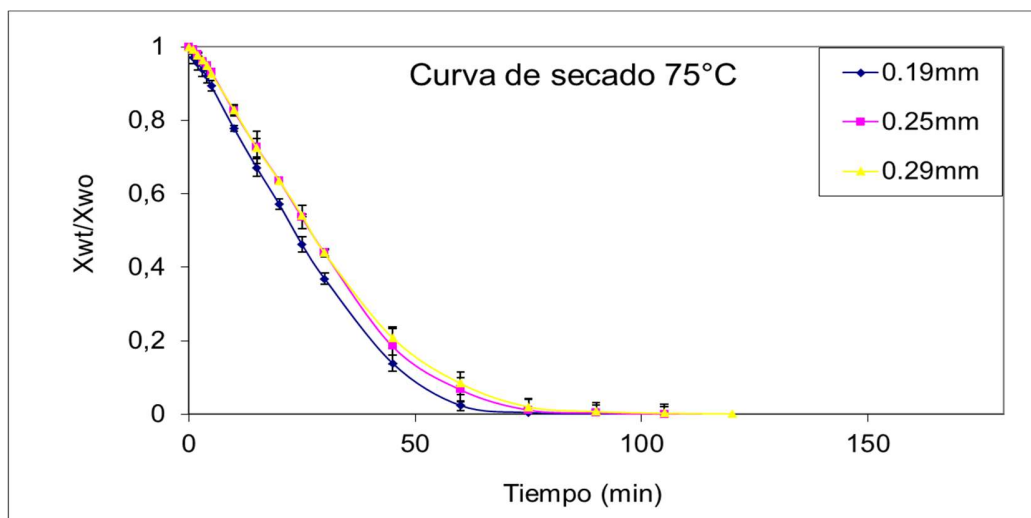


Gráfico 2: Curva de secado a 75°C con película de Mylar® 0.19, 0.25 y 0.29mm

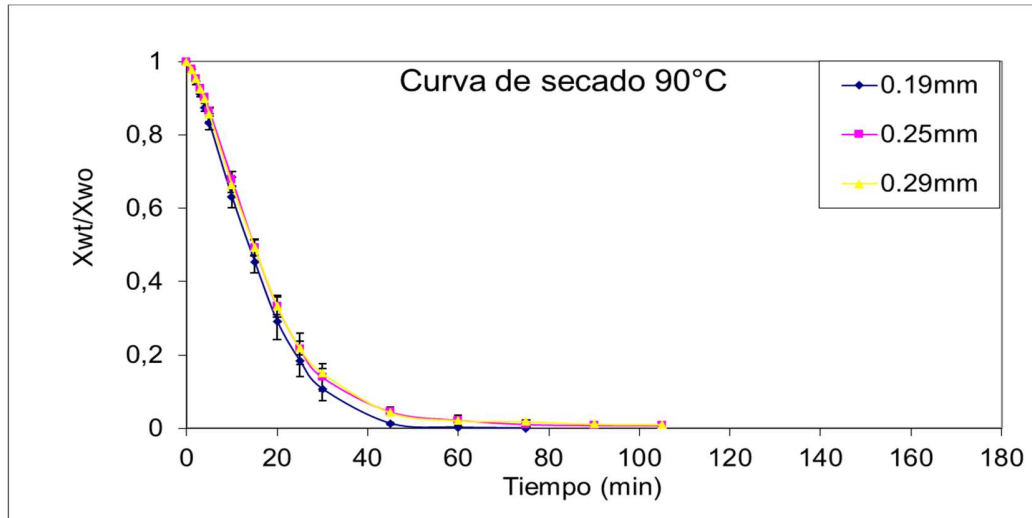


Gráfico 3: Curva de secado a 90°C con película de Mylar® 0.19, 0.25 y 0.29 mm

5.1.2. CURVAS DE SECADO POR DISTINTO GROSOR VENTANA DE REFRACTANCIA + INFRARROJO

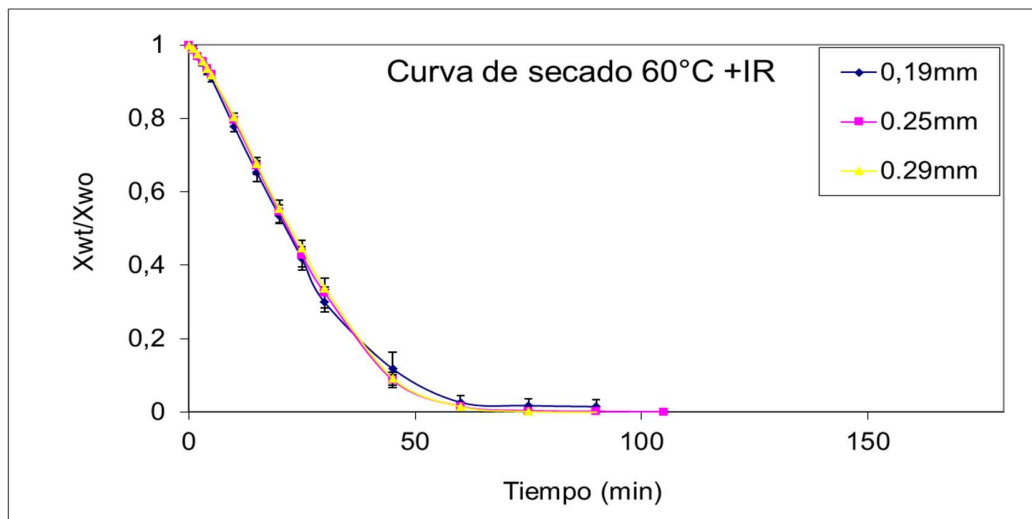


Gráfico 4: Curva de secado a 60°C+IR con película de Mylar® 0.19, 0.25 y 0.29 mm

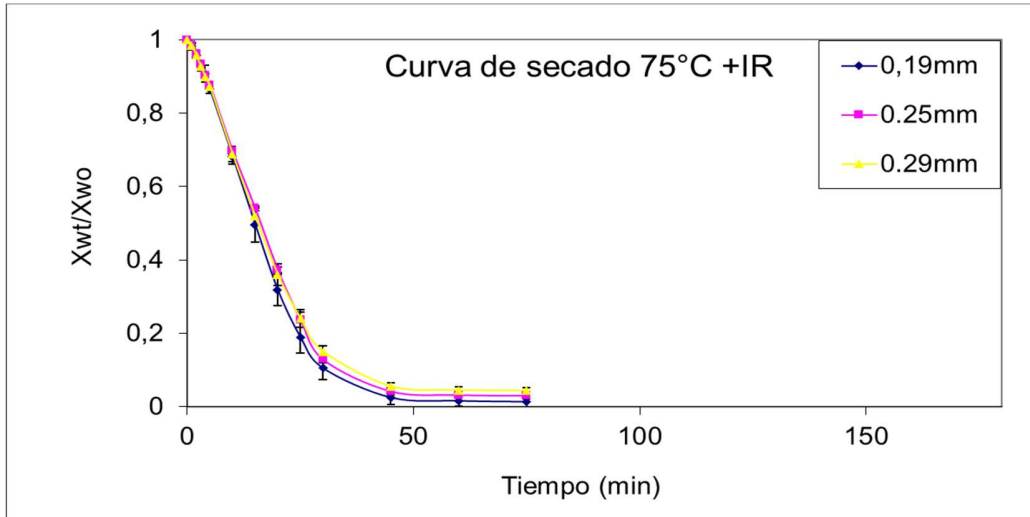


Gráfico 5: Curva de secado a 75°C+IR con película de Mylar® 0.19, 0.25 y 0.29mm

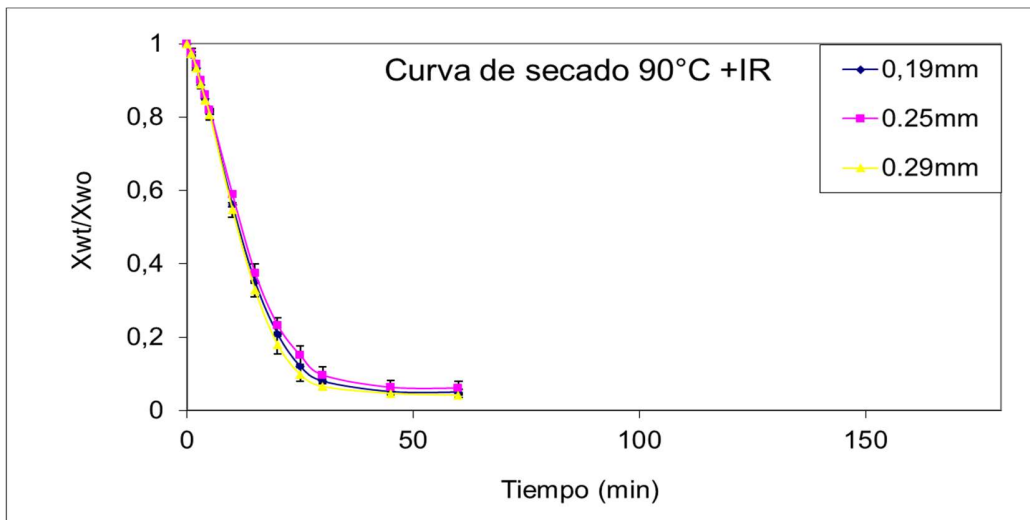


Gráfico 6: Curva de secado a 90°C+IR con película de Mylar® 0.19, 0.25 y 0.29mm

5.1.3. CURVAS DE SECADO POR DISTINTA TEMPERATURA
VENTANA DE REFRACTANCIA

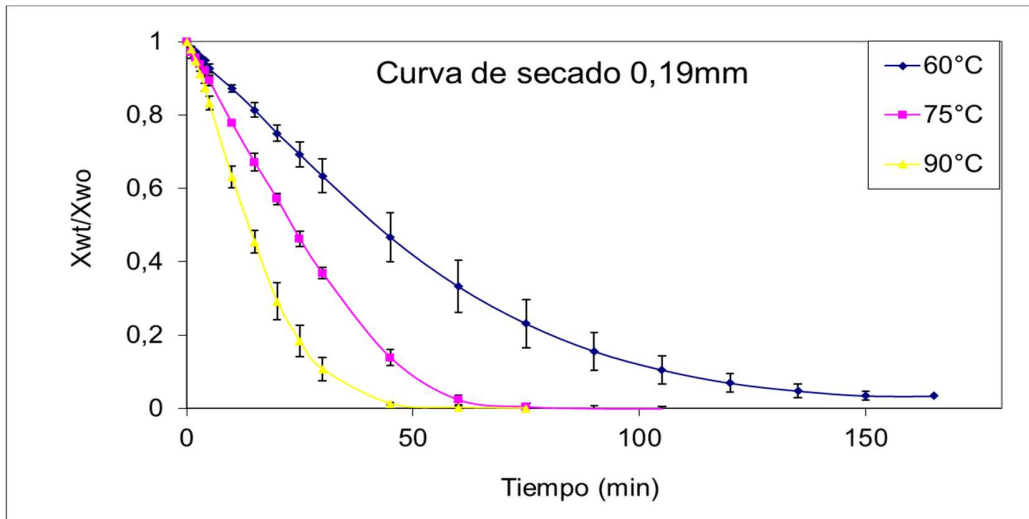


Gráfico 7: Curva de secado con película de Mylar® de 0.19mm a tres temperaturas distintas (60, 75 y 90°C)

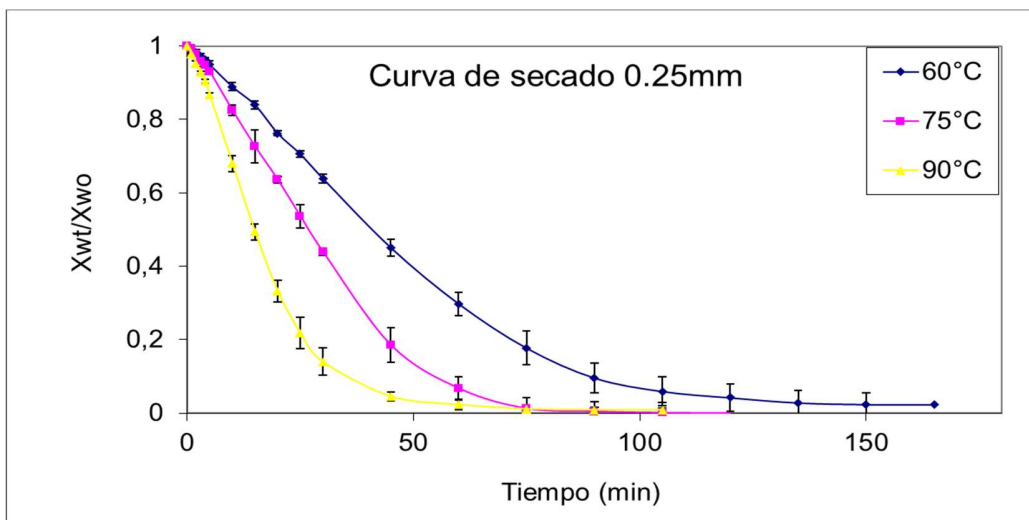


Gráfico 8: Curva de secado con película de Mylar® de 0.25mm a tres temperaturas distintas (60, 75 y 90°C)

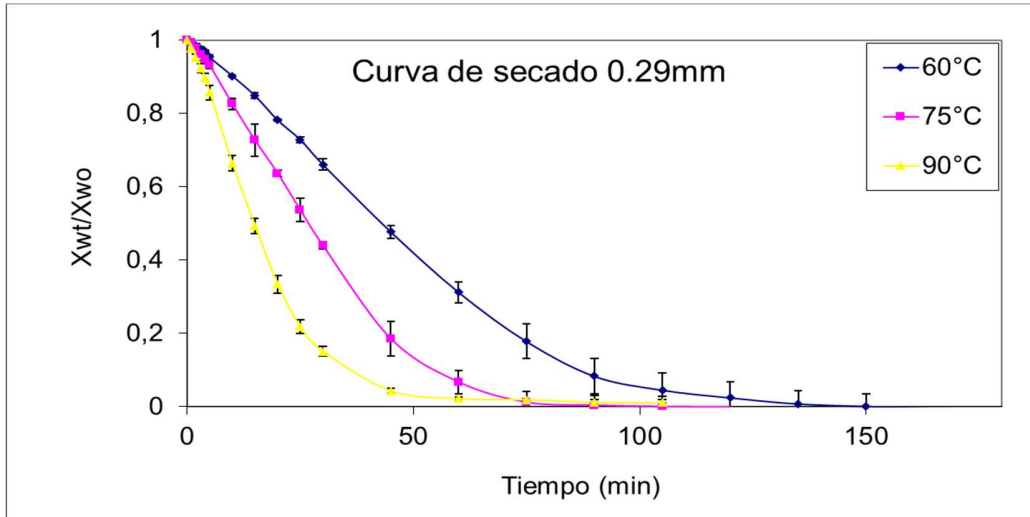


Gráfico 9: : Curva de secado con película de Mylar[®] de 0.29mm a tres temperaturas distintas (60, 75 y 90°C)

5.1.4. CURVAS DE SECADO POR DISTINTA TEMPERATURA
VENTANA DE REFRACTANCIA + INFRARROJO

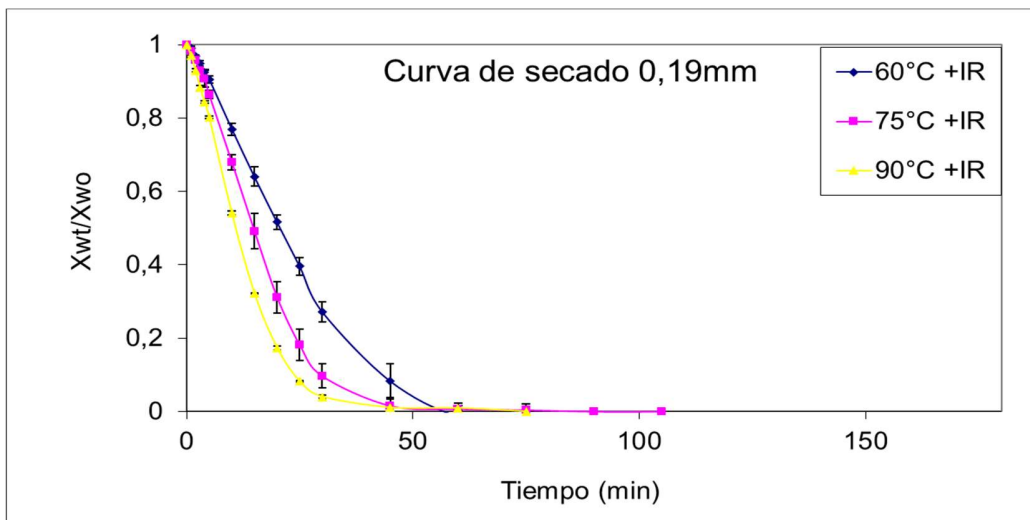


Gráfico 10: Curva de secado con película de Mylar[®] de 0.19mm a tres temperaturas distintas (60, 75 y 90°C) e IR

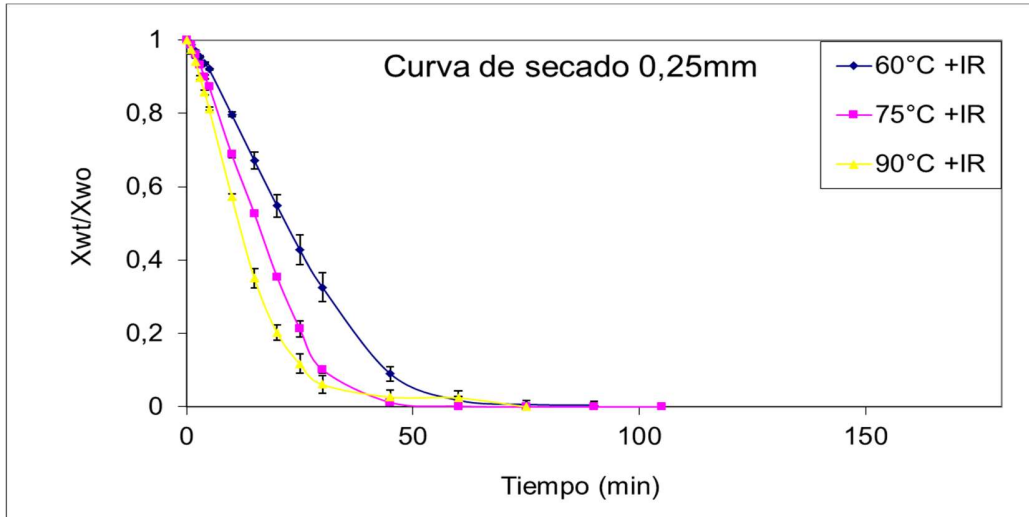


Gráfico 11: Curva de secado con película de Mylar[®] de 0.25mm a tres temperaturas distintas (60, 75 y 90°C) e IR

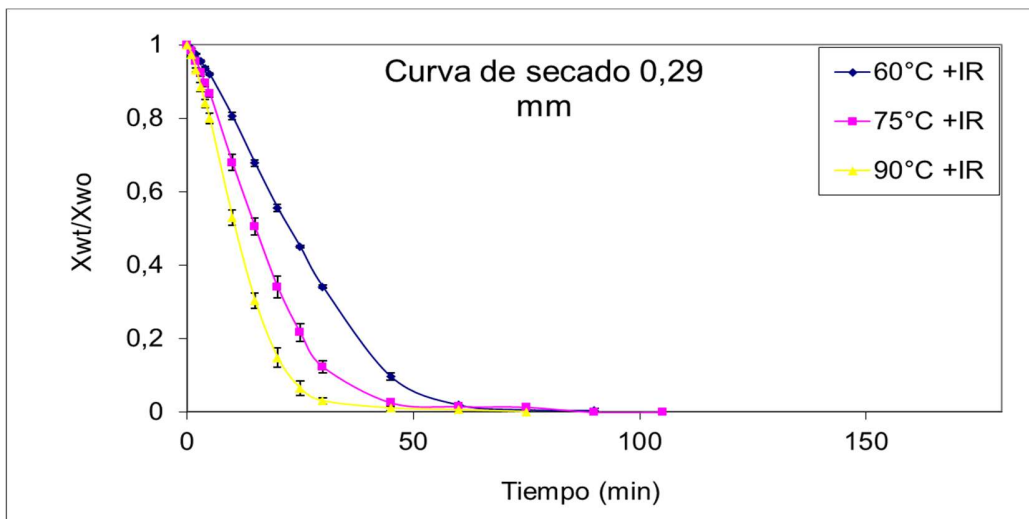


Gráfico 12: Curva de secado con película de Mylar[®] de 0.29mm a tres temperaturas distintas (60, 75 y 90°C) e IR

Según las curvas obtenidas las diferencias de grosor de la película de Mylar[®] no contribuyen significativamente en el proceso de secado, ocurriendo de manera similar en el secado con lampara IR, esto se puede observar con los gráficos

desde el N°1 al N°6 donde no es posible diferenciar las curvas por sí mismas, por otra parte, la diferencia entre las temperaturas utilizadas en los experimentos de secado si contribuye significativamente en éste, como se puede observar en los gráficos del N°7 al N°12. El análisis grafico realizado indica que no hay diferencias significativas entre los espesores de película de Mylar[®] pero si existe entre las temperaturas y los métodos empleados, adicionalmente, estos resultados se pueden observar en los estudios de Vega *et,al.* (2012) en Physalis. El comportamiento de las curvas en todos los experimentos muestran una tendencia exponencialmente decreciente a medida que la temperatura de secado aumenta, si bien éste comportamiento se mantiene, es notoria la diferencia en la aplicación del infrarrojo, obteniendo curvas de secado más pronunciadas que solo por ventana de refractancia, este efecto es un indicativo del comportamiento invasivo que presenta la adición de infrarrojo en el proceso de secado, siendo este efecto documentado por Espinoza (2011) en el secado de murtila asistido por infrarrojo. La diferencia entre temperaturas y métodos aplicados evidencia una disminución significativa de los tiempos de secado, observándose una diferencia de hasta 100 minutos (160 minutos de secado a 60°C y 60 minutos de secado a 90°C+IR). La diferencia de temperatura disminuye en un 20% y un 30% para la ventana de refractancia y la adición de la lampara infrarrojo disminuye hasta un 62% los tiempos de secado.

5.1.5. GRÁFICAS DEL COEFICIENTE DE DIFUSIVIDAD EFECTIVA
 POR DISTINTO GROSOR VENTANA DE REFRACTANCIA

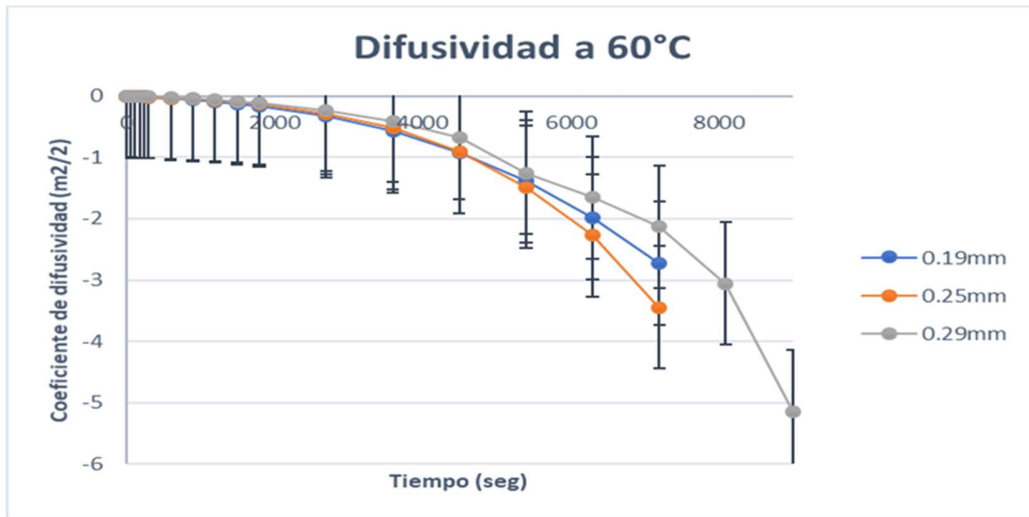


Gráfico 13: Coeficiente de difusividad a 60°C con película de Mylar® 0.19, 0.25 y 0.29mm

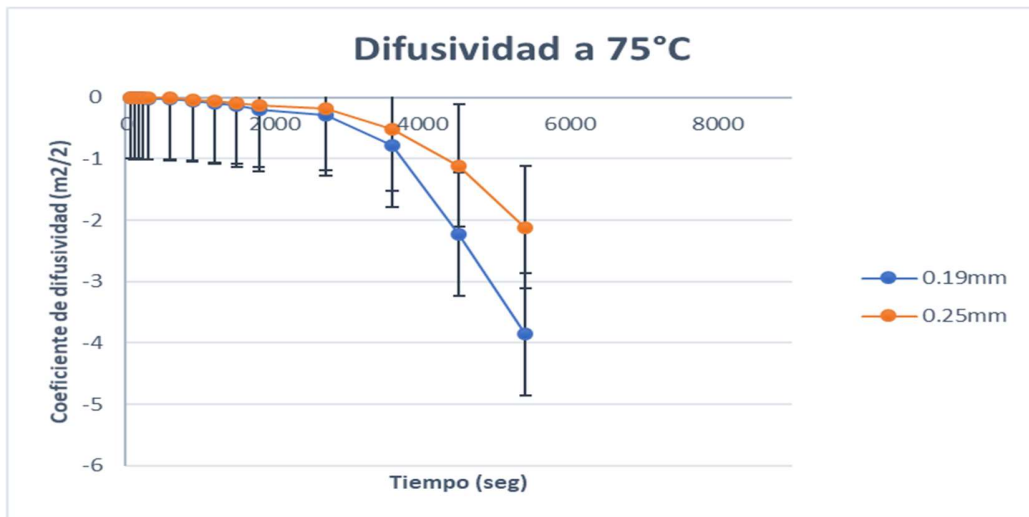


Gráfico 14: Coeficiente de difusividad a 75°C con película de Mylar® 0.19, 0.25 y 0.29mm

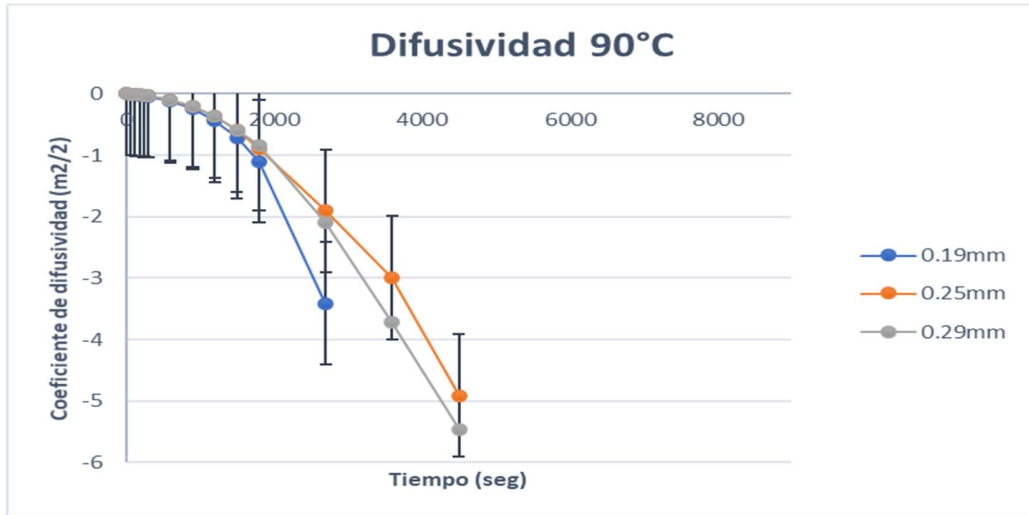


Gráfico 15: Coeficiente de difusividad a 90°C con película de Mylar® 0.19, 0.25 y 0.29mm

5.1.6. GRÁFICAS DEL COEFICIENTE DE DIFUSIVIDAD EFECTIVA POR DISTINTO GROSOR VENTANA DE REFRACTANCIA + INFRARROJO

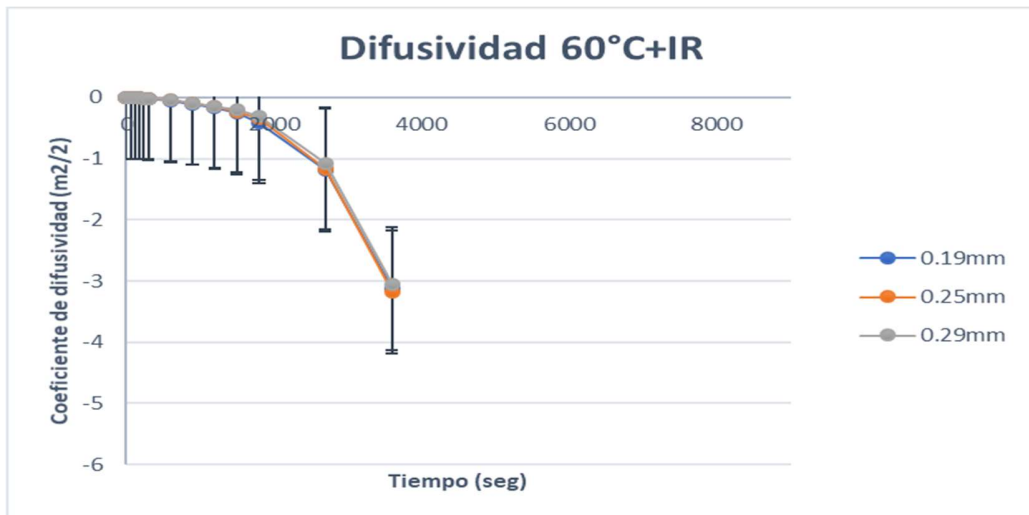


Gráfico 16: Coeficiente de difusividad a 60°C+IR con película de Mylar® 0.19, 0.25 y 0.29mm

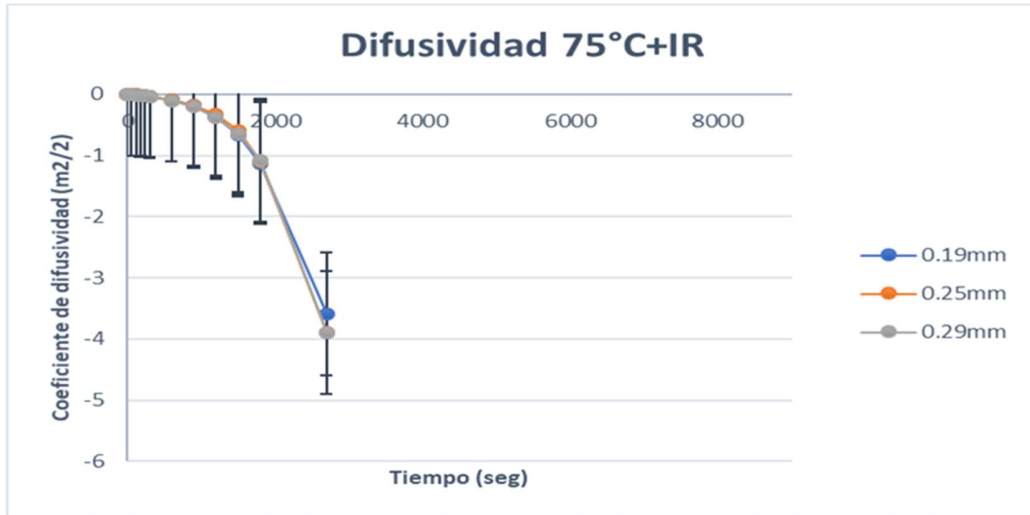


Gráfico 17: Coeficiente de difusividad a 75°C+IR con película de Mylar[®] 0.19, 0.25 y 0.29mm



Gráfico 18: Coeficiente de difusividad a 90°C+IR con película de Mylar[®] 0.19, 0.25 y 0.29mm

5.1.7. GRÁFICAS DEL COEFICIENTE DE DIFUSIVIDAD EFECTIVA
 POR DISTINTA TEMPERATURA VENTANA DE REFRACTANCIA

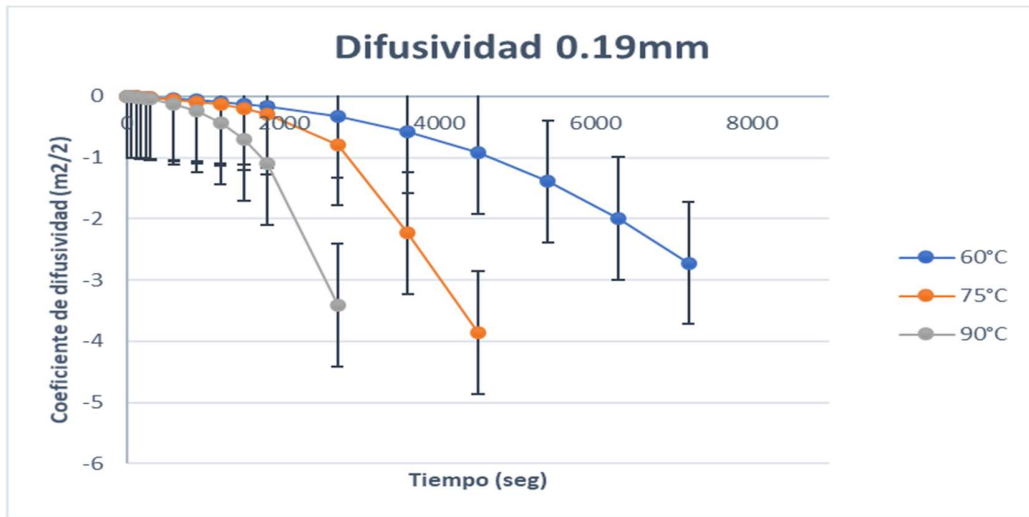


Gráfico 19: coeficiente de difusividad con película de Mylar[®] de 0.19mm a tres temperaturas distintas (60, 75 y 90°C)

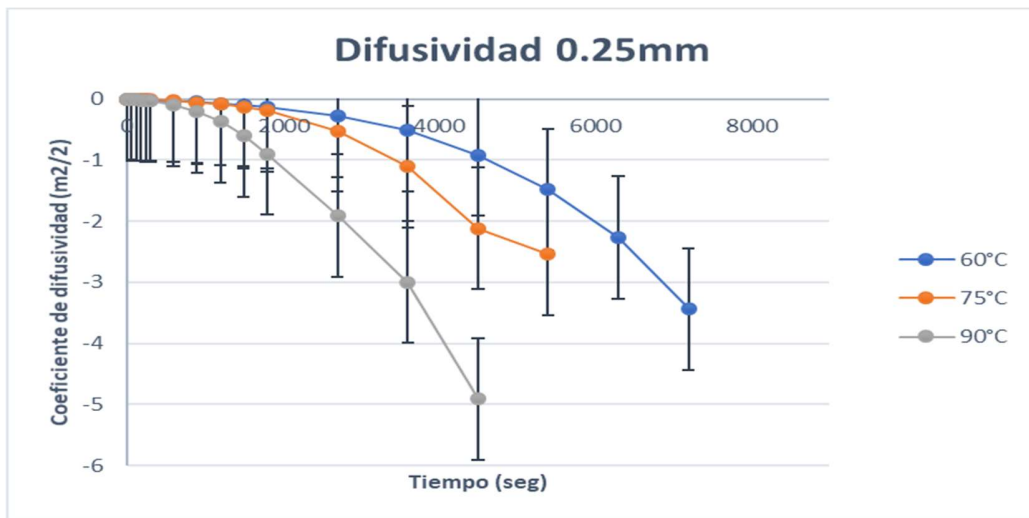


Gráfico 20: coeficiente de difusividad con película de Mylar[®] de 0.25mm a tres temperaturas distintas (60, 75 y 90°C)

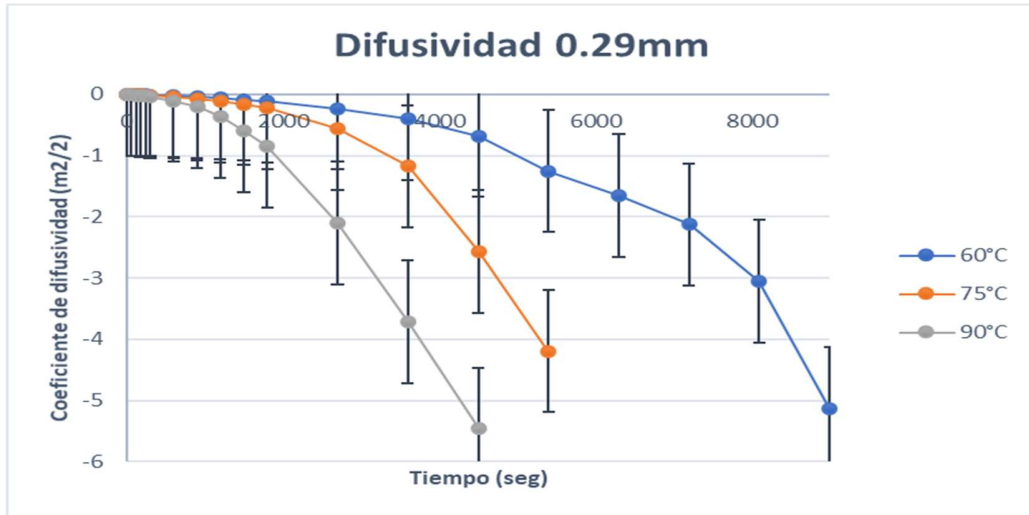


Gráfico 21: coeficiente de difusividad con película de Mylar[®] de 0.29mm a tres temperaturas distintas (60, 75 y 90°C)

5.1.8. GRÁFICAS DEL COEFICIENTE DE DIFUSIVIDAD EFECTIVA POR DISTINTA TEMPERATURA VENTANA DE REFRACTANCIA + INFRARROJO



Gráfico 22: Coeficiente de difusividad con película de Mylar[®] de 0.19mm a tres temperaturas distintas (60, 75 y 90°C) e IR

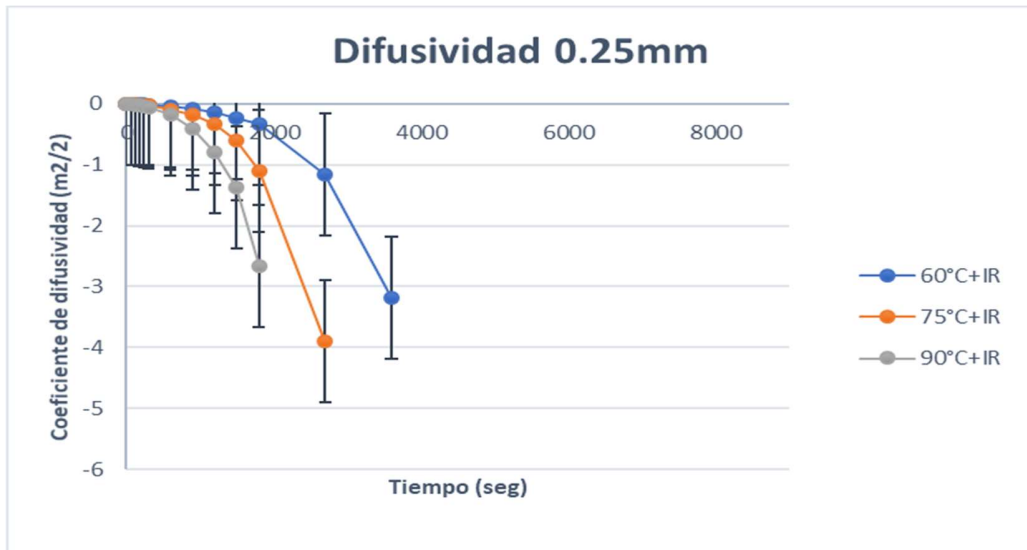


Gráfico 23: Coeficiente de difusividad con película de Mylar[®] de 0.25m a tres temperaturas distintas (60, 75 y 90°C) e IR

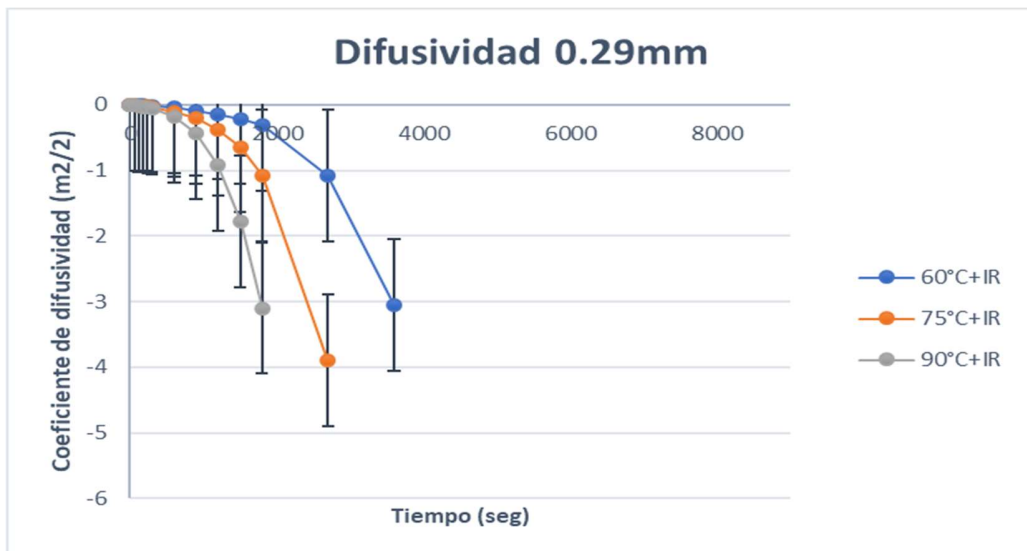


Gráfico 24: Coeficiente de difusividad con película de Mylar[®] de 0.29mm a tres temperaturas distintas (60, 75 y 90°C) e IR

Al igual que la para las curvas de secado, las diferencias no fueron significativas en cuanto al grosor de las películas utilizadas lo cual es visible en los gráficos

N°13 al N°18, observando las curvas N°19 al N°24 (difusividad con diferentes temperaturas), no es posible obtener información clara y determinante en cuanto a si los resultados tienen diferencias significativas, por lo cual, la búsqueda se realizó estadísticamente. Al realizar el test ANOVA (Anexo 6), se incluyeron factores como el grosor utilizado, las temperaturas utilizadas y el método, en cuanto a las temperaturas y el método existieron diferencias significativas con los p-value menor a 0.05.

Para los grosores utilizados, se realizó una prueba de múltiples rangos (Anexo 7) obteniéndose diferencias significativas solo entre los grosores más distanciados (0.15 mm y 0.29mm) mientras que para las otras diferencias (0.15 mm con 0.25mm y 0.25mm con 0.29mm) no se encontraron diferencias significativas.

Al igual que en las gráficas de curvas de secado, las gráficas curvas de difusividad obtenidas indican el comportamiento invasivo del infrarrojo durante el proceso de secado, observándose esto en las gráficas N°21 y N°24 con mayor claridad.

5.2. VELOCIDAD DE SECADO

5.2.1. GRÁFICAS DE VELOCIDAD DE SECADO POR DISTINTO GROSOR VENTANA DE REFRACTANCIA

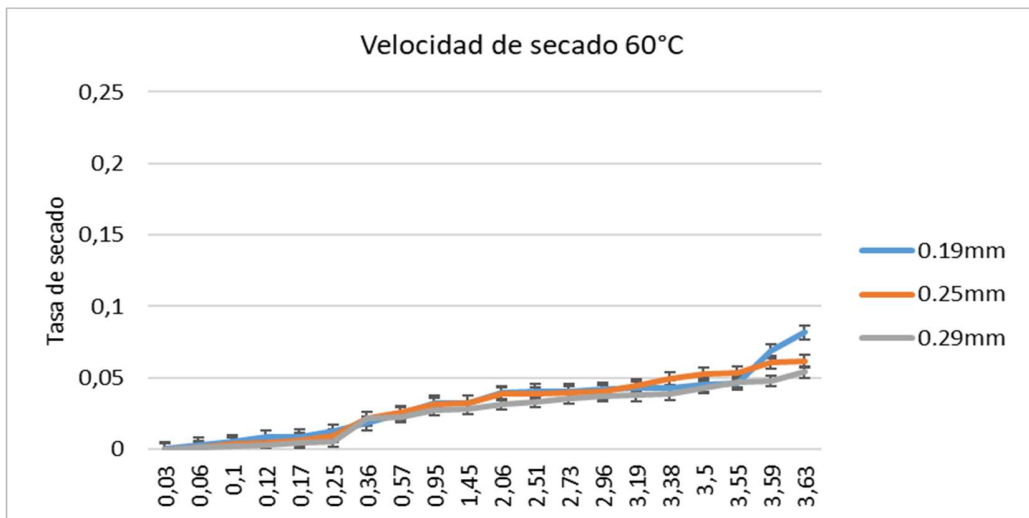


Gráfico 25: Velocidad de secado a 60°C con película de Mylar® 0.19, 0.25 y 0.29mm

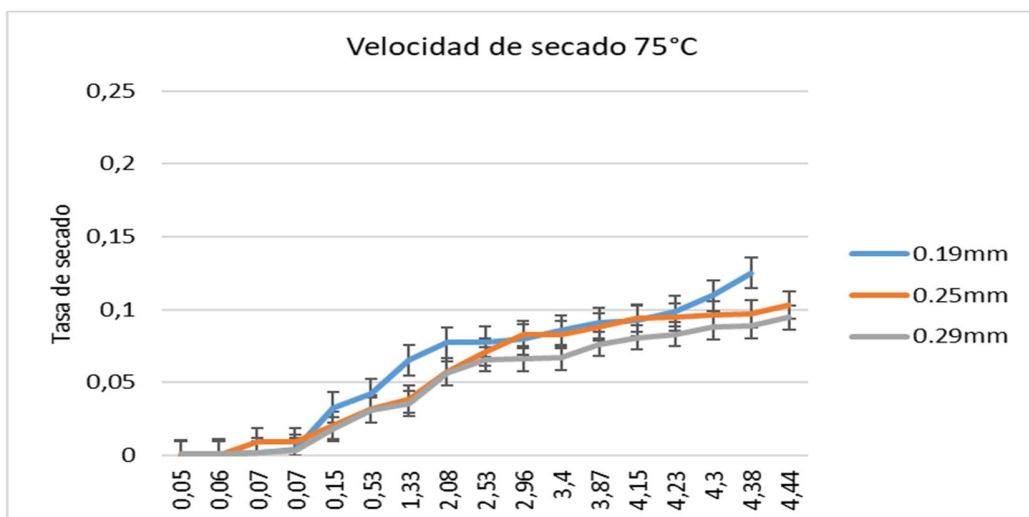


Gráfico 26: Velocidad de secado a 75°C con película de Mylar® 0.19, 0.25 y 0.29mm

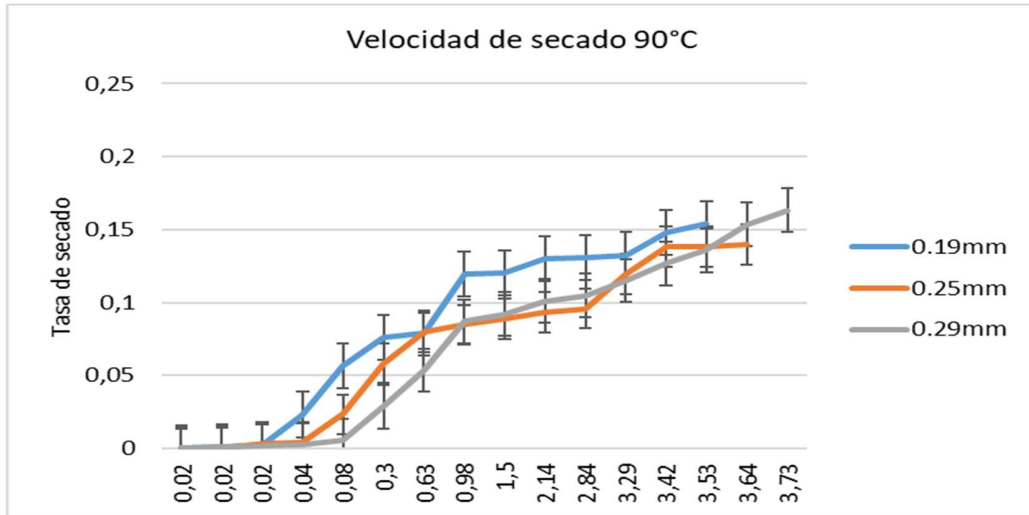


Gráfico 27: Velocidad de secado a 90°C con película de Mylar® 0.19, 0.25 y 0.29mm

5.2.2. GRÁFICAS DE VELOCIDAD DE SECADO POR DISTINTO GROSOR VENTANA DE REFRACTANCIA + INFRARROJO

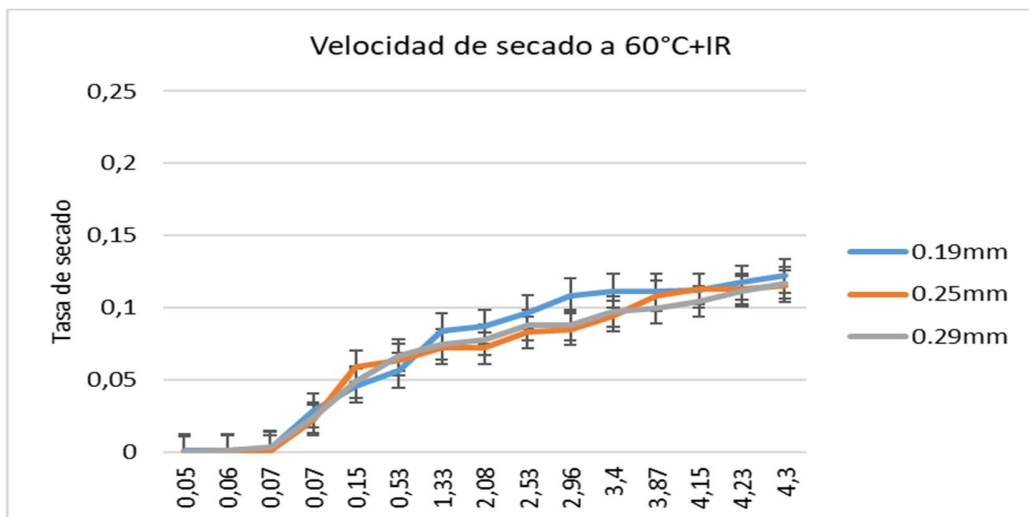


Gráfico 28: Velocidad de secado a 60°C+IR con película de Mylar® 0.19, 0.25 y 0.29mm

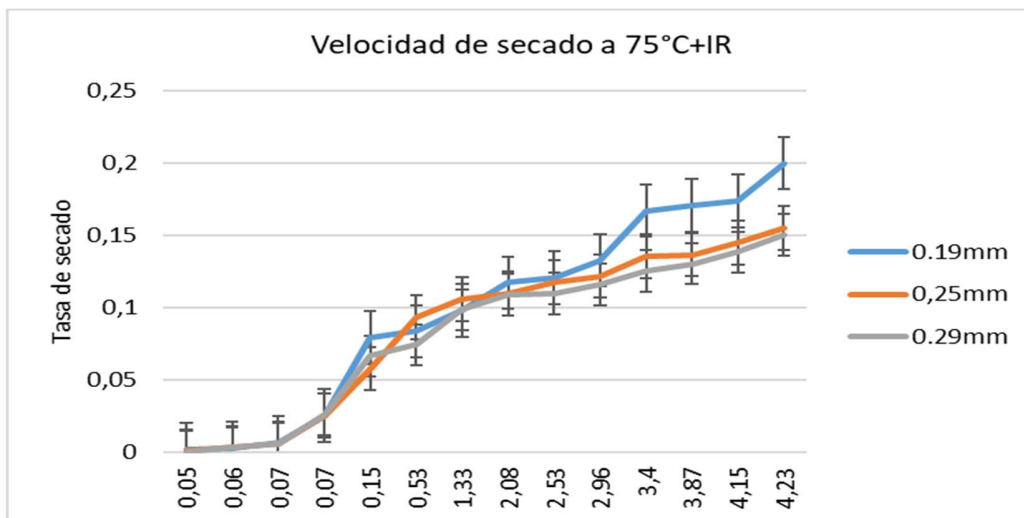


Gráfico 29: Velocidad de secado a 75°C+IR con película de Mylar® 0.19, 0.25 y 0.29mm

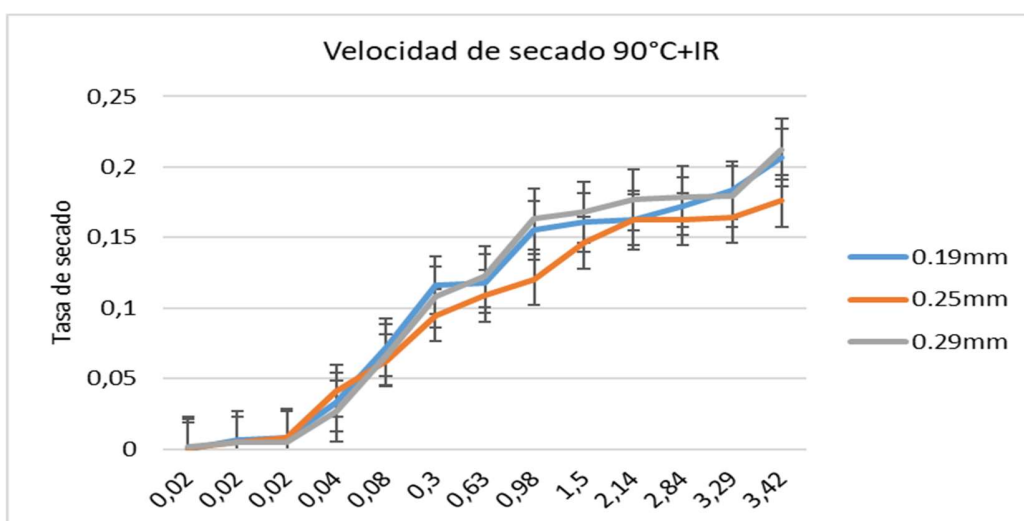


Gráfico 30: Velocidad de secado a 90°C+IR con película de Mylar® 0.19, 0.25 y 0.29mm

5.2.3. GRÁFICAS DE VELOCIDAD DE SECADO POR DISTINTA TEMPERATURA VENTANA DE REFRACTANCIA

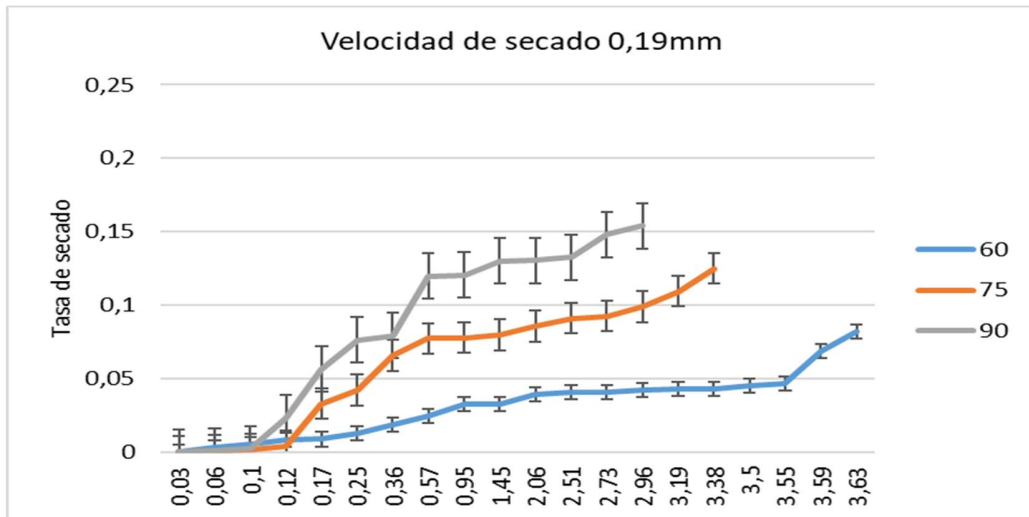


Gráfico 31: coeficiente de difusividad con película de Mylar[®] de 0.19mm a tres temperaturas distintas (60, 75 y 90°C)

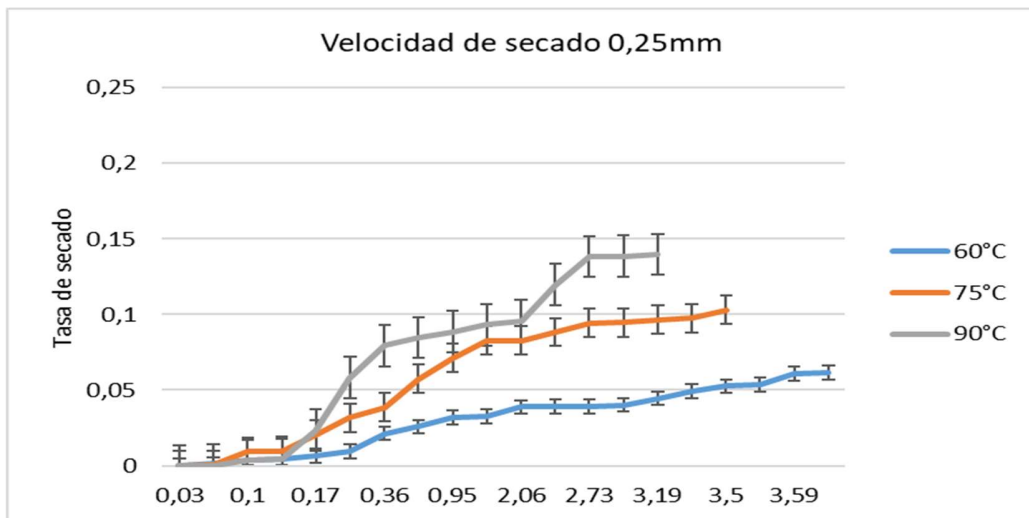


Gráfico 32: coeficiente de difusividad con película de Mylar[®] de 0.25mm a tres temperaturas distintas (60, 75 y 90°C)

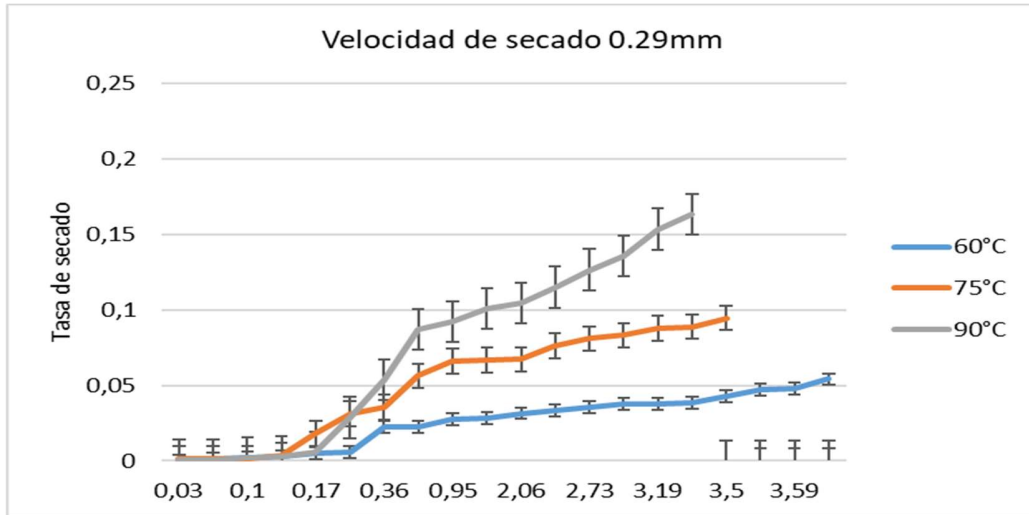


Gráfico 33: coeficiente de difusividad con película de Mylar[®] de 0.29mm a tres temperaturas distintas (60, 75 y 90°C)

5.2.4. GRÁFICAS DE VELOCIDAD DE SECADO POR DISTINTA TEMPERATURA VENTANA DE REFRACTANCIA + INFRARROJO

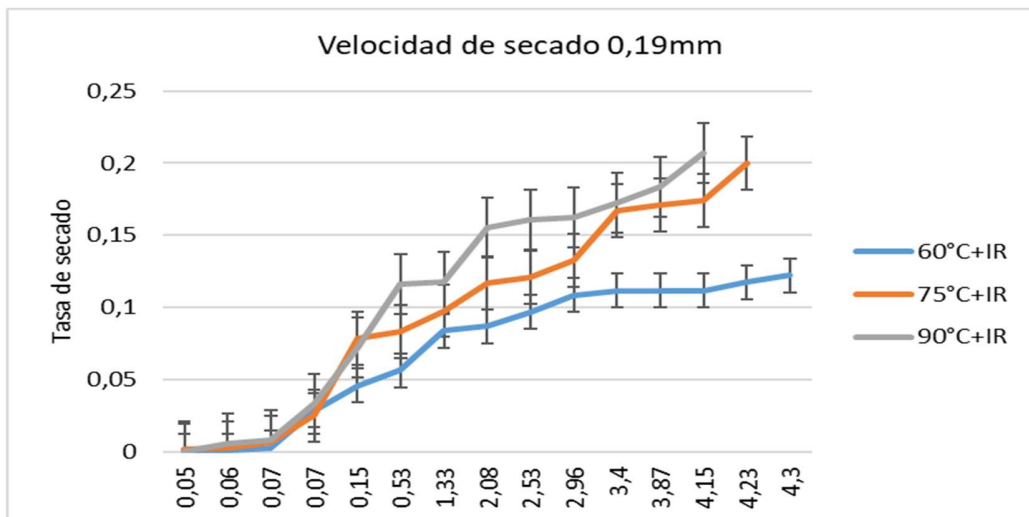


Gráfico 34: Velocidad de secado con película de Mylar[®] de 0.19mm a tres temperaturas distintas (60, 75 y 90°C) e IR

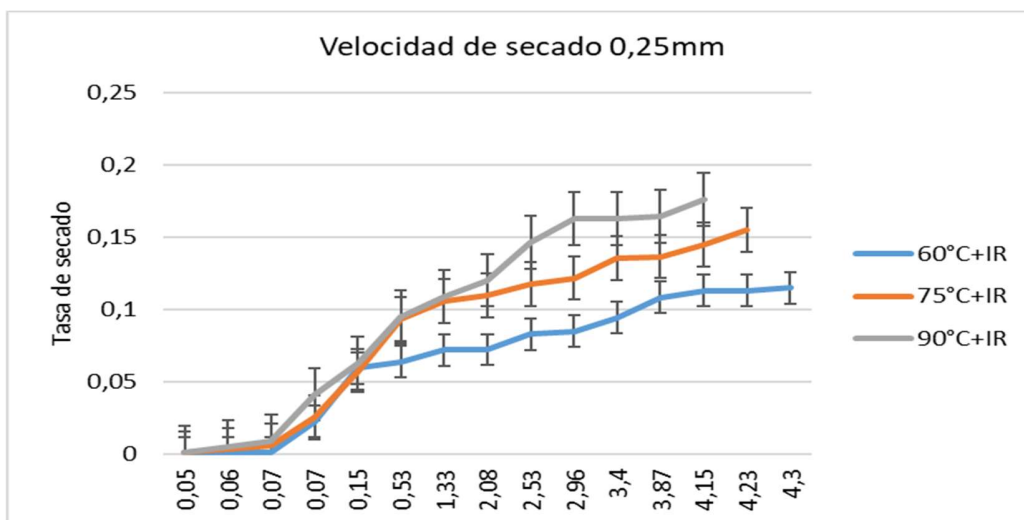


Gráfico 35: Velocidad de secado con película de Mylar® de 0.25mm a tres temperaturas distintas (60, 75 y 90°C) e IR

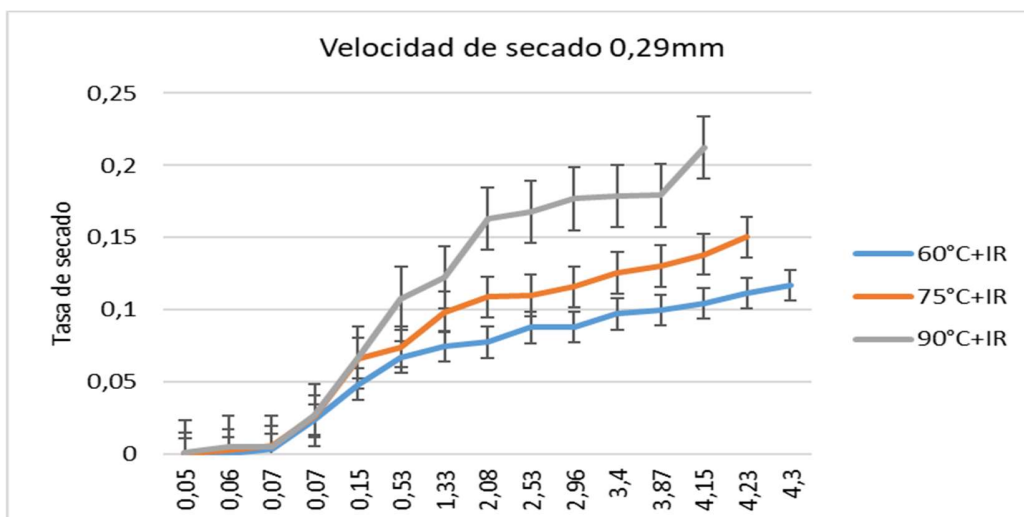


Gráfico 36: Velocidad de secado con película de Mylar® de 0.29mm a tres temperaturas distintas (60, 75 y 90°C) e IR

Al igual que para las curvas de secado y de difusividad efectiva, las curvas de velocidad de secado de las gráficas N°25 a N°30 nos muestran que la influencia del grosor en la película de Mylar® no genera diferencias significativas, independiente el método o temperatura utilizada, y de igual forma se observa en las gráficas N°31 a N°36 que la temperatura es un factor clave en la velocidad de secado, siendo posible observar que con mayor temperatura, mayor velocidad en la tasa de secado, esto ocurre debido al cambio de velocidad en las moléculas de agua, la que es aumentada por la transferencia de calor como consecuencia directa de la mayor temperatura.

Según los gráficos observados, el aumento de temperatura incide directamente en la tasa de secado, logrando una mayor migración a medida que aumenta la temperatura y también con la adición del infrarrojo. En la gráfica 32 y la 36 este cambio es notorio, siendo duplicada la tasa de secado a los 60°C, este efecto disminuye para las temperaturas más altas, debido a que la adición del infrarrojo se torna menos invasivo para el proceso de secado a medida que aumenta la temperatura, aumentando de todas formas la tasa de secado, pero sin alcanzar a duplicar como en el caso de la temperatura de 60°C.

5.3. ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE DIFUSIVIDAD EFECTIVA

Tabla 3: Coeficientes de difusividad efectiva para el método de ventana de refractancia

DIFUSIVIDAD ($\times 10^{-10}$ m²/s)			
VENTANA DE REFRACTANCIA			
T°/ GROSOR	0,19 mm	0,25 mm	0,29 mm
60° C	2,74 ^a ± 0,91	3,34 ^a ± 0,52	3,95 ^a ± 0,52
75° C	4,26 ^b ± 3,69	4,56 ^b ± 0,15	5,78 ^b ± 0,52
90° C	9,42 ^c ± 0,52	9,12 ^c ± 0,91	10,0 ^c ± 3,65

Nota: Letras distintas en una misma columna indican que existen diferencias significativas ($p < 0,05$).

Tabla 4: Coeficientes de difusividad efectiva para el método de ventana de refractancia + Lámpara infrarrojo

DIFUSIVIDAD ($\times 10^{-10}$ m²/s)			
VENTANA DE REFRACTANCIA + INFRAROJO			
T°/ GROSOR	0,19 mm	0,25 mm	0,29 mm
60° C	4,26 ^a ± 2,29	4,20 ^a ± 1,90	6,08 ^a ± 0,52
75° C	8,21 ^b ± 3,16	10,3 ^b ± 0,52	10,3 ^b ± 1,05
90° C	11,9 ^c ± 0,91	11,2 ^c ± 0,52	13,4 ^c ± 1,39

Nota: Letras distintas en una misma columna indican que existen diferencias significativas ($p < 0,05$).

En las tablas anteriores, se observa que a medida que aumenta la temperatura de las experiencias, existe un consecuente aumento en la difusividad efectiva de las muestras tratadas, esto también ha sido reportado en otros procesos de secado por ventana de refractancia como el de Ochoa-Martínez (2011) en el secado de hojuelas de mango, además los valores de difusividad efectiva obtenidos se encuentran dentro de los parámetros esperados.

En ambos experimentos realizados, la difusividad efectiva varía significativamente con la temperatura aplicada, pero la diferencia de grosor en la película de Mylar[®] solo genera diferencias significativas en los grosores extremos (0.19 y 0.29mm) no así en las diferencias de grosor intermedios.

Los valores obtenidos para condiciones similares de temperatura y grosor (con diferencia en la asistencia de infrarrojo) indican diferencias significativas para la inclusión de la lámpara (anexo 7) aumentando la difusividad en todos los experimentos comparados, esto implica que la adición de la lámpara de infrarrojo influye directa y significativamente en la capacidad migratoria del agua que se extrae en el proceso de secado.

Los resultados obtenidos son muy similares a los obtenidos por Vega *et,al.* (2012) para el secado de Physalis por aire. Y se acercan a los obtenidos por Doymaz (2007) para guindas, Chong *et,al.* (2008) para damasco, uvas y zanahorias y por Mundada (2010) en granada.

5.4. CÁLCULO DE LA ENERGÍA DE ACTIVACIÓN

Tabla 5: Energías de activación obtenidas para cada grosor y método

ENERGIA DE ACTIVACIÓN (kJ/mol)		
GROSOR	VENTANA DE REFRACTANCIA	VENTANA REFRACTARIA +INFRAROJO
0,19 mm	41,3	34,5
0,25 mm	33,4	33,0
0,29 mm	31,1	26,6

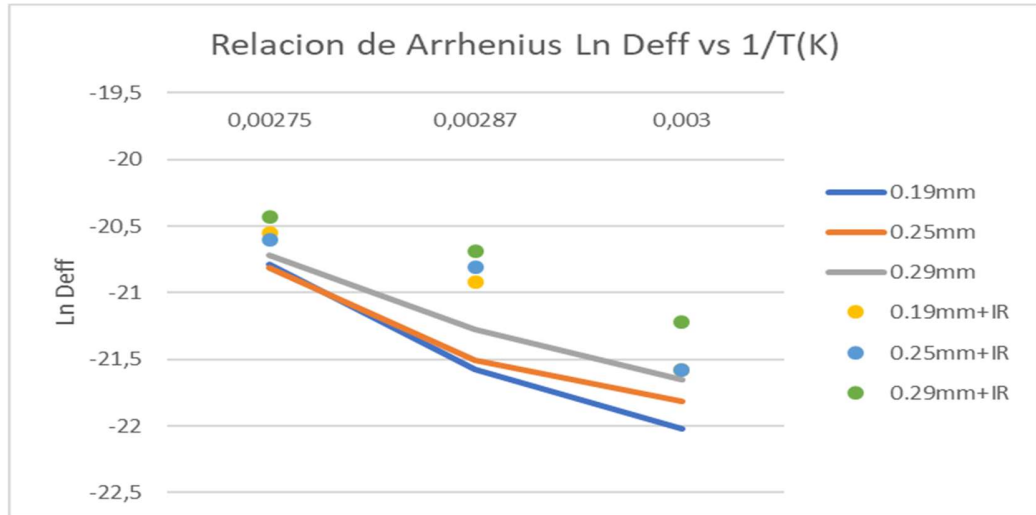


Gráfico 37: Variación de la difusividad efectiva según las distintas temperaturas aplicadas.

En la tabla N°5 se observan las energías de activación calculadas para los distintos grosores y métodos realizados, se obtienen resultados esperados al comparar los resultados obtenidos por distintos métodos, en los cuales al mismo grosor, se obtiene menor energía de activación para el método por ventana de refractancia, otro fenómeno a observar indica que a menor grosor de película, mayores son los requerimientos energéticos para el proceso, esto es notorio al observar los valores obtenidos para el grosor de 0.19mm otro punto a observar es que no existen grandes diferencias entre los mayores grosores de la ventana de refractancia y los menores grosores de la ventana con infrarrojo, esto indica que aumentar la temperatura entre 75°C y 90°C no influye con claridad en los requerimientos energéticos del proceso, misma situación ocurre en el método de ventana de refractancia + infrarrojo, pero entre las temperaturas de 60°C y 75°C respectivamente. También es importante observar que al grosor de 0.25mm las

energías obtenidas son muy similares encontrándose que la adición del infrarrojo no influye de forma tan notoria. Los resultados obtenidos son similares a los obtenidos por Vega et,al (2016) en el secado por aire de *Physalis peruviana* obteniendo 38.78 kJ/mol, otros resultados obtenidos son similares, tales como 39.5 kJ/mol para porotos (Senadeera et al. 2003); 37.27 kJ/mol para higos (Babalís & Belessiotis 2004); pero importantemente menores que los obtenidos por Aghbashlo et al (2008) en el Berberis obteniendo entre 110.84–130.61 kJ/mol. Por último en la Gráfica N°37 se observa la relación de Arrhenius para cada experimento realizado, donde la curva del experimento con el grosor de 0.19mm+IR se encuentra solapada en el último punto con la curva obtenida para el experimento de 0.25mm+IR, indicando que los requerimientos energéticos no varían significativamente con el cambio de grosor. Misma situación ocurre con los grosores de 0.19 mm y 0.25mm en las temperaturas más bajas, estas similitudes indicarían que el grosor no afecta mayormente los requerimientos energéticos del proceso, a excepción de los experimentos extremos (0.19mm ventana de refractancia y 0.29mm de ventana de refractancia + infrarrojo)

5.5. PARÁMETROS CINÉTICOS DE LOS MODELOS DE SECADO

Los parámetros de los modelos cinéticos pueden ser observados para el método de ventana de refractancia en el anexo 2 y para el método de ventana de refractancia con infrarrojo en el anexo 3 en ellos se encuentra que la constante K, aumenta para todos los modelos conforme aumenta la temperatura y ante la

inclusión de la lámpara de infrarrojo observando que este parámetro es directamente dependiente de la temperatura. Lemus-Mondaca *et,al.* (2015) indica que el aumento de la constante k está relacionado a la difusividad del agua, al ser esta constante mayor, la remoción del agua se logra de manera más fácil. Las otras constantes no sufren variaciones significativas a pesar de aumentar la temperatura, esto podría ocurrir debido a la textura presente en el alimento, Karanthanos y Belessiotis (1999) proponen que estos factores podrían verse afectados en el caso de secar rodajas de frutas con o sin piel, aumentando en consecuencia del grosor de la cascara, al ser éste un secado de pulpa de fruta, estos parámetros no se verían afectados por la presencia de la cascara, por lo tanto, la mantención de estas constantes a pesar del aumento de temperatura es esperable.

5.6. AJUSTE ESTADISTICO DE LOS MODELOS DE SECADO

Tabla 6: Parámetros estadísticos método ventana de refractancia

PARAMETROS ESTADISTICOS VENTANA DE REFRACTANCIA									
T° (°C)	60°C			75°C			90°C		
GROSOR (mm)	0,19	0,25	0,29	0,19	0,25	0,29	0,19	0,25	0,29
CORRELACION R ²									
HP	0,9186	0,9015	0,9057	0,8682	0,9251	0,8906	0,9154	0,953	0,9498
HP-MOD	0,9255	0,9015	0,9057	0,8682	0,9251	0,8899	0,9154	0,953	0,9498
MIDILI-KUCUK	0,9998	0,9987	0,9987	0,9971	0,9902	0,9987	0,9997	0,9996	0,9997
TWOTERM	0,9255	0,9015	0,9057	0,8781	0,9251	0,8899	0,9154	0,953	0,9498
PAGE	0,9958	0,9976	0,9983	0,9955	0,9974	0,9974	0,9979	0,9995	0,9995
CORRELACION RSME									
HP	0,0975	0,1036	0,1067	0,1204	0,1204	0,1147	0,0903	0,0825	0,0859
HP-MOD	0,0942	0,1036	0,1067	0,1204	0,1204	0,1145	0,0903	0,0825	0,0859

MIDILI-KUCUK	0,0051	0,0119	0,0124	0,0173	0,0512	0,0121	0,0053	0,0077	0,0064
TWOTERM	0,0942	0,1036	0,1067	0,1182	0,1204	0,1145	0,0903	0,0825	0,0859
PAGE	0,025	0,0181	0,0165	0,0246	0,0291	0,0195	0,0163	0,0094	0,0093
CORRELACION χ^2									
HP	0,0003	0,0057	0,0044	0,0014	0,0181	0,0019	0,0007	0,0019	0,0021
HP-MOD	0,0021	0,0078	0,0057	0,0021	0,0247	0,0024	0,0011	0,0029	0,0032
MIDILI-KUCUK	0	0	0	0	0,007	0	0	0	0
TWOTERM	0,0018	0,0066	0,0049	0,0033	0,0209	0,002	0,0008	0,0023	0,0026
PAGE	0,003	0,0016	0,0015	0,0023	0,0019	0,0016	0,0011	0	0,0001

Tabla 7: Parámetros estadísticos método de ventana de refractancia + infrarrojo

PARAMETROS ESTADISTICOS VENTADA DE REFRACTANCIA + INFRAROJO									
T° (°C)	60°C			75°C			90°C		
GROSOR (mm)	0,19	0,25	0,29	0,19	0,25	0,29	0,19	0,25	0,29
CORRELACIÓN R²									
HP	0,8559	0,8383	0,8316	0,8879	0,8777	0,8951	0,9085	0,912	0,9058
HP-MOD	0,8559	0,8383	0,8316	0,8879	0,8777	0,8951	0,9085	0,912	0,9058
MIDILI-KUCUK	0,9764	0,9947	0,9706	0,9975	0,995	0,9987	0,9997	0,9999	0,9995
TWOTERM	0,8559	0,8383	0,8316	0,8879	0,8777	0,8951	0,9085	0,912	0,8967
PAGE	0,991	0,9968	0,9963	0,9987	0,9972	0,9976	0,9976	0,9972	0,9981
CORRELACION RSME									
HP	0,1165	0,118	0,1183	0,1056	0,1087	0,1007	0,1012	0,0965	0,1067
HP-MOD	0,1165	0,118	0,1183	0,1056	0,1087	0,1007	0,1012	0,0965	0,1067
MIDILI-KUCUK	0,0458	0,0213	0,0488	0,0156	0,0215	0,0148	0,0058	0,0027	0,0077
TWOTERM	0,1165	0,118	0,1183	0,1056	0,1087	0,1007	0,1012	0,0965	0,1117
PAGE	0,0315	0,0189	0,0195	0,0134	0,0186	0,0176	0,0192	0,0193	0,0182
CORRELACION χ^2									
HP	0,003	0,0006	0,0006	0,0008	0,0007	0,0007	0,0008	0,0007	0,0011
HP-MOD	0,0048	0,001	0,0009	0,0013	0,0012	0,0012	0,0015	0,0012	0,002
MIDILI-KUCUK	0,0033	0,0016	0,0016	0,001	0,0016	0,0016	0,0018	0,0014	0,0017
TWOTERM	0,0037	0,0008	0,0007	0,001	0,0009	0,0009	0,0011	0,0008	0,0088
PAGE	0,0001	0	0	0	0	0,001	0	0	0

En las tablas N°6 y N°7 se observan correlaciones estadísticas para escoger el modelo propuesto que más se ajusta a la cinética de secado obtenida, para

escoger el modelo con mejor ajuste, se debe observar la mayor correlación R^2 y menores RSME y χ^2 .

Para el método de ventana de refractancia el modelo con mejor ajuste es el de Midili *et al.* que tiene un coeficiente de correlación R^2 entre 0.997 y 0.999, un RSME entre 0.0512 y 0.0051 y un χ^2 entre 0.007 y 0.000. Este modelo se ajusta también para productos tan disimiles como yogur colado (Hayaloglu et al., 2007), yacón (Shi et al., 2013), hongos (Dinani et al., 2014) y Orujo de oliva crudo (Koukouch et al., 2015).

Para el método de ventana de refractancia con adición de lampara infrarrojo, el modelo con mayor correlación R^2 y menores RSME y χ^2 es el modelo de Page Que tiene un coeficiente de correlación R^2 entre 0.991 y 0.998, un RSME entre 0.0315 y 0.0134 y un χ^2 entre 0.001 y 0.000, este modelo ajusta también para productos agrícolas como maíz (Page, 1949), pistachos (Kashaninejad et al., 2007) y soja verde (Yang & Zhu, 2015)

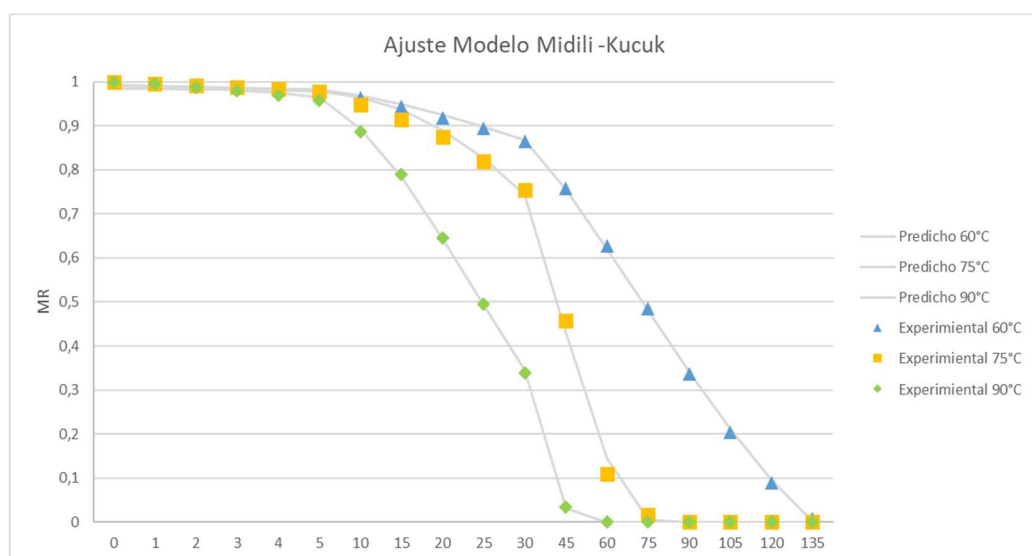


Gráfico 38: Comparación entre valores experimentales y predichos para modelo de Midili-Kucuk. A distintas temperaturas para método de ventana de refractancia

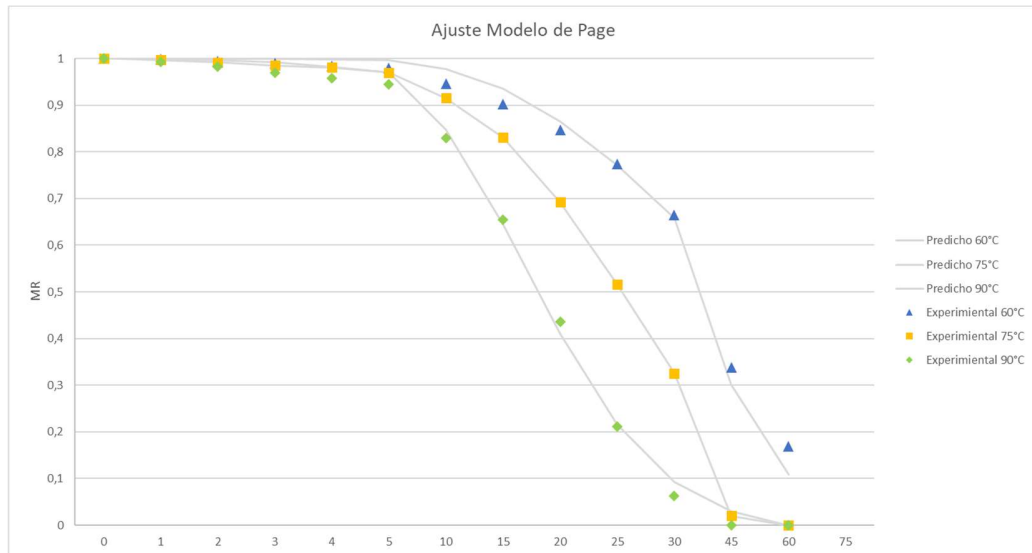


Gráfico 39: Comparación entre valores experimentales y predichos para modelo de Page A distintas temperaturas para método de ventana de refractancia + infrarrojo

En las gráficas N°38 y 39, se muestra como ejemplo para el espesor de 0.19mm la comparación entre los valores obtenidos experimentalmente y los valores predichos por el programa SigmaPlot 11, en el cual se observa la alta calidad del ajuste obtenido para ambos modelos.

5.7. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

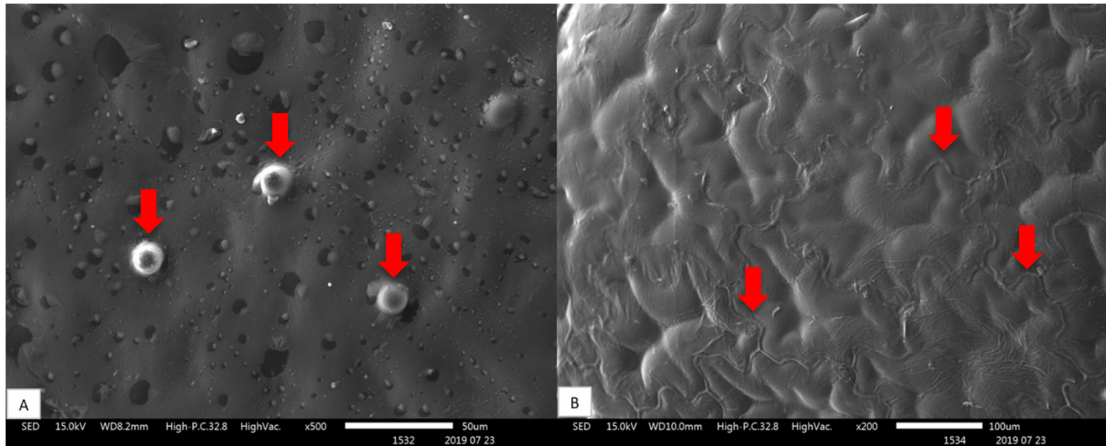


Figura 6: Microestructura de *Physalis peruviana* fresco, pertenecientes a la cascara (6-A) y semilla (6-B) respectivamente

En la figura 6-A se observa la cascara de physalis fresco, con protuberancias llamadas emergencias por Roth (1977) y que son descritas en extenso por Valencia(1985), estas emergencias se comportan como una estructura secretora y que concede al fruto una textura semi-rugosa, además, estas están formadas por células de la epidermis y hipodermis. En la figura 6-B se observa la semilla con una sutil diferenciación entre la testa (capa externa de la semilla) y el tejido parenquimático, (que funciona como soporte en la red celular) descrito por Valencia (1985)

En las imágenes obtenidas, es posible observar de la figura 7-A que la red celular perteneciente a la cascara se ve afectada por la extracción del agua libre durante el proceso de secado, misma situación ocurre con la figura 7-B, aumentando la tendencia y observando una superficie rugosa, en la Figura 7-C no es posible observar con claridad la superficie antes descrita, es posible determinar como

tejido de la cascara debido a la aparición de emergencias que fueron descritas anteriormente, el daño celular obtenido a esta temperatura puede ser ocasionado por la aplicación de alta temperatura (90°C) obteniéndose una evaporación más agresiva del agua disponible a nivel celular, rompiendo las paredes de las células presentes en la cascara.

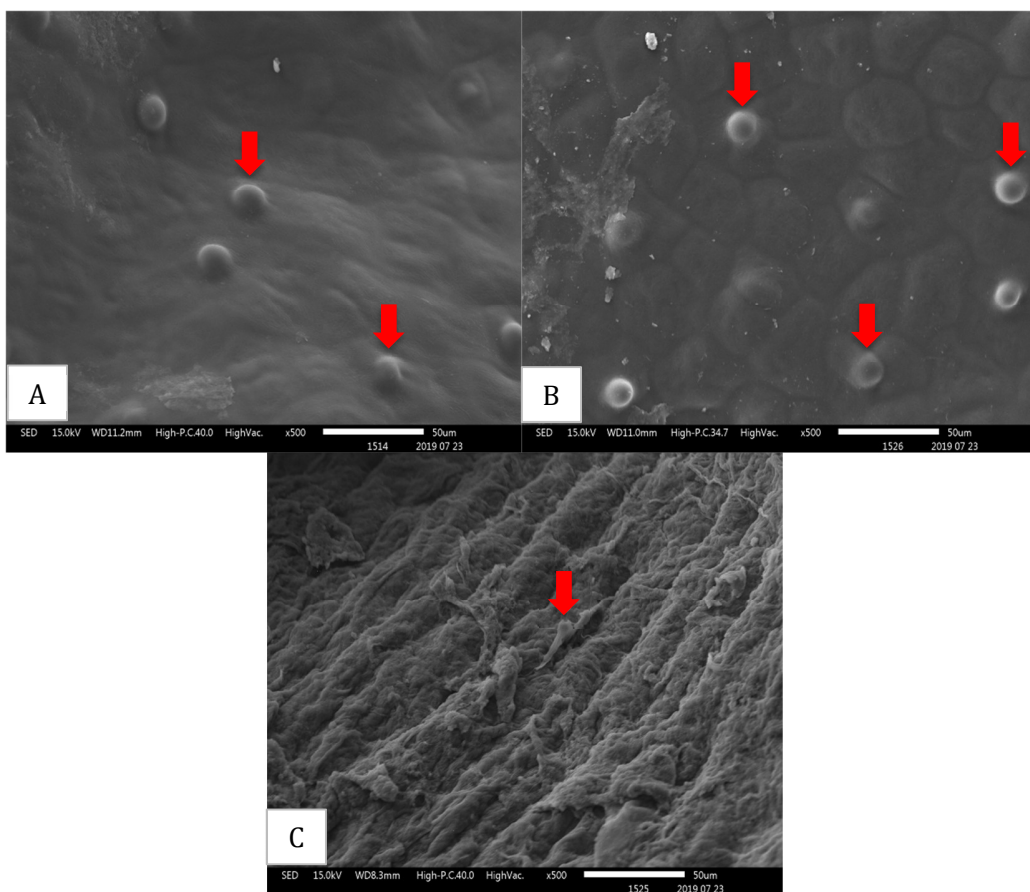


Figura 7: Microestructura de la cascara de *Physalis peruviana* secada por método de ventana de refractancia a 60°C (7-A), 75°C(7-B) y 90°C(7-C)

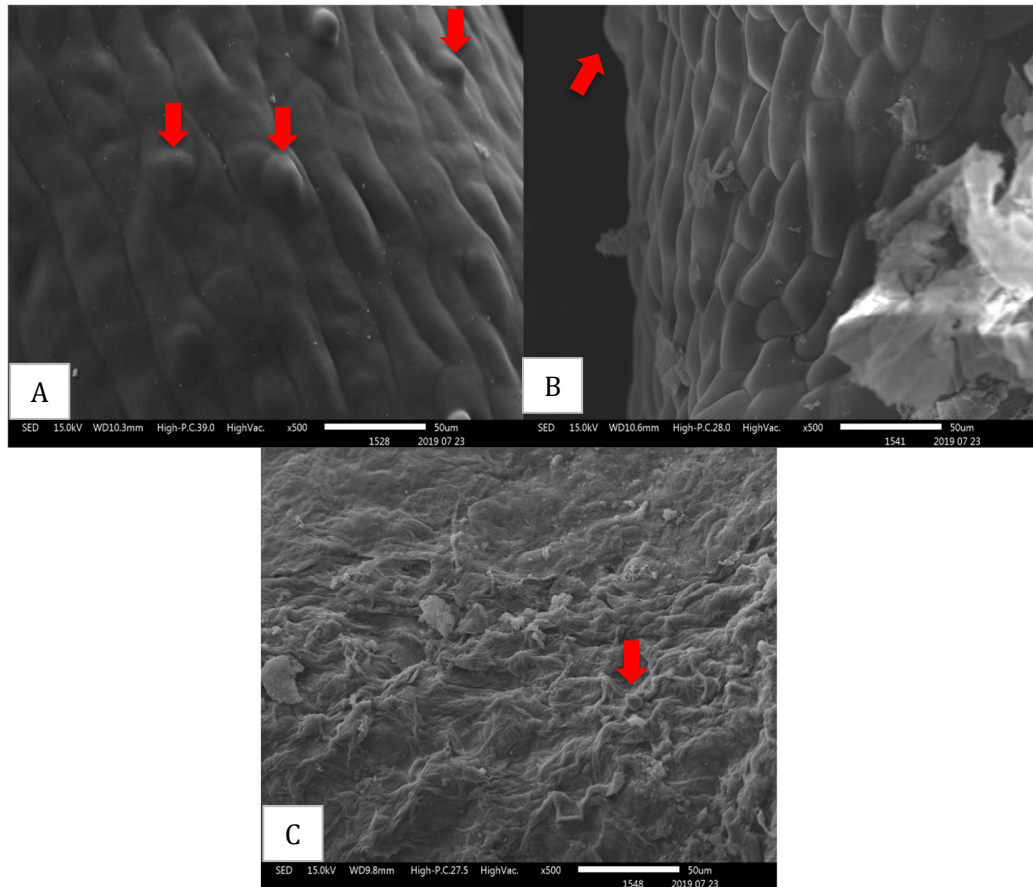


Figura 8: Microestructura de la cascara de *Physalis peruviana* secada por método de ventana de refractancia a y asistencia de infrarrojo 60°C (8-A), 75°C(8-B) y 90°C(8-C)

En la figura 8 se observan la cascara del fruto *Physalis* secado a través del método de ventana de refractancia con asistencia de infrarrojo, el experimento de secado mantiene la tendencia al compararlo con la cascara fresca (Figura 6-A) obteniéndose una superficie rugosa, con evidente pérdida de agua por parte de las células presentes, presentándose con una tendencia mas marcada que en las obtenidas en la figura 7, esto también se puede observar al comparar condiciones similares de secado, la figura 7-A presenta una superficie de carácter más liso que la observable en 8-A, indicando en ambas situaciones antes descrita

la incidencia que implica el secado asistido por infrarrojo, la tendencia hacia superficies rugosas se mantiene en la figura 8-B observándose también las emergencias antes descritas. Por último, en la figura 8-C, al igual que en la figura 7-C, el daño celular en la figura 8-C es mas alto que el observado en 7-C, esto puede ocurrir debido a que la asistencia por infrarrojo, incluido el proceso de secado con mayor temperatura, eleva con mayor agresividad la temperatura interna del agua extraída, siendo este un proceso explosivo, dañando los tejidos observados.

En la figura 9, se observan semillas de *Physalis* en 4 experimentos, con diferencias mas sutiles que las discutidas en las figuras 7 y 8, pero donde es posible observar a medida que cambian las condiciones de secado, que la testa de la semilla cambia levemente su superficie lisa hacia una mas rugosa, obteniéndose una mejor diferenciación del tejido parenquimático, también es posible observar la que la adición de la lampara de infrarrojo aumenta la extracción del agua, al comparar la figura 9-A con la 9-C y la 9-B con la 9-D.

Las muestras estudiadas a través de este método no mostraron diferencias importantes en los grosores utilizados,

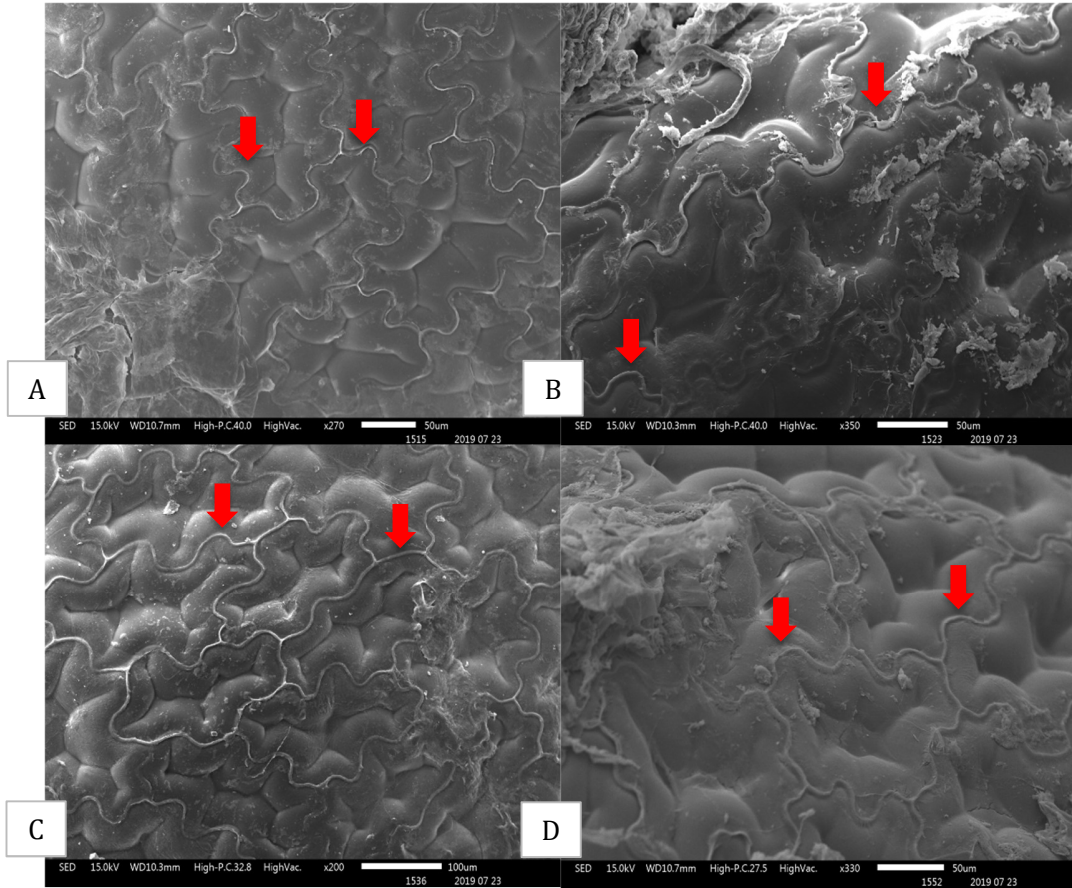


Figura 9: Microestructura de la semilla de *Physalis peruviana* secada por método de ventana de refractancia a y asistencia de infrarrojo 60°C (9-A), 90°C(9-B), 60°C+IR(9-C) y 90+IR(9-D)

5.8. ANÁLISIS DE COLOR

Tabla 8: Diferencias de color (ΔE) por método, grosor y temperatura

DIFERENCIA DE COLOR (ΔE)						
GROSOR / T°	VENTANA DE REFRACTANCIA			VENTANA DE REFRACTANCIA + INFRAROJO		
	60°C	75°C	90°C	60°C	75°C	90°C
0,19 mm	54,3 ^{a1}	52,48 ^{a2}	60,37 ^{a3}	48,76 ^{a4}	53,66 ^{a5}	66,31 ^{a6}
0,25 mm	55,32 ^{b1}	53,93 ^{b2}	60,24 ^{b3}	53,95 ^{b4}	59,09 ^{b5}	73,25 ^{b6}
0,29 mm	58,46 ^{c1}	55,28 ^{c2}	64,86 ^{c3}	57,01 ^{c4}	62,56 ^{c5}	75,63 ^{c6}

Nota: Letras distintas en una misma columna indican que existen diferencias significativas ($p < 0,05$).

Nota 2: Números distintos en una misma fila indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Los valores para los parámetros L a y b, muestran (Anexo 4 y 5) que todas las muestras perdieron luminosidad (parámetro L), se acercó más al color verde (parámetro a) y también al color azul, perdiendo tonalidades de color amarillo (parámetro b), con respecto a las muestras de physalis fresca

La pérdida del parámetro L (luminosidad) es frecuente en los tratamientos de secado por ventana de refractancia, resultados similares se obtuvieron en frutillas (Abonyi, 2002) y también en hojuelas de mango (Caparino *et, al*). Con respecto al parámetro a (Color rojo a verde) se han visto diferencias según el alimento a secar, Nindo (2003), encontró que el secado de puré de espárragos mantenía mejor el color verde que cualquier otro tipo de secado comparado por él, por otra parte, en el secado de frutillas realizado por Abonyi (2001) se encontró que éstas tenían una gran degradación de este parámetro. Por último, la disminución del parámetro b (Color amarillo a azul) podría ser un indicativo de la perdida de carotenoides presentes en el Physalis, a diferencia de los resultados que se han

reportado en el secado de hojuelas de zanahoria (Abonyi, 1999), los cuales han mejorado la retención de estos compuestos.

Con respecto a la diferencia de color total o ΔE , se han encontrado diferencias por Nindo (2003) en espárragos y por Abonyi (2001) en frutillas con una diferencia de 22.4 y 19.3 respectivamente, la diferencia significativa (anexo 7 y 8) de color obtenida en estos resultados podría deberse a la caramelización de los azúcares presentes en el Physalis, debido a que los largos periodos de tratamiento podrían haber influido en el oscurecimiento general de las muestras obtenidas. Por otra parte, es posible inferir una degradación de los compuestos carotenoides presentes en la fruta esto en cuanto pierde su color amarillo característico, por último, la adición de la lámpara de infrarrojo supone un golpe térmico muy invasivo para el secado del Physalis, obteniéndose diferencias de color más altas que con respecto a la ventana de refractancia por si sola.

6. CONCLUSIONES

- El efecto del espesor de la película de Mylar[®] no generó diferencias significativas al momento de evaluar la cinética de secado de la pulpa de *Physalis peruviana*, esto se observó en las curvas de secado, difusividad y velocidad de secado, el espesor solo generó diferencias al momento de las mediciones de color.
- La adición de lámpara infrarrojo disminuyó entre un 20 y un 60% los tiempos de secado de la pulpa de *Physalis peruviana*, con respecto al secado convencional.
- Los valores obtenidos para la difusividad efectiva se encontraron dentro de los parámetros observados para *Physalis peruviana*, aun cuando los métodos de secado fueron diferentes, concluyendo que es un factor que está asociado a la temperatura de secado y no del método propuesto.
- La energía de activación obtenida en los experimentos realizados indica que el cambio de espesor de película de Mylar[®] no influye en los requerimientos energéticos del proceso de secado.
- El parámetro cinético k , es dependiente de la temperatura, debido a su aumento sostenido en los experimentos, los otros factores (a,b,c) no sufrieron variaciones significativas.
- Las observaciones a través de la microscopía electrónica de barrido indicaron cambios dependiendo de la temperatura utilizada y de la adición

de infrarrojo en la microestructura de *Physalis peruviana*, resultado que no se vio afectado por los grosores de la película estudiada.

- El análisis de color indicó pérdida de luminosidad, color amarillo y color rojo, siendo necesario un estudio de capacidad antioxidante para determinar si la pérdida de colores influyó en los compuestos bioactivos de interés.
- El proceso de secado se realizó de forma satisfactoria, utilizando el método de ventana de refractancia y ventana de refractancia con infrarrojo, posicionándose como una alternativa en el secado y conservación de alimentos.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Abonyi, B.I., Feng, H., Tang, J., Edwards, C.G., Chew, B.P., Mattinson, D.S. and Fellman, J.K., (2001), Quality retention in strawberry and carrot purees dried with Refractance Window TM system, 67, 1051-1056
- Abonyi, B.I., Tang, J, and Edwards, C.G. (1999), Evaluation of energy efficiency and quality retention for the Refractance WindowTM drying system. Research Report , WWS Washington State University, Pullman WA
- Akpinar, E.K., Bicer, Y. and Yildiz, C. 2003. Thin layerdrying of red pepper. J. Food Eng.59, 99–104.
- Arun, M. Asha,V.V. Preliminary studies on antihepatotoxic effect of *Physalis peruviana* Linn (Solanaceae) against carbon tetrachloride induced acute liver injury in rats J. Ethnopharmacol., 111 (2007), pp. 110-114
- Arslan, D., & Özcan, M.M. (2010). Study the effect of sun, microwave and microwave drying on quality of onion slices. LWT – Food Science and Technology, 43 (7), 1121–1127
- Babalis, S.J. and Belessiotis, V.G. 2004. Influence of the drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. J. Food Eng. 65, 449–458.
- Baeghbali. V, Niakosari. M, Kiani. M. (2010),Design, Manufacture And Investigating Functionality Of A New Batch Refractance Window System ,Proceedings of 5th International Conference on Innovations in Food and Bioprocess Technology
- Bolland, K. President, MCD Technologies Inc. Entrevista personal con C.I. Nindo. 2005.
- Castoldi M, Zotarelli M, Durigon A, Carciofi B & J. B. Laurindo (2015) Production of Tomato Powder by Refractance Window Drying, Drying Technology, 33:12, 1463-1473
- Caparino, O. A., Sablani, S. S., Tang, J., Syamaladevi, R. M., & Nindo, C. I. (2013). Water Sorption, Glass Transition, And Microstructures Of Refractance Window- And Freeze-dried Mango (Philippine “Carabao” Var.) Powder. Drying Technology, 1969–1978.
- Channe, Deepika & Datta, Ashis. (2018). Refractance window drying of fruits and vegetables: A Review. Journal of the Science of Food and Agriculture. 10.1002/jsfa.9356.
- Chang,J.C. Lin, C.C. Wu, S.J.Lin, D.L. Wang, S.S. Miaw, C.L. Ng, L.T. Antioxidative and hepatoprotective effects of *Physalis peruviana* extract against acetaminophen-induced liver injury in rats Pharmaceut. Biol., 46 (2008), pp. 724-731

- Chong, C.H., Law, C.L., Cloke, M., Hill, C.L. & Abdullah, L.C. 2008. Drying kinetics and product quality of dried Chempedak. *J. Food Eng.* 88, 522–527
- Costaa, A., & Pereirab, H. (2013). Drying kinetics of cork planks in a cork pile in the field. *Food and Bioproducts Processing*, 91(1), 14–22.
- Dinani, S.T., Hamdami, N., Shahedi, M., & Havet, M. (2014). Mathematical modeling of hot air/electrohydrodynamic (EHD) drying kinetics of mushroom slices. *Energy Conversion and Manage*, 86, 70–80.
- Doymaz, İ. (2007). The kinetics of forced convective air-drying of pumpkin slices. *Journal of Food Engineering*, 79(1), 243–248.
- DOYMAZ, I. 2007. Influence of pretreatment solution on the drying of sour cherry. *J. Food Eng.* 78, 591–596.
- Eitzbach, L. Pfeiffer, A. Schieber, A. Weber, F.. (2019). Effects of thermal pasteurization and ultrasound treatment on the peroxidase activity, carotenoid composition, and physicochemical properties of goldenberry (*Physalis peruviana* L.) puree. *LWT - Food science and technology*, 100, 69-74.
- Espinoza, J., (2011) aplicación de un proceso de secado asistido infrarrojo para la deshidratación del fruto de murtila (tesis de pregrado) Facultad de ciencias químicas y farmaceuticas, Universidad de Chile
- ERTEKIN, C. and YALDIZ, O. 2004. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. *J. Food Eng.* 63, 349–359.
- Femenia, A.; Garcia-Pascual, P.; Simal, S.; Rosello, C. Effects of heat treatment and dehydration on bioactive polysaccharide acemannan and cell wall polymers from *Aloe barbadensis* Miller. *Carbohydrate Polymers* 2003, 51, 397–405
- F. Samia El-Safy ,(2014), Drying Characteristics of Loquat Slices Using Different Dehydration Methods by Comparative Evaluation, *World Journal of Dairy & Food Sciences* 9 (2), 272-284
- Hayaloglu, A.A., Karabulut, I., Alpaslan, M., & Kelbaliyev, G. (2007). Mathematical modeling of drying characteristics of strained yogurt in a convective type tray-dryer. *Journal of Food Engineering*, 78(1), 109–117.
- Henderson, S.M., & Pabis, S. (1961). Grain drying theory. I. Temperature effect on drying coefficient. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 6(3), 169–174.
- Hewett, E.W. *New horticultural crops in New Zealand* J. Janick, J.E. Simon (Eds.), *New Crops*, John Wiley & Sons Inc., New York (1993), pp. 57-64
- ICONTEC. *Frutas frescas. Uchuva. Especificaciones. Norma Técnica Colombiana NTC 4580*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas. Bogotá. 1999.
- Kashaninejad, M., Mortazavi, A., Safekordi, A., & Tabil, L.G. (2007). Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. *Journal of Food*
- Karathanos, V. T. y V. G. Belessiotis, “Application of a thin-layer equation to drying data of fresh and semi-dried fruits”, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 74(4), 355-361(1999)

- Koukouch, A., Ildimam, A., Asbik, M., Sarh, B., Izrar, B., Bah, A., & Ansari, O. (2015). Thermophysical characterization and mathematical modeling of convective solar drying of raw olive pomace. *Energy Conversion and Manage*, 99, 221–230
- Kudra, T.; A.S. Mujumdar(2001) *Advanced Drying Technologies*; Marcel Dekker: New York.
- Marín B, E. Lemus M, R. Flores M, V. & Vega G, A.. (2006). La rehidratación de alimentos deshidratados. *Revista chilena de nutrición*, 33(3), 527-538.
- M.M Abud-fadl & T.H. Ghanem (2011),Effect Of Refractance Window Drying Method On Quality Criteria Of Produced Tomato Powder As Compared To The Convention Drying Method, *World Applied Sciences Journal* 15(7),953-965
- Mohamed, L.A., Kane, C.S.E., Kouhila, M., Jamali, A., Mahrouz, M., & Kechaou, N. (2008). Thin layer modelling of *Gelidium sesquipedale* solar drying process. *Energy Conversion and Manage*, 49(5), 490–496.
- Midilli, A., Kucuk, H., & Yapar, Z. (2002). A new model for single layer drying. *Drying Technology*, 20(7), 1503–1513.
- Mundada, M., Hathan, B.S. and Maske, S. 2010.Convective dehydration kinetics of osmotically pretreated pomegranate arils. *Biosyst. Eng.*107, 307–316.
- Mujumdar, A.S.; Menon, A.S. Drying of solids: Principles, classification, and selection of dryers. In *Handbook of Industrial Drying*; Mujumdar, A.S., Ed.; Marcel Dekker: New York, 1995; 1–39
- Nindo & J. Tang (2007) *Refractance Window Dehydration Technology: A Novel Contact Drying Method*, *Drying Technology*, 25:1, 37-48
- Nindo, C.I.; Feng, H.; Shen, G.Q.; Tang, J.; Kang, D.H.(2003) Energy utilization and microbial reduction in a new film drying system. *Journal of Food Processing and Preservation* 2003, 27, 117–136.
- Nindo, C.I., Sun, T., Wang, S.W., Tang, J. And Powers, J.R., (2003), Evaluation of drying technologies for retention of physical quality and antioxidants in asparagus (*Asparagus officinalis*, L.), *Lebensm. - Wiss u.-Technol*, 36, pp 507-516
- Ochoa-Martínez C., Quintero P., Ayala A. & Ortiz J.. (2012). Drying characteristics of mango slices using the Refractance Window™ technique. *Journal of Food Engineering*, 109, 69-75.
- Overhults, D.G., White, H.E., Hamilton, H.E., & Ross, I.J. (1973). Drying soybeans with heated air. *Transaction of ASAE*, 16, 112–113.
- Page, G.E. (1949). Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin-layers. Department of Mechanical Engineering, Purdue University, West Lafayette, IN.
- Pavan M. (2010). Effects Of Freeze Drying, Refractance Window Drying And Hot-air Drying On The Quality Parameters Of Açai , Thesis, University of Illinois
- Perea-Flores, M.J., Garibay-Febles, V., Chanona-Pérez, J.J., Calderón-Domínguez, G., Méndez-Méndez, J.V., Palacios-González, E.,Gutiérrez-López,

- G.F. (2012). Mathematical modelling of castor oil seeds (*Ricinus communis*) drying kinetics in fluidized bed at high temperatures. *Industrial Crops and Products*, 38, 64–71.
- Qing-An Zhang, Yun Song, Xi Wang, Wu-Qi Zhao & Xue-Hui Fan (2016) Mathematical modeling of debittered apricot (*Prunus armeniaca* L.) kernels during thin-layer drying, *CyTA - Journal of Food*, 14:4, 509-517
 - Ratti, C., Mujumdar, A., 1995. Infrared drying. In: Mujumdar, A. (Ed.), *Handbook of Industrial Drying*, vol. 1. Marcel Dekker, New York, NY, pp. 1–39.
 - Roth, 1. 1977. *Fruits of Angiosperms*. Gebruder Borntraeger, Berlin. pp. 675.
 - Sacilik, K., Keskin, R., & Elicin, A.K. (2006). Mathematical modelling of solar tunnel drying of thin layer organic tomato. *Journal of Food Engineering*, 73(3), 231–238
 - Sandu, C., 1986. Infrared radiative drying in food engineering: a process analysis. *Biotechnol. Prog.* 2, 109–119.
 - Senadeera, W., Bhandari, B.R., Young, G. and Wijesinghe, y.b. 2003. Influence of shapes of selected vegetable materials on drying kinetics during fluidized bed drying. *J. Food Eng.* 58, 277–283
 - Shi, Q., Zheng, Y., & Zhao, Y. (2013). Mathematical modeling on thinlayer heat pump drying of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) slices. *Energy Conversion and Manage*, 71, 208–216.
 - Smith, T.M. Heat transfer dynamics. *TAPPI Journal* 1994, 77, 239–245. C. I.
 - Toğrul, İ.T., & Pehlivan, D. (2002). Mathematical modeling of solar drying of apricots in thin layers. *Journal of Food Engineering*, 55(3), 209–216.
 - Toğrul, İ.T., & Pehlivan, D. (2004). Modeling of thin layer drying kinetics of some fruits under open-air sun drying process. *Journal of Food Engineering*, 65(3), 413–425.
 - Topuz, A, Feng, H. ,Kushad, M.. (2009). The effect of drying method and storage on color characteristics of paprika. *LWT - food science and technology*, 42, 1667 - 1673.
 - Valdenegro M., Fuentes,L. Herrera, R. Moya-León M.A. Changes in antioxidant capacity during development and ripening of goldenberry (*Physalis peruviana* L.) fruit and in response to 1-methylcyclopropene treatment *Postharvest Biology and Technology*, 67 (2012), pp. 110-117
 - Valencia m, De. Anatomía del fruto de uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Act biol Colom.* 1985;1(2):63-89.
 - Vázquez Vila, M.J. Chenlo Romero, F. Moreira Martínez, R. da Riva López, P. “Rehidratación de zanahorias previamente secadas con aire y deshidratadas osmóticamente” En: XI congreso internacional de ingeniería en alimentos 26-28 de septiembre, Lugo 12p
 - Vega-Gálvez, A., Puente-Díaz, L., Lemus-Mondaca, R., Miranda, M., & Torres, M. J. (2012). Mathematical modeling of thin-layer drying kinetics of cape gooseberry

(*Physalis peruviana* L.). *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(2), 728–736.

- Yaldiz, O., Ertekin, C., & Uzun, H.I. (2001). Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes. *Energy*, 26(5), 457–465.
- Yang, Z., & Zhu, E. (2015). Water desorption isotherm and drying characteristics of green soybean. *Journal of Stored Products Research*, 60, 25–30.

8. ANEXOS

Anexo 1: Composición proximal de *Physalis peruviana*

NUTRIENTES	UNIDAD	POR 100 G.
- Energía	Kcal	53
- Carbohidratos	Gramos	11.2
- Proteína	Gramos	1.2
- Lípidos totales	Gramos	0.7
MINERALES		
- Calcio	Mg	9
- Hierro	Mg	1
- Fosforo	Mg	40
VITAMINAS		
- Vitamina C	Mg	11
- Tiamina	Mg	0.11
- Riboflavina	Mg	0.04
- Niacina	Mg	2.8
- Vitamina B-12	µg	0
LÍPIDOS		
- Ac. Grasos totales	Mg	0
- Colesterol	mg	0

(fuente: USDA, 2019)

Anexo 2: Parámetros cinéticos de cada modelo para método de ventana de refractancia

PARAMETROS CINETICOS DE CADA MODELO A DISTINTOS GROSORES				
MODELO	PARAMETRO	60°C 0,19 mm	60°C 0,25 mm	60°C 0,29 mm
H-P	a	0,0,E+00 ± 1,8,E-03	1,1,E+00 ± 1,3,E-02	1,1,E+00 ± 5,1,E-03
	k	2,0,E-04 ± 1,4,E-05	2,1,E-04 ± 6,7,E-06	2,1,E-04 ± 3,0,E-06
H-P MPD	a	3,6,E-01 ± 2,5,E-03	3,7,E-01 ± 5,8,E-03	3,7,E-01 ± 1,8,E-03
	k	2,0,E-04 ± 2,1,E-05	2,1,E-04 ± 6,7,E-06	2,1,E-04 ± 3,0,E-06
	b	3,6,E-01 ± 2,0,E-03	3,6,E-01 ± 4,4,E-03	3,6,E-01 ± 1,6,E-03
	k0	2,0,E-04 ± 2,1,E-05	2,1,E-04 ± 6,7,E-06	2,1,E-04 ± 3,0,E-06
	c	3,5,E-01 ± 1,3,E-03	3,6,E-01 ± 3,2,E-03	3,6,E-01 ± 1,8,E-03
	k1	2,0,E-04 ± 2,1,E-05	2,1,E-04 ± 6,7,E-06	2,1,E-04 ± 3,0,E-06
PAGE	k	1,8,E-08 ± 1,4,E-08	2,5,E-09 ± 2,1,E-09	2,7,E-09 ± 2,8,E-09
	y	2,1,E+00 ± 9,8,E-02	2,4,E+00 ± 2,0,E-01	2,5,E+00 ± 3,3,E-01
DOS TERM	a	5,4,E-01 ± 3,7,E-03	5,5,E-01 ± 8,6,E-03	5,6,E-01 ± 2,6,E-03
	k0	2,0,E-04 ± 2,1,E-05	2,1,E-04 ± 6,7,E-06	2,1,E-04 ± 3,0,E-06
	b	5,3,E-01 ± 2,1,E-03	5,4,E-01 ± 4,8,E-03	5,4,E-01 ± 2,6,E-03
	k1	2,0,E-04 ± 2,1,E-05	2,1,E-04 ± 6,7,E-06	2,1,E-04 ± 3,0,E-06
MIDILI	a	9,9,E-01 ± 2,3,E-03	9,9,E-01 ± 3,8,E-03	9,9,E-01 ± 1,8,E-03
	k	2,5,E-08 ± 1,8,E-08	2,6,E-09 ± 2,2,E-09	2,5,E-09 ± 3,0,E-09
	b	2,6,E-05 ± 1,5,E-05	2,6,E-05 ± 1,5,E-05	2,6,E-05 ± 1,5,E-05
	y	2,0,E+00 ± 9,6,E-02	2,4,E+00 ± 2,1,E-01	2,5,E+00 ± 3,6,E-01
MODELO	PARAMETRO	75°C 0,19 mm	75°C 0,25 mm	75°C 0,29 mm
H-P	a	1,1,E+00 ± 3,3,E-03	1,1,E+00 ± 9,3,E-03	1,1,E+00 ± 6,8,E-04
	k	3,3,E-04 ± 6,0,E-06	2,6,E-04 ± 2,7,E-05	2,9,E-04 ± 1,2,E-05
H-P MPD	a	3,7,E-01 ± 1,3,E-03	3,7,E-01 ± 4,7,E-03	3,7,E-01 ± 2,0,E-03
	k	3,3,E-04 ± 6,0,E-06	2,6,E-04 ± 2,7,E-05	2,9,E-04 ± 4,5,E-06
	b	3,6,E-01 ± 1,1,E-03	3,6,E-01 ± 2,5,E-03	3,6,E-01 ± 2,1,E-03
	k0	3,3,E-04 ± 6,0,E-06	2,6,E-04 ± 2,7,E-05	2,9,E-04 ± 4,5,E-06
	c	3,6,E-01 ± 9,6,E-04	3,6,E-01 ± 2,2,E-03	3,6,E-01 ± 2,1,E-03
	k1	3,3,E-04 ± 6,0,E-06	2,6,E-04 ± 2,7,E-05	2,9,E-04 ± 4,5,E-06
PAGE	k	1,2,E-09 ± 1,3,E-09	1,7,E-07 ± 3,0,E-07	2,7,E-09 ± 2,6,E-09
	y	2,6,E+00 ± 1,5,E-01	2,4,E+00 ± 6,1,E-01	2,5,E+00 ± 1,5,E-01
DOS TERM	a	5,5,E-01 ± 7,2,E-03	5,5,E-01 ± 6,5,E-03	5,5,E-01 ± 2,9,E-03
	k0	3,1,E-04 ± 3,1,E-05	2,6,E-04 ± 2,7,E-05	2,9,E-04 ± 4,4,E-06
	b	5,4,E-01 ± 2,1,E-03	5,4,E-01 ± 3,1,E-03	5,4,E-01 ± 2,5,E-03
	k1	3,1,E-04 ± 3,1,E-05	2,6,E-04 ± 2,7,E-05	2,9,E-04 ± 4,4,E-06
MIDILI	a	9,8,E-01 ± 3,5,E-03	1,0,E+00 ± 5,4,E-02	9,9,E-01 ± 3,9,E-03
	k	6,7,E-10 ± 7,2,E-10	2,6,E-09 ± 4,1,E-09	2,3,E-09 ± 2,5,E-09
	b	2,6,E-05 ± 1,5,E-05	2,6,E-05 ± 1,5,E-05	2,6,E-05 ± 1,5,E-05

	y	2,7,E+00 ± 1,8,E-01	1,7,E+00 ± 1,5,E+00	2,5,E+00 ± 1,8,E-01
MODELO	PARAMETRO	90°C 0,19 mm	90°C 0,25 mm	90°C 0,29 mm
H-P	a	1,1,E+00 ± 5,6,E-03	1,1,E+00 ± 6,2,E-03	1,1,E+00 ± 4,2,E-03
	k	5,5,E-04 ± 6,1,E-05	5,1,E-04 ± 3,5,E-05	5,2,E-04 ± 2,3,E-05
H-P MPD	a	3,7,E-01 ± 2,7,E-03	3,7,E-01 ± 2,4,E-03	3,7,E-01 ± 1,6,E-03
	k	5,5,E-04 ± 6,1,E-05	5,1,E-04 ± 3,5,E-05	5,2,E-04 ± 2,3,E-05
	b	3,6,E-01 ± 1,8,E-03	3,7,E-01 ± 2,1,E-03	3,7,E-01 ± 1,4,E-03
	k0	5,5,E-04 ± 6,1,E-05	5,1,E-04 ± 3,5,E-05	5,2,E-04 ± 2,3,E-05
	c	3,6,E-01 ± 1,1,E-03	3,6,E-01 ± 1,8,E-03	3,6,E-01 ± 1,5,E-03
	k1	5,5,E-04 ± 6,1,E-05	5,1,E-04 ± 3,5,E-05	5,2,E-04 ± 2,3,E-05
PAGE	k	5,1,E-08 ± 2,6,E-08	3,3,E-07 ± 2,1,E-07	2,0,E-07 ± 1,0,E-07
	y	2,3,E+00 ± 6,6,E-02	2,0,E+00 ± 1,4,E-01	2,0,E+00 ± 5,9,E-02
DOS TERM	a	5,5,E-01 ± 4,0,E-03	5,5,E-01 ± 3,5,E-03	5,5,E-01 ± 2,3,E-03
	k0	5,5,E-04 ± 6,1,E-05	5,1,E-04 ± 3,5,E-05	5,2,E-04 ± 2,3,E-05
	b	5,4,E-01 ± 1,6,E-03	5,4,E-01 ± 2,7,E-03	5,4,E-01 ± 2,3,E-03
	k1	5,5,E-04 ± 6,1,E-05	5,1,E-04 ± 3,5,E-05	5,2,E-04 ± 2,3,E-05
MIDILI	a	9,9,E-01 ± 5,2,E-03	9,9,E-01 ± 1,3,E-03	9,9,E-01 ± 2,9,E-03
	k	6,8,E-08 ± 3,8,E-08	1,8,E-07 ± 1,3,E-07	1,3,E-07 ± 1,1,E-07
	b	2,6,E-05 ± 1,5,E-05	1,5,E-05 ± 1,7,E-05	1,6,E-05 ± 1,7,E-05
	y	2,2,E+00 ± 1,0,E-01	2,1,E+00 ± 1,3,E-01	2,1,E+00 ± 1,6,E-01

Anexo 3 : Parámetros cinéticos de cada modelo para método de ventana de refractancia + infrarrojo

PARAMETROS CINETICOS DE CADA MODELO A DISTINTOS GROSORES				
MODELO	PARAMETRO	60°C 0,19 mm	60°C 0,25 mm	60°C 0,29 mm
H-P	a	1,1,E+00 ± 8,5,E-03	1,1,E+00 ± 4,7,E-03	1,1,E+00 ± 9,3,E-04
	k	3,3,E-04 ± 2,0,E-05	3,4,E-04 ± 3,5,E-05	3,2,E-04 ± 3,8,E-06
H-P MPD	a	3,6,E-01 ± 4,2,E-03	3,6,E-01 ± 2,4,E-03	3,6,E-01 ± 4,5,E-04
	k	3,3,E-04 ± 2,0,E-05	3,4,E-04 ± 3,5,E-05	3,2,E-04 ± 3,8,E-06
	b	3,6,E-01 ± 2,6,E-03	3,6,E-01 ± 1,5,E-03	3,6,E-01 ± 2,6,E-04
	k0	3,3,E-04 ± 2,0,E-05	3,4,E-04 ± 3,5,E-05	3,2,E-04 ± 3,8,E-06
	c	3,6,E-01 ± 2,1,E-03	3,6,E-01 ± 8,7,E-04	3,6,E-01 ± 2,3,E-04
	k1	3,3,E-04 ± 2,0,E-05	3,4,E-04 ± 3,5,E-05	3,2,E-04 ± 3,8,E-06
PAGE	k	1,3,E-09 ± 9,3,E-10	3,8,E-10 ± 4,6,E-10	2,1,E-10 ± 1,5,E-10
	y	2,7,E+00 ± 1,4,E-01	2,8,E+00 ± 1,5,E-01	2,9,E+00 ± 8,4,E-02
DOS TERM	a	5,4,E-01 ± 6,1,E-03	5,5,E-01 ± 3,5,E-03	5,5,E-01 ± 6,0,E-04
	k0	3,3,E-04 ± 2,0,E-05	3,4,E-04 ± 3,5,E-05	3,2,E-04 ± 3,8,E-06
	b	5,3,E-01 ± 3,2,E-03	5,4,E-01 ± 1,3,E-03	5,4,E-01 ± 2,9,E-04
	k1	3,3,E-04 ± 2,0,E-05	3,4,E-04 ± 3,5,E-05	3,2,E-04 ± 3,8,E-06
MIDILI	a	1,0,E+00 ± 3,2,E-02	1,0,E+00 ± 4,4,E-02	1,0,E+00 ± 4,6,E-02
	k	3,1,E-11 ± 3,0,E-11	3,1,E-11 ± 2,7,E-11	3,9,E-11 ± 3,7,E-11
	b	2,2,E-04 ± 7,9,E-05	1,2,E-04 ± 1,4,E-04	1,8,E-04 ± 1,3,E-04
	y	1,4,E+00 ± 2,5,E+00	2,2,E+00 ± 1,4,E+00	9,7,E-01 ± 1,7,E+00
MODELO	PARAMETRO	75°C 0,19 mm	75°C 0,25 mm	75°C 0,29 mm
H-P	a	1,1,E+00 ± 1,0,E-04	1,1,E+00 ± 2,1,E-03	1,1,E+00 ± 1,3,E-03
	k	5,3,E-04 ± 1,1,E-05	5,1,E-04 ± 1,5,E-05	5,3,E-04 ± 3,6,E-05
H-P MPD	a	3,7,E-01 ± 1,7,E-04	3,7,E-01 ± 8,0,E-04	3,7,E-01 ± 9,8,E-04
	k	5,3,E-04 ± 1,1,E-05	5,1,E-04 ± 1,5,E-05	5,3,E-04 ± 3,6,E-05
	b	3,7,E-01 ± 1,0,E-04	3,6,E-01 ± 7,0,E-04	3,6,E-01 ± 4,2,E-04
	k0	5,3,E-04 ± 1,1,E-05	5,1,E-04 ± 1,5,E-05	5,3,E-04 ± 3,6,E-05
	c	3,6,E-01 ± 5,8,E-05	3,6,E-01 ± 6,1,E-04	3,6,E-01 ± 3,2,E-04
	k1	5,3,E-04 ± 1,1,E-05	5,1,E-04 ± 1,5,E-05	5,3,E-04 ± 3,6,E-05
PAGE	k	3,2,E-09 ± 1,6,E-09	1,4,E-09 ± 6,8,E-10	1,1,E-08 ± 7,3,E-09
	y	2,6,E+00 ± 7,4,E-02	2,7,E+00 ± 6,2,E-02	2,5,E+00 ± 1,2,E-01
DOS TERM	a	5,5,E-01 ± 2,6,E-04	5,5,E-01 ± 1,2,E-03	5,5,E-01 ± 1,4,E-03
	k0	5,3,E-04 ± 1,1,E-05	5,1,E-04 ± 1,5,E-05	5,3,E-04 ± 3,6,E-05
	b	5,4,E-01 ± 1,7,E-04	5,4,E-01 ± 9,5,E-04	5,4,E-01 ± 4,7,E-04
	k1	5,3,E-04 ± 1,1,E-05	5,1,E-04 ± 1,5,E-05	5,3,E-04 ± 3,6,E-05
MIDILI	a	1,0,E+00 ± 3,5,E-02	1,0,E+00 ± 4,8,E-02	9,9,E-01 ± 2,3,E-03
	k	1,9,E-09 ± 1,9,E-09	9,0,E-10 ± 8,9,E-10	1,8,E-08 ± 9,0,E-09
	b	1,1,E-04 ± 1,8,E-04	1,3,E-04 ± 2,0,E-04	2,4,E-05 ± 9,1,E-06

	y	3,3,E+00 ± 1,2,E+00	1,8,E+00 ± 1,6,E+00	2,4,E+00 ± 8,4,E-02
MODELO	PARAMETRO	90°C 0,19 mm	90°C 0,25 mm	90°C 0,29 mm
H-P	a	1,1,E+00 ± 2,9,E-03	1,1,E+00 ± 2,1,E-03	1,1,E+00 ± 5,6,E-03
	k	8,0,E-04 ± 3,4,E-05	7,8,E-04 ± 3,4,E-05	8,5,E-04 ± 5,2,E-05
H-P MPD	a	3,8,E-01 ± 1,6,E-03	3,7,E-01 ± 6,5,E-04	3,8,E-01 ± 2,9,E-03
	k	8,0,E-04 ± 3,4,E-05	7,8,E-04 ± 3,4,E-05	8,5,E-04 ± 5,2,E-05
	b	3,7,E-01 ± 8,9,E-04	3,7,E-01 ± 7,1,E-04	3,7,E-01 ± 1,8,E-03
	k0	8,0,E-04 ± 3,4,E-05	7,8,E-04 ± 3,4,E-05	8,5,E-04 ± 5,2,E-05
	c	3,6,E-01 ± 4,0,E-04	3,6,E-01 ± 9,6,E-04	3,6,E-01 ± 1,1,E-03
	k1	8,0,E-04 ± 3,4,E-05	7,8,E-04 ± 3,4,E-05	8,5,E-04 ± 5,2,E-05
PAGE	k	2,8,E-08 ± 2,4,E-09	5,3,E-08 ± 3,1,E-08	1,7,E-08 ± 7,4,E-09
	y	2,4,E+00 ± 2,0,E-02	2,4,E+00 ± 6,7,E-02	2,5,E+00 ± 8,5,E-02
DOS TERM	a	5,6,E-01 ± 2,3,E-03	5,6,E-01 ± 9,5,E-04	5,7,E-01 ± 4,2,E-03
	k0	8,0,E-04 ± 3,4,E-05	7,8,E-04 ± 3,4,E-05	8,5,E-04 ± 5,2,E-05
	b	5,4,E-01 ± 6,6,E-04	5,4,E-01 ± 1,5,E-03	5,4,E-01 ± 1,6,E-03
	k1	8,0,E-04 ± 3,4,E-05	7,8,E-04 ± 3,3,E-05	8,5,E-04 ± 5,2,E-05
MIDILI	a	9,9,E-01 ± 4,7,E-03	1,0,E+00 ± 1,2,E-03	9,9,E-01 ± 5,1,E-03
	k	3,4,E-08 ± 2,7,E-09	7,1,E-08 ± 4,5,E-08	2,1,E-08 ± 1,4,E-08
	b	7,1,E-05 ± 2,5,E-05	9,7,E-05 ± 2,0,E-05	4,7,E-05 ± 2,7,E-05
	y	2,4,E+00 ± 3,4,E-02	2,3,E+00 ± 8,6,E-02	2,5,E+00 ± 1,7,E-01

Anexo 4: Valores L, a y b para método de ventana de refractancia

PARAMETROS L, a y b PARA DIFERENTE GROSOR Y TEMPERATURA			
BLANCO	L	a	b
	83,99	34,62	72,4
PARAMETROS	60°C 0,19 mm	60°C 0,25 mm	60°C 0,29 mm
L	46,02 ± 3,96	44,47 ± 3,16	40,60 ± 1,90
a	18,40 ± 3,58	19,66 ± 4,17	24,83 ± 3,47
b	37,12 ± 2,18	36,69 ± 2,60	34,47 ± 0,96
PARAMETROS	75°C 0,19 mm	75°C 0,25 mm	75°C 0,29 mm
L	45,08 ± 4,11	47,99 ± 1,98	43,80 ± 0,66
a	22,54 ± 2,10	20,25 ± 2,55	21,76 ± 4,31
b	39,32 ± 5,78	42,54 ± 2,50	36,68 ± 3,78
PARAMETROS	90°C 0,19 mm	90°C 0,25 mm	90°C 0,29 mm
L	41,41 ± 2,40	35,84 ± 5,71	38,63 ± 0,73
a	21,35 ± 2,86	09,00 ± 18,50	21,59 ± 2,64
b	31,72 ± 1,20	12,64 ± 27,08	27,92 ± 1,21

Anexo 5: Valores L, a y b para método de ventana de refractancia + infrarrojo

PARAMETROS L, a y b PARA DIFERENTE GROSOR Y TEMPERATURA			
BLANCO	L	a	b
	83,99	34,62	72,4
PARAMETROS	60°C 0,19 mm	60°C 0,25 mm	60°C 0,29 mm
L	47,43 ± 4,59	43,99 ± 7,65	42,84 ± 5,21
a	22,39 ± 3,37	21,73 ± 2,08	21,58 ± 4,78
b	42,55 ± 5,16	38,57 ± 11,56	35,16 ± 4,67
PARAMETROS	75°C 0,19 mm	75°C 0,25 mm	75°C 0,29 mm
L	44,44 ± 2,97	39,99 ± 3,79	38,43 ± 7,28
a	22,27 ± 3,98	25,05 ± 3,53	21,86 ± 3,84
b	38,30 ± 2,99	34,14 ± 3,72	31,47 ± 10,43
PARAMETROS	90°C 0,19 mm	90°C 0,25 mm	90°C 0,29 mm
L	36,42 ± 3,99	31,66 ± 3,32	29,95 ± 9,25
a	22,23 ± 0,96	20,47 ± 4,42	17,52 ± 8,16
b	27,90 ± 3,43	23,13 ± 5,63	22,32 ± 8,41

Anexo 6: Anova para la difusividad

Análisis de Varianza para Difusividad - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Grosor	0	2	0	4,21	0,0411
B:Temperatura	0	2	0	70,62	0,0000
C:metodo	0	1	0	40,45	0,0000
RESIDUOS	0	12	0		
TOTAL (CORREGIDO)	0	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de Difusividad en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que 3 valores-P son menores que 0,05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre Difusividad con un 95,0% de nivel de confianza.

Anexo 7: Prueba de rangos múltiples para la difusividad

Pruebas de Múltiple Rangos para Difusividad por Grosor

Método: 95,0 porcentaje LSD

Grosor	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0,19	6	6,68167E-10	3,93978E-11	X
0,25	6	7,13E-10	3,93978E-11	XX
0,29	6	8,25167E-10	3,93978E-11	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0,19 - 0,25		-4,48333E-11	1,21397E-10
0,19 - 0,29	*	-1,57E-10	1,21397E-10
0,25 - 0,29		-1,12167E-10	1,21397E-10

* indica una diferencia significativa.

El StatAdvisor

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. Se ha colocado un asterisco junto a 1 par, indicando que este par muestra diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

Anexo 8: ANOVA para las diferencias de color

Three Way Analysis of Variance

lunes, junio

Data source: Data 1 in Notebook1

Balanced Design (No Interactions)

Dependent Variable: DELTA E

Normality Test: Failed ($P < 0,050$)

Equal Variance Test: Passed ($P = 1,000$)

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
MÉTODO	1	62,805	62,805	359,485	<0,001
GROSOR	2	120,370	60,185	344,487	<0,001
TEMPERATURA	2	559,798	279,899	1602,085	<0,001
Residual	4	0,699	0,175		
Total	17	879,191	51,717		

Anexo 9 : Prueba de rangos multiples para diferencias de color

Comparisons for factor: MÉTODO

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0,050
INFRAROJO vs. VENTANA	3,736	2	26,814	<0,001	Yes

Comparisons for factor: GROSOR

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0,050
0,290 vs. 0,190	6,319	3	37,031	<0,001	Yes
0,290 vs. 0,250	2,779	3	16,284	<0,001	Yes
0,250 vs. 0,190	3,540	3	20,747	<0,001	Yes

Comparisons for factor: TEMPERATURA

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0,050
90,000 vs. 60,000	12,478	3	73,122	<0,001	Yes
90,000 vs. 75,000	11,054	3	64,777	<0,001	Yes
75,000 vs. 60,000	1,424	3	8,345	0,009	Yes